

UNIVERSITE DE YAOUNDE I  
*UNIVERSITY OF YAOUNDE I*



FACULTE DES SCIENCES  
*FACULTY OF SCIENCE*

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

**Radiosensibilité de quelques variétés de pastèque (*Citrullus lanatus*) à la mutagenèse induite aux rayons gamma**

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

**Option :** Biotechnologies Végétales

**Spécialité :** Mutagenèse Induite et Amélioration Génétique des Plantes

Par

**FOKAM Paul Ernest**  
Master ès Sciences  
Matricule : 06Q238



Sous la Direction de :

**BELL Joseph Martin**  
*Professeur*

*Année : 2022*

UNIVERSITE DE YAOUNDE I  
*UNIVERSITY OF YAOUNDE I*



FACULTE DES SCIENCES  
*FACULTY OF SCIENCE*

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

**Radiosensibilité de quelques variétés de pastèque (*Citrullus lanatus*) à la mutagenèse induite aux rayons gamma**

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

**Option** : Biotechnologies Végétales

**Spécialité** : Mutagenèse Induite et Amélioration Génétique des Plantes

Par

**FOKAM Paul Ernest**

Master ès Sciences

Matricule : 06Q238

Sous la Direction de :

**BELL Joseph Martin**

*Professeur*

*Année : 2022*



DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE VEGETALES  
DEPARTMENT OF PLANT BIOLOGY

ATTESTATION DE CORRECTION

\*\*\*\*\*

Nous soussignés, membres du jury de soutenance de la thèse de Doctorat/PhD en Biologie des Organismes Végétaux option Biotechnologies Végétales de **Monsieur FOKAM Paul Ernest**, Matricule **06Q238**, soutenue publiquement le jeudi 21 Juillet 2022 sur le sujet : « **Radiosensibilité de quelques variétés de pastèque (*Citrullus lanatus*) à la mutagenèse induite aux rayons gamma** » attestons que les corrections conformément aux remarques et recommandations du jury lors de la soutenance de ladite thèse de Doctorat/PhD ont été effectuées par le candidat.

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

**BELL Joseph Martin**  
*Professeur*

**Rapporteurs**

**MAFOUASSON Hortense Noëlle**  
*Maître de recherche*

**Membres**

**AMBANG Zachée**  
*Professeur*

**NYASSE Salomon**  
*Directeur de Recherche*


**NOUBISSIE TCHIANGAM JEAN B.**  
*Professeur*

**Président**

**YOUMBI Emmanuel**

*Professeur*

## LISTE PROTOCOLAIRE

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

**ANNÉE ACADEMIQUE 2021/2022**  
 (Par Département et par Grade)  
**DATE D'ACTUALISATION 22 septembre 2021**

### ADMINISTRATION

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

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

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

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

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

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

1- DÉPARTEMENT DE BIOCHIMIE (BC) (38)			
N°	NOMS ET PRÉNOMS	GRADE	OBSERVATIONS
1	BIGOGA DAIGA Jude	Professeur	En poste
2	FEKAM BOYOM Fabrice	Professeur	En poste
3	FOKOU Elie	Professeur	En poste
4	KANSCI Germain	Professeur	En poste
5	MBACHAM FON Wilfried	Professeur	En poste
6	MOUNDIPA FEWOU Paul	Professeur	Chef de Département
7	NINTCHOM PENLAP V. épouse BENG	Professeur	En poste
8	OBEN Julius ENYONG	Professeur	En poste
9	ACHU Merci BIH	Maître de Conférences	En poste
10	ATOGHO Barbara Mma	Maître de Conférences	En poste
11	AZANTSA KINGUE GABIN BORIS	Maître de Conférences	En poste
12	BELINGA née NDOYE FOE M. C. F.	Maître de Conférences	Chef DAF / FS
13	BOUDJEKO Thaddée	Maître de Conférences	En poste
14	DJUIDJE NGOUNOUE Marcelline	Maître de Conférences	En poste
15	EFFA NNOMO Pierre	Maître de Conférences	En poste

16	EWANE Cécile Anne	Maître de Conférences	En poste
17	MOFOR née TEUGWA Clotilde	Maître de Conférences	Inspecteur de Service MINESUP
18	NANA Louise épouse WAKAM	Maître de Conférences	En poste
19	NGONDI Judith Laure	Maître de Conférences	En poste
20	NGUEFACK Julienne	Maître de Conférences	En poste
21	NJAYOU Frédéric Nico	Maître de Conférences	En poste
22	TCHANA KOUATCHOUA Angèle	Maître de Conférences	En poste
23	AKINDEH MBUH NJI	Chargé de Cours	En poste
24	BEBEE Fadimatou	Chargée de Cours	En poste
25	BEBOY EDJENGUELE Sara Nathalie	Chargé de Cours	En poste
25	DAKOLE DABOY Charles	Chargé de Cours	En poste
26	DJUIKWO NKONGA Ruth Viviane	Chargée de Cours	En poste
27	DONGMO LEKAGNE Joseph Blaise	Chargé de Cours	En poste
28	FONKOUA Martin	Chargé de Cours	En poste
29	KOTUE KAPTUE Charles	Chargé de Cours	En poste
30	LUNGA Paul KEILAH	Chargé de Cours	En poste
31	MANANGA Marlyse Joséphine	Chargée de Cours	En poste
32	MBONG ANGIE M. Mary Anne	Chargée de Cours	En poste
33	Palmer MASUMBE NETONGO	Chargé de Cours	En poste
34	PECHANGOU NSANGO Sylvain	Chargé de Cours	En poste
35	MBOUCHE FANMOE Marceline Joëlle	Assistante	En poste
36	OWONA AYISSI Vincent Brice	Assistant	En poste
37	WILFRIED ANGIE Abia	Assistante	En poste
<b>2- DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE ANIMALES (BPA) (46)</b>			
1	AJEAGAH Gideon AGHAINDUM	Professeur	<i>DAARS/FS</i>
2	BILONG BILONG Charles-Félix	Professeur	Chef de Département
3	DIMO Théophile	Professeur	En Poste
4	DJIETO LORDON Champlain	Professeur	En Poste
5	DZEUFLET DJOMENI Paul Désiré	Professeur	En Poste
6	ESSOMBA née NTSAMA MBALA	Professeur	<i>Vice Doyen/FMSB/UIYI</i>
7	FOMENA Abraham	Professeur	En Poste
8	KAMTCHOUING Pierre	Professeur	En poste
9	KEKEUNOU Sévilor	Professeur	En poste
10	NJAMEN Dieudonné	Professeur	En poste

11	NJIOKOU Flobert	Professeur	En Poste
12	NOLA Moïse	Professeur	En poste
13	TAN Paul VERNYUY	Professeur	En poste
14	TCHUEM TCHUENTE Louis Albert	Professeur	<i>Inspecteur de service Coord.Progr./MINSANTE</i>
15	ZEBAZE TOGOUET Serge Hubert	Professeur	En poste
16	BILANDA Danielle Claude	Maître de Conférences	En poste
17	DJIOGUE Séfirin	Maître de Conférences	En poste
18	JATSA BOUKENG Hermine épse MEGAPTCHE	Maître de Conférences	En Poste
19	LEKEUFACK FOLEFACK Guy B.	Maître de Conférences	En poste
20	MEGNEKOU Rosette	Maître de Conférences	En poste
21	MONY Ruth épse NTONE	Maître de Conférences	En Poste
22	NGUEGUIM TSOFAK Florence	Maître de Conférences	En poste
23	TOMBI Jeannette	Maître de Conférences	En poste
24	ALENE Désirée Chantal	Chargée de Cours	En poste
25	ATSAMO Albert Donatien	Chargé de Cours	En poste
26	BELLET EDIMO Oscar Roger	Chargé de Cours	En poste
27	DONFACK Mireille	Chargée de Cours	En poste
28	ETEME ENAMA Serge	Chargé de Cours	En poste
29	GOUNOUE KAMKUMO Raceline	Chargée de Cours	En poste
30	KANDEDA KAVAYE Antoine	Chargé de Cours	En poste
31	MAHOB Raymond Joseph	Chargé de Cours	En poste
32	MBENOUN MASSE Paul Serge	Chargé de Cours	En poste
33	MOUNGANG Luciane Marlyse	Chargée de Cours	En poste
34	MVEYO NDANKEU Yves Patrick	Chargé de Cours	En poste
35	NGOULATEU KENFACK Omer Bébé	Chargé de Cours	En poste
36	NGUEMBOK	Chargé de Cours	En poste
37	NJUA Clarisse Yafi	Chargée de Cours	Chef Div. UBA
38	NOAH EWOTI Olive Vivien	Chargée de Cours	En poste
39	TADU Zephyrin	Chargé de Cours	En poste
40	TAMSA ARFAO Antoine	Chargé de Cours	En poste
41	YEDE	Chargé de Cours	En poste
42	BASSOCK BAYIHA Etienne Didier	Assistant	En poste
43	ESSAMA MBIDA Désirée Sandrine	Assistante	En poste

44	KOGA MANG DOBARA	Assistant	En poste
45	LEME BANOCK Lucie	Assistante	En poste
46	YOUNOUSSA LAME	Assistant	En poste
<b>3- DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE VÉGÉTALES (BPV) (33)</b>			
1	AMBANG Zachée	Professeur	Chef Division/UYII
2	BELL Joseph Martin	Professeur	En poste
3	DJOCGOUE Pierre François	Professeur	En poste
4	MBOLO Marie	Professeur	En poste
5	MOSSEBO Dominique Claude	Professeur	En poste
6	YOUMBI Emmanuel	Professeur	Chef de Département
7	ZAPFACK Louis	Professeur	En poste
8	ANGONI Hyacinthe	Maître de Conférences	En poste
9	BIYE Elvire Hortense	Maître de Conférences	En poste
10	KENGNE NOUMSI Ives Magloire	Maître de Conférences	En poste
11	MALA Armand William	Maître de Conférences	En poste
12	MBARGA BINDZI Marie Alain	Maître de Conférences	CT/ MINESUP
13	NDONGO BEKOLO	Maître de Conférences	<i>CE / MINRESI</i>
14	NGODO MELINGUI Jean Baptiste	Maître de Conférences	En poste
15	NGONKEU MAGAPTCHE Eddy L.	Maître de Conférences	En poste
16	TONFACK Libert Brice	Maître de Conférences	En poste
17	TSOATA Esaïe	Maître de Conférences	En poste
18	DJEUANI Astride Carole	Chargé de Cours	En poste
19	GOMANDJE Christelle	Chargée de Cours	En poste
20	MAFFO MAFFO Nicole Liliane	Chargé de Cours	En poste
21	MAHBOU SOMO TOUKAM. Gabriel	Chargé de Cours	En poste
22	NGALLE Hermine BILLE	Chargée de Cours	En poste
23	NGOULO Lucas Vincent	Chargé de Cours	En poste
24	NNANGA MEBENGA Ruth Laure	Chargé de Cours	En poste
25	NOUKEU KOUAKAM Armelle	Chargé de Cours	En poste
26	ONANA JEAN MICHEL	Chargé de Cours	En poste
27	GODSWILL NTSOMBAH NTSEFONG	Assistant	En poste
28	KABELONG BANAHO Louis-Paul- Roger	Assistant	En poste
29	KONO Léon Dieudonné	Assistant	En poste
30	LIBALAH Moses BAKONCK	Assistant	En poste

31	LIKENG-LI-NGUE Benoit C	Assistant	En poste
32	TAEDOUNG Evariste Hermann	Assistant	En poste
33	TEMEGNE NONO Carine	Assistant	En poste
<b>4- DÉPARTEMENT DE CHIMIE INORGANIQUE (CI) (33)</b>			
1	AGWARA ONDOH Moïse	Professeur	<i>Chef de Département</i>
2	DJOUFAC WOUMFO Emmanuel	Professeur	En poste
3	Florence UFI CHINJE épouse MELO	Professeur	<i>Recteur Univ.Ngaoundere</i>
4	GHOGOMU Paul MINGO	Professeur	<i>Ministre Chargé de Miss.PR</i>
5	NANSEU Njiki Charles Péguy	Professeur	En poste
6	NDIFON Peter TEKE	Professeur	<i>CT MINRESI</i>
7	NDIKONTAR Maurice KOR	Professeur	<i>Vice-Doyen Univ. Bamenda</i>
8	NENWA Justin	Professeur	En poste
9	NGAMENI Emmanuel	Professeur	<i>DOYEN FS UDs</i>
10	NGOMO Horace MANGA	Professeur	<i>Vice Chancellor/UB</i>
11	ACAYANKA Elie	Maître de Conférences	En poste
12	BABALE née DJAM DOUDOU	Maître de Conférences	<i>Chargée Mission P.R.</i>
13	EMADACK Alphonse	Maître de Conférences	En poste
14	KAMGANG YOUBI Georges	Maître de Conférences	En poste
15	KEMMEGNE MBOUGUEM Jean C.	Maître de Conférences	En poste
16	KONG SAKEO	Maître de Conférences	En poste
17	NDI NSAMI Julius	Maître de Conférences	En poste
18	NJIOMOU C. épse DJANGANG	Maître de Conférences	En poste
19	NJOYA Dayirou	Maître de Conférences	En poste
20	TCHAKOUTE KOUAMO Hervé	Maître de Conférences	En poste
21	BELIBI BELIBI Placide Désiré	Chargé de Cours	CS/ ENS Bertoua
22	CHEUMANI YONA Arnaud M.	Chargé de Cours	En poste
23	KENNE DEDZO GUSTAVE	Chargé de Cours	En poste
24	KOUOTOU DAOUA	Chargé de Cours	En poste
25	MAKON Thomas Beauregard	Chargé de Cours	En poste
26	MBEY Jean Aime	Chargé de Cours	En poste
27	NCHIMI NONO KATIA	Chargé de Cours	En poste
28	NEBA nee NDOSIRI Bridget NDOYE	Chargée de Cours	CT/ MINFEM
29	NYAMEN Linda Dyorisse	Chargée de Cours	En poste



30	PABOUDAM GBAMBIE A.	Chargée de Cours	En poste
31	NJANKWA NJABONG N. Eric	Assistant	En poste
32	PATOUOSSA ISSOFA	Assistant	En poste
33	SIEWE Jean Mermoz	Assistant	En Poste
<b>5- DÉPARTEMENT DE CHIMIE ORGANIQUE (CO) (34)</b>			
1	DONGO Etienne	Professeur	Vice-Doyen/FSE/UJI
2	GHOLOMU TIH Robert Ralph	Professeur	Dir. IBAF/UDA
3	NGOUELA Silvère Augustin	Professeur	Chef de Département UDS
4	NYASSE Barthélemy	Professeur	En poste
5	PEGNYEMB Dieudonné Emmanuel	Professeur	<i>Directeur/ MINESUP/</i> Chef de Département
6	WANDJI Jean	Professeur	En poste
7	Alex de Théodore ATCHADE	Maître de Conférences	Vice-Doyen / DPSAA
8	AMBASSA Pantaléon	Maître de Conférences	En poste
9	EYONG Kenneth OBEN	Maître de Conférences	En poste
10	FOLEFOC Gabriel NGOSONG	Maître de Conférences	En poste
11	FOTSO WABO Ghislain	Maître de Conférences	En poste
12	KEUMEDJIO Félix	Maître de Conférences	En poste
13	KEUMOGNE Marguerite	Maître de Conférences	En poste
14	KOUAM Jacques	Maître de Conférences	En poste
15	MBAZOA née DJAMA Céline	Maître de Conférences	En poste
16	MKOUNGA Pierre	Maître de Conférences	En poste
17	MVOT AKAK CARINE	Maître de Conférences	En poste
18	NGO MBING Joséphine	Maître de Conférences	Sous/Direct. MINERESI
19	NGONO BIKOBO Dominique Serge	Maître de Conférences	<b>C.E/ MINESUP</b>
20	NOTE LOUGBOT Olivier Placide	Maître de Conférences	<b>C.S/ MINESUP</b>
21	NOUNGOUE TCHAMO Diderot	Maître de Conférences	En poste
22	TABOPDA KUATE Turibio	Maître de Conférences	En poste
23	TAGATSING FOTSING Maurice	Maître de Conférences	En poste
24	TCHOUANKEU Jean-Claude	Maître de Conférences	<i>Doyen /FS/ UJI</i>
25	TIH née NGO BILONG E. Anastasie	Maître de Conférences	En poste
26	YANKEP Emmanuel	Maître de Conférences	En poste
27	ZONDEGOUMBA Ernestine	Maître de Conférences	En poste
28	KAMTO Eutrophe Le Doux	Chargé de Cours	En poste
29	NGNINTEDO Dominique	Chargé de Cours	En poste

30	NGOMO Orléans	Chargée de Cours	En poste
31	OUAHOUE WACHE Blandine M.	Chargée de Cours	En poste
32	SIELINOUE TEDJON Valérie	Chargé de Cours	En poste
33	MESSI Angélique Nicolas	Assistant	En poste
34	TSEMEUGNE Joseph	Assistant	En poste
<b>6- DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE (IN) (25)</b>			
1	ATSA ETOUNDI Roger	Professeur	<i>Chef Div.MINESUP</i>
2	FOUDA NDJODO Marcel Laurent	Professeur	<i>Chef Dpt ENS/Chef IGA.MINESUP</i>
3	NDOUNDA René	Maître de Conférences	En poste
4	ABESSOLO ALO'O Gislain	Chargé de Cours	En poste
5	AMINOUE Halidou	Chargé de Cours	<i>Chef de Département</i>
6	DJAM Xaviera YOUH - KIMBI	Chargé de Cours	En Poste
7	<b>DOMGA KOMGUEM Rodrigue</b>	Chargé de Cours	En poste
8	EBELE Serge Alain	Chargé de Cours	En poste
9	KOUOKAM KOUOKAM E. A.	Chargé de Cours	En poste
10	MELATAGIA YONTA Paulin	Chargé de Cours	En poste
11	MONTHE DJIADEU Valery M.	Chargé de Cours	En poste
12	MOTO MPONG Serge Alain	Chargé de Cours	En poste
13	OLLE OLLE Daniel Claude Delort	Chargé de Cours	Directeur adjoint Enset. Ebolowa
14	TAPAMO Hyppolite	Chargé de Cours	En poste
15	TINDO Gilbert	Chargé de Cours	En poste
16	TSOPZE Norbert	Chargé de Cours	En poste
17	WAKU KOUAMOU Jules	Chargé de Cours	En poste
18	BAYEM Jacques Narcisse	Assistant	En poste
19	EKODECK Stéphane Gaël Raymond	Assistant	En poste
20	HAMZA Adamou	Assistant	En poste
21	JIOMEKONG AZANZI Fidel	Assistant	En poste
22	MAKEMBE. S . Oswald	Assistant	En poste
23	MESSI NGUELE Thomas	Assistant	En poste
24	MEYEMDOUE Nadège Sylvianne	Assistante	En poste
25	NKONDOCK. MI. BAHANACK.N.	Assistant	En poste

<b>7- DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES (MA) (30)</b>			
1	AYISSI Raoult Domingo	Professeur	Chef de Département
2	EMVUDU WONO Yves S.	Professeur	<i>Inspecteur MINESUP</i>
3	KIANPI Maurice	Maître de Conférences	En poste
4	MBANG Joseph	Maître de Conférences	En poste
5	MBEHOU Mohamed	Maître de Conférences	En poste
6	MBELE BIDIMA Martin Ledoux	Maître de Conférences	En poste
7	NKUIMI JUGNIA Célestin	Maître de Conférences	En poste
8	NOUNDJEU Pierre	Maître de Conférences	<i>Chef service des programmes &amp; Diplômes/FS/UYI</i>
9	TCHAPNDA NJABO Sophonie B.	Maître de Conférences	Directeur/AIMS Rwanda
10	TCHOUNDJA Edgar Landry	Maître de Conférences	En poste
11	AGHOUKENG JIOFACK Jean Gérard	Chargé de Cours	Chef Cellule MINPLAMAT
12	CHENDJOU Gilbert	Chargé de Cours	En poste
13	DJIADU NGAHA Michel	Chargé de Cours	En poste
14	DOUANLA YONTA Herman	Chargé de Cours	En poste
15	FOMEKONG Christophe	Chargé de Cours	En poste
16	KIKI Maxime Armand	Chargé de Cours	En poste
17	MBAKOP Guy Merlin	Chargé de Cours	En poste
18	MENGUE MENGUE David Joe	Chargé de Cours	En poste
19	NGUEFACK Bernard	Chargé de Cours	En poste
20	NIMPA PEFOUKEU Romain	Chargée de Cours	En poste
21	POLA DOUNDOU Emmanuel	Chargé de Cours	En poste
22	TAKAM SOH Patrice	Chargé de Cours	En poste
23	TCHANGANG Roger Duclos	Chargé de Cours	En poste
24	TETSADJIO TCHILEPECK M. E.	Chargé de Cours	En poste
25	TIAYA TSAGUE N. Anne-Marie	Chargée de Cours	En poste
26	BITYE MVONDO Esther Claudine	Assistante	En poste
27	MBATAKOU Salomon Joseph	Assistant	En poste
28	MBIAKOP Hilaire George	Assistant	En poste
29	MEFENZA NOUNTU Thiery	Assistant	En poste
30	TCHEUTIA Daniel Duviol	Assistant	En poste
<b>8- DÉPARTEMENT DE MICROBIOLOGIE (MIB) (18)</b>			
1	ESSIA NGANG Jean Justin	Professeur	<i>Chef de Département</i>
2	NYEGUE Maximilienne Ascension	Professeur	<i>VICE-DOYEN / DSSE</i>
3	NWAGA Dieudonné M.	Professeur	En poste
4	ASSAM ASSAM Jean Paul	Maître de Conférences	En poste
5	BOYOMO ONANA	Maître de Conférences	En poste
6	RIWOM Sara Honorine	Maître de Conférences	En poste
7	SADO KAMDEM Sylvain Leroy	Maître de Conférences	En poste
8	BODA Maurice	Chargé de Cours	En poste
9	BOUGNOM Blaise Pascal	Chargé de Cours	En poste
10	ESSONO OBOUGOU Germain G.	Chargé de Cours	En poste
11	NJIKI BIKOÏ Jacky	Chargée de Cours	En poste
12	TCHIKOUA Roger	Chargé de Cours	En poste
13	ESSONO Damien Marie	Assistant	En poste
14	LAMYE Glory MOH	Assistant	En poste
15	MEYIN A EBONG Solange	Assistante	En poste
16	NKOUDOU ZE Nardis	Assistant	En poste

17	SAKE NGANE Carole Stéphanie	Assistante	En poste
18	TOBOLBAÏ Richard	Assistant	En poste
<b>9. DEPARTEMENT DE PYSIQUE(PHY) (40)</b>			
1	BEN- BOLIE Germain Hubert	Professeur	En poste
2	DJUIDJE KENMOE épouse ALOYEM	Professeur	En poste
3	EKOBENA FOU DA Henri Paul	Professeur	<i>Vice-Recteur. UN</i>
4	ESSIMBI ZOBO Bernard	Professeur	En poste
5	KOFANE Timoléon Crépin	Professeur	En poste
6	NANA ENGO Serge Guy	Professeur	En poste
7	NANA NBENDJO Blaise	Professeur	En poste
8	NDJAKA Jean Marie Bienvenu	Professeur	Chef de Département
9	NJANDJOCK NOUCK Philippe	Professeur	En poste
10	NOUAYOU Robert	Professeur	En poste
11	PEMHA Elkana	Professeur	En poste
12	TABOD Charles TABOD	Professeur	Doyen FS Univ/Bda
13	TCHAWOUA Clément	Professeur	En poste
14	WOAFO Paul	Professeur	En poste
15	ZEKENG Serge Sylvain	Professeur	En poste
16	BIYA MOTTO Frédéric	Maître de Conférences	DG/HYDRO Mekin
17	BODO Bertrand	Maître de Conférences	En poste
18	ENYEGUE A NYAM épse BELINGA	Maître de Conférences	En poste
19	EYEBE FOU DA Jean sire	Maître de Conférences	En poste
20	FEWO Serge Ibraïd	Maître de Conférences	En poste
21	HONA Jacques	Maître de Conférences	En poste
22	MBANE BIOUELE César	Maître de Conférences	En poste
23	MBINACK Clément	Maître de Conférences	En poste
24	NDOP Joseph	Maître de Conférences	En poste
25	SAIDOU	Maître de Conférences	MINRESI
26	SIEWE SIEWE Martin	Maître de Conférences	En poste
27	SIMO Elie	Maître de Conférences	En poste
28	VONDOU Derbetini Appolinaire	Maître de Conférences	En poste
29	WAKATA née BEYA Annie	Maître de Conférences	<i>Directeur/ENS/UJI</i>
30	ABDOURAHIMI	Chargé de Cours	En poste
31	CHAMANI Roméo	Chargé de Cours	En poste
32	EDONGUE HERVAIS	Chargé de Cours	En poste
33	FOUEDJIO David	Chargé de Cours	Chef Cell. MINADER
34	MBONO SAMBA Yves Christian U.	Chargé de Cours	En poste
35	MELI'I Joelle Larissa	Chargée de Cours	En poste
36	MVOGO ALAIN	Chargé de Cours	En poste
37	OBOUNOU Marcel	Chargé de Cours	DA/Univ Inter Etat/Sangmalima
38	WOULACHE Rosalie Laure	Chargée de Cours	En poste
39	AYISSI EYEBE Guy François Valérie	Assistant	En poste
40	TEYOU NGOUPOU Ariel	Assistant	En poste
<b>10- DÉPARTEMENT DE SCIENCES DE LA TERRE (ST) (43)</b>			
1	BITOM Dieudonné	Professeur	<i>Doyen / FASA / UDs</i>
2	FOUATEU Rose épse YONGUE	Professeur	En poste
3	NDAM NGOUPAYOU Jules-Remy	Professeur	En poste
4	NDJIGUI Paul Désiré	Professeur	Chef de Département
5	NGOS III Simon	Professeur	En poste

6	NKOUMBOU Charles	Professeur	En poste
7	NZENTI Jean-Paul	Professeur	En poste
8	ABOSSOLO née ANGUE Monique	Maître de Conférences	<i>Vice-Doyen / DRC</i>
9	BISSO Dieudonné	Maître de Conférences	<i>Directeur/Projet Barrage Memve'ele</i>
10	EKOMANE Emile	Maître de Conférences	En poste
11	GANNO Sylvestre	Maître de Conférences	En poste
12	GHOGOMU Richard TANWI	Maître de Conférences	CD/Uma
13	MOUNDI Amidou	Maître de Conférences	<i>CT/ MINIMDT</i>
14	NGUEUTCHOUA Gabriel	Maître de Conférences	CEA/MINRESI
15	NJILAH Isaac KONFOR	Maître de Conférences	En poste
16	NYECK Bruno	Maître de Conférences	En poste
17	ONANA Vincent Laurent	Maître de Conférences	<i>Chef service Maintenance &amp; du Matériel/UYII</i>
18	TCHAKOUNTE J. épouse NOUMBEM	Maître de Conférences	<i>Chef.cell / MINRESI</i>
19	TCHOUANKOUE Jean-Pierre	Maître de Conférences	En poste
20	TEMDJIM Robert	Maître de Conférences	En poste
21	YENE ATANGANA Joseph Q.	Maître de Conférences	<i>Chef Div. /MINTP</i>
22	ZO'O ZAME Philémon	Maître de Conférences	<i>DG/ART</i>
23	ANABA ONANA Achille Basile	Chargé de Cours	En poste
24	BEKOA Etienne	Chargé de Cours	En poste
25	ELISE SABABA	Chargé de Cours	En poste
26	ESSONO Jean	Chargé de Cours	En poste
27	EYONG JOHN TAKEM	Chargé de Cours	En poste
28	FUH Calistus Gentry	Chargé de Cours	<i>Sec. D'Etat/MINMIDT</i>
29	LAMILLEN BILLA Daniel	Chargé de Cours	En poste
30	MBESSE CECILE OLIVE	Chargée de Cours	En poste
31	MBIDA YEM	Chargé de Cours	En poste
32	METANG Victor	Chargé de Cours	En poste
33	MINYEM Dieudonné-Lucien	Chargé de Cours	<i>CD/Uma</i>
34	NGO BELNOUN Rose Noël	Chargée de Cours	En poste
35	NGO BIDJECK Louise Marie	Chargée de Cours	En poste
36	NOMO NEGUE Emmanuel	Chargé de Cours	En poste
37	NTSAMA ATANGANA Jacqueline	Chargé de Cours	En poste
38	TCHAPTCHET TCHATO De P.	Chargé de Cours	En poste
39	TEHNA Nathanaël	Chargé de Cours	En poste
40	TEMGA Jean Pierre	Chargé de Cours	En poste
41	FEUMBA Roger	Assistant	En poste
42	MBANGA NYOBE Jules	Assistant	En poste

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

<b>NOMBRE D'ENSEIGNANTS</b>					
<b>DÉPARTEMENT</b>	<b>Professeurs</b>	<b>Maîtres de Conférences</b>	<b>Chargés de Cours</b>	<b>Assistants</b>	<b>Total</b>
BCH	8 (01)	14 (10)	13 (05)	3 (02)	<b>38 (18)</b>
BPA	15 (01)	8 (06)	18 (05)	05 (02)	<b>46 (14)</b>
BPV	07 (01)	10 (01)	9 (06)	07 (01)	<b>33 (9)</b>
CI	10 (01)	10 (02)	10 (02)	03 (0)	<b>33 (5)</b>
CO	6 (0)	21 (05)	05 (02)	02 (0)	<b>34(7)</b>
IN	2 (0)	1 (0)	14 (01)	08 (01)	<b>25 (2)</b>
MAT	2 (0)	8 (0)	15 (01)	05 (02)	<b>30 (3)</b>
MIB	3 (0)	4 (02)	05 (01)	06 (02)	<b>18 (5)</b>
PHY	15 (0)	14 (02)	09 (03)	02 (0)	<b>40 (5)</b>
ST	7 (1)	15 (01)	18 (05)	02 (0)	<b>42(7)</b>
<b>Total</b>	<b>75 (5)</b>	<b>105 (29)</b>	<b>116 (31)</b>	<b>43 (10)</b>	<b>339 (75)</b>
Soit un total de		<b>339 (75) dont :</b>			
-	Professeurs	<b>75 (5)</b>			
-	Maîtres de Conférences	<b>105 (29)</b>			
-	Chargés de Cours	<b>116 (31)</b>			
-	Assistants	<b>43 (10)</b>			
	( ) = Nombre de Femmes	<b>75</b>			

## **DEDICACE**

À

ma grande sœur CHAKAM Rachelle Honorine.

## REMERCIEMENTS

Mes remerciements vont à l'endroit de toutes les personnes qui, de près ou de loin ont contribué ou facilité la réalisation de ce travail. Qu'elles trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude. Il s'agit de :

- Pr. BELL Joseph Martin, qui a bien voulu diriger ce travail, par sa disponibilité et son soutien malgré ses multiples occupations ;
- Pr. YOUMBI Emmanuel, Chef de Département de Biologie et Physiologie Végétales de l'Université de Yaoundé I, pour la rigueur qu'il met dans l'encadrement des étudiants ;
- Dr. MAFOUASSON Hortense Noëlle, Maître de Recherche à l'IRAD, pour son encadrement rigoureux tout au long de ma thèse. Surtout pour son orientation, son investissement et sa volonté à m'imprégner et à me guider dans la voie de la mutagenèse induite associée à l'amélioration des plantes ;
- Dr. NGALLE BILLE Hermine, Chargée de Cours, pour le suivi de mes travaux et les enseignements reçus tout au long de mon cursus académique ;
- Dr. NTSOMBOH-NTSEFONG Godswill, Chargé de Cours au Département de Biologie et Physiologie Végétales de l'Université de Yaoundé I, pour ses multiples conseils, son suivi et ses critiques pour l'amélioration de ce travail ;
- Pr. FEKAM BOYOM Fabrice, Chef du Laboratoire de Phytobiochimie et d'Etudes des Plantes Médicinales pour nous avoir accueilli dans son laboratoire et mis à notre disposition tous les éléments nécessaires à la réalisation de ce travail ; pour son assistance matérielle et technique dans la réalisation des analyses biochimiques. Qu'il trouve en ces termes l'expression de ma sincère gratitude.
- Dr. EKE Pierre, Assistant à l'Université de Bamenda, pour son assistance dans les dosages biochimiques et les analyses des données ;
- tous les chercheurs du Laboratoire de sélection et de génétique végétale de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA) basée à Seibersdorf en Autriche pour leur appui technique dans le processus d'irradiation ;
- les Dr. NSIMI MVA Armand, LIKENG-LI-NGUE Benoît Constant, NGUEPJOP Joël Romaric, NYOUMA Achille, pour leurs orientations et leur soutien multiforme ;
- Dr. KUATE William Norbert pour tous ses soutiens, conseils et assistance multiforme ;
- Dr. NGATSI ZEMKO Patrice pour ses conseils et son apport dans l'analyse des données ;
- tous les membres de l'Unité de Génétique et d'Amélioration des plantes (UGAP) de l'Université de Yaoundé I. Je pense ici aux Mrs. EVINA Hernild Eman, LIMALA



Pacôme, MEBOMA Yanique Lionel, MOLO Thierry, MBOM Jean, EWODO Jean Dominique, ZAMBOU Alain Herve, NKAMAGNE Lionel, TADOH Clovis, AMOUGUI Passyh, EMENE Stéphane pour leur assistance multiforme dans la réalisation de cette thèse ;

- M. OWONA Albert Simon, Chercheur à l'IRAD pour son assistance et sa collaboration sans faille dans le suivi des travaux de radiosensibilité menés en serre ;
- Mlle MVOUMA MVANE Astrid Laetitia pour son assistance et sa collaboration sans faille dans le suivi des travaux de radiosensibilité menés en serre ;
- mon oncle M. FOTSO André pour son soutien financier et moral ;
- M. et Mme NGUEMDJOM pour leur soutien ainsi que leur parcelle de terre qu'ils m'ont gracieusement confiée pour en faire le champ expérimental;
- tous mes amis , merci pour le soutien moral qui m'a permis de tenir le coup jusqu'au bout. Merci particulièrement aux Dr. SIMO Rudy Valdès, M. MKOUNGA TALLA Blaise, M. NGAIMBOU Jules Blaise, M. DOMTUE Jean Luc, M. KUATE Elisée et M. FOTSO Léonide pour les moments de joie et de peine partagés, merci également pour avoir été d'une compréhension et d'un soutien sans faille pendant toutes ces années ;
- tous mes frères et sœurs particulièrement M. TADJOM Etienne David, Mlle GAMGNE Philomène, Mlle KENGNE Josiane, Mlle MADEFO Ariane, M. TEDOM Placide et M. WABO Pierre Clovis, pour leur soutien et leur assistance multiforme ;
- M. et Mme TCHETCHOUA pour leur assistance, leur soutien multiforme et leurs encouragements ;
- M. et Mme FOTSO, pour leur assistance et accompagnement dans la réalisation de ce travail ;
- M. et Mme WABO, pour leur soutien et leur assistance multiforme ;
- toute ma famille, surtout à mes parents M. et Mme SIMO pour l'intérêt qu'ils ont toujours porté à mon égard et surtout pour tous les sacrifices consentis pour mon éducation et épanouissement. Merci pour la mobilisation et les aides de toutes natures par ma famille;
- tous les membres du Jury qui vont examiner ce travail. Leurs critiques et suggestions seront déterminantes pour la suite de mes travaux de recherche ;
- toutes ces personnes qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail et que je n'aurais pas nommé cité. Qu'elles trouvent ici le témoignage de mon estime et de ma gratitude.

## SOMMAIRE

<b>LISTE PROTOCOLAIRE</b> .....	<b>i</b>
<b>DEDICACE</b> .....	<b>xii</b>
<b>REMERCIEMENTS</b> .....	<b>xiii</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	<b>xix</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b>xxi</b>
<b>LISTE DES ABREVIATIONS</b> .....	<b>xxii</b>
<b>RESUME</b> .....	<b>xxiii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xxv</b>
<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
<b>CHAPITRE I. REVUE DE LA LITTERATURE</b> .....	<b>6</b>
I.1. Généralités sur la pastèque.....	6
I.1.1. Situation botanique de la pastèque.....	6
I.1.1.1. Famille des Cucurbitaceae.....	6
I.1.1.2. Genre <i>Citrullus</i> .....	6
I.1.1.3. Espèce <i>Citrullus lanatus</i> .....	7
I.1.2. Taxonomie .....	7
I.1.3. Origine et domestication de la pastèque .....	7
I.1.4. Biologie et morphologie .....	8
I.1.4.1. Tige et Feuilles.....	8
I.1.4.2. Racine .....	8
I.1.4.3. Fleurs et fruits .....	9
I.1.5. Agronomie .....	10
I.1.5.1. Semis et développement.....	10
I.1.5.2. Fertilisation.....	10
I.1.5.3. Entretien des cultures .....	11
I.1.5.4. Irrigation .....	11
I.1.5.5. Récolte et stockage.....	11
I.1.6. Composition chimique de la pastèque.....	12
I.1.7. Propriétés pharmacologiques de la pastèque .....	13
I.1.7.1. Activité antibactérienne.....	13
I.1.7.2. Activité hépatoprotectrice.....	13
I.1.7.3. Activité anti-ulcère.....	13

I.1.7.4. Activité laxative .....	14
I.1.7.5. Anti-hyperlipidémie .....	14
I.1.8. Production mondiale.....	14
I.1.9. Exigence écologique.....	15
I.1.10. Effets de la sécheresse sur la croissance de la pastèque.....	16
I.1.10.1. Photosynthèse .....	16
I.1.10.2. Alimentation minérale .....	16
I.1.10.3. Croissance végétative .....	16
I.1.11. Maladies et ravageurs .....	17
I.1.11.1. Maladies fongiques .....	17
I.1.11.2. Maladies virales .....	18
I.1.11.3. Ravageurs .....	19
I.2. Mutagenèse induite et amélioration des plantes.....	20
I.2.1. Historique.....	20
I.2.2. Avantages et inconvénients.....	22
I.2.3. Types de mutations.....	22
I.2.3.1. Mutations géniques ou ponctuelles .....	22
I.2.3.2. Mutations chromosomiques.....	23
I.2.3.3. Mutations extra-chromosomiques.....	23
I.2.4. Types de mutagènes .....	23
I.2.4.1. Mutagènes chimiques .....	23
I.2.4.2. Mutagènes physiques .....	23
I.2.5. Radio-mutagenèse par les rayons gamma chez la pastèque .....	25
I.2.5.1. Dose d'irradiation optimale et radiosensibilité.....	25
I.2.5.2. Travaux réalisés sur la pastèque .....	26
I.3. Variabilité génétique.....	27
I.3.1. Définition.....	27
I.3.2. Analyse de la variabilité génétique .....	27
I.3.3. Méthodes de création de la variabilité génétique.....	28
I.3.3.1. Polyploïdisation .....	28
I.3.3.2. Croisement interspécifique.....	29
I.3.3.3. Hybridation somatique .....	29
I.3.3.4. Transgénèse .....	30
I.3.3.5. Mutagenèse induite .....	30

I.3.4. Marqueurs utilisés dans l'estimation de la variabilité génétique .....	31
I.3.4.1. Marqueurs morphologiques .....	32
I.3.4.2. Marqueurs biochimiques .....	32
I.3.4.3. Marqueurs moléculaires .....	32
I.3.5. Etude de la variabilité induite chez les mutants : le TILLING .....	34
<b>CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODES .....</b>	<b>36</b>
II.1. Matériel.....	36
II.1.1. Description des sites expérimentaux.....	36
II.1.1.1. Champs expérimentaux.....	36
II.1.1.2. Laboratoires.....	38
II.1.2. Matériel biologique .....	38
II.2. Méthodes.....	38
II.2.1. Caractérisation agromorphologique des principales variétés de pastèque cultivées au Cameroun .....	38
II.2.1.1. Aménagement des sites .....	38
II.2.1.2. Dispositif expérimental .....	38
II.2.1.3. Semis .....	39
II.2.1.4. Entretien des parcelles.....	39
II.2.1.5. Prise des paramètres.....	39
II.2.2. Détermination des doses létales 50 (DL50) d'irradiation des meilleures variétés de pastèque aux rayons gamma .....	41
II.2.2.1. Matériel végétal utilisé pour l'irradiation.....	41
II.2.2.2. Irradiation des graines .....	42
II.2.2.3. Mise en germination des graines et prise des données.....	42
II.2.3. Etude de l'efficacité de l'irradiation à la dose létale 50 (DL50) sur la population M1 à l'aide des marqueurs morphologiques et biochimiques. ....	43
II.2.3.1. Dispositif d'évaluation .....	43
II.2.3.2. Utilisation des marqueurs agromorphologiques .....	43
II.2.3.3. Utilisation des paramètres biochimiques .....	44
II.2.4. Analyses statistiques .....	48
<b>CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSION.....</b>	<b>49</b>
III.1. Résultats.....	49
III.1.1. Caractérisation agromorphologique des variétés de pastèque.....	49
III.1.1.1. Paramètres morphologiques .....	49

III.1.1.2. Paramètres agronomiques .....	51
III.1.1.3. Corrélations entre les caractères agromorphologiques évalués.....	58
III.1.2. Radiosensibilité et DL50 des variétés de pastèque sélectionnées .....	60
III.1.2.1. Germination des graines .....	60
III.1.2.2. Taille des plantes .....	62
III.1.2.3. Taux de survie .....	63
III.1.2.4. Détermination de la dose létale 50 .....	64
III.1.3. Efficacité de l'irradiation à la DL50 sur la population M1 à l'aide des marqueurs agromorphologiques et biochimiques.....	65
III.1.3.1. Utilisation des marqueurs agromorphologiques.....	66
III.1.3.2. Caractérisation biochimique.....	73
III.2. Discussion.....	77
<b>CHAPITRE IV. CONCLUSION ET PERSPECTIVES .....</b>	<b>85</b>
IV.1. Conclusion.....	85
IV.2. Perspectives .....	87
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>88</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>110</b>

## LISTE DES FIGURES

Fig. 1. Situation botanique de l'espèce <i>Citrullus lanatus</i> .....	6
Fig. 2. Taxonomie de l'espèce <i>Citrullus lanatus</i> .....	7
Fig. 3. Tige et feuille de pastèque .....	8
Fig. 4. Système racinaire de la pastèque.....	9
Fig. 5. Fleurs et fruit de <i>Citrullus lanatus</i> .....	9
Fig. 6. <i>Dacus vertebratus</i> .....	20
Fig. 7. Carte géographique du Cameroun et localisation des sites d'étude .....	36
Fig. 8. Plants de pastèque en pépinière sous la serre.....	37
Fig. 9. Plants de pastèque dans le champ expérimental d'Eloumdeng II .....	37
Fig. 10. Caractéristiques morphologiques des variétés de pastèque utilisées.....	38
Fig. 11. Dispositif expérimental en champ .....	39
Fig. 12. Fruits des variétés de pastèque utilisées .....	41
Fig. 13. Graines de pastèque .....	41
Fig. 14. Dispositif expérimental utilisé en serre .....	42
Fig. 15. Protocole d'extraction des flavonoïdes.....	47
Fig. 16. Valeurs moyennes de la longueur des fruits matures des variétés de pastèque. ....	49
Fig. 17. Valeurs moyennes du diamètre des fruits matures des variétés de pastèque.....	50
Fig. 18. Valeurs moyennes du nombre de fruits par plante des variétés de pastèque.....	51
Fig. 19. Valeurs moyennes du poids des fruits matures des variétés de pastèque. ....	52
Fig. 20. Poids moyen de 100 graines des variétés de pastèque.....	53
Fig. 21. Valeurs moyennes du temps de l'émergence entre les cinq variétés de pastèque.....	54
Fig. 22. Valeurs moyennes du taux de germination des graines des variétés de pastèque.....	55
Fig. 23. Influence de différentes doses d'irradiation gamma sur le taux de germination des deux variétés de pastèque. ....	61
Fig. 24. Effet des différentes doses d'irradiation gamma sur la taille des plantes de deux variétés de pastèque.....	62
Fig. 25. Réduction de la taille des plants M <sub>1</sub> en fonction des doses d'irradiation. ....	63
Fig. 26. Effet des différentes doses de radiation gamma sur le taux de survie des plants chez deux variétés de pastèque. ....	64
Fig. 27. Détermination de la DL50 à partir de la régression linéaire chez la variété Kaolack.....	64
Fig. 28. Détermination de la DL50 à partir de la régression linéaire chez la variété Crimson sweet.....	65

Fig. 29. Effet de l'irradiation aux rayons gamma (200 Gy) sur l'émergence des graines de deux variétés de pastèque Kaolack et Crimson sweet.....	66
Fig. 30. Effet de l'irradiation aux rayons gamma (200 Gy) sur la germination des graines de deux variétés de pastèque.....	67
Fig. 31. Effet de l'irradiation aux rayons gamma (200 Gy) sur l'évolution du nombre de feuilles de deux variétés de pastèque.....	68
Fig. 32. Effet de l'irradiation aux rayons gamma (200 Gy) sur la teneur des feuilles en chlorophylle a+b de deux variétés de pastèque.....	74
Fig. 33. Effet de l'irradiation aux rayons gamma (200 Gy) sur la teneur en caroténoïde de deux variétés de pastèque.....	75
Fig. 34. Effet de l'irradiation aux rayons gamma (200 Gy) sur la teneur en phénols totaux de deux variétés de pastèque.....	76

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau I. Principaux producteurs de pastèque au monde.....	15
Tableau II. Caractéristiques de quelques techniques moléculaires.....	34
Tableau III. Tableau récapitulatif des valeurs moyennes de quelques paramètres morphologiques et agronomiques évalués.....	57
Tableau IV. Matrice de corrélation et coefficients de corrélations de Pearson (r) entre les paramètres agromorphologiques évalués.....	59
Tableau V. Durée de germination des graines après irradiation aux rayons Gamma ( $^{60}\text{Co}$ ) et taux de survie des plantes par rapport au témoin. ....	60
Tableau VI. DL50 Calculées sur la taille des plants des deux variétés de pastèque.....	65
Tableau VII. Effet de l'irradiation aux rayons gamma (DL50) sur certains paramètres agromorphologiques des mutants $M_1$ . ....	69
Tableau VIII. Récapitulatif des valeurs moyennes des paramètres agronomiques évalués sur les variétés de pastèque après le traitement d'irradiation à 200 Gy. ....	72
Tableau IX. Influence du traitement d'irradiation aux rayons gamma (200 Gy) sur la teneur en pigments chlorophylliens chez deux variétés de pastèque.....	73
Tableau X. Teneur en phénols totaux, en flavonoïdes et en protéines solubles dans les feuilles de deux variétés de pastèque.....	77



## LISTE DES ABREVIATIONS

ADN	: Acide Désoxyribonucléique
AIEA	: Agence Internationale de l'Energie Atomique
ALT	: Alanine Aminotransférase
APG	: Angiosperm Phylogeny Group
AST	: Aspartate Amino-Transférase
CMV	: <i>Cucumber mosaic virus</i>
Co60	: Cobalt 60
DL50	: Dose Létale 50
EMS	: Ethyle-Méthane Sulfonate
FAO	: Food and Agriculture Organisation of the United Nation
Gy	: Gray
IRAD	: Institut de Recherche Agricole pour le Développement
JAS	: Jours Après Semis
OGM	: Organismes Génétiquement Modifiés
SAS	: Semaines Après Semis
TB	: Total Bilirubine
TILLING	: Targeting Induced Local Lesions in Genomes
UDCA	: Urso Deoxy Colic Acide
UE	: Union Européenne
UGAP	: Unité de Génétique et Amélioration des Plantes
UV	: Ultraviolet light
WMV	: Watermelon mosaic virus
ZYMV	: Zucchini yellow mosaic virus

## RESUME

La pastèque (*Citrullus lanatus* Thunb.) est un légume fruit originaire d'Afrique centrale et du désert du Kalahari. Elle est adaptée aux régions tropicales, subtropicales et les déserts arides où ses fruits riches en eau, en nutriments et en substances phytochimiques avec des propriétés thérapeutiques sont prisés par les populations. En dépit de ces avantages, la pastèque est caractérisée par une extrême sensibilité aux parasites et aux aléas climatiques. Au Cameroun, la pastèque fait l'objet d'un système de production intensif exigeant beaucoup d'intrants chimiques menaçant ainsi le caractère durable de sa culture. Un désir d'amélioration s'impose donc aux phytogénéticiens et l'amélioration génétique par mutagenèse induite apparaît comme une méthode alternative envisageable. L'objectif de cette thèse est de contribuer à l'amélioration génétique de la pastèque aux moyens de la mutagenèse induite aux rayons gamma. Dans un premier temps, dix paramètres agromorphologiques ont été choisis pour évaluer cinq variétés de pastèque sélectionnées sur le marché camerounais afin de déterminer leurs performances agromorphologiques. Ensuite, la radiosensibilité aux rayons gamma de deux variétés les plus performantes a été évaluée en serre, pour cela les graines ont été irradiées à plusieurs doses d'irradiation (0, 100, 200, 300, 400 et 600 Gy) et la DL50 de chaque variété a été déterminée à partir la régression linéaire basée sur les paramètres de croissance. Enfin, l'efficacité de la DL50 sur la première génération des mutants M1 a été étudiée en champ aux moyens des marqueurs agromorphologiques et biochimiques.

Les résultats de la caractérisation agromorphologique montrent que seuls quatre des caractères quantitatifs évalués (longueur de fruit, diamètre du fruit, poids du fruit mature et le poids de 100 graines) permettent de distinguer complètement les cinq variétés tandis que les autres paramètres n'ont permis qu'une distinction partielle. Le résultat sur la formes des graines donne pour chaque variété un ratio longueur/hauteur inférieur à un ( $L/H < 1$ ) ce qui permet de dire que les cinq variétés évaluées dans cette étude ont des graines allongées. Par ailleurs, pour ce qui est de la durée du cycle, la variété Kaolack s'est montrée précoce avec un délai de 80 jours après semis (JAS) et la variété Sugar baby était plus tardive avec un délai de 110 JAS. Toutes les variétés ont montré un taux de levée relativement élevé (61,11 % à 90,71 %). Cependant, les variétés Kaolack et Crimson sweet avaient les taux les plus élevés 90,71 % et 89,81 % respectivement. L'évaluation des paramètres a montré que ces variétés Kaolack et Crimson sweet sont des variétés élites car elles ont montré les meilleurs performances agromorphologiques (nombre moyen de fruits par plante 3,55 et 3,32 supérieur aux autres).

Une corrélation positive et hautement significative a été notée respectivement entre la longueur du fruit et poids du fruit mature ( $r = 0,957^{**}$ ), puis entre le temps de floraison et le temps de maturité ( $r = 0,960^{**}$ ).

L'étude de la radiosensibilité a montré que les deux variétés élites Kaolack et Crimson sweet sont parfaitement sensibles au traitement mutagène au moyen des rayons gamma. Elle a permis de déterminer pour la variété Kaolack une DL50 de 225,40 Gy et pour la variété Crimson sweet une DL50 de 221,56 Gy. Pour ces deux variétés, la DL50 est comprise entre 200 et 250 Gy.

L'analyse de l'efficacité de la DL50 de 200 Gy sur la première génération des mutants M1 aux moyens des marqueurs morphologiques et biochimiques a révélé un effet significatif sur ces paramètres. Les paramètres tels que l'émergence, le taux de levée, le nombre de feuilles par plante, le nombre de fleurs par plante ont connu une baisse significative comparée au témoin tandis que le temps de floraison ainsi que la durée du cycle ont connu une augmentation significative. La variété Kaolack a présenté une réduction de manière significative du nombre de fruits par plante en moyenne 3,88 pour le témoin et 2,99 pour le lot traité. La variété Crimson sweet a fleuri mais le lot ayant reçu le traitement d'irradiation à la DL50 de 200 Gy n'a produit aucun fruit. La teneur des feuilles en chlorophylle totale (a+b) chez la variété Kaolack a été significativement élevée dans le lot irradié (40,4 µg/ml) par rapport au témoin (39 µg/ml) tandis que la variété Crimson sweet présentait plutôt une baisse significative de la teneur en chlorophylle totale sur le lot irradié (34,1 µg/ml) par rapport au témoin (39 µg/ml). Les résultats obtenus montrent une variabilité des paramètres évalués suite à l'induction de la mutagenèse. Ces résultats permettent ainsi de poser les bases stratégiques de l'amélioration de la pastèque (*C. lanatus*) grâce à la radio-mutagenèse face aux contraintes biotiques et abiotiques au Cameroun.

**Mots clés :** *Citrullus lanatus*, DL50, mutagenèse induite, radiosensibilité, rayons gamma

## ABSTRACT

Watermelon (*Citrullus lanatus* Thunb.) is a vegetable fruit native to Central Africa and the Kalahari Desert. It is adapted to tropical and subtropical regions and arid deserts where its fruit is reputed to be rich in water, nutrients and phytochemicals with therapeutic properties and is cherished by the populations. Despite these advantages, watermelon is characterized by extreme sensitivity to parasites and climatic hazards. In Cameroon, watermelon is subject to an intensive production system requiring much chemical inputs, thus threatening the sustainability of its production system. A desire for improvement is therefore imposed on plant breeders and genetic improvement by induced mutagenesis appears to be an alternative method. The objective of this thesis was to set the basis of genetic improvement of watermelon by means of induced mutagenesis with gamma rays. Initially, ten agromorphological parameters were chosen to evaluate five watermelon varieties selected on the Cameroonian market in order to determine their agromorphological performances. Then the radiosensitivity to gamma rays of two of the most performant varieties was evaluated in the greenhouse, for this purpose the seeds were irradiated at several irradiation doses (0, 100, 200, 300, 400 and 600 Gy) and the LD50 of each variety was evaluated using a linear regression analysis based on the growth parameters. Finally, the efficiency of LD50 on the first generation of M1 mutants was studied in the field using agromorphological and biochemical markers.

The results of the agromorphological characterization showed that only four of the quantitative characteristics evaluated (Fruit Length, Diameter of fruits, Weight of the mature fruit and Weight of 100 seeds) allowed complete distinction between the five varieties, while the other parameters only allowed partial distinction. The result on seed shape gives for each variety a Length/Height (L/H) ratio of less than one, which allows to say that the five varieties evaluated in this study have elongated seeds. On the other hand, with regard to the maturation time, the Kaolack variety was early with a delay of 80 days after sowing (DAS) and the Sugar baby variety was late with a delay of 110 DAS. All varieties showed a relatively high emergence rate (61.11 % to 90.71 %). However, Kaolack and Crimson sweet had the highest rates of 90.71 % and 89.81 % respectively. The evaluation of the parameters showed that these Kaolack and Crimson sweet varieties are elite varieties as they showed the best agromorphological performance (average number of fruits per plant 3.55 and 3.32 higher than the others). A positive and highly significant correlation was noted respectively between fruit length and weight of the fruit ( $r = 0.957^{**}$ ), and between flowering time and ripening time ( $r = 0.960^{**}$ ).

The study of radiosensitivity showed that the two elite varieties Kaolack and Crimson sweet are perfectly sensitive to mutagenic treatment by means of gamma rays. It allowed the determination of LD50 of 225.40 Gy for the Kaolack variety and for the Crimson variety a LD50 of 221.56 Gy. For these two varieties, the LD50 is between 200 and 250 Gy.

The analysis of the efficiency of the LD50 of 200 Gy on the first generation of M1 mutants by means of agromorphological and biochemical markers revealed a significant effect on these parameters. Parameters such as seed emergence, emergence rate, number of leaves per plant and number of flowers per plant significantly decreased compared to the control, while flowering time and fruit ripening time increased significantly. The Kaolack variety showed a significant reduction in the number of fruits per plant with an average of 3.88 for the control and 2.99 for the treated lot. The Crimson sweet variety flowered but the lot that received the irradiation treatment with the LD50 of 200 Gy did not produce any fruit. The total chlorophyll (a+b) content of the leaves of the Kaolack variety was significantly higher in the irradiated lot (40.4 µg/ml) compared to the control (39 µg/ml) while the Crimson sweet variety showed a significant decrease in total chlorophyll content in the irradiated lot (34.1 µg/ml) compared to the control (39 µg/ml). The results obtained show a variability in the parameters evaluated following the induction of mutagenesis. These results thus allow to lay the strategic basis for the improvement of watermelon (*C. lanatus*) faced with biotic and abiotic constraints thanks to radio-mutagenesis in Cameroon.

Keywords: *Citrullus lanatus*, radiosensitivity, LD50, induced mutagenesis, gamma rays.

# **INTRODUCTION**

Aucun progrès durable, dans quelque domaine que ce soit, n'est à espérer des sociétés humaines, tant que celles-ci ne jouiront pas d'une disponibilité alimentaire suffisante, en quantité et en qualité, pour assurer leur bon état nutritionnel (Zoro Bi et *al.*, 2003). Le développement de l'agriculture des pays africains est axé sur les cultures de rentes (café, cacao, coton, etc.). Cette politique a eu pour conséquence la négligence des variétés traditionnelles et des plantes alimentaires mineures. C'est le cas des Cucurbitacées dont les plus répandues sont : *Citrullus lanatus*, *Cucumeropsis mannii* et *Lagenaria siceraria* (Zoro Bi et *al.*, 2003).

L'espèce *Citrullus lanatus* (Thunb.) communément appelée pastèque ou melon d'eau est un légume fruit, herbacé appartenant à la famille des Cucurbitacées (Schippers, 2000). Cette famille est connue pour sa grande diversité génétique (Zaini et *al.*, 2011) et sa grande adaptation aux régions tropicales, subtropicales et les déserts arides (Giwa et *al.*, 2010). Mallick et Masui (1986), Esquinas-Alcazar et Gulick (1983) ont proposé l'Afrique centrale et le désert du Kalahari comme le centre d'origine de la pastèque cultivée. Celle-ci est l'une des plus importantes cultures fruitières nationales et mondiales qui occupe environ 7 % de la superficie mondiale consacrée à la production des fruits et des légumes (Guo et *al.*, 2012). Elle est une plante annuelle monoïque et / ou andro-monoïque (Boualem et *al.*, 2016). Son fruit a une écorce épaisse (exocarpe) qui a une pigmentation variable avec un aspect solide et parfois rayé, un mésocarpe charnu et un endocarpe dont la couleur varie du blanc au jaune ou au rouge (Bahari et *al.*, 2012; Munisse et *al.*, 2013).

De nos jours, l'Asie reste le plus grand producteur de pastèque avec plus de 80 % de la production mondiale. La Chine est le premier producteur avec 67,6 % dans le monde. L'Afrique, l'Europe et l'Amérique du Nord ont une production similaire, environ 3 à 4 millions de tonnes par an. En 2017, la superficie de terre réservée à sa production en Afrique représentait environ 5,4 % de la superficie totale consacrée à la production des légumes fruits, contribuant ainsi à 5 % à la production mondiale. L'Algérie reste le premier producteur sur le continent (1,87 million tonnes par an), sixième sur le plan mondial, contribuant à environ 1,6 % de la production mondiale, suivie de l'Égypte (1,7 million de tonnes par an), huitième au monde. Actuellement, l'Afrique dans son ensemble est le troisième producteur de pastèque dans le monde (Anonyme, 2019).

D'après la FAO, la production de la pastèque en 2013 au Cameroun se situait à environ 28 000 t par an, loin derrière le Sénégal et le Soudan dont les productions étaient respectivement de 224 000 t et de 143 000 t (Anonyme, 2013). Comme dans plusieurs pays des régions chaudes, le prix de la pastèque sur le marché camerounais varie de 500 FCFA à

3000 FCFA par fruit (Environ 0,8 à 4,6 €) ce qui représente une voie de diversification pour améliorer le revenu des paysans, voire booster le développement économique des populations (Azo'o et *al.*, 2010).

Composé à 92 % d'eau environ, avec des propriétés hydratantes, la pastèque a un goût rafraîchissant qui désaltère. Elle est surtout réputée pour être riche en composés phytochimiques tels que les flavonoïdes, les tannins, les substances anti-inflammatoires, antivirales et antioxydantes (Johnson et *al.*, 2012). Le lycopène, les vitamines A, B6, C, les caroténoïdes sont également des nutriments retrouvés dans la pastèque (Maoto et *al.*, 2019). Elle contient de grandes quantités de  $\beta$ -carotène, un précurseur de la vitamine A (Leskovar et *al.*, 2004; Naz et *al.*, 2014). Le lycopène composé phytochimique, est un intermédiaire important dans la biosynthèse de nombreux caroténoïdes, dont le  $\beta$ -carotène, responsable de la pigmentation jaune, orange ou rouge du fruit. L'émulsion obtenue à partir de l'extrait aqueux des graines de pastèque est utilisée pour soigner les infections catarrhales, les troubles intestinaux, les infections des voies urinaires et la fièvre (Taiwo et *al.*, 2008). Le fruit est utilisé comme source d'eau potable pendant les saisons de sécheresse dans certaines parties du Soudan et du Nigéria (Ayodele et Shittu, 2013). Son fruit est efficace pour réduire le cancer, les troubles cardiovasculaires, le diabète, la pression du sang et l'obésité (Edwards et *al.*, 2003; Lum et *al.*, 2019). Une évaluation quantitative indique que la pastèque contient 46 % de calories, 20 % de vitamines C et 17 % de vitamine A et contient plus de lycopène que la tomate (Biswas et *al.*, 2017). Le lycopène est utile dans la production du colorant alimentaire (enregistré comme E160d) et approuvé pour une utilisation aux États-Unis, en Australie et dans l'Union Européenne en raison de sa couleur forte et sa non-toxicité (Naz et *al.*, 2014). La pastèque est également riche en citrulline, un précurseur efficace de la L-arginine (Guoyao et *al.*, 1992). Du lait végétal peut être extrait de ses graines, ce qui peut remplacer ou compléter le lait de vache ou de soja et pourrait également répondre aux besoins des végétariens (Enzonga et *al.*, 2011).

Malgré ses multiples utilisations, son apport nutritionnel, ses propriétés thérapeutiques et sa valeur financière, la pastèque fait face à plusieurs problèmes.

La plante supporte mal le déficit hydrique et requiert autant que les autres cucurbites, des niveaux d'eau élevés pour une croissance végétative et reproductrice vigoureuse. Même dans les zones où les précipitations sont abondantes, des sécheresses périodiques réduisent considérablement les rendements et l'irrigation peut être nécessaire (McDonald et Copeland, 1997). Le caractère exigeant en eau expose la culture au stress hydrique surtout dans un contexte de changement climatique, impactant ainsi les rendements des cultures. Le déficit



hydrique est l'un des facteurs environnementaux les plus importants qui limite la croissance et la productivité des plantes (Boyer, 1982). L'amélioration génétique de la tolérance au stress hydrique chez les plantes constitue donc un défi urgent pour l'avenir de l'agriculture (Khush, 1999).

Les cucurbitées africaines en général demeurent des cultures mineures sujettes aux attaques des ravageurs et aux maladies qui réduisent leur rendement de 40-70 % (Fondio et al., 2000 ; Vodouhé et al., 2000). C'est ainsi que la pastèque est très sensible aux attaques biotiques et les fruits pourrissent à la moindre attaque. Un ravageur redoutable des Cucurbitacées, la mouche *Dacus vertebratus* prolifère particulièrement sur la pastèque et donc la simple pique entraîne le pourrissement des fruits (Hanecock, 1989). Ces insectes ravageurs associés aux nématodes cécidogènes attaquent la pastèque et peuvent entraîner les pertes pouvant atteindre 50 % du rendement (Maynard, 2001).

Il est estimé que la production alimentaire mondiale devrait au moins doubler d'ici 2050 afin de répondre aux besoins d'une population en croissance continue (Anonyme, 2009; Tester et Langridge, 2010; Ray et al., 2013). Ainsi l'augmentation de la population urbaine surtout dans les pays en voie de développement comme le Cameroun entraîne plusieurs défis, entre autres la sécurité alimentaire, la création d'emploi et la génération de revenus (Kanda et al., 2013 ; Mondedji et al., 2015 ; Muliele et al., 2017). En vue de relever ces défis, les cultivateurs recourent à l'agriculture urbaine et périurbaine, notamment le maraîchage (Mawussi et al., 2014 ; Muliele et al., 2017). Ces cultures maraîchères et surtout celle de la pastèque sont très exigeantes en fertilisants et en pesticides pouvant impacter négativement l'environnement et la santé humaine.

Au Cameroun la pastèque fait l'objet d'un système de production intensif dans l'agriculture urbaine et périurbaine (Ngeugang, 2008). Ces processus intensifs de production font peser des risques parfois trop forts sur les milieux, sur la biodiversité et sur la santé humaine menaçant ainsi le caractère durable de sa culture. Un désir d'amélioration s'impose donc aux phytogénéticiens pour concilier les impératifs de production quantitative et qualitative à la sécurité sanitaire, à la robustesse des changements climatiques et à l'équilibre écologique.

L'amélioration génétique des cultures est une composante cruciale des efforts visant à assurer la sécurité alimentaire mondiale et la nutrition (Ronald, 2011). Cependant, malgré l'importance de la pastèque, des recherches insuffisantes ont été effectuées jusqu'ici dans l'amélioration des systèmes de production en Afrique par rapport aux céréales et aux légumineuses (Kuvare, 2005 ; Davis et al., 2008). Cette faible amélioration serait due à un

manque de variabilité génétique capable de provoquer des différences dans le rendement en fruits (Gusmini et Wehner, 2005). La disponibilité d'une variabilité génétique héréditaire est une condition préalable à l'amélioration génétique des cultures. Lorsqu'une variabilité génétique suffisante n'existe pas naturellement, elle peut être créée par des processus aléatoires ou ciblés.

La mutagenèse induite apparaît donc aujourd'hui au côté de l'hybridation comme une méthode alternative de création de la variabilité génétique et de nouvelles variétés de plantes. Il s'agit d'un changement brusque et héritable qui se traduit dans l'ADN et qui n'est pas causé par une ségrégation ou par une recombinaison génétique. Elle peut être soit spontanée ou induite par des agents mutagènes (Roychowdhury et Tah, 2013). Parmi les différents agents mutagènes, les rayons gamma sont couramment utilisés dans les programmes d'amélioration par mutagenèse induite pour induire des mutations dans diverses espèces végétales en raison de leur disponibilité facile, leur simple application, leur bonne pénétration et leur grande fréquence de mutation (Mba et *al.*, 2012). D'autre part les rayons gamma sont les plus sollicités dans la mutagenèse induite en raison de leur degré d'énergie élevé, la longueur d'onde courte et leurs radiations très pénétrantes (Van Harten, 1998). Dans les années 1934-1938, Tollenar a amélioré par mutagenèse induite aux rayons gamma la première variété commerciale de tabac appelée « Chlorina » et donc la sortie a été effectuée en Indonésie (Kharkwal et *al.*, 2017). De nos jours il existe environ 3 222 variétés mutantes qui sont créés et commercialisés selon les données de l'AIEA. Les plus grands pays producteurs ainsi que leur nombre sont la Chine (810), le Japon (481) et l'Inde (330). Selon ces données, le taux de culture des mutants le plus élevé se situe sur le continent asiatique (Anonyme, 2018). Ainsi, plus de 60 % des cultivars mutants ont été produits par des rayons gamma (Bado et *al.*, 2015).

Les questions de recherches qui suscitent l'engouement de la présente étude centrée sur le potentiel mutagène bénéfique des rayons gamma dans l'amélioration génétique de la pastèque sont :

- Quels sont les caractéristiques agromorphologiques des principales variétés de pastèque cultivées au Cameroun ?
- Quel est le degré de sensibilité aux rayons gamma de ces variétés de pastèque?
- Quels sont les effets mutagènes des rayons gamma sur la croissance et le métabolisme des plantes de pastèque?

Les hypothèses de recherche formulées autour de ces questions sont les suivantes :

- les variétés de pastèque cultivées au Cameroun ont des caractéristiques agromorphologiques différentes ;

- ces variétés sont sensibles aux effets mutagènes des rayons gamma ;
- les rayons gamma possèdent des propriétés mutagènes bénéfiques sur la croissance et le métabolisme des plantes de pastèque.

Les changements climatiques, l'émergence de nouvelles maladies, l'évolution de la mécanisation, sont autant de facteurs qui font de la sélection des variétés des cultures stratégiques, un domaine en perpétuelle évolution.

Ce travail a pour objectif général de contribuer à l'amélioration génétique de la pastèque grâce à l'utilisation de la mutagenèse induite aux rayons gamma.

Plus spécifiquement, cette étude vise à :

- caractériser les principales variétés de pastèque cultivées au Cameroun sur la base des paramètres agromorphologiques ;
- déterminer les doses létales 50 (DL50) d'irradiation des meilleures variétés de pastèque aux rayons gamma ;
- étudier l'efficacité de l'irradiation à la dose optimale ou dose létale 50 (DL50) sur les mutants de la génération  $M_1$  à l'aide des marqueurs morphologiques et biochimiques.

**CHAPITRE I. REVUE DE LA  
LITTÉRATURE**

## I.1. Généralités sur la pastèque

### I.1.1. Situation botanique de la pastèque

#### I.1.1.1. Famille des Cucurbitaceae

La famille des Cucurbitacées est une famille des plantes Dicotylédones qui comprend environ 640 espèces réparties en 120 genres (Watson et Dallwin, 1992). Cette famille est connue pour sa grande diversité génétique (Zaini et *al.*, 2011) et sa grande adaptation aux régions tropicales, subtropicales et les déserts arides (Giwa et *al.*, 2010). En région tempérée, cette famille est connue particulièrement par ses fruits comestibles: les courges (*Cucurbita*), les melons (*Cucumis melo*), les concombres (*Cucumis sativus*), les pastèques (*Citrullus lanatus*) (Robinson et Decker-Walters, 1999).

#### I.1.1.2. Genre *Citrullus*

Le genre *Citrullus* fait partie de la famille des Cucurbitacées et comprend deux sous-familles: les *Zanonioideae* et les *Cucurbitoidaeae*. La sous-famille des *Cucurbitoidaeae* est subdivisée en quatre tribus: les *Benincaseae*, les *Bryonieae*, les *Cucurbiteae* et les *Melothrieae*. La tribu des *Cucurbiteae* comporte quatre genres dont les genres *Citrullus*. Ce genre contient cinq espèces: *C. colocynthis*, *C. ecirrhosus*, *C. fistulosus*, *C. lanatus* et *C. naudinianus* (Emberger, 1960; Schaefer et Renner, 2011). Un aperçu global sur l'organisation actuelle de la famille des Cucurbitacées et permettant de localiser l'espèce *Citrullus lanatus* est illustré ci-dessous (Fig.1).

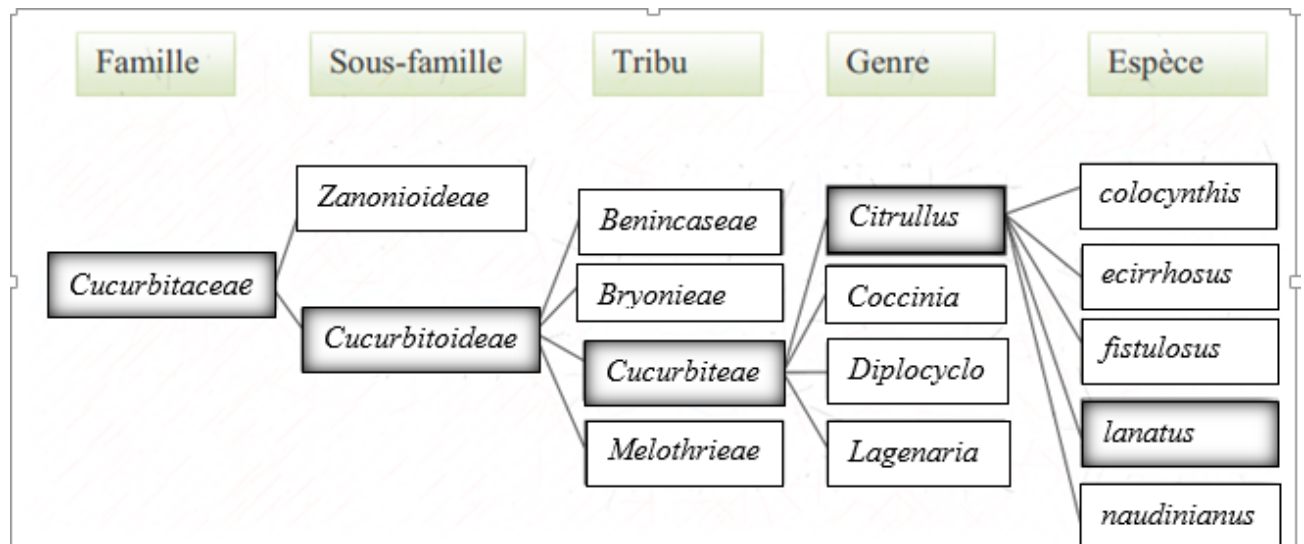


Fig. 1. Situation botanique de l'espèce *Citrullus lanatus* (Schaefer et Renner, 2011).

### I.1.1.3. Espèce *Citrullus lanatus*

La pastèque ou melon d'eau (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. et Nakai) est une plante diploïde avec  $2n=22$  chromosomes et un génome relativement petit d'environ  $4,2 \times 10^8$  bp (Arumuganathan et Earle, 1991). Cette espèce appartient à la famille des *Cucurbitaceae*, à la sous-famille des *Cucurbitoidae*, à la tribu des *Cucurbiteae* et au genre *Citrullus* (Fig.1) (Schaefer et Renner, 2011).

### I.1.2. Taxonomie

La pastèque est une phanérogame angiosperme. Selon les classifications classiques pré-moléculaires (Cronquist, 1988), les *Cucurbitaceae* sont des dicotylédones appartenant à l'ordre des *Violales*. Parmi les classifications basées essentiellement sur des critères morphologiques et anatomiques, celle de Cronquist est la plus utilisée. En 1998, un groupe de chercheurs (Angiosperm Phylogeny Group, APG) élabore un nouveau système de classification basé sur des critères phylogénétiques. Cette classification a été révisée à deux reprises « APG II » en 2003 et « APG III » en 2009. Cette classification de la pastèque est résumée dans la figure 2 suivante :

<b>Règne</b>	Végétale
<b>Sous règne</b>	Plantes vasculaires
<b>Super division</b>	Spermaphytes
<b>Division</b>	Angiospermes
<b>Classe</b>	Dicotylédones
<b>Sous classe</b>	Dialypétales
<b>Ordre</b>	Violales
<b>Famille</b>	Cucurbitaceae
<b>Genre</b>	<i>Citrullus</i>
<b>Espèce</b>	<i>C.lanatus</i>

Fig. 2. Taxonomie de l'espèce *Citrullus lanatus*

### I.1.3. Origine et domestication de la pastèque

Le centre d'origine de la pastèque cultivée est l'Afrique centrale et le désert du Kalahari (Mallick et Masui, 1986 ; Esquinas-Alcazar et Gulick, 1983). Elle peut avoir été domestiquée en Egypte et en Asie occidentale autour de 2000 ans avant J.C, et a été connue très tôt dans l'Asie centrale (Pitrat et *al.*, 1999). Le Hindustan, une zone englobant l'Inde, le Népal, la Birmanie, le Pakistan et la Thaïlande a également été proposée comme un centre de domestication de cette culture (Zeven et De Wet, 1982).

La pastèque est cultivée aujourd'hui à grande échelle notamment en Afrique Occidentale. Ces fruits sont issus des variétés à chair jaune ultérieurement sélectionnées en Ukraine et en Iran pour obtenir des fruits sucrés, souvent à chair rouge (Schippers, 2004).

#### **I.1.4. Biologie et morphologie**

La pastèque, *Citrullus lanatus* est une plante lianoïde pouvant s'étendre sur plusieurs mètres. Elle croît surtout dans les prairies et les broussailles en Afrique. C'est une plante herbacée monoïque, annuelle, rampante ou grimpante, atteignant (4–10) m de long, qui s'accroche par des vrilles simples ; racines superficielles avec une racine pivotante et de nombreuses racines latérales.

##### **I.1.4.1. Tige et Feuilles**

Les tiges sont rampantes minces, poilus angulaires et peuvent dépasser trois mètres de long. Les feuilles de forme généralement triangulaire, sont très découpées, avec des lobes arrondis, profondément incisés mais aux sinus également arrondis. Ces tiges grêles et herbacées portent des vrilles bifides qui permettent à la plante de s'accrocher et de grimper sur des supports variés et supportent des feuilles longues de 6 à 20 cm pourvues d'un limbe ovale à allongé. Ces feuilles sont profondément palmées-lobées, pourvues de longs poils sous leurs nervures (Fig. 3) (Boullard, 2001).

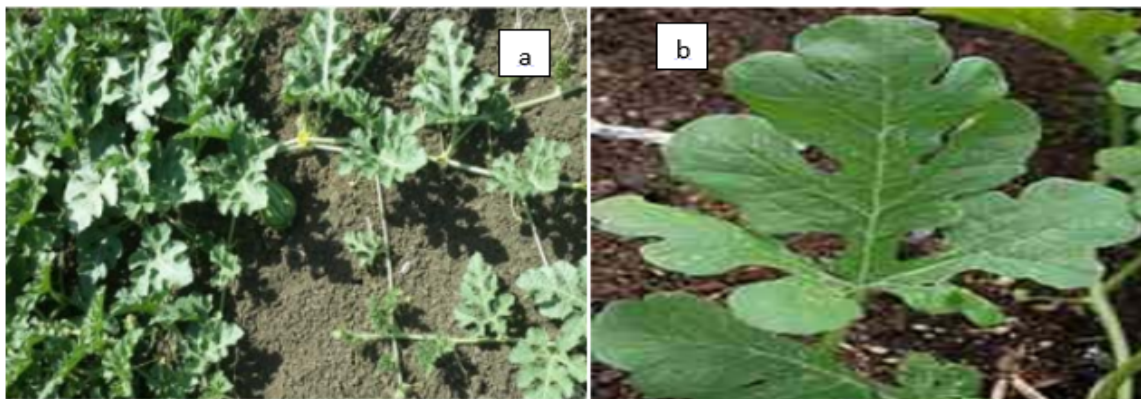


Fig. 3. Tige et feuille de pastèque. (a : tige b : feuille) (Boullard, 2001).

##### **I.1.4.2. Racine**

Le système racinaire de la pastèque est un système semi-pivotant profond et fibreux qui peut s'étendre jusqu'à plusieurs mètres sous la surface du sol (Condon et Hall, 1997). Selon l'importance de la racine principale par rapport aux ramifications, la pastèque possède des racines pivots (racine principale et racine secondaire), ces racines sont étendues, mais peu profondes. La racine principale a une longueur et un diamètre plus importants que les ramifications, elle est caractéristique des Angiospermes dicotylédones (Fig. 4). La pastèque

sauvage a un bon enracinement, une densité et une conductance hydraulique qui permettent de maintenir l'absorption d'eau (Smith, 2006).

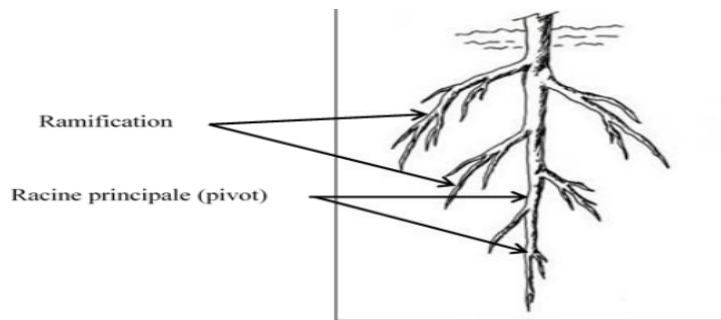


Fig. 4. Système racinaire de la pastèque (pivotante).

#### I.1.4.3. Fleurs et fruits

Les fleurs solitaires à l'aisselle des feuilles sont unisexuées. Les fleurs mâles et femelles poussent sur la même plante. Les fleurs mâles se trouvent en grappes et apparaissent avant les fleurs femelles. Les deux types de fleurs ont des pétales jaunes, au nombre de cinq, et des sépales, également au nombre de cinq et de couleur verdâtre (Fig. 5). Des fleurs hermaphrodites occasionnelles peuvent être produites. Les fleurs mâles ont une corolle jaune, longue de 7 à 15 mm et sont pédonculées. L'ovaire infère des fleurs femelles est à l'origine d'un fruit bacciforme appelé péponide de dimensions extrêmement variables (9 à 70 cm) et pouvant peser entre 500 à 1 475 g, certaines variétés peuvent peser de 3 à 4 kg (*Sugar Baby*) jusqu'à 15 kg (*Yellow Belly*) (Irié et al., 2003).

Les fruits de la plupart des variétés sont globuleux avec des rainures peu profondes d'environ 14–20 cm de long, la peau est jaune verdâtre (Fig. 5). La chair est presque blanche / jaune clair ou rouge. Ces fruits renferment des petites graines, blanches et brunes, de couleur marron clair et mesurant entre 0,4 et 1,1 cm de long et 0,2 à 0,3 cm de large (Jain et al., 2013).

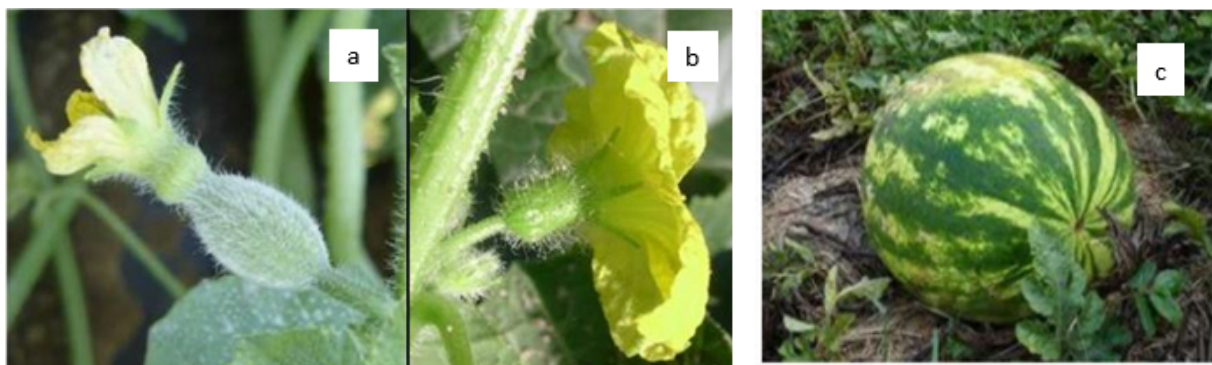


Fig. 5. Fleurs et fruit de *Citrullus lanatus*. : a = fleur femelle b = fleur mâle c = fruit mur (Jain et al., 2013)



### **I.1.5. Agronomie**

Les pratiques agronomiques pour la production de la pastèque ne sont pas très élucidées dans la littérature. Cependant, les données sont disponibles pour les cucurbites en général.

#### **I.1.5.1. Semis et développement**

Les semis de pastèque se font de mars à avril. Cependant, dans les zones tempérées, le planting est retardé jusqu'à ce que le danger de gelée soit écarté (McDonald et Copeland, 1997). Dans les régions fraîches, il est préférable de planter des cucurbites en octobre (si possible de septembre à décembre). Le semis direct à l'aide de poquets dans des rangées distantes de 91-122 cm est conseillé (McDonald et Copeland, 1997).

Des taux de semis de 2 à 3 kg. ha<sup>-1</sup> pour les courges et de 4 à 6 kg. ha<sup>-1</sup> pour les pastèques et les citrouilles sont courants (Smith, 2006). De façon conventionnelle, la densité optimale de semis pour la pastèque est estimée à 6 000 à 9 000 plantes ha<sup>-1</sup> (Coertze, 1996). Le semis direct est habituellement effectué à raison de deux à trois graines par poquet, puis les plantes sont démarquées au besoin en une plante après la levée. Les graines peuvent être cultivées dans des plateaux de semis, bien que cette pratique ne soit pas courante (McDonald et Copeland, 1997).

La germination des graines nécessite une température de 20 °C minimum et de l'humidité, elle se fait, la plupart du temps en serre. Les plants sont transplantés après environ quatre semaines dans une terre drainée, meuble, profonde et bien éclairée, avec une température optimale de sol de 20 à 35 °C pour le développement des racines. La floraison de la pastèque et le développement des fruits sont favorisés par une forte intensité lumineuse et une haute température. La durée du cycle végétatif total est comprise entre 80 à 110 jours selon le climat, avec une période végétative de 20 à 25 jours pour le développement des rameaux, une période de floraison de 15 à 20 jours, une période de formation de fruits (remplissage) de 20 à 30 jours, et enfin une période de murissement de 15 à 20 jours.

#### **I.1.5.2. Fertilisation**

Comme toutes les cultures, l'utilisation d'engrais permet d'améliorer les rendements chez la pastèque. Il est difficile de formuler une recommandation de fertilisation spécifique en raison de la diversité des sols sur lesquels la culture de la pastèque se développe avec succès. Cependant, l'utilisation d'un engrais composé 15:15:15 (N.P.K.) au taux de 200 kg. ha<sup>-1</sup> est nécessaire et doit être appliqué avant le semis (Schippers, 2000). Une croissance optimale nécessite des sols riches en matière organique et d'un pH de 6,5 ou plus. La matière organique

est souvent fournie par des cultures d'engrais verts qui sont transformées avant d'être mures et de devenir ligneuses. La saturation en acide ne doit pas dépasser 1 %, dans le cas contraire un chaulage sera nécessaire pour éviter la toxicité de l'aluminium (Smith, 2006).

#### **I.1.5.3. Entretien des cultures**

Les travaux d'entretien de la culture de pastèque en plein champ se limitent à 2 ou 3 binages-sarclages et un peu de désherbage manuelle. Ces soins culturaux sont nécessaires jusqu'à ce que le feuillage des plantes recouvre entièrement le sol et par conséquent étouffent, partiellement, la concurrence des autres herbes.

Le paillage est aussi une technique d'entretien qui implique le placement des matières organiques ou inorganiques à la surface du sol pour fournir un environnement plus favorable à la croissance et au développement des plantes (Aguyoh et *al.*, 2006). Les paillis peuvent modifier la température du sol et conditionner l'humidité qui peut affecter la croissance et le développement des cultures (Ramakrishna et *al.*, 2006; Debashis et *al.*, 2008). L'utilisation du paillis en plastique (matériaux inorganiques) a été largement effectuée sur les melons et les pastèques avec des résultats bénéfiques, mais il n'y a aucun rapport sur le paillage organique.

#### **I.1.5.4. Irrigation**

L'irrigation par sillons est préférable, mais lorsque l'irrigation par aspersion est utilisée, elle devrait être appliquée tôt le matin pour permettre aux plantes de se dessécher avant la tombée de la nuit et ainsi minimiser les maladies foliaires et la pourriture des fruits (Smith, 2006). Un stress hydrique moyen peut être toléré au début de la croissance végétative mais peut être préjudiciable au rendement en fruits pendant la période de floraison et de fructification.

La sensibilité à la sécheresse augmente à la fin de la période végétative lorsque les plantes porteront des fleurs et des fruits. Une énorme perte de fruits résulte de la sécheresse au stade de la floraison. Le stress hydrique lors de la maturation peut rendre la chair plus fibreuse et moins savoureuse (Whitmore, 2008).

#### **I.1.5.5. Récolte et stockage**

Contrairement à d'autres Cucurbitacées, telles que les courges et les courgettes donc les fruits sont récoltés lorsqu'ils sont immatures, les pastèques et autres melons sont récoltés lorsque les fruits sont complètement mûrs 120 à 130 jours après semis (Coertze, 1996; Smith, 2006). Comme c'est le cas avec d'autres Cucurbitacées, la citrouille par exemple, la maturité des fruits de la pastèque est caractérisée par le jaunissement de la tache blanche située sur le

bas du fruit en contact avec le sol, le flétrissement de la vrille située sur le point de rattachement du fruit sur la tige ainsi qu'un son sourd du fruit lorsqu'on tapote (frappe avec une main à plat sur le côté du fruit) (Maynard, 2007; Anonyme, 2008).

Il a été démontré que les fruits de pastèque pouvaient être stockés pendant 7 et 14 jours à 20 °C et à 85 % d'humidité relative (Radulovic *et al.*, 2007). Néanmoins, ils ont noté des modifications des paramètres de qualité pendant le stockage et une corrélation positive entre la perte de poids et la diminution des sucres réductibles était hautement significative. Au cours de la deuxième semaine de stockage, les principaux changements concernaient les propriétés physiques de la pastèque. Des changements dans la teneur de certains composés chimiques ont été observés dans les fruits pendant le stockage. Une augmentation de 11 à 40 % de lycopène et de 50 à 139 % de  $\beta$ -carotène dans les pastèques conservées à 21 °C, tandis que la teneur en caroténoïdes variait très peu dans les fruits conservés à 13 °C, ce qui indique que la biosynthèse des caroténoïdes dans les pastèques est affectée par la température (Perkins-Veazie et Collins, 2006).

#### **I.1.6. Composition chimique de la pastèque**

Composé à 92 % d'eau, avec des propriétés hydratantes, la pastèque ou melon d'eau est pauvre en matières grasses et ne contient pas de cholestérol. Les principales composantes nutritionnelles de la pastèque sont les glucides et les éléments minéraux tels que le potassium, le fer et le calcium. Le lycopène, les vitamines A, B6, C, les caroténoïdes et les antioxydants sont des nutriments rencontrés dans la pastèque (Maoto *et al.*, 2019). La pastèque contient une haute concentration en lycopène, en caroténoïdes qui lui confèrent des propriétés antioxydantes considérables. Elle contient entre 23,0 et 72,0 mg. g<sup>-1</sup> de poids frais de lycopène, alors que, pour la tomate fraîche, ces concentrations varient entre 8,8 à 42,0 mg.g<sup>-1</sup> de poids frais (Fraser et Bramley, 2004 ; Wehner, 2008). Une évaluation quantitative indique que la pastèque contient 46 % de calories, 20 % de vitamines C et 17 % de vitamine A et contient plus de lycopène que la tomate (Biswas *et al.*, 2017). La pastèque contient de la citrulline, élément nécessaire à la synthèse de l'arginine aux propriétés cicatrisantes, identifiée pour la première fois il y a plus de 70 ans à partir de la pastèque *C. lanatus* dont elle tient son nom. La pastèque est la plus importante source de citrulline connue à ce jour avec 0,7 à 3,6 g.kg<sup>-1</sup> de pulpe selon l'espèce et le degré de maturité (Rimando et Perkins-Veazie, 2005).

## **I.1.7. Propriétés pharmacologiques de la pastèque**

### **I.1.7.1. Activité antibactérienne**

L'activité antibactérienne de l'extrait des graines de *C. lanatus* a été étudiée. Les résultats ont montré que les extraits des graines obtenus par macération à froid et par l'extraction au Soxhlet, en utilisant du méthanol et du chloroforme ont un potentiel en tant qu'agents antibactériens, en particulier contre *Staphylococcus* sp. et *Pseudomonas aeruginosa* (Adunola et al., 2015). De plus, l'isolement de saponines à partir de graines s'avère plus efficace sur les bactéries à Gram positif.

D'autres études ont été menées dans le but de tester l'activité antimicrobienne des extraits chloroformique, hexanique et éthanoliques des feuilles, tiges, fruits et graines de *Citrullus lanatus* var. *citroides* sur les bactéries (*Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus subtilis* et *Proteus vulgaris*) et des champignons (*Aspergillus niger* et *Candida albicans*) en utilisant la méthode de diffusion sur disque. Il en résulte que l'extrait chloroformique du fruit présente l'activité antibactérienne la plus élevée. Les extraits éthanoliques de la pulpe de fruit et de la tige ont montré l'activité antifongique la plus élevée contre *C. albicans*. *A. niger* s'est avéré très sensible à l'extrait chloroformique des graines et à l'extrait éthanolique des feuilles. Les résultats obtenus sont comparables aux médicaments standards; clotrimazole et gentamicine (Hassan et al., 2011).

### **I.1.7.2. Activité hépatoprotectrice**

L'effet du jus de la pastèque de Diyarbakir (*Citrullus lanatus* cv: Sürme) sur la peroxydation lipidique dans le foie du rat, le rein et le cerveau. L'administration du tétrachlorure de carbone avec le jus du pastèque ou Urso Deoxy Colic Acide (UDCA) réduit significativement les marqueurs sériques des lésions hépatiques, l'aspartate aminotransférase (AST), alanine aminotransférase (ALT), la bilirubine totale (TB) et provoque la diminution de l'albumine par rapport au groupe témoin (Altas et al., 2011).

### **I.1.7.3. Activité anti-ulcère**

Les propriétés anti-ulcérogène de l'extrait méthanolique brut des graines de *C. lanatus* ont été démontrées dans deux modèles d'ulcères différents chez les rats albinos Wistar. En effet l'extrait administré oralement à une dose de 300 mg/kg, une fois par jour pendant une semaine, a montré un effet significatif dans le cas de la ligature pylorique (ligature 4 h) et en immersion dans l'eau (25 °C pendant 3 h), stress induisant l'ulcère. En effet, il a présenté un indice de protection de 57,33 % et 63,38 % respectivement, ce qui est comparable aux médicaments standards, la Ranitidine (50 mg/kg) et l'Omeperazole (20 mg/kg) qui présentent

des indices de protection de 64,47 % et 70,59 % dans le cas de la ligature pylorique et en immersion dans l'eau respectivement (Bhardwaj et *al.*, 2012).

De plus, *Citrullus lanatus* a significativement diminué le volume gastrique (53,55 %), l'acidité libre (57,02 %) et l'acidité totale (36,53 %) en cas de ligature pylorique et immersion dans l'eau. En outre, l'extrait méthanolique des graines de *C. lanatus* a présenté une activité antiulcéreuse liée à la dose avec une activité maximale à 800 mg/kg (Okunrobo et *al.*, 2012).

#### **I.1.7.4. Activité laxative**

L'administration orale de l'extrait aqueux de la pulpe de fruits de *C. lanatus* a produit une augmentation significative et dépendante de la dose d'excrétion fécale des rats et la stimulation de la motilité gastro-intestinale (Sharma et *al.*, 2011).

#### **I.1.7.5. Anti-hyperlipidémie**

La consommation de l'extrait de la variété cultivée de *C. lanatus* conduit à une réduction du poids corporel et de la masse grasse sans influencer la masse maigre. Il est responsable également de la diminution des concentrations plasmatiques de cholestérol, et peut entraîner une réduction de l'athérosclérose dans l'arche aortique et régions thoraciques (Poduri et *al.*, 2013).

#### **I.1.8. Production mondiale**

La production de la pastèque représente environ 6,8 % de la production des légumes fruits dans le monde (Guner et Wehner, 2004). La Chine occupe la première place avec environ 71 % de la production mondiale de la pastèque suivi de la Turquie et de l'Iran, respectivement deuxième et troisième (Huh et *al.*, 2008). La production mondiale en pastèque pour l'année 2011 était estimée à 104 472 354 tonnes.

En Afrique tropicale, certains pays ont une production de pastèques appréciable, comme le Sénégal avec 224 000 t, le Soudan avec 143 000 t, le Cameroun et la Somalie avec 28 000 t chacun et la Mauritanie avec 11 000 t (Anonyme, 2013).

La pastèque est produite essentiellement pour les marchés locaux et urbains, chaque pays ayant ses préférences de taille et de type. La production pour les marchés d'exportation s'est développée dans la région méditerranéenne, au Mexique, à Taïwan, en Malaisie et en Thaïlande. L'Afrique du Nord (Algérie, Egypte, Libye, Maroc et Tunisie) avec 2,9 millions de tonnes. Les principaux pays producteurs de la pastèque sont conciliés dans le tableau I suivant.

Tableau I. Principaux producteurs de pastèque au monde (Anonyme, 2013).

Pays	Masse en tonnes/an
Chine	69 139 643
Turquie	3 864 489
Iran	3 300 000
Brésil	2 198 624
USA	1 688 040
Égypte	1 630 000
Mexique	980 000
Espagne	796 300
Korée	785 000
Italie	500 000

### I.1.9. Exigence écologique

La pastèque est une plante exigeante en chaleur mais qui ne supporte pas des climats trop humides. C'est néanmoins une plante exigeante en eau. Pour se développer correctement, les températures doivent être comprises entre 18 °C et 27 °C et une humidité relative de l'ordre de 80 à 95 %. Les sols profonds riches en matière organique et relativement humides leur conviennent parfaitement. La pastèque est moyennement tolérante à l'acidité du sol; le pH favorable est compris entre 5,5 et 6,8 (Raemaekers, 2001). Les pastèques poussent mieux sur les sols limono-sableux, avec un bon drainage et dont le pH est légèrement acide (Anonyme, 2011). Un sol gorgé d'eau favorise les attaques d'anthracnose et de pourriture du fruit. Un sol modérément riche est nécessaire pour obtenir une couverture rapide et dense, favorable au contrôle des adventices et de l'érosion.

La pastèque Egousi est cultivée sur les basses terres tropicales jusqu'à une altitude de 1000 m, tandis que la pastèque commune se trouve jusqu'à 2 000 m. Toutes les deux se comportent mieux en zone de savane qu'en zone de forêt humide. Dans la région du Kalahari, les pastèques à graines ne reçoivent d'ordinaire que 400 – 650 mm de précipitations. Une pluviosité trop élevée et une forte humidité donnent un excès de croissance végétative et favorisent l'infection par des maladies, essentiellement la pourriture des feuilles et des fruits, ce qui entraîne une baisse de la production. L'excès d'eau à maturité peut provoquer la fissuration des fruits, ce qui réduit le rendement et la qualité des fruits (Davis *et al.*, 2008).

### **I.1.10. Effets de la sécheresse sur la croissance de la pastèque**

Le déficit en eau est l'un des facteurs environnementaux les plus importants limitant la croissance et la productivité des plantes (Boyer, 1982). Ainsi l'amélioration génétique de la tolérance au stress hydrique des plantes constitue un défi urgent pour l'avenir de l'agriculture (Khush, 1999). Plusieurs paramètres sont affectés par le stress hydrique.

#### **I.1.10.1. Photosynthèse**

Parmi les modifications physiologiques liées au stress hydrique, la régulation stomatique qui influe sur la photosynthèse et la respiration, est la plus importante. La baisse du potentiel hydrique de la plante se traduit principalement par une diminution de la pression de turgescence puis une régulation stomatique. Un stress hydrique, en provoquant la fermeture des stomates se traduit par un ralentissement de la photosynthèse en même temps que la transpiration (Teulat et *al.*, 1997). La sécheresse menace la capacité de la plante à maintenir sa photosynthèse (Escalona et *al.*, 2012). L'accumulation de sucres a lieu aux derniers stades du développement du fruit et peut être ralentie par des pluies excessives ou une sécheresse sévère. Les plantes sont souvent plus résistantes à la sécheresse pendant le stade végétatif que pendant les premiers stades de floraison ou de développement des fruits. Chez les pastèques, le stress dû à la sécheresse induit un polypeptide lié à ArgE et provoque une accumulation massive de l'acide aminé libre la citrulline dans les feuilles (Kawasaki et *al.*, 2000).

#### **I.1.10.2. Alimentation minérale**

Le déficit hydrique induit un déficit de nutrition azotée qui provient principalement des réductions de flux d'azote au niveau des racines et de la réduction des échanges entre les parties aériennes et racinaires du fait de la chute de la transpiration (Dugo, 2002). Le facteur d'aridité peut affecter la nutrition phosphatée dans les zones semi-arides en réduisant de manière drastique les possibilités de désorption des ions phosphates depuis la phase solide du sol et de leur transfert vers la racine. En effet, 95 % du phosphore prélevé doit être désorbé avant d'être transféré vers la plante.

#### **I.1.10.3. Croissance végétative**

Le développement végétatif d'une plante cultivée sous conditions hydriques limitantes est fortement perturbé. On note principalement une diminution importante de la taille, de la longueur des entre nœuds, du nombre de feuilles voire de la surface foliaire. Les plantes

soumises à un déficit hydrique voient généralement leur sénescence foliaire s'accélérer; et une perte trop importante d'eau peut conduire à la mort des cellules (Bouchabke et al., 2006).

### **I.1.11. Maladies et ravageurs**

Les maladies et les ennemis des Cucurbitacées sont communs à de nombreuses espèces. Les maladies les plus fréquentes et les plus importantes sont : l'oïdium, le mildiou et les maladies à virus (Anonyme, 1991 ; Kroll, 1994). Les maladies d'importance économique comprennent la moisissure, la fusariose, les virus de la mosaïque et la nécrose bactérienne de la croûte (Anonyme, 2011; Said et Fatiha, 2018).

#### **I.1.11.1. Maladies fongiques**

Plusieurs espèces de champignons phytopathogènes s'attaquent à la pastèque avec des incidences économiques plus ou moins importantes. Les maladies cryptogamiques les plus fréquentes de la pastèque sont la pourriture humide (*Pythium* spp), la cercosporiose (*Cercospora citrullina*), le mildiou (*Pseudoperonospora cubensis*), l'anthracnose (*colletotrichum orbiculare*).

##### **I.1.11.1.1. Pourriture humide**

Toutes les espèces de Cucurbitacées sont sensibles à la pourriture des fruits causée par différentes espèces de *Pythium*. Cette maladie est particulièrement fréquente lors des saisons fraîches et pluvieuses. Les *pythium* sp. peuvent attaquer la tige au niveau du collet et des noeuds en contact avec le sol. Ils y provoquent une pourriture mole suivie du flétrissement de la plante. Ils sont identifiés à l'origine de la pourriture des fruits de pastèque, une pourriture vert-foncée et translucide qui se transforme rapidement en pourriture déliquescence du fruit entier (Blancard et al., 1991).

##### **I.1.11.1.2. Anthracnose**

Cette maladie est causée par un champignon *Colletotricum orbiculare*, elle peut entraîner des pertes considérables, en particulier lors d'étés humides. Le champignon pathogène infecte le concombre, la pastèque, la courge, la citrouille et autres Cucurbitacées. Toutes les parties de la plante sont attaquées, bien que les symptômes varient d'un hôte à l'autre. Sur les feuilles de pastèque, les lésions sont noires plutôt que rouges ou brunes. Les fruits peuvent être infectés précocement, devenir sérieusement déformés et porter des lésions noires. Les taches sur les fruits plus avancés sont quelque peu en relief, plates et circulaires, et cet aspect de la maladie est appelé nuile rouge (Thompson et Jenkins, 1985). Sept races



d'anthracnose ont été rapportées pour les Cucurbitaceae, mais les races 1, 2 et 3 semblent être les plus redoutables pour la pastèque (Maynard, 2001).

#### **I.1.11.1.3. Cercosporiose**

La cercosporiose est causée par un champignon *Cercospora citrullina*. La maladie commence par des petites taches circulaires de 1 à 2 mm de diamètre, visibles sur les deux faces de la feuille. D'abord limitées par un anneau noir étroit, ces taches s'agrandissent et s'entourent d'une zone noire pouvant atteindre 1 mm de largeur. Le centre reste gris et déprimé, il se recouvre d'une efflorescence blanche. A proximité de la zone atteinte, la feuille jaunit puis se nécrose, toute la feuille se dessèche mais reste attachée à la tige. Sur le pétiole, des petites taches allongées apparaissent ultérieurement. La zone marginale noire s'étend en provoquant un brunissement et un flétrissement du pétiole (Goode et Reading, 1960).

Les fructifications conidiennes du *C. citrullina* apparaissant sur les taches des deux côtés de la feuille, sont souvent plus abondantes à la face supérieure. La présence de gouttelettes d'eau est indispensable à la germination des spores et de nouvelles infections peuvent avoir lieu en 7 à 10 jours.

#### **I.1.11.1.4. Mildiou de la pastèque**

Cette maladie est causée par un champignon *Pseudoperonospora cubensis* et présente les symptômes suivants: taches de "mildiou", anguleuses ou légèrement arrondies, brunes et huileuses à la face supérieure des feuilles. Elles sont recouvertes à la face inférieure d'un feutrage blanc-gris, constitué par les conidiospores et les conidies du champignon. Ces taches brunissent, se nécrose et les feuilles se dessèchent. La maladie attaque d'abord les feuilles âgées à la base du plant et remonte ensuite sur les feuilles plus jeunes. Si les conditions restent favorables, la destruction complète du plant peut avoir lieu en l'espace de quelques jours (Iwata, 1951; Sowell, 1958).

#### **I.1.11.2. Maladies virales**

Les cucurbitacées sont sujettes à plusieurs maladies dont les plus dommageables sont celles d'origine virale. Plus de 35 virus peuvent infecter naturellement les Cucurbitacées à travers le monde (Berger et al., 2005).

Les maladies virales responsables de mosaïques, en l'occurrence le *Cucumber Mosaic Virus* (CMV, *Cucumovirus*), le *Papaya Ringspot Virus Strain-W* (PRSV-W, *Potyvirus*), le *Watermelon Mosaic Virus* (WMV 1, *Potyvirus*), le *Zucchini Yellow Mosaic Virus* (ZYMV, *Potyvirus*), ont été considérées comme le problème majeur de la production des cucurbitacées

à travers le monde (Luis-Arteaga, 1994; Luis-Arteaga et al., 1998; Lecoq et al., 2001). Ces virus provoquent des symptômes de mosaïques, de chlorose internervaire et de boursoufflures sur les feuilles, des fruits difformes, et des plants rabougris (Zeng et al., 2007). Il existe également le virus de la mosaïque de la pastèque de type 2 (WMV 2: *Watermelon MosaicVirus 2*). Ce potyvirus transmis par les pucerons se manifeste sur les feuilles par des taches diffuses, jaune paille à vert clair, faisant ressortir des plages vertes foncé, gaufrées et déformées. Les fruits bosselés présentent de graves altérations et sont bloqués dans leur développement. La résistance de la pastèque aux virus a été identifiée pour PRSV, WMV et ZYMV (Maynard, 2001).

### **I.1.11.3. Ravageurs**

Les ravageurs les plus importants de la pastèque sont les coléoptères mâcheurs et suceurs. Insectes, qui endommagent les feuilles, les fleurs, les fruits et les nématodes à galles qui affectent l'absorption d'eau et de nutriments (Abderrahmane et Lahcen, 2015; Alao et al., 2016). Selon Smith (2006), les ravageurs les plus redoutables sont les mouches.

La mouche de la pastèque est aussi connue sous le nom de *Dacus vertebratus* Bezzi (Fig. 6). Elle est originaire d'Afrique avec une large distribution en Afrique, dans les îles de l'Océan indien et Moyen Orient. Ainsi, elle est rencontrée dans les pays tels que l'Angola, le Bénin, le Botswana, l'Éthiopie, la Gambie, le Ghana, le Kenya, le Libéria, le Malawi, le Nigéria, le Sénégal, l'Afrique du Sud, le Cameroun, la Tanzanie, la Zambie, le Zimbabwe, le Madagascar, l'Arabie Saoudite et au Yémen (White et Elson-Harris, 1992).

*Dacus vertebratus* est un ravageur de Cucurbitaceae en général et prolifère particulièrement sur la pastèque (*C. lanatus*) (Hanecock, 1989). Juste après la piqûre, on ne remarque souvent qu'un point de sève séchée autour de la piqûre, puis la zone piquée s'assombrit tout en devenant légèrement concave avec des écoulements. Les jeunes larves ne tardent pas à s'enfoncer dans la pulpe saine et quittent la zone nécrosée sur laquelle peuvent s'installer divers pathogènes qui hâteront la décomposition du fruit. *Dacus vertebratus* (Fig. 6) et les autres mouches des Cucurbitacées « provoquent des dégâts considérables dans les plantations et représentent les insectes ravageurs les plus dommageables à la production fruitière, au commerce international et intérieur des fruits » (Bokonon-Ganta et al., 2010).

Les pertes liées aux dégâts de ces insectes sont estimées à travers le monde à plusieurs milliards de dollars. Face au mode d'agression des plantes par ces insectes, la lutte contre ces ravageurs est d'autant plus complexe que la lutte chimique conventionnelle reste peu efficace dans le contrôle de leurs dégâts (Vayssières et al., 2008).

D'autres espèces de nématodes parmi lesquelles, la *Meloidogyne arenaria* (Neal) Chitw., la *M. incognita*, (Kofoid et White) Chitw. et la *M. javanica* (Treub) Chitw., nématodes cécidogènes attaquent la pastèque (Maynard, 2001). Bien que les pertes liées à ces parasites puissent atteindre 50 %, l'utilisation intensive des produits chimiques n'a fait que retarder la recherche génétique sur la résistance aux nématodes.



Fig. 6. *Dacus vertebratus*. (Hanecock, 1989)

## I.2. Mutagenèse induite et amélioration des plantes

### I.2.1. Historique

Hugo de Vries (1901) signalait que de nouvelles mutations pouvaient être induites artificiellement en utilisant des mutagènes, pour permettre d'augmenter la fréquence des mutations spontanées qui sont à la base de la création de la variabilité génétique et pourraient être utilisées dans l'amélioration des plantes et des animaux.

La découverte des rayons X, par Rontgen en 1895, a permis leur utilisation dans le but d'induire des mutations chez la drosophile par Muller en 1927, et chez l'orge par Stadler en 1928 qui a initié le domaine de la « mutagenèse induite » (Solanki et *al.*, 2011). Il a été rapporté que la fréquence des mutations induites est  $10^3$  plus que celle des mutations spontanées (Van Harten, 1998). Durant les premières années du 20<sup>ème</sup> siècle, un nombre important de mutants ont été développés surtout sur les céréales (Gustafsson, 1954).

Après, la mutation induite a été utilisée pour l'amélioration de différentes plantes cultivées. Les mutants obtenus peuvent être utilisés soit directement comme nouvelles variétés améliorées ou peuvent être utilisés comme parents pour créer de nouvelles variétés (Ahloowalia et *al.*, 2004).

Parmi les premiers chercheurs qui ont employé la mutagenèse expressément pour créer des variétés nouvelles on trouve Freisleben et Lein à Halle (Allemagne). Ils ont réussi à obtenir une résistance à l'oïdium de l'orge (Freisleben et Lein, 1942) et mis au point une méthode pratique d'obtention de mutants (Freisleben et Lein, 1943a et b). Mais, à cause de la deuxième guerre mondiale, ce travail n'a pas connu de suite (Hoffmann, 1959). Cependant, des généticiens de plantes, d'abord en Suède tels que Nilsson-Ehle, Gustafsson, Hagberg, Gelin et Nybom ont continué à expérimenter dans ce domaine, essentiellement au moyen de rayons X; ils ont poursuivi des études systématiques, par exemple sur les doses optimales, les conditions de traitement, la fréquence de mutations et le spectre de mutants.

Ces chercheurs ont également comparé les effets des rayons X avec ceux de certaines substances qui se sont révélées comme mutagènes, telle l'éthylène-imine (EI). Bien que la plupart de ces travaux fussent de nature fondamentale, il s'en est suivi des sous-produits d'expérience reconnus d'intérêt agronomique: c'est le cas de mutants, faciles à reconnaître, d'orge, de blé, d'avoine, plus précoces ou plus tardifs à l'épiaison, plus courts de tige ou de formes d'épi différentes; c'est aussi le cas de mutants de pois, de soja, de lin, de moutarde et de colza (Gustafsson, 1947; Mac Key, 1956).

L'aube de « l'Age Atomique » consécutive à la deuxième guerre mondiale a connu un regain d'intérêt quasi explosif pour l'utilisation des rayonnements ionisants à des fins pacifiques. C'est vers 1950 que la recherche en matière d'induction de mutations a commencé à fleurir en divers pays tels que les Etats-Unis d'Amérique, la France, l'Italie, le Japon, les Pays-Bas et l'URSS, avec surtout l'emploi des rayons gamma du cobalt-60 et de neutrons, moyens accessibles du fait de l'établissement des centres de recherches nucléaires (Scarascia-Mugnozza, 1966).

Pendant plus de 10 ans, les principaux efforts ont porté sur l'étude des conditions d'irradiation ou de traitements complémentaires (avant et après l'exposition aux rayonnements), de nature à modifier l'effet de hasard et à rendre l'induction plus spécifique, mieux orientée, plus utile économiquement parlant (Nilan et *al.*, 1965). L'eau, l'oxygène et la durée d'action ont été les principaux facteurs révélés comme efficaces, mais leur maîtrise systématique n'a guère apporté que des différences quantitatives, qui auraient pu aussi bien provenir de dosages différents, et qui n'ont pas débouché sur quelque perfectionnement méthodologique utile (Anonyme, 1965).

En 1969, la division mixte FAO/AIEA a organisé les premiers cours de formation des sélectionneurs à l'induction et à l'usage de mutations; cette division a publié la même année la première édition du Manuel d'amélioration des plantes par mutation (*Manual on Mutation*

*Breeding*). Il est donc permis de considérer 1969 comme l'année qui a marqué l'établissement de la mutagenèse induite comme outil pratique disponible pour aider les sélectionneurs à créer des cultivars plus productifs, dotés d'une meilleure résistance aux adversités climatiques et parasitaires et procurant des produits améliorés pour les besoins alimentaires de l'homme et des animaux, et comme matières premières.

## **I.2.2. Avantages et inconvénients**

Les mutations provoquées, non seulement elles créent de la variabilité chez les plantes cultivées, mais aussi elles raccourcissent le temps de développement de nouveaux cultivars comparativement aux méthodes conventionnelles (Toker et *al.*, 2007). En outre, en altérant des allèles des gènes déjà connus et inconnus, elles induisent des variabilités pour des caractères quantitatifs et qualitatifs dans un temps relativement court (Konzak et *al.*, 1977).

Les mutations induites pourraient induire des variabilités sans limites, tandis que dans l'hybridation la variabilité est limitée à celle présente chez les parents (Toker et Cagirgan, 2004). Théoriquement, tout type de variabilité présente chez les espèces voisines pourrait être induite si le gène existe chez l'espèce traitée; des mutants de lentille résistants à *Uromyces fabae* ont été rapportés (Bravo, 1983).

Une étude menée par la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) et l'IAEA (International Atomic Energy Agency) datant de l'an 2 000 a répertorié l'existence de 2 252 variétés issues de mutagenèse induite. Ce chiffre, de l'aveu même des auteurs (Maluszynski et *al.*, 2000), est très certainement sous-évalué. Parmi les plus grandes réussites de la mutagenèse se place sans doute l'amélioration du riz qui a conduit à son développement en Camargue surtout pour la résistance au flétrissement bactérien des feuilles du riz, résistance induite par traitement aux neutrons (Nakai et *al.*, 1990).

En plus des mutations désirables, d'autres indésirables, peuvent être induites. La fréquence des mutations désirables est très faible (0,01 %) (Sigurbjörnsson, 1983). Une grande population M1 est nécessaire pour augmenter le taux des mutations désirables, mais ceci nécessite un temps et des efforts importants (Toker et *al.*, 2007).

## **I.2.3. Types de mutations**

### **I.2.3.1. Mutations géniques ou ponctuelles**

Une mutation ponctuelle est le groupe de tous les changements héréditaires qui se produisent dans les limites d'un seul gène (Toker et *al.*, 2007). Selon Rossignol et *al.*, (2004), on peut y distinguer soit des substitutions d'une paire de base par une autre ou par le gain ou la perte d'une seule ou d'un petit nombre de paires de base.

La majorité des mutations géniques montrent une hérédité récessive. Cependant, des mutations dominantes du gène se produisent à très basse fréquence (Micke, 1999).

### **I.2.3.2. Mutations chromosomiques**

On y distingue soit l'altération de la structure des chromosomes ou la modification du nombre des chromosomes (Demol et *al.*, 2002). Dans le premier cas, on parle de remaniement chromosomique (Samouelian et *al.*, 2009). Dans le deuxième cas selon Demol et *al.*, (2002), qui est très important dans l'évolution du règne végétal, des modifications du nombre de chromosomes peuvent impliquer soit des génomes entiers et conduire à la polyploïdie soit des parties du génome avec comme résultat l'aneuploïdie.

### **I.2.3.3. Mutations extra-chromosomiques**

Les mutations pourraient se produire au niveau des organites cytoplasmiques telles que les chloroplastes, c'est le résultat des mutations chlorophylliennes (Jain et Suprasanna, 2011). Les mutations extra-chromosomiques induisent le nanisme, la tolérance aux herbicides et aussi la stérilité mâle cytoplasmique qui est codée par le génome mitochondrial (Lonsdale, 1987).

## **I.2.4. Types de mutagènes**

On y distingue deux types: les mutagènes chimiques et les mutagènes physiques. Il existe une spécificité des agents mutagènes dans la mesure où, pour un agent mutagène donné, certains changements de séquence sont privilégiés par rapport aux autres changements possibles.

### **I.2.4.1. Mutagènes chimiques**

Les agents chimiques tels que l'éthyle-méthane sulfonate (EMS) et N-éthyle-N-nitroso urea (ENU) sont les plus utilisés et il est reporté qu'ils induisent des mutations ponctuelles (McCallum et *al.*, 2000). D'autres agents tels que le bromure d'éthidium, l'acridine et les sels d'azides sont aussi utilisés (Van Harten, 1998).

### **I.2.4.2. Mutagènes physiques**

Les études montrent que le plus grand nombre de variétés de mutants réalisées ont été obtenues par les agents physiques et plus particulièrement les rayons gamma. Ceci ne signifie pas que les mutagènes chimiques ne sont pas efficaces, mais s'ils sont utilisés en doses élevées, des mutations indésirables peuvent apparaître (Sybenga, 1983).

Les mutagènes physiques ont l'avantage d'avoir une application simple. Ils sont appliqués sur les grains durs qui peuvent être stockés jusqu'au besoin et ils nécessitent moins de manipulations (Oldach et *al.*, 2011). Les graines traitées par les agents physiques peuvent être stockées avant le semis, par contre celles traitées avec les agents chimiques doivent être rincées et semées immédiatement (Roychowdhury et Tah, 2013).

Les mutagènes physiques comprennent toutes les radiations ionisantes et toutes les sources de radioactivité : ultraviolets (rayonnement non ionisant), plusieurs types de particules ou de radiations ionisantes, nommément rayons X et gamma, particules alpha et bêta, protons et neutrons (Anonyme, 1977).

#### **I.2.4.2.1. Rayons X**

Les rayons X proviennent d'électrons et non de l'énergie nucléaire comme les rayons gamma et ultraviolets (UV). Ce sont des rayonnements électromagnétiques émis dans les longueurs d'onde; 0,001-10 nm. Les rayons (X et gamma) induisent des aberrations chromosomiques telles les translocations et les délétions (Oldach et *al.*, 2011).

#### **I.2.4.2.2. Rayons ultraviolets (UV)**

La lumière UV est un rayonnement non ionisant à la longueur d'onde comprise entre 100 et 400 nm communément utilisé (par exemple, la ligne des lampes germicides à mercure à 2537 nm). Il a souvent été utilisé dans l'induction de mutations de plantes en particulier dans les grains de pollen. La lumière ultraviolette a une pénétration tissulaire limitée cependant son utilisation s'est avérée nécessaire et efficace car elle a confirmé les effets biologiques sur la photosynthèse, la respiration et la transpiration (Castronuovo et *al.*, 2014).

#### **I.2.4.2.3. Particules alpha**

Les particules alpha, sont structurellement équivalentes au noyau d'un atome d'hélium, et sont émises par des radionucléides de numéro atomique supérieur à 82, tels que Radium et Plutonium (L'Annunziata, 2016). Elles sont considérées comme des risques potentiels pour la santé humaine lorsqu'elles sont ingérées ou inhalées, mais leur faible pouvoir de pénétration dans les tissus, à travers l'épiderme, les rend assez inefficaces pour l'induction de mutations chez les plantes (Van Harten, 1998).

#### **I.2.4.2.4. Particules bêta**

Les particules bêta sont émises par le noyau d'un atome lors de la désintégration radioactive et sont efficaces pour induire des mutations (L'Annunziata, 2016). Elles produisent dans le tissu cible des effets similaires à ceux des rayons X ou des rayons gamma,

bien que la pénétration des particules bêta soit inférieure à celle des rayons X ou des rayons gamma. Les particules bêta telque  $^{32}\text{P}$  ou  $^{35}\text{S}$  peuvent être incorporés directement dans les noyaux cellulaires et induire les mutations c'est le cas observé chez le riz et le coton (Mba et *al.*, 2012).

#### **I.2.4.2.5. Neutrons**

Byrne (2013) a été l'un des premiers à proposer l'idée selon laquelle il existe au niveau des noyaux des atomes, en plus des protons et des électrons des particules neutres, qu'ils ont ensuite appelé « neutrons ». Le neutron n'est stable que dans les limites du noyau de l'atome, une fois séparé du noyau de l'atome, il a une durée de vie moyenne d'environ 15 minutes pendant laquelle il libère diverses énergies cinétiques. Grâce à ces énergies libérées les neutrons sont donc couramment utilisés pour l'induction des mutations chez les plantes.

#### **I.2.4.2.6. Rayons gamma**

Les rayons gamma sont les plus énergétiques ayant un niveau d'énergie allant de 10 kilo électron volts (keV) à quelques cent keV, donc ils ont un pouvoir de pénétration plus élevé par rapport aux autres types de radiations telles qu'alpha et bêta (Kovacs et Keresztes, 2002). Ainsi environ 64 % de variétés mutantes de plantes sont créées à partir des rayons gamma (Sigurbjornsson et Micke, 1974). Ces rayons sont préférables pour leur facilité d'application, leur bonne pénétration, induisant une grande fréquence de mutations et moins de problèmes rencontrés lors de la manipulation (Solanki et *al.*, 2011). Leur application se fait seulement en deux étapes : la préparation des grains et le traitement mutagène (Toker et *al.*, 2007).

Les rayons gamma interagissent avec les molécules et les atomes pour produire des radicaux libres dans les cellules. Ces radicaux peuvent endommager ou modifier des composantes importantes dans la cellule végétale et il a été rapporté qu'ils affectent différemment la morphologie, l'anatomie, la biochimie et la physiologie de la plante en fonction de la dose d'irradiation. L'irradiation est générée par un irradiateur gamma avec source de Cobalt ( $\text{Co}^{60}$ ), le débit d'irradiation dépend de la distance entre la colonne  $\text{Co}^{60}$  et l'échantillon et confirmé par un dosimètre de la thermoluminescence (Wi et *al.*, 2007).

### **I.2.5. Radio-mutagenèse par les rayons gamma chez la pastèque**

#### **I.2.5.1. Dose d'irradiation optimale et radiosensibilité**

Le succès d'une mutation dépend du taux des mutations et de l'efficacité. Le taux des mutations est affecté par la dose de mutagène. Des doses élevées causent la mortalité, la



stérilité du pollen et d'autres détériorations. Selon Mba et *al.*, (2010), la dose de mutagène considérée comme optimale ou DL50 est celle qui atteint la fréquence de mutation optimale avec le moins de dommages possibles.

La dose létale (DL50) aide à connaître la sensibilité de chaque variété au mutagène et elle cause 50 % de réduction. Puisque la résistance offerte par le matériel à traiter dépend de différents facteurs tels que la taille des grains, leur rigidité, leur taux d'humidité etc..., au moment du traitement, la variation dans la DL50 entre les variétés de la même espèce est un phénomène commun dans la mutagenèse (Rajendran et Lakshmi, 2006).

### **I.2.5.2. Travaux réalisés sur la pastèque**

La technique d'haploïdie la plus efficace au sein de la famille des Cucurbitacées est la pollinisation avec du pollen irradié (Cuny et *al.*, 1993; Sari et Abak, 1996 ; Kurtar et *al.*, 2002; Chun et *al.*, 2006 ; Godbole et Murthy, 2012). Les doses d'irradiation et les génotypes sont deux des principaux facteurs affectant le succès de l'haploïdie. Ainsi différents génotypes de pastèques et différentes doses de rayons gamma ont été testés avec succès (Sari et *al.*, 1994). Une étude portant sur l'évaluation des effets de différentes doses de rayons gamma (100, 200, 300 et 400 Gy) et d'autres applications, telles que l'application d'eau sur le pollen, l'application de bleu de toluidine sur le pollen et l'application de colchicine sur le pollen ont été réalisées pour la production d'embryons haploïdes chez la pastèque (Sari et Abak, 1996).

Une nouvelle variété de pastèque sans pépins, à forte teneur en sucre, au bon goût et facile à stocker a été mise au point à l'aide de la pollinisation artificielle du pollen après une irradiation aux rayons X douce (Hai-yong et *al.*, 2016).

L'incidence de divers génotypes et doses de rayons gamma sur l'haploïdisation par la technique du pollen irradié a été également réalisée en Turquie avec succès chez la pastèque (*Citrullus lanatus* L.). Ainsi sur les différentes doses de rayons gamma (50, 150, 200, 275 ou 300 Gy) utilisées pour irradier les fleurs mâles, celle de 275 Gy s'est avérée meilleure que les autres car ayant permis d'obtenir le plus grand nombre d'embryons haploïdes dans les graines alors que les embryons de meilleure qualité étaient obtenus avec la dose 50 Gy (Taskın et *al.*, 2013).

La sensibilité de la variété de pastèque Bojura aux agents mutagènes a été réalisée, ce qui a montré que les traitements combinés des graines aux rayons gamma  $^{60}\text{Co}$  et à l'EMS induiraient des mutations plus efficacement dans un programme d'amélioration (Velkov et *al.*, 2016).

### **I.3. Variabilité génétique**

#### **I.3.1. Définition**

La variabilité génétique d'une population est une mesure globale des différences génétiques entre les individus. Ces différences génétiques sont à l'origine des multiples phénotypes observés au sein d'une population. Les caractères dont la variation phénotypique est discrète sont qualifiés de caractères qualitatifs ou mendéliens. Ils sont généralement contrôlés par un nombre limité de gènes. Les caractères dont la variation phénotypique est continue sont qualifiés de caractères quantitatifs. Ils sont souvent contrôlés par un grand nombre de gènes (Bouffier, 2007).

Dans son acception stricte, la « variabilité génétique » est à réserver aux caractères quantitatifs alors que l'on utilise préférentiellement le terme « diversité génétique » pour les caractères qualitatifs. Toutefois, dans la littérature, ces deux notions sont souvent utilisées de façon réciproque. Dans la suite, les termes variabilité et diversité génétique seront utilisés de façon indifférenciée pour désigner la variabilité des caractères quantitatifs ou des caractères qualitatifs.

Dans le cadre d'un programme de sélection, la variabilité génétique est fondamentale car elle constitue le substrat de la sélection. Elle est donc la base du progrès génétique, elle assure à la fois le maintien de la capacité à répondre à la sélection artificielle et à l'évaluation des objectifs de sélection (Bouffier, 2007).

La correspondance entre la variabilité génétique et la variabilité observée au niveau phénotypique dépend du déterminisme génétique du caractère considéré. Si le déterminisme génétique est total, l'étude des phénotypes permet directement d'avoir accès aux différents variants génétiques. Si le déterminisme génétique n'est que partiel, comme c'est généralement le cas pour des caractères d'intérêt agronomique, l'observation phénotypique est insuffisante. Elle doit être associée soit à un modèle génétique, soit à des analyses directes du génome (Bouffier et *al.*, 2008). La variabilité génétique constitue la base principale de la réussite dans l'amélioration des cultures par la création de gènes entièrement nouveaux non trouvés à l'origine dans la population (Bouffier et *al.*, 2008).

#### **I.3.2. Analyse de la variabilité génétique**

La valeur phénotypique d'un caractère observé pour un génotype donné dépend des conditions environnementales. Pour la plupart des caractères, le phénotype résulte des effets conjoints de trois composants: le génotype G, l'environnement E, qui contribue toujours pour une part au phénotype et l'interaction entre le génotype et l'environnement  $I_{GXE}$ . La valeur

pour un phénotype P peut se résumer à la formulation additive:  $P = G+E+I_{GXE}$ . Cette interaction entre le génotype et l'environnement est très importante car elle signifie que l'expression d'un gène n'est pas indépendante du milieu. Si le phénotype est la somme d'un effet des gènes de l'environnement et de leurs interactions, alors la variance du phénotype ( $\sigma^2(p)$ ) est la somme de la variance génétique ( $\sigma^2(g)$ ), de la variance environnementales ( $\sigma^2(e)$ ) et du double de la covariance entre les effets génotypiques et environnementaux ( $2cov(ge)$ ) selon l'équation:  $(\sigma^2(p)) = (\sigma^2(g)) + (\sigma^2(e)) + 2cov(ge)$  (Gallais, 2001).

### **I.3.3. Méthodes de création de la variabilité génétique**

Avant de passer en revue les méthodes utilisées par l'Homme pour créer de la variabilité génétique, il est sans doute judicieux de rappeler les mécanismes utilisés par la nature. Dans la nature, des mutations se produisent spontanément et sont à l'origine de la variabilité génétique au sein des individus. Ces mutations peuvent être induites par l'exposition des plantes à des agents mutagènes naturellement présents dans l'environnement, un dysfonctionnement des enzymes responsables de la réparation ou la réplication de l'ADN ou encore le déplacement des éléments mobiles présents au sein des génomes des plantes que sont les transposons ou les rétro-transposons. Ces derniers ont sans doute eu un rôle capital dans l'évolution des génomes mais aussi dans la compréhension de la génétique par l'Homme puisque le caractère ridé du petit pois étudié par Mendel a été généré par l'insertion d'un transposon dans le gène Sbei, impliqué dans la synthèse d'amidon (Bhattacharyya et *al.*, 1990).

Ces mutations naturelles sont le matériau dans lequel le sélectionneur puise sans arrêt pour façonner de nouvelles variétés. Depuis l'antiquité, des mutants sont repérés dans les cultures avant d'être multipliés et cultivés à leur tour. L'Homme, en s'inspirant des réalisations de la nature, a développé tout un panel de stratégies afin d'introduire de la variabilité dans ses plantes favorites.

#### **I.3.3.1. Polyploïdisation**

L'induction (volontaire) de la polyploïdie a été rendue possible dès 1937 avec la découverte de l'action mitoclasique de la colchicine (Blakeslee, 1937). Cet alcaloïde a pour effet de bloquer la mitose après la phase de doublement du stock chromosomique. Par la suite, d'autres substances ont été découvertes telles que le protoxyde d'azote. La polyploïdisation a été utilisée principalement pour obtenir de nouveaux caractères mais aussi comme aide à la réussite de croisements interspécifiques.

La polyploïdisation a été utilisée avec succès sur des plantes fourragères telles que le ray-grass ('Réveille') et le trèfle violet ('Tétri') pour la création de la variabilité. Les variétés polyploïdes de ces espèces s'avèrent plus appétentes, plus digestes et plus résistantes aux maladies. La méiose d'une plante triploïde se passe très mal, ce qui se traduit par une certaine stérilité, qui dans un contexte de parthénocarpie plus ou moins complète permet la production de fruits apyrènes. Cette propriété des plantes triploïdes a été utilisée pour faire des variétés de pastèque, citrus, pommier et bananier produisant des fruits sans pépins (Kihara, 1951).

### **I.3.3.2. Croisement interspécifique**

C'est probablement à Linné que l'on doit les premières expériences de croisement interspécifique. Ces croisements n'ont pas été réalisés dans le but d'améliorer les plantes mais dans le but d'établir la classification des espèces. Dans l'histoire de l'amélioration des plantes, le sélectionneur a souvent souhaité introduire un caractère d'intérêt présent dans des espèces sauvages dans une variété qui possède de bonnes caractéristiques agronomiques. Il procède souvent par des croisements interspécifiques qui permettent l'introggression de caractères. L'espèce championne toutes catégories en ce qui concerne l'introggression de caractère est la tomate dont 10 % du génome est d'origine interspécifique. Des croisements avec *L. hirsutum*, *L. peruvianum*, *L. chinense*, *L. pimpinellifolium*, des espèces sauvages de tomate, ont permis d'introduire les 5 à 9 résistances nécessaires à sa culture ainsi que des caractères d'intérêt agronomique ou organoleptique (Causse et *al.*, 2000).

### **I.3.3.3. Hybridation somatique**

Lors de la reproduction sexuée, l'embryon hérite d'une information génétique nucléaire mixte entre les deux parents et d'une information génétique cytoplasmique d'origine maternelle. Il peut être intéressant de manipuler les informations génétiques contenues dans les organites présents dans le cytoplasme. Ceci a été rendu possible grâce à l'hybridation somatique, méthode qui consiste à fusionner des protoplastes issus de cellules somatiques (Pelletier et *al.*, 1983). Des méthodes de culture *in vitro* permettent ensuite de régénérer une plante entière à partir des produits de fusion. La production de cybrides (pour hybrides cytoplasmiques), plantes dont l'information génétique provient d'une substitution (cas en particulier des chloroplastes) ou d'une recombinaison (cas des mitochondries) des génomes dits cytoplasmiques est à l'origine de la correction de la stérilité mâle Ogura qui a été transférée du radis au colza en transitant par le chou, et qui est utilisée intensivement par les sélectionneurs pour produire des variétés hybride F1 (Pelletier et *al.*, 1983).

#### **I.3.3.4. Transgénèse**

Les premières plantes transgéniques de tabac, ont été obtenues en 1983. Différentes méthodes ont été mises au point de manière à étendre le panel des plantes transformables. Les stratégies développées pour transformer les plantes reposent sur les progrès réalisés dans les domaines du clonage moléculaire, de transfert des gènes et de la régénération des plantes par culture *in vitro*. Elles sont très variées ; certaines mettent en jeu l'usage des Agrobactéries, tandis que d'autres utilisent la biolistique (James, 2006).

Depuis l'autorisation de la culture de la première plante transgénique, la tomate Flavr Savr en 1994, les surfaces occupées par les plantes transgéniques ne cessent d'augmenter. En 2006, plus de 10 millions d'agriculteurs ont cultivé un total de 102 millions d'hectares de plantes transgéniques. Cela concerne 22 pays, qui sont, par importance décroissante : Etats-Unis, Argentine, Brésil, Canada, Inde, Chine, Paraguay, Afrique du Sud, Uruguay, Philippines, Australie, Roumanie, Mexique, Espagne, Colombie, France, Iran, Honduras, République Tchèque, Portugal, Allemagne et Slovaquie. Seuls les 14 premiers pays ont cultivé des surfaces d'OGM supérieures à 50 000 ha (James, 2006).

Les principales cultures transgéniques concernent le soja (57 %), le maïs (25,2 %), le coton (13 %) et le colza (5 %). Les principales caractéristiques des plantes transgéniques sont la résistance à certains herbicides (68 %), aux insectes (19 %) ou les deux à la fois (13 %) (James, 2006).

#### **I.3.3.5. Mutagenèse induite**

L'induction de mutants est désormais reconnue comme un outil efficace aux mains des sélectionneurs de plantes, capable d'enrichir les ressources génétiques existantes en créant la variabilité et d'améliorer les variétés pour certains traits de caractères spécifiques.

Les mutations induites sont provoquées par l'action d'agents mutagènes ou d'éléments d'ADN transposables afin de créer et d'augmenter la variabilité au sein d'une population. D'une façon générale, les mutations entraînent des modifications dans n'importe quelle région de l'ADN, sur les chromosomes ou sur le génome en entier. Ces modifications se caractérisent soit par des gains ou des pertes de fonction. L'exploitation des mutants permet de localiser et d'identifier des gènes affectés et de déterminer leur fonction biologique (Meunier, 2005).

Les mutants surviennent plus ou moins au hasard et, pour les populations constituées par mutagenèse, contrairement aux populations ségréantes dérivant de croisements, on ne dispose d'aucun indice tel que type ou grandeur du changement génétique. C'est seulement

pour la fréquence de mutations que l'on dispose des estimations bien fondées; c'est dire qu'on peut s'attendre à ce qu'un gène mute une fois parmi 10 000 cellules traitées, pourvu que le traitement appliqué soit efficace (Yonezawa et Yamagata, 1977; Brock, 1979).

La technologie du gène peut éventuellement ouvrir la voie pour extraire du génome certains gènes particulièrement importants pour les faire muter hors de la cellule dans la direction désirée et pour les replacer dans le génome d'origine ou dans un autre génome; cela réaliserait pleinement, enfin de compte, l'autre vieux rêve de « mutagenèse dirigée » (Smith, 1961).

En attendant, les sélectionneurs mutagénistes se doivent d'améliorer les aspects économiques des méthodes d'amélioration par mutagenèse « classique ». Il serait judicieux, certes, d'insister davantage sur l'efficacité d'une sélection basée sur des critères définis avec plus de précision (Anonyme, 1984). C'est alors que les créateurs de variétés auront à tenir compte des progrès consistants aussi bien en physiologie végétale qu'en génétique moléculaire.

#### **I.3.4. Marqueurs utilisés dans l'estimation de la variabilité génétique**

Trois types de marqueurs sont largement utilisés pour l'évaluation de la variabilité génétique, à savoir les marqueurs morphologiques, les marqueurs biochimiques et les marqueurs de l'ADN ou marqueurs moléculaires ou génétiques.

Historiquement, les premiers marqueurs disponibles ont été les marqueurs morphologiques. Chez les légumineuses, la couleur des fleurs chez la luzerne (*Medicago sativa*), le trèfle violet (*Trifolium pratense*) et le lotier cornicule (*Lotus corniculatus*), le nanisme chez la luzerne, le sens d'enroulement des gousses chez *M. truncatula*, les taches foliaires chez le trèfle violet et chez *M. truncatula* servent de marqueurs. Puis, les marqueurs biochimiques (ou isoenzymes) basés sur des différences de poids moléculaires de protéines ayant une activité enzymatique ont été mis au point. Ils ont l'avantage d'être codominants et l'inconvénient d'être peu nombreux (Julier et al., 2003).

Durant les années 80, les marqueurs moléculaires (marqueurs génétiques) liés à l'ADN ont remplacé progressivement les marqueurs visuels ou enzymatiques. Ils offrent en effet plusieurs avantages : ils peuvent être utilisés tout le long de l'expérimentation et sont observable à n'importe quel stade de développement de la plante et sur n'importe quel organe (Vedele et Loudet, 2001).

#### **I.3.4.1. Marqueurs morphologiques**

Dans les programmes de sélection des plantes, les caractères morphologiques sont les premiers à être observés. Ces caractères intéressent diverses parties de la plante, par exemple longueur des tiges, surface foliaire, initiation de la floraison (Cui et *al.*, 2001 ; Gomez et *al.*, 2004). Ces caractères sont utilisés également pour estimer la variation intra et inter-populations. Ils sont généralement limités en nombre de caractères relevés et directement influencés par l'environnement. Néanmoins, ils fournissent des informations utiles pour décrire et identifier le matériel biologique (Andersson et *al.*, 2006).

#### **I.3.4.2. Marqueurs biochimiques**

Les marqueurs biochimiques font partie des premiers marqueurs à avoir été mis en œuvre pour étudier la variabilité génétique (Harry, 2001). Ces marqueurs sont généralement des isoenzymes ou des protéines de réserve qui ont un pouvoir de discrimination plus élevé que les marqueurs morphologiques. Ils traduisent directement l'activité des gènes, sont neutres et peuvent être révélés dans plusieurs organes à différents stades de développement. Ils sont mis en évidence par électrophorèse, sur la base des propriétés de migration des protéines, et révélés par la coloration histochimique spécifique des enzymes qui sont analysées. Les protéines ont l'avantage d'être plus nombreuses que les marqueurs morphologiques, mais dépendent également de l'organe considérés (De Vienne, 1998).

Ces marqueurs ont été utilisés en combinaison avec des marqueurs morphologiques pour étudier la structuration de la diversité génétique chez *M. sativa* (Jenczewski et *al.*, 1999).

Vu le faible niveau de polymorphisme révélé par les marqueurs biochimiques et sa variabilité en fonction des conditions environnementales, il est souvent nécessaire d'utiliser les marqueurs moléculaires pour compléter l'évaluation et l'étiquetage de l'estimation de la variabilité génétique.

#### **I.3.4.3. Marqueurs moléculaires**

Les marqueurs moléculaires correspondent à des différences nucléotidiques existant au niveau de la molécule d'ADN (d'où le terme moléculaire), des techniques de biologie moléculaire permettent de révéler ce polymorphisme de séquences. Ces différences entre allèles peuvent correspondre à des mutations ponctuelles (substitutions, insertion, délétion), des réarrangements chromosomiques, ou des mutations silencieuses (sans effet sur l'expression du gène), comme elles peuvent se trouver dans des régions codantes ou non codantes (De vienne, 1998).

Les possibles variations tissulaires temporelles ou environnementales de l'expression des séquences sont sans effet sur leur détectabilité. Elles sont en majorité sans effet phénotypique. Un marqueur génétique «idéal» doit être polymorphe (la matière première du généticien est la variabilité), multi-alléliques, codominants (l'hétérozygote présente simultanément les caractères des deux parents homozygotes), non épistatique (son génotype peut être lu à partir de son phénotype quel que soit le génotype des autres locus), neutre (les substitutions alléliques au locus marqueur n'ont pas d'autres effets phénotypiques), insensible au milieu (le génotype peut être inféré à partir du phénotype quel que soit le milieu) (De vienne, 1998).

Les marqueurs moléculaires, directement issus du polymorphisme existant au niveau de l'ADN, sont désormais utilisés fréquemment pour l'analyse des ressources génétiques et dans les programmes d'amélioration des plantes.

Les marqueurs moléculaires répondent bien à ces critères et, contrairement aux marqueurs associés à des caractéristiques morphologiques ou biochimiques, révèlent directement les modifications du patrimoine génétique, c'est-à-dire de l'ADN, qu'elles se traduisent ou non par une modification phénotypique. Ce polymorphisme de l'ADN résulte de l'accumulation graduelle des mutations, produisant soit des substitutions nucléotidiques, soit des insertions d'une ou de plusieurs bases (De vienne, 1998).

Chaque type de marqueur est décrit et la technique de laboratoire qui permet de le révéler est expliquée. En fonction de leurs caractéristiques propres, génétiques et techniques, les domaines d'application les plus pertinents de chacun (analyse de phylogénie, de structuration de la diversité génétique ou établissement des cartes génétiques) sont largement détaillés dans plusieurs articles de synthèse (Santoni *et al.*, 2000 ; Langridge *et al.*, 2001). Le choix du système de marquage dépend de l'objectif précis fixé, des moyens et des compétences disponibles au laboratoire. Les marqueurs moléculaires qui sont les plus couramment utilisés chez la pastèque sont présents dans cette partie. Une liste exhaustive de ces marqueurs (RFLP, SSR, AFLP, RAPD et SNP) (Tableau II).



Tableau II. Caractéristiques de quelques techniques moléculaires (Zalapa et al., 2012)

Caractéristiques	RFLP	SSR	AFLP	RAPD	SNP
Nombre de locus détectés	1	1	> 1	> 1	1
Allélisme	Co-dominant	Co-dominant	Dominant	Dominant	Co-dominant
Niveau de polymorphisme	Bon	Excellent	Bon	Bon	Excellent
Polymorphisme à un locus	2 à 5 allèles	Multiple allèles	Présence /absence	Présence /absence	Plus de 4 allèles
Quantité d'ADN	Grande	Petite	Petite	Petite	Petite
Qualité d'ADN	Très bonne	Raisonnable	Bonne	Raisonnable	Raisonnable
Reproductibilité	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne
Temps de manipulation	Long	Rapide, une fois que les marqueurs sont développés	Rapide	Rapide	Rapide, une fois que les marqueurs sont développés
Coût	Elevé	Moyen	Faible	Faible	Elevé
Difficultés techniques	Elevé	Faible	Moyen	Moyen	Elevé

### I.3.5. Etude de la variabilité induite chez les mutants : le TILLING

Le TILLING (Targeting Induced Local Lesions in Genomes) est une technique permettant de caractériser et d'utiliser la diversité génétique en identifiant des mutations induites localement dans le génome. C'est une nouvelle stratégie de la génétique inverse qui aide à localiser une série allélique de mutations ponctuelles induites dans les gènes d'intérêt (De-Kai et al., 2006). La génétique inversée (de la séquence du gène au phénotype) a largement remplacé la génétique directe dans les études impliquées dans la détection de la fonction des gènes (Kurowska et al., 2011).

La technique dite de « TILLING » a déjà été utilisée avec succès dans le cas de la tomate, du blé, du pois, du colza... Ainsi, certaines mutations repérées chez les solanacées ont permis de confirmer qu'une altération spécifique d'un gène permettait d'induire la résistance à une famille de virus (potyvirus) en bloquant la formation d'une protéine utilisée par le virus dans son cycle infectieux. L'utilisation du TILLING permet alors de repérer et de sélectionner des plantes résistantes à ce virus.

Le TILLING a été largement utilisé pour étudier la fonction des gènes dans différents organismes tels que : *Brassica napus*, *Brassica rapa*, *Lotus japonicus*, *Zea mays*, *Oryza sativa*, et la drosophile (Guo et al., 2015).

La première étape de la stratégie TILLING est la création d'une population mutagenisée suffisamment grande, qui est appelée population TILLING. Avant d'effectuer une mutagenèse, certains aspects cruciaux doivent être pris en compte. Le premier est le matériel pour le traitement mutagène. En raison de leur facilité technique pour les cultures à grains comme l'orge, les grains sont généralement traités. Le second est le choix d'un mutagène. Bien que les mutagènes physiques tels que les rayons gamma, les neutrons thermiques et les rayons X aient largement contribué à la création des variétés mutantes chez plus de 175 espèces végétales, ils ont rarement été utilisés pour la création de populations de TILLING (Sato *et al.*, 2006). Dans la plupart des cas, des mutagènes chimiques tels que le méthanesulfonate d'éthyle (EMS), le N-méthyl-N-nitrosourée (MNU) sont utilisés pour les traitements TILLING chez les plantes (Sato *et al.*, 2006).

**CHAPITRE II. MATERIEL ET  
METHODES**

## II.1. Matériel

### II.1.1. Description des sites expérimentaux

#### II.1.1.1. Champs expérimentaux

Les travaux en champ se sont déroulés dans deux sites dans la région du Centre Cameroun, zone agro-écologique V caractérisée par une pluviométrie bimodale durant deux campagnes agricoles (2017 et 2018) :

Le premier essai a été réalisé de mars à juin 2017 dans le village Eloundeng II par Yaoundé (Fig. 7). Sa situation géographique est la suivante :  $05^{\circ} 08' 25''$  latitude N et  $10^{\circ} 31' 22,1''$  longitude E, altitude 740 m, avec une pluviométrie totale annuelle de 1 836,7 mm, une température moyenne de  $25,01^{\circ}\text{C}$  et une humidité relative moyenne de 85 %.

Le deuxième essai a été réalisé de mars à juin 2018 dans le village Nkometou situé à une quinzaine de kilomètres de Yaoundé ( $4^{\circ} 03' 00''$  latitude N et  $11^{\circ} 33' 00''$  longitude E, altitude 637 m) avec une pluviométrie totale annuelle de 3 000 mm, une température moyenne de  $22,8^{\circ}\text{C}$  et une humidité relative de 95 % (Fig. 7).

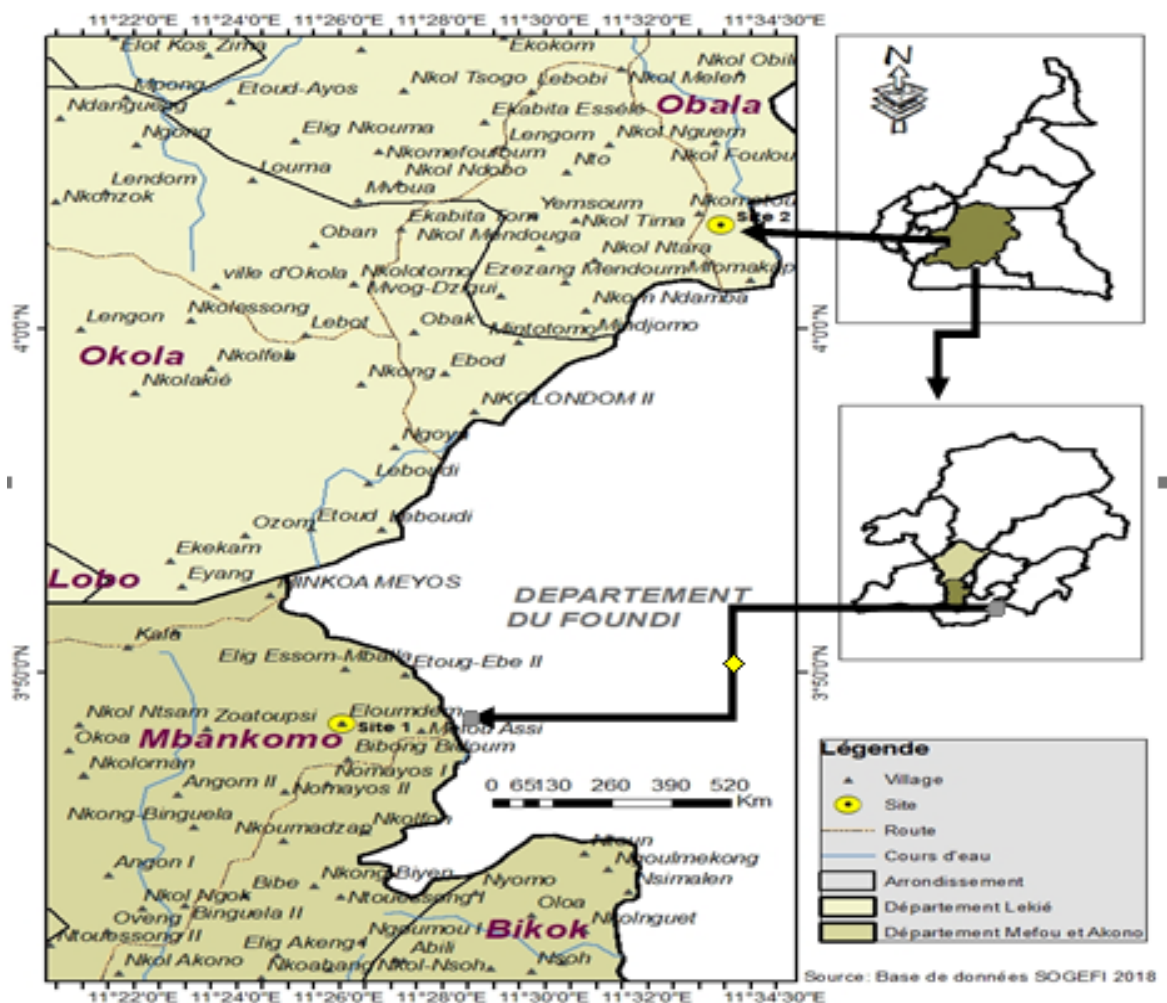


Fig. 7. Carte géographique du Cameroun et localisation des sites d'étude

L'essai sur la radiosensibilité a été réalisé en pépinière sous la serre expérimentale de l'Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD) de mars à avril 2019 (Fig.8).



Fig. 8. Plants de pastèque en pépinière sous la serre. (Cliché de FOKAM)

Les essais sur la caractérisation et la détermination de l'efficacité de l'irradiation à la dose létale 50 (DL50) sur la population  $M_1$  à l'aide des marqueurs morphologiques et biochimiques ont été menés en champ. A soixante cinq jours après semis (65 JAS) les plants étaient en pleine fructification (fig. 9).



Fig. 9. Plants de pastèque dans le champ expérimental d'Eloumdeng II (Cliché de FOKAM)

### II.1.1.2. Laboratoires

Les Laboratoires de Génétique et Amélioration des Plantes de l'Université de Yaoundé I, de sélection et de génétique végétale de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA) basée à Seibersdorf en Autriche et de Phytobiochimie et d'Etude des Plantes Médicinales de l'Université de Yaoundé I ont servi de cadre pour l'induction de la mutagenèse et l'évaluation des différents paramètres.

### II.1.2. Matériel biologique

Le matériel biologique était constitué de cinq (05) variétés de pastèques Sugar baby, Kaolack, Crimson sweet, Charleston gray et Koloss collectées sur le marché Camerounais auprès des points de vente agréés de la Société semencière Sémagri (Fig. 10).



Fig. 10. Caractéristiques morphologiques des variétés de pastèque utilisées (a: Sugar baby b: Koloss c: Charleston gray ; d: Crimson sweet ; e: Kaolack) (Cliché de FOKAM)

## II.2. Méthodes

### II.2.1. Caractérisation agromorphologique des principales variétés de pastèque cultivées au Cameroun

#### II.2.1.1. Aménagement des sites

Le terrain utilisé pour l'essai en champ a été respectivement désherbé et labouré manuellement à l'aide de la machette, la houe et la daba. Les piquets portant les étiquettes ont été implantés sur chaque parcelle. Ces étiquettes avaient pour rôle de faciliter la reconnaissance des variétés semées dans chaque parcelle.

#### II.2.1.2. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental était constitué des blocs complets randomisés à trois répétitions, à l'image des travaux de Laopé et *al.*, (2018) sur cinq espèces de cucurbitacées. Chaque bloc était subdivisé en cinq parcelles et chaque variété occupait une parcelle dans un bloc. Ainsi sur l'ensemble des trois blocs, 15 parcelles (18 m×2,5 m) étaient mises en place, les blocs étant séparés de 3 m les uns des autres et les parcelles de 2 m entre elles dans un bloc

(Fig. 11). Au niveau de chaque parcelle, on y mettait deux lignes correspondant à une variété et les poquets dans les lignes étaient séparés par 1 m.

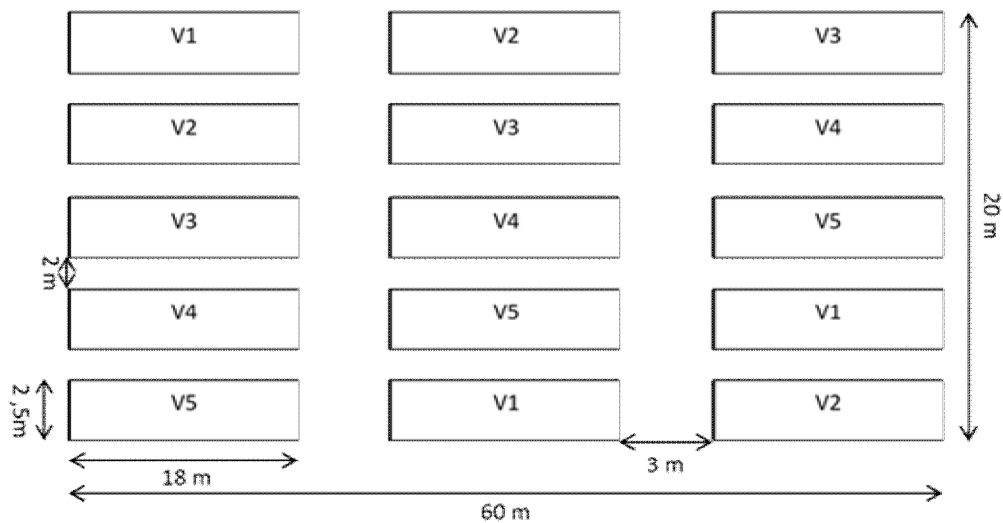


Fig. 11. Dispositif expérimental en champ. V1 : Variété Kaolack, V2 : variété Crimson sweet, V3 : variété sugar baby, V4 : variété koloss V5 : variété charleston gray

### II.2.1.3. Semis

Les graines ont été semées à environ 3 cm de profondeur dans les poquets préalablement creusés et contenant de l'engrais organique (fiente de poule) soit 250 g par poquet. Le semis a été fait à raison de trois (3) graines par poquet avec un espacement de 1 m entre les lignes et 1,5 m entre les rangées.

### II.2.1.4. Entretien des parcelles

Les mauvaises herbes ont été éliminées dès leur apparition. Les traitements phytosanitaires ont été appliqués très tôt et à titre préventif. Ainsi les plantes ont été traitées toutes les 2 semaines avec un mélange insecticide+fongicide (Cypercal+Manèbe) à l'aide d'un pulvérisateur de 15 litres pour une parcelle de 400 m<sup>2</sup>. En plus de l'engrais organique apporté avant le semis pour la fertilisation, un engrais maraîcher 12-14-19 a été apporté 15 jours après semis à raison de 60 g par poquet.

### II.2.1.5. Prise des paramètres

Dix (10) paramètres au total ont permis de différencier et d'évaluer les performances agromorphologiques des variétés de pastèque collectées. Ces paramètres ont été évalués selon les indications des descripteurs des cucurbites (Loy, 1988 ; Staub et Fredrick, 1988). Ceux-ci ont été également utilisés pour la caractérisation de trois variétés de pastèque au Nigeria

(Oraegbunam et *al.*, 2016). Parmi ces paramètres, trois sont morphologiques et sept sont agronomiques.

#### **II.2.1.5.1. Paramètres morphologiques**

Les paramètres morphologiques évalués étaient: la longueur des fruits, le diamètre des fruits, la forme des graines.

La longueur et le diamètre des fruits à maturité ont été mesurés à l'aide d'un décimètre ruban et d'un pied à coulisse respectivement. Ces paramètres ont été évalués sur trente (30) fruits pour chaque variété de pastèque.

La forme des graines a été déterminée à partir du rapport entre la largeur (distance entre les bords latéraux de la graine) et la hauteur (distance séparant la base de la graine du sommet). Ce rapport qui exprime le degré de circularité de la graine est égal à l'unité pour des graines rondes et d'autant plus proche de zéro que les graines sont allongées (Cowan et Smith, 1993; Zoro Bi et *al.*, 2003). Pour cette mesure, quatre lots de 25 graines de chaque variété ont été constitués soit un total de 100 graines par variété. Les mesures ont été faites individuellement sur chaque graine en la disposant sur du papier millimétré. Trois formes pouvaient ainsi être déterminées en fonction de la valeur du rapport entre la largeur (L) et la hauteur (H).

- lorsque  $L/H = 1$ , on en déduit que la graine est ronde ;
- lorsque  $L/H > 1$ , on en déduit que la graine est large;
- lorsque  $L/H < 1$ , on en déduit que la graine est allongée.

#### **II.2.1.5.2. Paramètres agronomiques**

Sept (7) paramètres agronomiques ont été évalués chez les cinq variétés étudiées. Il s'agit de :

- l'émergence des plantules qui a été exprimée en jours après semis (JAS). Il correspond au temps moyen écoulé entre le jour du semis et la date effective de l'apparition des deux premières feuilles au-dessus du sol ;
- le taux de germination qui correspond au rapport entre le nombre de graines germées et le nombre de graines semées multipliés par 100, il s'exprime en pourcentage (%). Ce taux est déterminé après l'arrêt total de l'émergence (14 JAS);
- le temps de floraison qui correspond au nombre de jours qui sépare le jour de semis et la première floraison d'une plante dans une variété, il s'exprime en (JAS);
- la durée du cycle qui correspond au nombre de jours qui sépare le jour de semis et la maturité des fruits, il s'exprime en (JAS);



- le poids de cent graines a été déterminé en constituant pour chaque variété cinq lots de 100 graines, chaque lot ayant été pesé à l'aide d'une balance de précision 0,01g de marque Sartorius. Il s'exprime en gramme (g);
- le nombre de fruits par plante qui correspond à la moyenne des fruits récoltés, a été évalué sur 03 lots de vingt cinq (25) plantes pour chaque variété;
- le poids des fruits matures a été déterminé immédiatement après la récolte à l'aide d'une balance et exprimé en kilogramme (kg).

## II.2.2. Détermination des doses létales 50 (DL50) d'irradiation des meilleures variétés de pastèque aux rayons gamma

### II.2.2.1. Matériel végétal utilisé pour l'irradiation

Deux des cinq variétés de pastèques évaluées ayant les caractéristiques agromorphologiques performantes ont été utilisées pour cette expérimentation: Kaolack caractérisé par un taux de germination élevé ayant le fruit rond marbré de couleur vert clair et à chair rouge et juteuse (Fig. 12a) ; Crimson sweet à fruit de couleur vert clair marbrée de vert sombre à chair rouge et juteuse (Fig.12b). Les graines de ces deux variétés de pastèque (Fig.13) ont été soumises à l'irradiation.

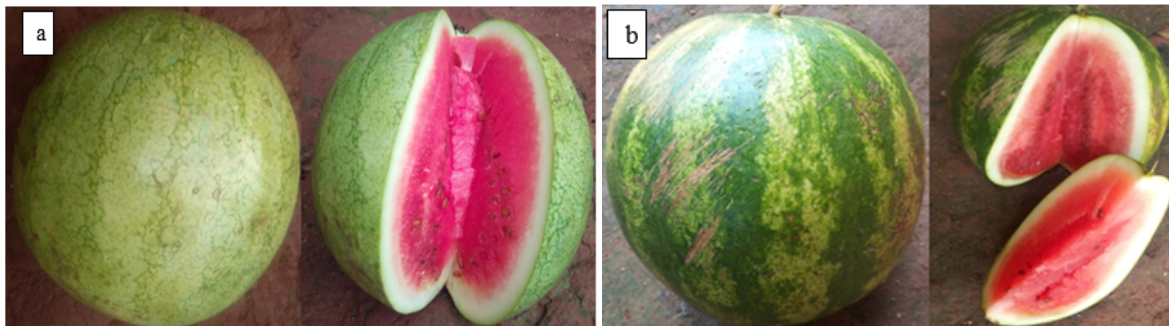


Fig. 12. Fruits des variétés de pastèque utilisées (a: Kaolack b: Crimson sweet) (Cliché de FOKAM)

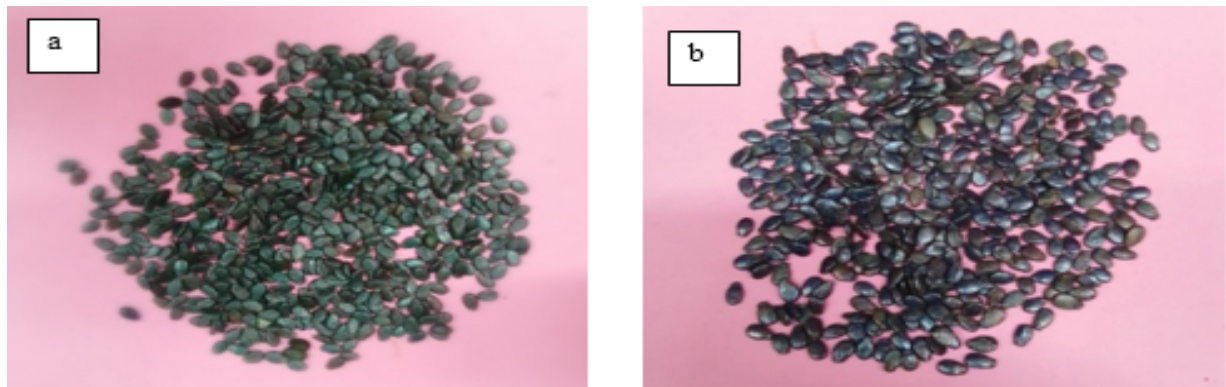


Fig. 13. Graines de pastèque (a : Variété Crimson sweet b :Variété Kaolack) (Cliché de FOKAM)

### II.2.2.2. Irradiation des graines

Les graines ont été irradiées au Laboratoire de sélection et de génétique végétale de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA) basée à Seibersdorf en Autriche. L'irradiation aux rayons gamma a été effectuée en suivant les méthodes décrites par Mba et *al.*, (2010) et Tshilenge-Lukanda et *al.*, (2012). Ce traitement d'irradiation s'est fait en utilisant une source de rayonnement gamma (cobalt 60) avec une radioactivité de 7,41 Gy / min. Ainsi, cinq doses de radiation gamma ont été utilisées, avec un témoin: 0 (témoin non irradié) et 100, 200, 300, 400 et 600 Gy. Chacun des traitements a été répété trois fois pour chaque variété.

### II.2.2.3. Mise en germination des graines et prise des données

Après la phase d'irradiation des graines, des lots de 20 graines par dose et par variété, y compris le témoin ont été mis à germer dans des bacs en plastique contenant une terre limono-sableuse riche en matière organique et préalablement stérilisée à l'autoclave. L'ensemble a été placé dans la serre selon un dispositif expérimental complètement randomisé avec trois répétitions (Fig. 14). Les plants ont été arrosés régulièrement pour assurer une humidité suffisante pour leur croissance.



Fig. 14. Dispositif expérimental utilisé en serre (Cliché de FOKAM)

Les paramètres évalués portaient sur :

- le délai de levée, le temps séparant le semis et la levée de la première plante a été évalué selon la méthode décrite par Velkov et *al.*, (2016);
- le taux de germination exprimé en pourcentage de graine germée a été évalué trois semaines après le semis suivant la relation de Olasupo et *al.*, (2016) ;

$$\text{Taux de germination (\%)} = \frac{\text{Nombre de graines germées}}{\text{Nombre de graines semées}} \times 100 ;$$

- la taille des plantes exprimée en (cm) a été mesurée quotidiennement entre le 14<sup>e</sup> et le 20<sup>e</sup> JAS. Elle a été mesurée à partir de la surface du sol jusqu'à l'extrémité de la feuille terminale à l'aide d'un mètre ruban ;
- le taux de survie des populations M<sub>1</sub> a été évalué au 28<sup>e</sup> JAS en rapportant le nombre de plantes effectivement vivantes au nombre de graines semées selon la formule de Olasupo *et al.*, (2016). **Taux de survie (%) =  $\frac{\text{Nombre de plantes vivantes}}{\text{Nombre de graines semées}} \times 100$**
- la dose optimale (DL50) pour chaque variété exprimant la réduction de croissance de 50 %, a été estimée par le modèle de la régression linéaire simple en ajustant l'équation  $y = mx + c$ ; où y est la variable de réponse (taille de la plante), x est la variable indépendante (dose d'irradiation), tandis que m et c représentent respectivement la pente et la constante (Horn et Shimelis, 2013 ; Ertan *et al.*, 2017 ; Gnankambary *et al.*, 2019).

### **II.2.3. Etude de l'efficience de l'irradiation à la dose létale 50 (DL50) sur la population M1 à l'aide des marqueurs morphologiques et biochimiques.**

Après la phase de radiosensibilité, les graines des variétés Kaolack et Crimson sweet ont été à nouveau irradiées avec la seule dose optimale de 200 Gy puis mise en champ afin d'évaluer les effets de la mutagenèse induite sur les paramètres morphologiques et biochimiques.

#### **II.2.3.1. Dispositif d'évaluation**

Le dispositif expérimental en blocs complets randomisés avec trois répétitions a été utilisé. Les quatre traitements (un témoin et un irradié pour chaque variété) ont été disposés de façon aléatoire dans les blocs. Pour les paramètres de germination, la totalité des graines semées soit 40 graines par bloc et par variété a été utilisée. Concernant les autres paramètres, 30 pieds par bloc et par variété sont évalués.

#### **II.2.3.2. Utilisation des marqueurs agromorphologiques**

Certains paramètres morphologiques ont été évalués à cet effet. Il s'agit de :

- l'émergence des plantules ;
- le taux de levée ;
- le temps de première floraison ;
- le nombre de feuilles par plante ;
- la longueur des tiges.
- le nombre de fleurs par plante ;

- la durée du cycle ;
- le nombre de fruit par plante.

Ces paramètres ont été évalués sur les mutants de la génération M<sub>1</sub> et les non mutants M<sub>0</sub>. (Eman et *al.*, 2020).

### **II.2.3.3. Utilisation des paramètres biochimiques**

#### **II.2.3.3.1. Teneur en pigments chlorophylliens**

Un paramètre physiologique indicateur, relatif à l'état de santé de la plante, est la teneur en pigments photosynthétiques (Shah et *al.*, 2011). Une teneur optimale garantie un meilleur rendement de la plante et la mutagenèse aux rayons gamma peut y avoir un impact.

##### **II.2.3.3.1.1. Principe**

Les feuilles ont été prélevées au huitième nœud sur 10 plantes de chaque variété et pour chaque traitement dans le but d'harmoniser l'échantillonnage. L'extraction et le dosage des pigments ont été faits selon la méthode d'Arnon (1949).

##### **II.2.3.3.1.2. Mode opératoire**

Les échantillons de feuilles (0,5 g) ont été broyés dans 10 ml d'acétone à 85 %. Les débris cellulaires ont ensuite été éliminés après une centrifugation de 3 000 tr/min pendant 10 min et le surnageant a été récupéré. L'absorbance des échantillons a été déterminée à 645, 663 et 470 nm au spectrophotomètre UV-visible, modèle BioMate 3. Les teneurs en pigments ont été calculées en µg. mL<sup>-1</sup> selon les équations suivantes (Lichtenthaler et Wellburn, 1983) :

- Chlorophylle a :  $\text{Chl a} = 12,21 \text{ DO}_{663} - 2,81 \text{ DO}_{645}$ ;
- Chlorophylle b :  $\text{Chl b} = 20,13 \text{ DO}_{645} - 5,03 \text{ DO}_{663}$ ;
- Chlorophylles totales :  $\text{Chl a+b} = \text{Chl a} + \text{Chl b}$  et
- Caroténoïdes totaux (xanthophylles + β-carotènes) :

$$\text{Car} = (1000 \text{ DO}_{470} - 3,27 \text{ Chl a} - 104 \text{ Chl b}) / 229.$$

##### **II.2.3.3.2. Teneur en protéines solubles totales.**

Les protéines solubles sont des métabolites intervenant non seulement dans les caractéristiques de croissance et organoleptique des plantes, mais aussi dans les mécanismes de défense contre les stress biotiques et abiotiques. Par exemple les conditions de température élevée induisent chez la plante, la synthèse d'une famille de protéine appelée protéines de chocs thermiques (Hopkins, 2003).

### II.2.3.3.2.1. Extraction des protéines solubles totales

Les protéines solubles totales ont été extraites suivant le protocole décrit par Tarafdar et Marschner (1994).

#### - Principe

L'extraction repose sur la libération des protéines présentes dans les cellules en fonction de leur solubilité dans le tampon suite à la rupture du tissu végétal.

#### - Mode opératoire

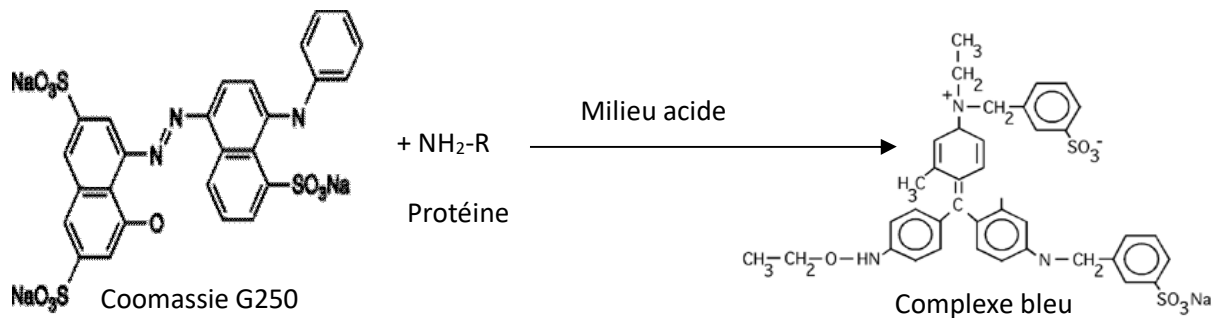
Un gramme (1 g) de matériel végétal a été broyé dans un mortier contenant 5 ml de tampon phosphate de sodium 0,1 M à pH =7 placé dans la glace. Après centrifugation à 5 000 tr/min pendant 10 minutes à 4 °C, le surnageant récupéré a constitué l'extrait brut enzymatique.

### II.2.3.3.2.2. Dosage des protéines solubles totales

Les teneurs en protéines solubles totales des extraits ont été estimées suivant le protocole décrit par Bradford (1976).

#### - Principe

En présence des chaînes latérales des acides aminés basiques (lysine, arginine, histidine), aromatiques et sur les fonctions amines libres de la chaîne polypeptidique, le bleu de Coomassie G<sub>250</sub> forme un complexe chromogène de coloration bleu, présentant un maximum d'absorption à 595 nm. L'équation de la réaction est celle donnée ci-dessous :



#### - Mode opératoire

Pour le dosage des protéines, 100 µl de l'extrait protéique (surnageant) précédemment obtenu ont été prélevés et on y a ajouté 0,5 ml de tampon phosphate, de l'eau distillée et 2 ml du réactif de Bradford pour un volume final de 3 ml. L'étalonnage a été réalisé en remplaçant l'extrait par des concentrations croissantes de BSA (*Bovine Serum Albumine*) et les densités optiques ont été lues à 595 nm après 10 minutes d'incubation à 25 °C.

### II.2.3.3.3. Teneur en composés phénoliques

Les composés phénoliques suscitent un intérêt considérable dans le domaine de l'alimentaire, de la chimie et de la médecine en raison de leur potentiel antioxydant prometteur (Kalia et *al.*, 2008). Ils participent à la défense des plantes contre les agressions environnementales et dans la lutte contre des agents pathogènes et des infections (Gee et Johnson, 2001). Une teneur considérable est bénéfique aussi pour la plante que pour le consommateur de la plante.

#### II.2.3.3.3.1. Extraction des composés phénoliques

L'extraction des composés phénoliques a été réalisée suivant le protocole de Luthria et Pastor-Corrales (2006) modifié par Mujica et *al.* (2009).

##### - Principe

Le principe de l'extraction repose sur la libération des composés phénoliques présents dans les cellules par rupture du tissu végétal et par diffusion dans le solvant d'extraction.

##### - Mode opératoire

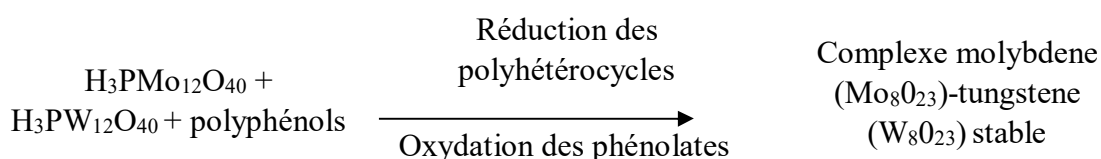
A 1g de chaque matériel végétal (traitements) a été ajouté à 10 ml de méthanol 80 % acidifié à 0,1 % avec le HCl. Le mélange a été homogénéisé, incubé 2 heures à température ambiante et centrifugé à 1 800 g pendant 15 minutes. Le surnageant a été récupéré et le culot retraité de nouveau tel que décrit précédemment jusqu'à épuisement. Les extraits méthanoliques (surnageant) ainsi obtenus ont servi au dosage des composés phénoliques.

#### II.2.3.3.3.2. Dosage des phénols totaux

Le dosage des composés phénoliques a été réalisé suivant le protocole légèrement modifié de Singleton et Rossi (1965).

##### - Principe

Le principe du dosage est basé sur la réduction en milieu alcalin de la mixture d'acide phosphotungstique et phosphomolybdique du réactif de Folin-Ciocalteu par les groupements oxydables des composés phénoliques, conduisant à la formation d'un produit de couleur bleue. Ce complexe dont l'intensité de coloration est proportionnelle à la concentration en composés phénoliques, présente un maximum d'absorption à 725 nm.



### - Mode opératoire

Un millilitre (1 ml) du réactif de Folin-Ciocalteu à 10 % a été ajouté à 0,2 ml d'extrait méthanoliques (surnageant). Le mélange a été homogénéisé et incubé pendant 5 minutes à température ambiante. Ensuite, 0,8 ml de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 20 % a été ajouté. Deux heures après, l'absorbance du complexe de coloration bleu formé a été lue à 725 nm contre un blanc (de composition identique que le tube test mais ne contenant pas d'extrait). L'étalonnage a été réalisé à l'aide d'une solution d'acide chlorogénique (10 µg/ml), chaque essai a été répété 3 fois et les teneurs en composés phénoliques ont été déterminées à partir de l'équation de la droite de régression de la courbe d'étalonnage.

#### II.2.3.3.4. Teneur en flavonoïdes

La couleur des fruits, des fleurs et des feuilles est une des caractéristiques des flavonoïdes (El Gharras, 2009). Ainsi une amélioration de la teneur en flavonoïde serait bénéfique pour la plante.

##### II.2.3.3.4.1. Extraction des flavonoïdes par l'acétate d'éthyle et n-butanol

Le protocole d'extraction des fractions flavoniques d'acétate d'éthyle et du n-butanol (Fig. 15) est réalisé selon la méthode décrite par Bekkara et *al.* (1998).

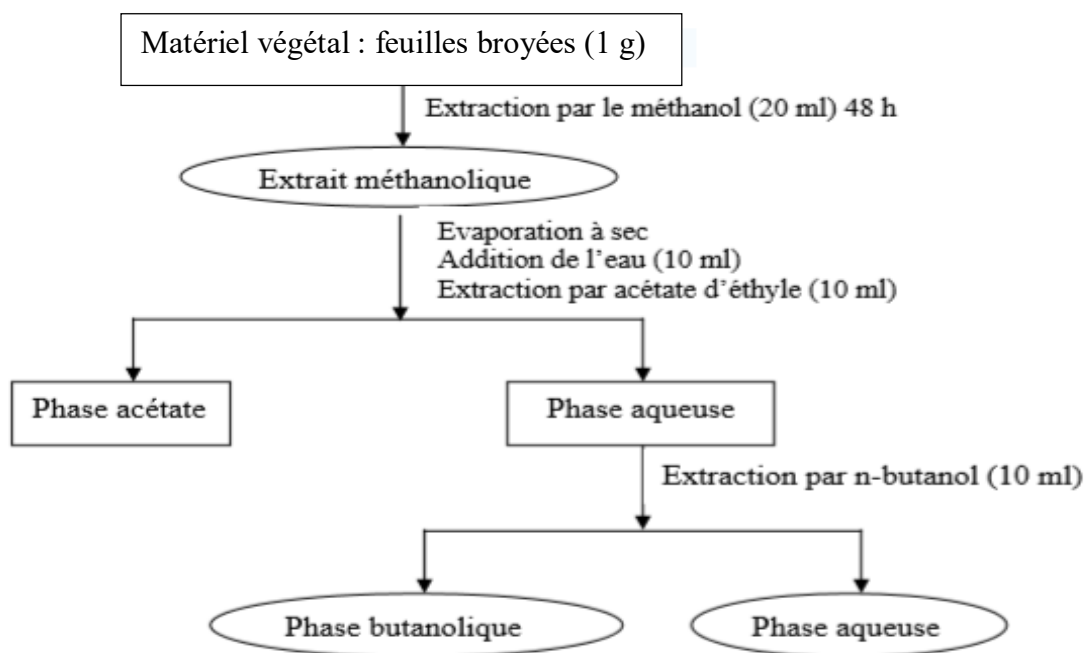


Fig. 15. Protocole d'extraction des flavonoïdes (Bekkara et *al.*, 1998)

##### II.2.3.3.4.2. Dosage des flavonoïdes

La teneur en flavonoïdes des extraits a été estimée selon la méthode décrite par Kramling et Singleton (1969).

### - Principe

Cette méthode est basée sur la précipitation par le formaldéhyde des flavonoïdes présents dans les extraits et leur quantification par différence entre la quantité de phénols totaux et celle des phénols non flavonoïdes restant dans l'extrait.

### - Mode opératoire

A 4 ml d'extrait méthanoliques, ont été ajoutés respectivement 2 ml de HCl dilué à 50 % et 2 ml de formaldéhyde (préparé en dissolvant 8 mg de formaldéhyde dans un litre d'eau). Le mélange a été incubé pendant 24 h à température ambiante puis filtré pour enlever le produit condensé. Le filtrat ainsi recueilli représentant les composés phénoliques non flavonoïdes a été dosé conformément au protocole décrit plus haut (Singleton et Rossi, 1965) et la teneur en flavonoïdes a été déterminée selon la formule suivante :

$$T_{\text{Flavonoïde}} = T_{\text{(Phénols totaux)}} - T_{\text{(Phénols non flavonoïdes)}}$$

$T_{\text{Flavonoïde}}$  : Teneur en flavonoïdes

$T_{\text{(Phénols totaux)}}$  : Teneur en phénols totaux

$T_{\text{(Phénols non flavonoïde)}}$  : Teneur en phénols non flavonoïdes

### II.2.4. Analyses statistiques

Les résultats obtenus ont été analysés à l'aide des logiciels statistiques R version 3.5.1 et STATGRAPHICS version 5.1 ainsi que la matrice des coefficients de corrélation (Person) entre les paramètres agromorphologiques étudiés. La significativité des différences entre les traitements a été évaluée par le test de Tukey au seuil de 5 %. Lorsque les différences étaient significatives, le test de comparaison utilisant le modèle d'analyse de variance (ANOVA) de Tukey était utilisé.

Le calcul des moyennes et les droites de regression lineaire ont été réalisés à l'aide du Tableur Excel 2010.



**CHAPITRE III. RESULTATS ET  
DISCUSSION**

### III.1. Résultats

#### III.1.1. Caractérisation agromorphologique des variétés de pastèque

Cette caractérisation a permis de distinguer et d'apprécier les performances agromorphologiques de chaque variété de pastèque.

##### III.1.1.1. Paramètres morphologiques

Les paramètres morphologiques quantitatifs évalués ont montré une variabilité plus ou moins marquée entre les variétés étudiées.

##### III.1.1.1.1. Longueur des fruits à maturité

Pour ce paramètre, la variété Charleston gray est celle qui produit les plus longs fruits avec pour longueur moyenne de  $29,54 \pm 2,24$  cm ; suivies des variétés Kaolack et Crimson sweet avec respectivement  $21,05 \pm 1,14$  cm et  $18,39 \pm 1,53$  cm de longueurs moyennes des fruits. La variété Sugar baby avec une longueur moyenne de fruit de  $13,48 \pm 0,55$  cm, produit les fruits plus courts. Une différence significative est observée après analyse de variance de la longueur des fruits mûrs au seuil de 5 % entre la plupart des variétés évaluées. Cependant entre les variétés Koloss et Sugar baby aucune différence significative n'est observée (Fig.16).

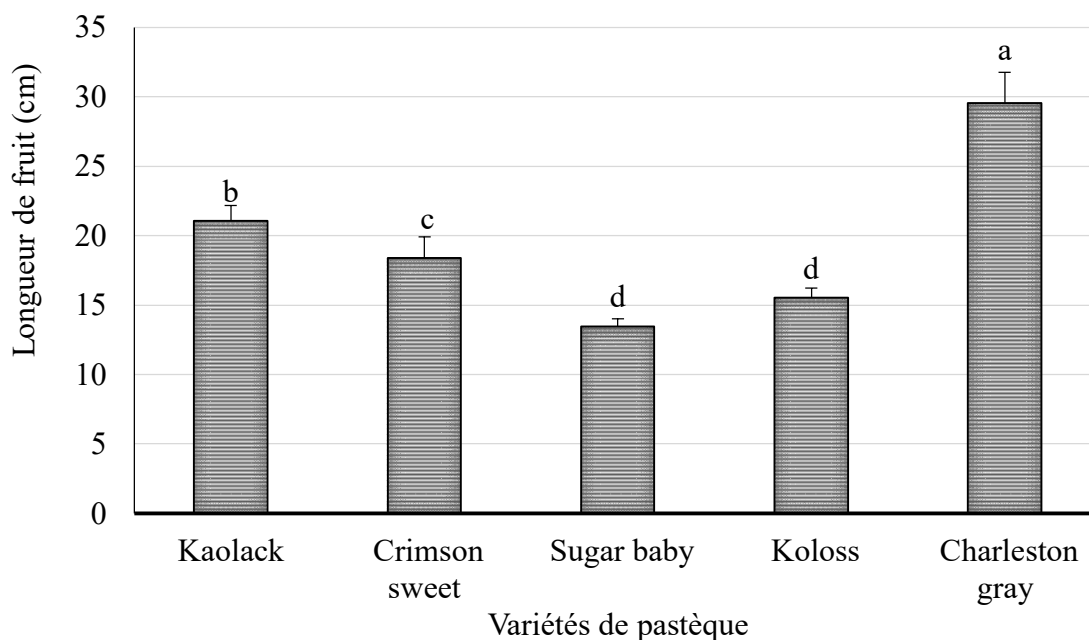


Fig. 16. Valeurs moyennes de la longueur des fruits mûrs des variétés de pastèque.

Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Tukey à ( $P < 0,05$ ).

### III.1.1.1.2. Diamètre des fruits

Chez la variété Kaolack le diamètre moyen est de  $19,43 \pm 2,06$  cm. Concernant la variété Crimson sweet le diamètre moyen du fruit est de  $22,04 \pm 1,71$  cm. En ce qui concerne la variété Sugar baby, le diamètre moyen est de  $16,14 \pm 0,48$  cm. La variété Koloss présente un diamètre moyen de fruit de  $25,02 \pm 1,50$  cm. S'agissant de la variété Charleston gray, le diamètre moyen est de  $18,12 \pm 0,88$  cm.

Il ressort des analyses que la variété Koloss produit des gros fruits mais courts, suivies des variétés Crimson sweet et Kaolack et la variété Sugar baby produit des fruits de petit diamètre. L'analyse de variance révèle une différence significative au seuil de 5 % entre les variétés Crimson sweet, Sugar et Koloss (Fig.17).

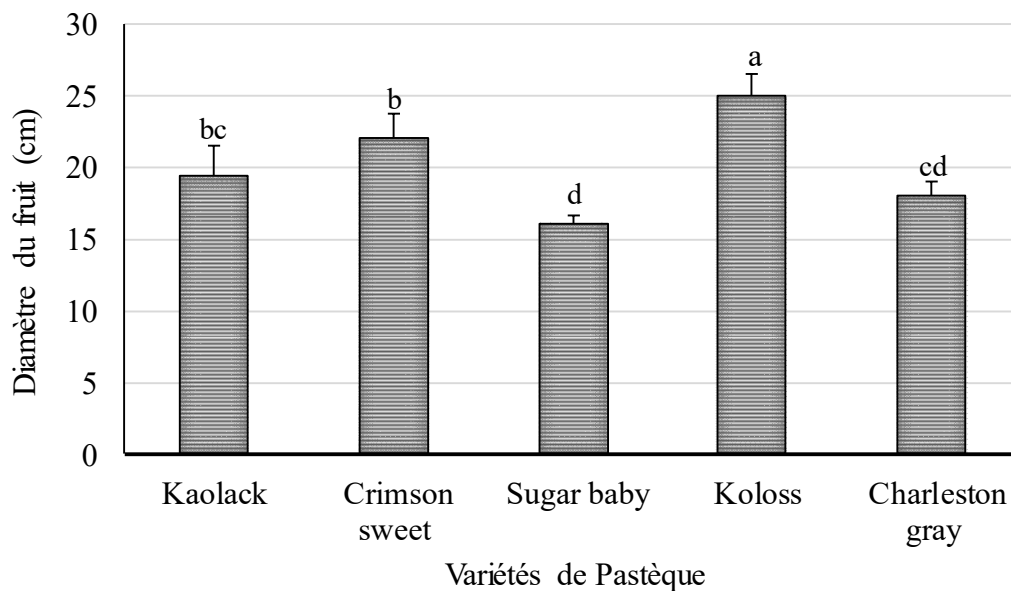


Fig. 17. Valeurs moyennes du diamètre des fruits matures des variétés de pastèque.

Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Tukey à ( $P < 0,05$ ).

### III.1.1.1.3. Forme des graines

Le degré de circularité ou la rondeur de la graine a été évalué en effectuant le ratio L/H (la largeur sur la hauteur des graines). Les valeurs sont comprises entre  $0,67 \pm 0,02$  pour la variété koloss et  $0,61 \pm 0,01$  pour la variété Sugar baby. Les autres valeurs sont de  $0,65 \pm 0,03$ ;  $0,66 \pm 0,04$  et  $0,64 \pm 0,02$  respectivement pour les variétés Kaolack, Koloss et Charleston gray (Tableau III). Pour les cinq variétés, les valeurs du rapport L/H sont significativement inférieures à l'unité ( $L/H < 1$ ).

Par conséquent, sur la base des hypothèses, on déduit que les cinq variétés de pastèque utilisées dans cette étude ont des graines allongées. Une différence significative au seuil de 5 % existe entre les variétés.

### III.1.1.2. Paramètres agronomiques

#### III.1.1.2.1. Nombre de fruits par plante

La variété Kaolack présente un nombre moyen de fruits de  $3,55 \pm 0,89$ . Concernant la variété Crimson sweet, le nombre moyen de fruits est de  $3,32 \pm 0,59$ . En ce qui concerne la variété Sugar baby, le nombre moyen de fruits est de  $2,13 \pm 0,53$ . S'agissant de la variété Koloss, le nombre moyen de fruits est de  $2,12 \pm 0,27$ . Pour ce qui est de la variété Charleston gray, le nombre moyen de fruits est de  $2,24 \pm 0,16$ .

Au terme des analyses, il se dégage deux principales catégories de variétés ; la première qui rassemble les variétés Kaolack et Crimson sweet dont le nombre de fruit est significativement meilleur et la deuxième qui rassemble les variétés Sugar baby, Koloss et Charleston gray. Aucune différence significative n'est observée à l'intérieur d'une catégorie. Cependant une différence significative au seuil de 5 % existe entre les catégories (Fig. 18).

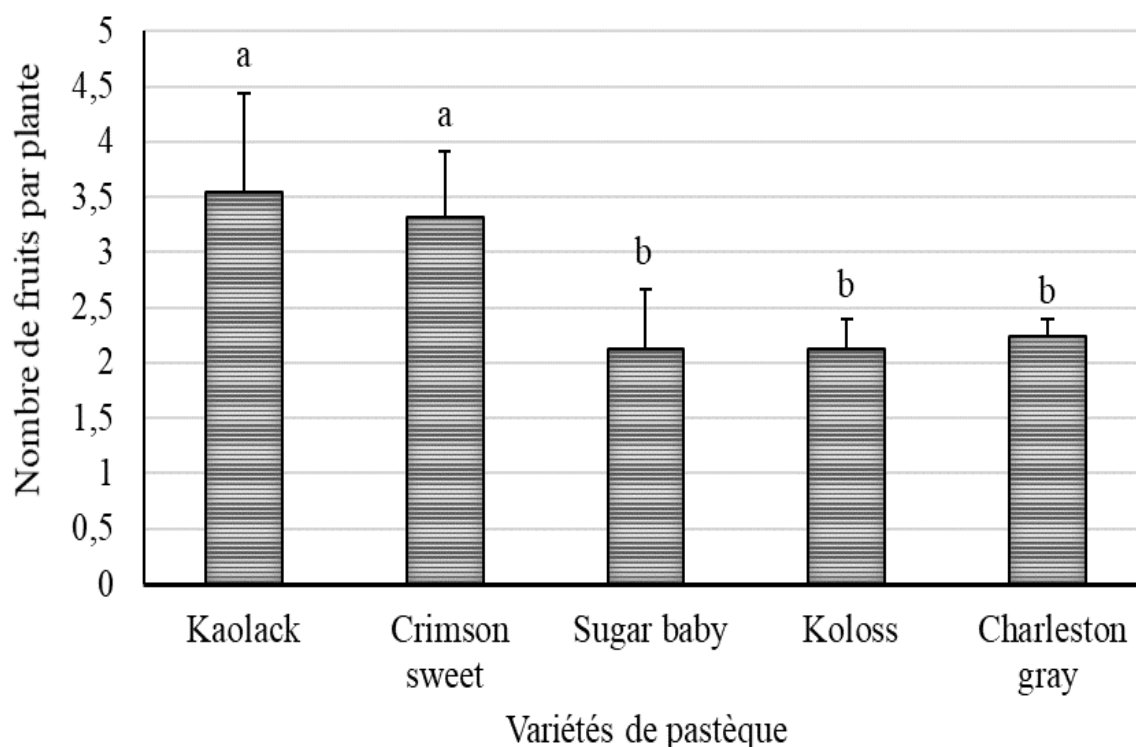


Fig. 18. Valeurs moyennes du nombre de fruits par plante des variétés de pastèque.

Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Tukey à ( $P < 0,05$ ).

### III.1.1.2.2. Poids du fruit mature

Le poids de fruit présente les valeurs qui variaient entre  $3,27 \pm 0,26$  kg pour la variété Sugar baby et  $8,94 \pm 0,40$  kg pour Charleston gray. Pour les variétés Kaolack, Crimson sweet et Koloss les valeurs moyennes du poids du fruit étaient respectivement de  $6,03 \pm 0,87$  kg ;  $4,70 \pm 0,42$  kg et  $4,36 \pm 0,33$  kg. Ce paramètre présente des différences significatives au seuil de 5 % entre les variétés (Fig.19.).

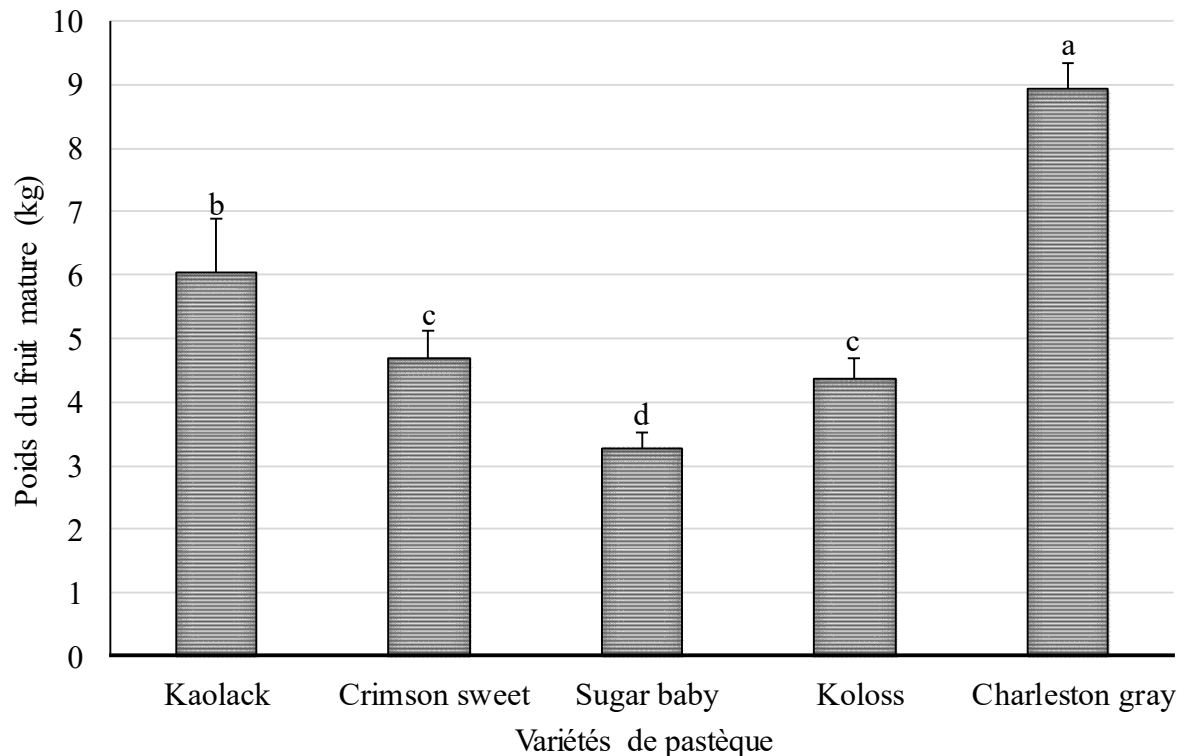


Fig. 19. Valeurs moyennes du poids des fruits matures des variétés de pastèque.

Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Tukey à ( $P < 0,05$ ).

### III.1.1.2.3. Poids de 100 graines

Chez la variété Kaolack le poids moyen de 100 graines était de  $5,22 \pm 0,01$  g. Chez la variété Crimson sweet ce poids moyen était de  $4,60 \pm 0,02$  g. S'agissant de la variété Koloss le poids moyen était de  $5,39 \pm 0,01$  g. En ce qui concerne les variétés Sugar baby et Charleston, les poids moyens étaient respectivement de  $4,64 \pm 0,01$  g et  $7,36 \pm 0,03$  g. L'analyse des données montrent que le poids de 100 graines présente une différence significative au seuil de 5 % (Fig.20).

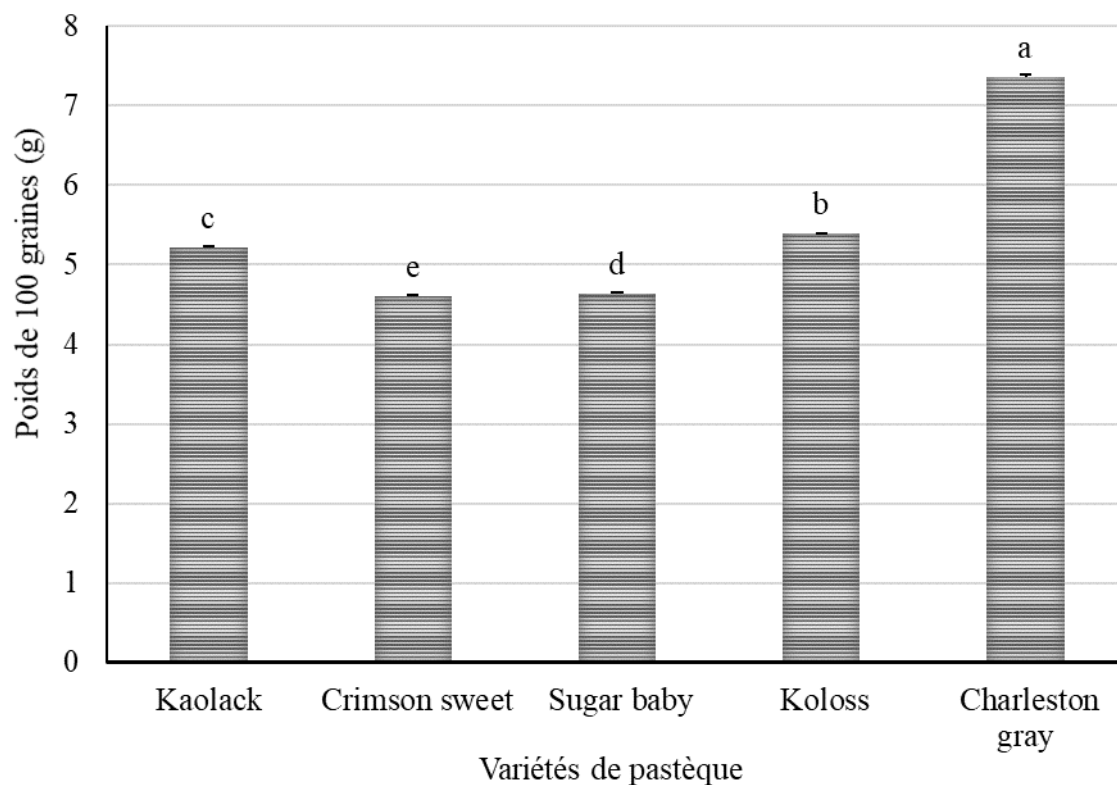


Fig. 20. Poids moyen de 100 graines des variétés de pastèque.

Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Tukey à ( $P < 0,05$ ).

#### III.1.1.2.4. Emergence

Chez la variété Kaolack le temps moyen pour une germination complète était de  $7,03 \pm 0,8$  JAS. S'agissant de la variété Crimson sweet ce temps moyen était de  $8,28 \pm 0,69$  JAS. Chez la variété Koloss, l'émergence s'est effectué sur une moyenne de  $8,73 \pm 1,03$  JAS. L'émergence moyenne a été de  $8,63 \pm 0,28$  JAS pour la variété Sugar baby et de  $8,63 \pm 0,28$  JAS pour Charleston gray.

Au terme des analyses statistiques, aucune différence significative n'a été notée entre les variétés Crimson sweet, Sugar baby, Koloss et Charleston gray. Cependant la variété Kaolack a présenté une différence significative et une précocité par rapport aux autres variétés (Fig. 21).

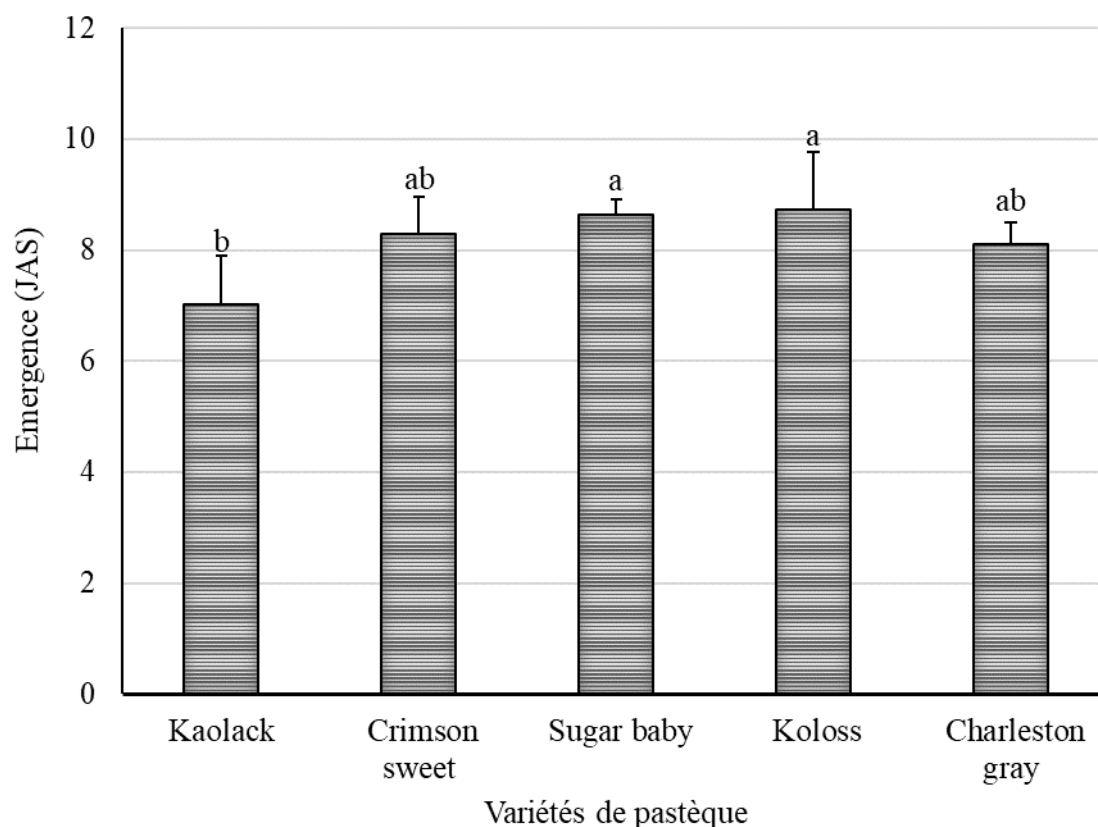


Fig. 21. Valeurs moyennes du temps de l'émergence entre les cinq variétés de pastèque. Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Tukey à ( $P < 0,05$ ).

### III.1.1.2.5. Taux de germination

D'une manière générale, le taux (%) de germination a été relativement élevé chez toutes les variétés étudiées car toutes les valeurs étaient au-dessus de 50 %. Cependant les variétés Kaolack et Crimson sweet ont présenté les meilleurs taux de germination respectivement de  $90,71 \pm 1,12$  % et  $89,81 \pm 3,07$  %. Aucune différence significative n'a été notée entre ces deux variétés. Chez la variété Sugar baby le taux moyen était de  $61,11 \pm 5,82$  %. S'agissant de la variété Koloss le taux moyen était de  $67,59 \pm 8,18$  %. En ce qui concerne la variété Charleston gray, le taux moyen était de  $69,44 \pm 2,36$  %.

Après analyse de variance du taux de germination au seuil de 5 %, aucune différence significative n'a été observée entre les variétés Sugar baby, Koloss et Charleston gray. Cependant une différence significative s'est dégagée entre ces trois variétés et les deux premières à savoir Kaolack et Crimson sweet (Fig. 22).

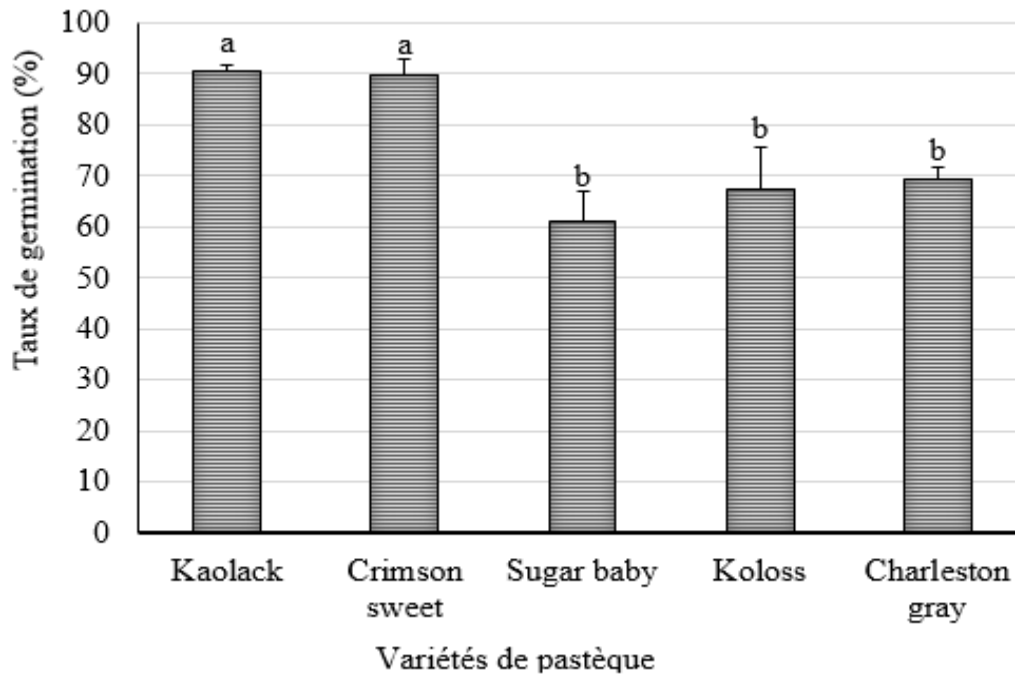


Fig. 22. Valeurs moyennes du taux de germination des graines des variétés de pastèque  
 Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Tukey à ( $P < 0,05$ ).

#### III.1.1.2.6. Temps de floraison

Le temps de floraison chez la variété Kaolack était de  $28,27 \pm 0,45$  JAS en moyenne. Concernant la variété Crimson sweet, le temps moyen de floraison était de  $28,79 \pm 0,60$  JAS. Pour ce qui est de la variété Sugar baby ce temps était de  $36,24 \pm 0,32$  JAS. S'agissant de la variété Koloss, le temps moyen de floraison était de  $30,11 \pm 0,35$  JAS. Chez la variété Charleston ce temps moyen était de  $30,01 \pm 0,54$  JAS (Tableau III).

Les variétés Kaolack et Crimson sweet ont été les plus précoces tandis que les autres étaient un peu plus tardives concernant ce paramètre. Ce pendant chez toutes les variétés les fleurs femelles apparaissaient quelques jours après les fleurs mâles. Les analyses statistiques ont présenté des différences significatives entre les variétés étudiées.

#### III.1.1.2.7. Durée du cycle

La durée du cycle de culture a permis de déterminer le temps de maturité des fruits des variétés étudiées. Ainsi la variété Kaolack a exprimé une durée moyenne de  $79,57 \pm 0,55$  JAS. S'agissant de la variété Crimson sweet cette durée était de  $87,64 \pm 1,11$  JAS. Concernant la variété Sugar baby, la durée moyenne était de  $110,71 \pm 1,40$  JAS. Pour ce qui est de la variété



Koloss, la durée moyenne de cycle était de  $87,09 \pm 0,55$  JAS. En ce qui concerne la variété Charleston gray cette durée a été évaluée à  $85,96 \pm 1,84$  JAS (Tableau III).

La variété Kaolack s'avère être la plus précoce tandis que la plus tardive était la variété Sugar baby. Cependant les analyses statistiques révèlent une différence significative entre ces deux variétés et les autres variétés.

Tableau III. Tableau récapitulatif des valeurs moyennes de quelques paramètres morphologiques et agronomiques évalués.

Les résultats ont été exprimés sous forme de moyenne  $\pm$  ESM, Les valeurs avec des lettres différentes présentent une différence significative et celles avec les mêmes lettres ne présentent aucune différence significative selon le test de Tukey à ( $P < 0,05$ ).

Variétés	Kaolack	Crimson sweet	Sugar baby	Koloss	Charleston gray
Paramètres					
Longueur de fruit ( cm)	21,05 $\pm$ 1,14b	18,39 $\pm$ 1,53c	13,48 $\pm$ 0,55d	15,52 $\pm$ 0,69d	29,54 $\pm$ 2,24a
Diamètre du fruit (cm)	19,43 $\pm$ 2,06bc	22,04 $\pm$ 1,71b	16,14 $\pm$ 0,48d	25,02 $\pm$ 1,50a	18,12 $\pm$ 0,88cd
Poids du fruit mature (kg)	6,03 $\pm$ 0,87b	4,70 $\pm$ 0,42c	3,27 $\pm$ 0,26d	4,36 $\pm$ 0,33c	8,94 $\pm$ 0,40a
Nombre de fruits par plante	3,55 $\pm$ 0,89a	3,32 $\pm$ 0,59a	2,13 $\pm$ 0,53b	2,12 $\pm$ 0,27b	2,24 $\pm$ 0,16b
Emergence (JAS )	7,03 $\pm$ 0,87b	8,28 $\pm$ 0,69ab	8,63 $\pm$ 0,28a	8,73 $\pm$ 1,03a	8,11 $\pm$ 0,39ab
Poids de 100 graines (g)	5,22 $\pm$ 0,01c	4,60 $\pm$ 0,02e	4,64 $\pm$ 0,01d	5,39 $\pm$ 0,01b	7,36 $\pm$ 0,03a
Forme des graines (L/H)	0,65 $\pm$ 0,03ab	0,67 $\pm$ 0,02a	0,61 $\pm$ 0,01b	0,66 $\pm$ 0,04a	0,64 $\pm$ 0,02ab
Taux de germination (%)	90,71 $\pm$ 1,12a	89,81 $\pm$ 3,07a	61,11 $\pm$ 5,82b	67,59 $\pm$ 8,18b	69,44 $\pm$ 2,36b
Temps de floraison (JAS)	28,27 $\pm$ 0,45c	28,79 $\pm$ 0,60c	36,24 $\pm$ 0,32a	30,11 $\pm$ 0,35b	30,01 $\pm$ 0,54b
Durée du cycle ( JAS)	79,57 $\pm$ 0,55c	87,64 $\pm$ 1,11b	110,71 $\pm$ 1,40a	87,09 $\pm$ 0,55b	85,96 $\pm$ 1,84b

### III.1.1.3. Corrélations entre les caractères agromorphologiques évalués.

Afin d'établir d'éventuelles relations entre les 10 variables évaluées au cours de cette étude, une matrice de corrélation (Corrélation de Pearson) a été réalisée (Tableau IV). Cette matrice a montré que les corrélations les plus importantes étaient observées entre les paramètres morphologiques et agronomiques.

Le poids du fruit a montré une forte corrélation positive et hautement significative ( $r = 0,957^{**}$ ) au seuil de 1 % avec la longueur du fruit. Ainsi, plus la longueur du fruit est grande plus le poids du fruit est grand. De même le poids de 100 graines était positivement corrélé et de manière significative au seuil de 1 % à la longueur du fruit ( $r = 0,860^{**}$ ) et au poids du fruit ( $r = 0,891^{**}$ ). La forme des graines a présenté une corrélation positive et hautement significative au seuil de 1 % avec le diamètre du fruit ( $r = 0,522^{**}$ ). Des fortes corrélations positives et significatives liaient le taux de germination au nombre de fruits par plante ( $r = 0,765^{**}$ ) et à la forme de la graine ( $r = 0,432^*$ ). La date de floraison était négativement corrélée au seuil de significativité de 1 % avec le diamètre du fruit ( $r = -0,516^{**}$ ), avec le nombre de fruits par plante ( $r = -0,524^{**}$ ) avec la forme de la graine ( $r = -0,574^{**}$ ) et avec le taux de germination ( $r = -0,702^{**}$ ). De même des corrélations négatives et hautement significatives au seuil de 1 % liaient tour à tour la durée du cycle à la longueur du fruit ( $r = -0,547^{**}$ ), au poids du fruit mature ( $r = -0,559^{**}$ ) et à la forme des graines ( $r = -0,540^{**}$ ). Néanmoins une corrélation positive et hautement significative liait cette durée du cycle à la date de floraison ( $r = 0,960^{**}$ ). Ainsi, plus la date de floraison est réduite plus la durée du cycle est courte.

Tableau IV: Matrice de corrélation et coefficients de corrélations de Pearson (r) entre les paramètres agromorphologiques évalués

LF : Longueur du fruit, DF : Diamètre du fruit, PF : Poids du fruit, NFP : Nombre de fruits par plante, Em : Emergence, PG : Poids 100 graines, FG : Forme des graines, TG : Taux Germination, Df : Date de floraison, DC : Durée du cycle. \*\* la corrélation est significative au niveau 0,01 (bilateral) ; \* la corrélation est significative au niveau 0,05 (bilateral).

Paramètres	LF	DF	PF	NFP	Em	PG	FG	TG	Df	DC
LF	1									
DF	-0,179	1								
PF	0,957**	-0,192	1							
NFP	0,081	0,008	0,101	1						
Em	-0,242	0,114	-0,208	-0,324	1					
PG	0,860**	-0,142	0,891**	-0,277	-0,081	1				
FG	0,112	0,522**	0,070	0,318	0,111	-0,042	1			
TG	0,164	0,199	0,135	0,765**	-0,526**	-0,234	0,432*	1		
Df	-0,464*	-0,516**	-0,477*	-0,524**	0,377	-0,243	-0,574**	-0,702**	1	
DC	-0,547**	-0,477*	-0,559**	-0,445*	0,433*	-0,367	-0,540**	-0,655**	0,960**	1

### III.1.2. Radiosensibilité et DL50 des variétés de pastèque sélectionnées

L'optimisation de la dose d'irradiation est la première étape de la sélection par mutation induite où sa valeur prévisible permettrait de guider le chercheur dans le choix de la dose idéale ou DL50 en fonction du matériel végétal et du résultat souhaité. Les résultats récoltés en serre sur les variétés Kaolack et Crimson sweet ont permis d'évaluer leur radiosensibilité et de déterminer leurs doses létales 50 (DL50).

#### III.1.2.1. Germination des graines

##### III.1.2.1.1. Durée de germination

###### a) Variété Kaolack :

La germination a commencé 5 jours après le semis (JAS) chez le témoin. Chez les graines irradiées, la germination a commencé 6 JAS à l'exception du lot 600 Gy dont les graines ont germé à 7 JAS. Cependant toutes les graines du lot 100 Gy ont germé le même jour alors que les autres lots (200 Gy, 300 Gy, 400 Gy et 600 Gy) ont une germination étalée entre 6 et 14 JAS.

###### b) Variété Crimson sweet :

La germination a commencé 6 JAS chez le témoin. Chez les lots irradiés, la germination a commencé 8 JAS à l'exception du lot 100 Gy dont les graines ont germé à 7 JAS. Par rapport à la variété Kaolack, la variété Crimson présentait une germination tardive. Cependant ces deux variétés ont eu une germination étalée dans le temps (Tableau V).

Tableau V. Durée de germination des graines après irradiation aux rayons Gamma ( $^{60}\text{Co}$ ) et taux de survie des plantes par rapport au témoin.

Variétés	Mutagène	Doses d'irradiation (Gy)	Nombres de graines traitées	Nombres de plantes survivantes	% de survivantes par rapport au témoin	Temps de levée (JAS)
Kaolack	$^{60}\text{Co}$	Témoin	60	58	100,00	5
		100	60	48	82,76	6
		200	60	54	93,10	6-14
		300	60	47	81,03	6-14
		400	60	26	50,00	6-14
		600	60	27	46,55	7-14
Crimson sweet	$^{60}\text{Co}$	Témoin	60	52	100	6
		100	60	50	96,15	7
		200	60	47	90,38	8-15
		300	60	39	75,00	8-17
		400	60	40	76,92	8-17
		600	60	40	76,92	8-17

### III.1.2.1.2. Taux de germination

Chez la variété Kaolack, le taux de germination, qui était d'environ 90 % chez le témoin, diminuait avec l'augmentation de la dose d'irradiation et atteignait 35 % pour 600 Gy; la chute du taux de germination par rapport au témoin a été statistiquement significative pour tous les lots traités (Fig. 23).

Chez la variété Crimson sweet, le taux de germination était d'environ 75 % pour le traitement témoin. Ce taux diminuait avec l'augmentation de la dose d'irradiation et atteignait 37,5 % pour le traitement de 600 Gy. La chute du taux de germination par rapport au témoin a été statistiquement significative pour tous les lots traités (Fig. 23).

Les deux variétés étaient radiosensibles. Cependant la diminution de ce taux en fonction de la dose d'irradiation reste significativement moins importante pour la variété Kaolack par rapport à la variété Crimson sweet à l'exception du témoin donc aucune différence significative n'est observée pour les deux variétés (Fig. 23).

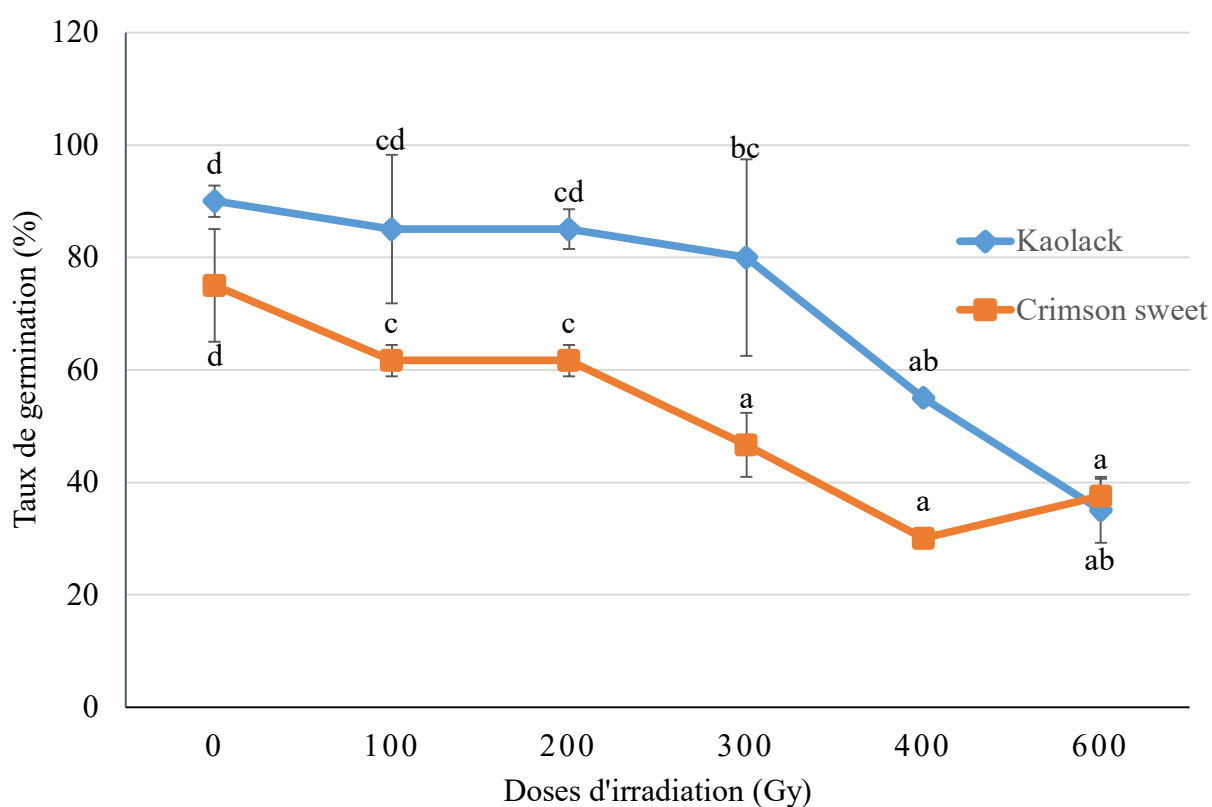


Fig. 23. Influence de différentes doses d'irradiation gamma sur le taux de germination des deux variétés de pastèque. Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Tukey à ( $P < 0,05$ ).

### III.1.2.2. Taille des plantes

La taille maximale était observée pour les deux variétés sur le témoin avec une valeur de  $69,8 \pm 2,8$  cm pour la variété Kaolack contre  $67,8 \pm 6,1$  cm pour la variété Crimson sweet. Les petites tailles  $9,9 \pm 1,6$  et  $14,1 \pm 3,2$  cm respectivement pour Kaolack et Crimson sweet sont observées au niveau des lots ayant reçu la plus forte dose irradiation 600 Gy.

L'analyse de la variance a montré un effet significatif de l'irradiation sur la taille des plants pendant la période de prise des paramètres. Sur tous les lots irradiés, l'augmentation des doses a entraîné une diminution de la taille des tiges. Cependant la différence était significative chez la variété Kaolack pour toutes les doses alors que chez la variété Crimson sweet les doses 200 Gy, 300 Gy, 400 Gy et 600 Gy n'ont présenté aucune différence significative (Fig. 24).

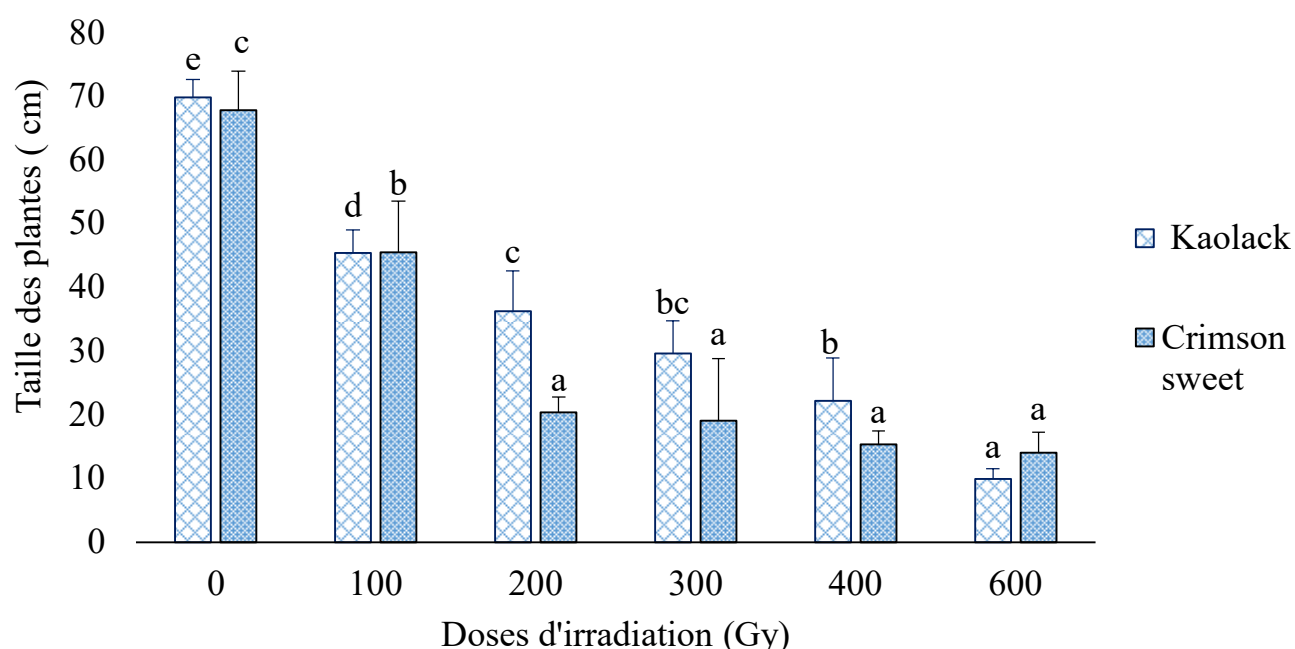


Fig. 24. Effet des différentes doses d'irradiation gamma sur la taille des plantes de deux variétés de pastèque. Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Tukey à ( $P < 0,05$ ).

Le pourcentage de réduction de la taille des plantes suivant les doses d'irradiation comparées au témoin est exprimé sur la figure 24. Cette réduction atteignait respectivement pour les variétés Kaolack et Crimson sweet des valeurs d'environ 14,24 % et 20,75 % à la dose de 600 Gy. Cette réduction a été progressive, mais aucune dose n'a été létale (Fig. 25).

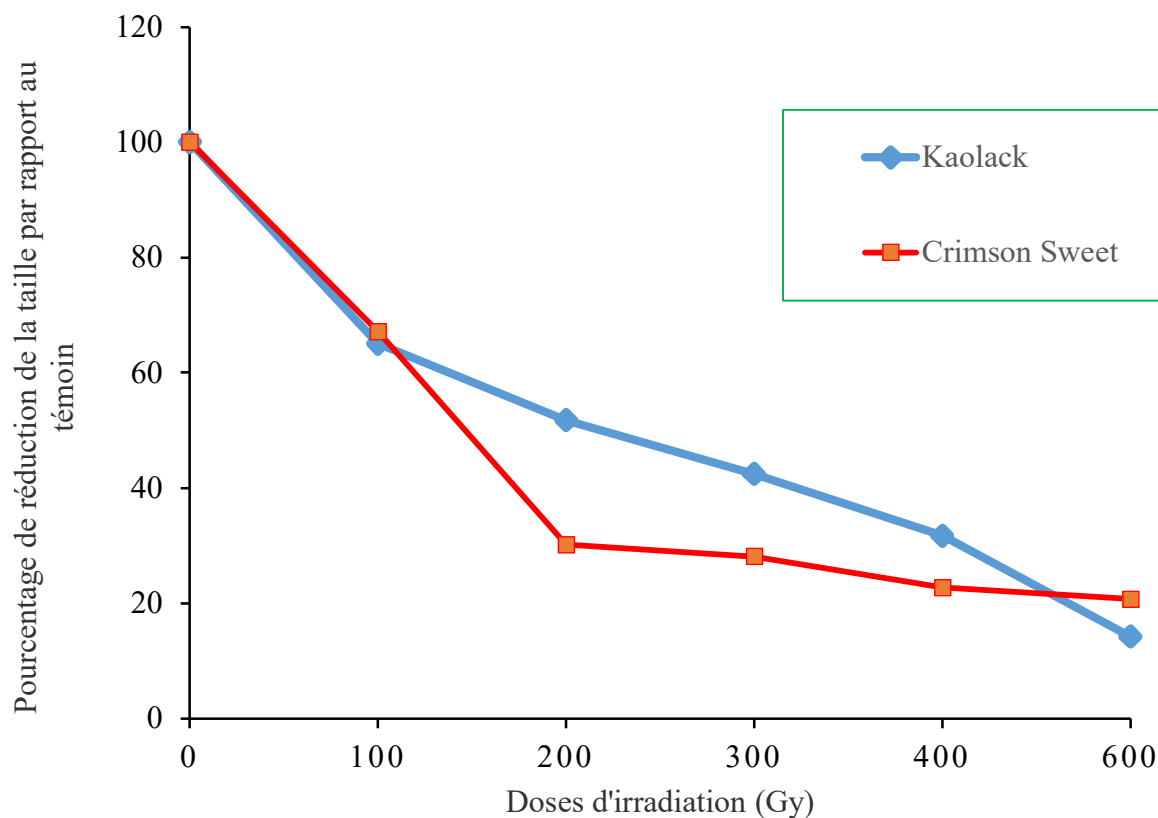


Fig. 25. Réduction de la taille des plants  $M_1$  en fonction des doses d'irradiation.

### III.1.2.3. Taux de survie

Le pourcentage des survivants le plus élevé (96,66 %) est obtenu sur le témoin pour la variété Kaolack. Cette même variété a présenté le taux de survie le plus bas (45,6 %) avec la dose 600 Gy. On a ainsi noté une réduction des taux de survie avec l'augmentation des doses d'irradiation (Fig. 26).

En ce qui concerne la variété Crimson sweet les taux moyens de survie variaient de 86,6 à 65 % respectivement pour le témoin et la dose 300 Gy. Cependant contrairement à la variété Kaolack aucune différence significative après analyse des données, n'a été observée pour la variété Crimson sweet concernant le taux de survie (Fig. 26).



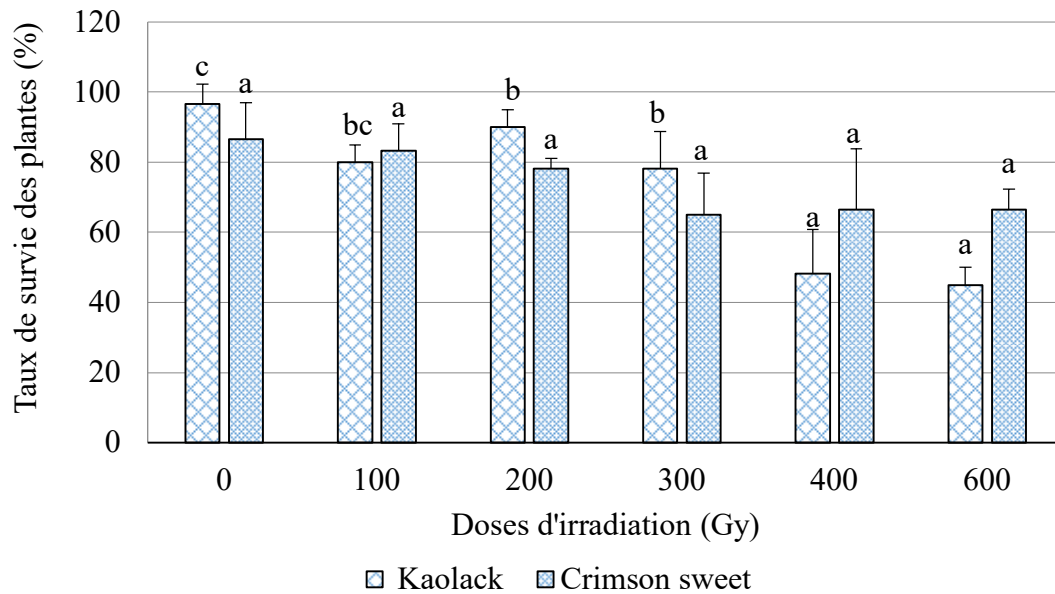


Fig. 26. Effet des différentes doses de radiation gamma sur le taux de survie des plants chez deux variétés de pastèque.

Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Tukey à ( $P < 0,05$ ).

#### III.1.2.4. Détermination de la dose létale 50

L'analyse de la régression linéaire basée sur le paramètre de croissance ; la taille des plantes a permis d'estimer la dose létale 50 (DL50) pour chaque variété. Les valeurs ont été calculées à partir des équations linéaires suivantes :  $y = -0,124x + 77,95$  et  $y = -0,128x + 78,36$  respectivement pour Kaolack et Crimson sweet (Fig. 27 et 28).

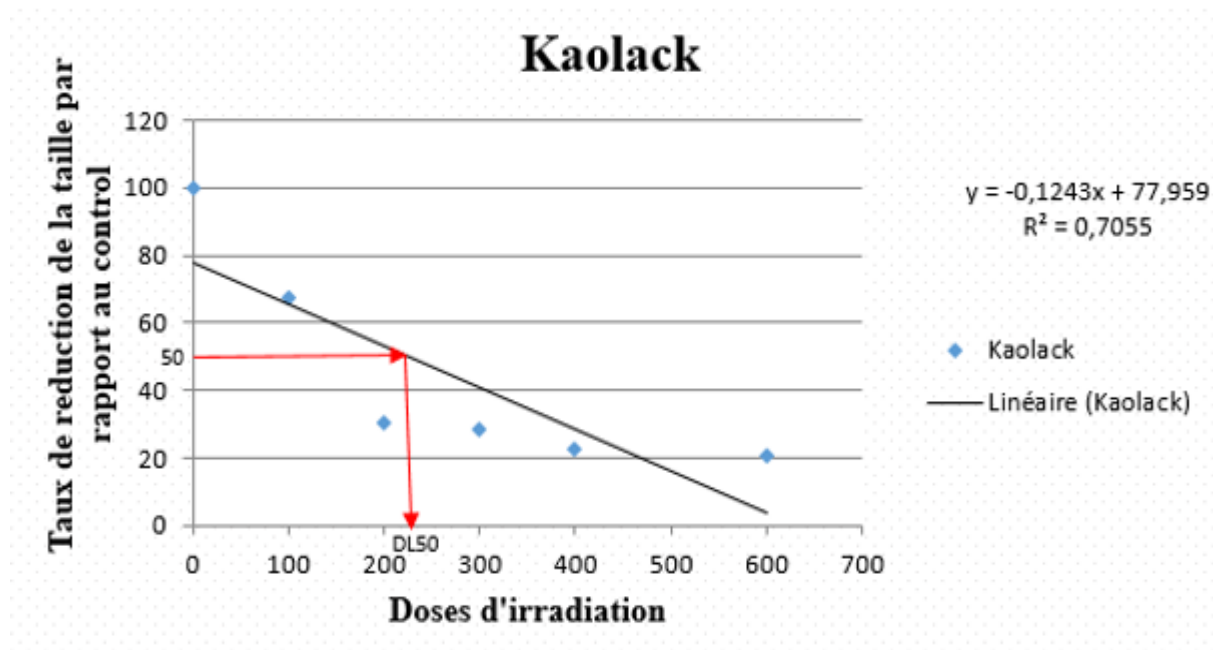


Fig. 27. Détermination de la DL50 à partir de la régression linéaire chez la variété Kaolack.

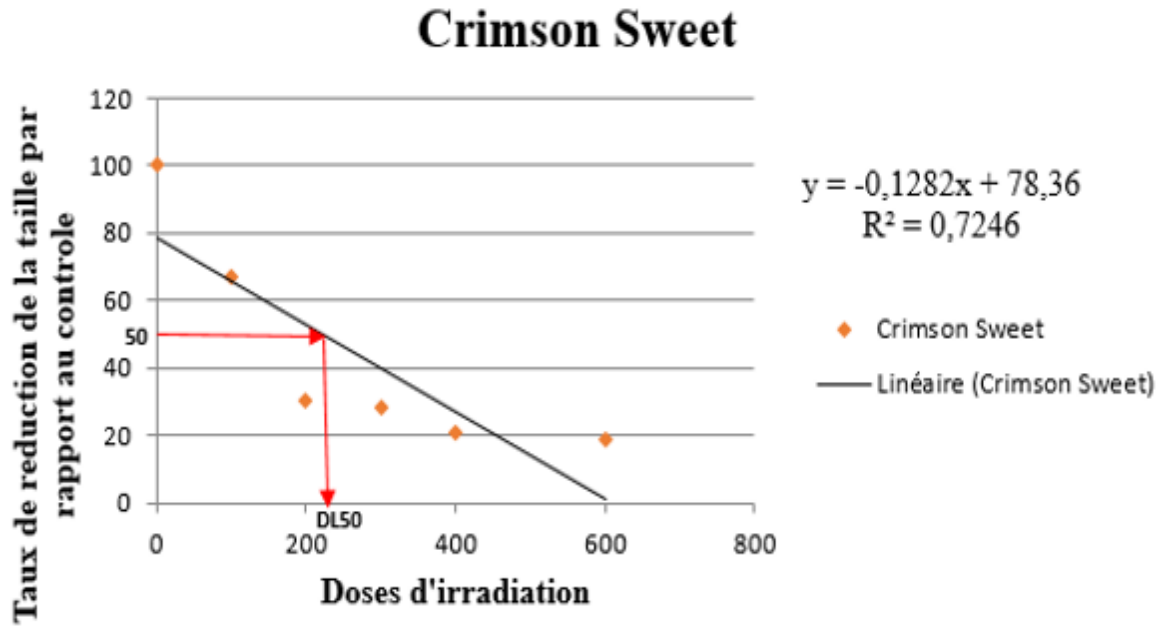


Fig. 28. Détermination de la DL50 à partir de la régression linéaire chez la variété Crimson sweet

Les valeurs de DL50 calculées pour ces deux variétés Kaolack et Crimson sweet sont respectivement de 225,40 et 221,56 Gy. Pour les deux variétés la DL50 est comprise entre 200 et 250 Gy (Tableau VI).

Tableau VI. DL50 Calculées sur la taille des plants des deux variétés de pastèque

Variétés	Equations linéaires	R <sup>2</sup>	DL50 GY
Kaolack	$y = -0,124x + 77,95$	0,705	225,40
Crimson sweet	$y = -0,128x + 78,36$	0,724	221,56

### III.1.3. Efficience de l'irradiation à la DL50 sur la population M1 à l'aide des marqueurs agromorphologiques et biochimiques.

Les résultats après la prise des paramètres agromorphologiques et biochimiques ont permis l'identification de l'effet de l'irradiation à la seule dose DL50 (200 Gy) sur le métabolisme, la croissance et la productivité des plantes mutantes M<sub>1</sub> en comparaison avec le témoin dans chaque cas.

### III.1.3.1. Utilisation des marqueurs agromorphologiques.

#### III.1.3.1.1. Emergence

Chez la variété Kaolack l'émergence dans le lot témoin a lieu  $7,24 \pm 0,52$  JAS contre un temps moyen de  $10,01 \pm 2,14$  JAS pour le traitement à l'irradiation. En ce qui concerne la variété Crimson sweet, le temps moyen pour l'émergence des graines était de  $8,04 \pm 0,72$  JAS pour le témoin contre  $12,16 \pm 1,18$  JAS pour le lot irradié à la DL50 (200 Gy).

Pour les deux variétés on a observé un net prolongement du temps de l'émergence des plants suite à l'effet d'irradiation à la DL50 (200 Gy). En outre une différence significative au seuil de 5 % est observée pour chaque variété entre le témoin et le lot traité ainsi qu'entre les variétés (Fig. 29).

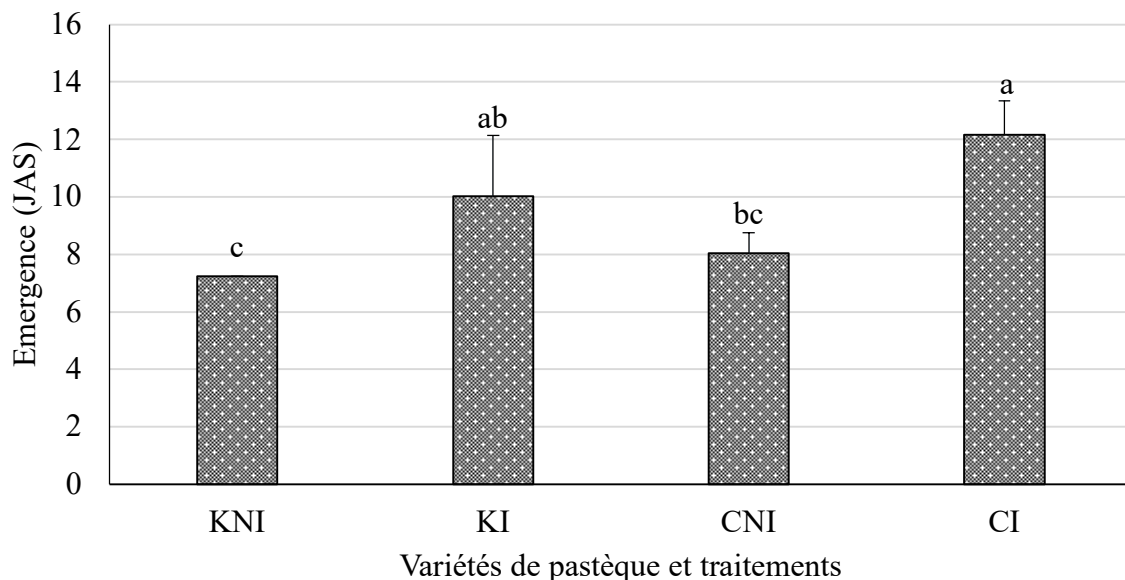


Fig. 29. Effet de l'irradiation aux rayons gamma (200 Gy) sur l'émergence des graines de deux variétés de pastèque Kaolack et Crimson sweet.

KNI : Kaolack Non Irradié ; KI : Kaolack Irradié ;

CNI : Crimson sweet Non Irradié ; CI : Crimson sweet Irradié ; JAS : Jour Après Semis

Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Tukey à ( $P < 0,05$ ).

#### III.1.3.1.2. Taux de levée

Le taux de levée de la variété Kaolack était de  $84,00 \pm 3,46$  % pour le témoin (KNI) et de  $62,22 \pm 3,84$  % pour le lot irradié à la dose 200 Gy. Concernant la variété Crimson sweet le taux moyen de levée était de  $78,89 \pm 1,93$  % pour le témoin (CNI) et de  $34,44 \pm 6,94$  % pour

le lot irradié (CI). Après l'analyse des données, une différence significative au seuil de 5 % est observée pour chaque variété entre le témoin et le lot Irradié. Néanmoins pour ce paramètre, la variété Crimson sweet s'est montrée plus sensible au traitement d'irradiation par rapport à la variété Kaolack (Fig. 30).

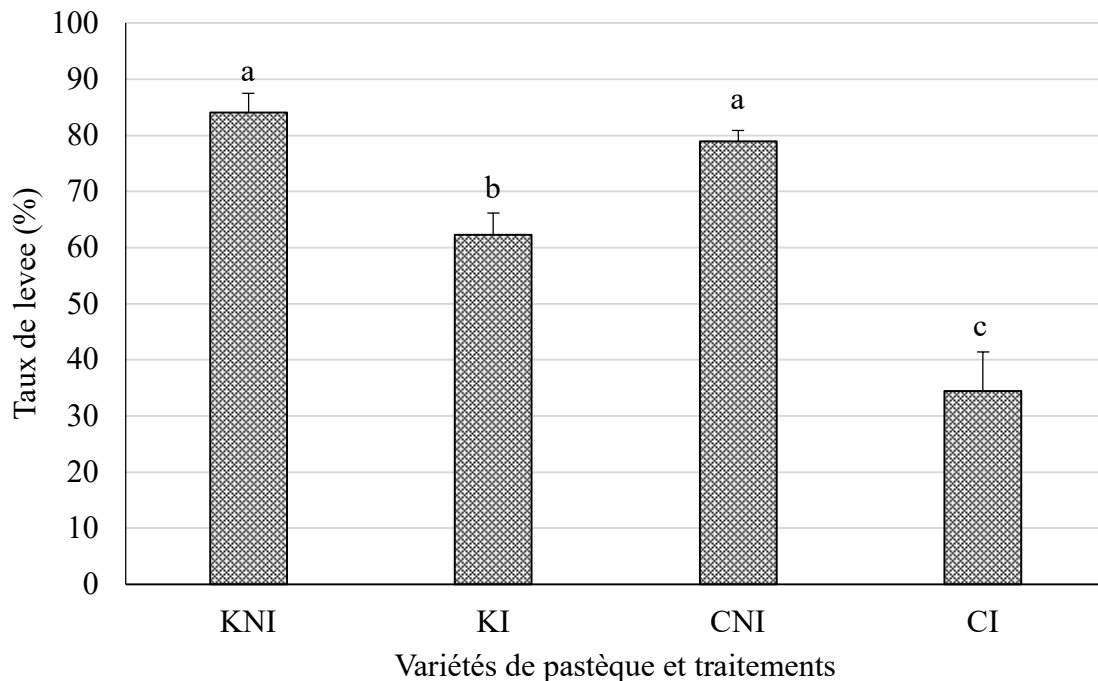


Fig. 30. Effet de l'irradiation aux rayons gamma (200 Gy) sur la germination des graines de deux variétés de pastèque.

KNI : Kaolack Non Irradié ; KI : Kaolack Irradié ; CNI : Crimson sweet Non Irradié ; CI : Crimson sweet Irradié

Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Tukey à ( $P < 0,05$ ).

#### III.1.3.1.3. Nombre de feuilles par plante

Pour la variété Kaolack, on a observé à 2 SAS un nombre moyen de feuilles de  $3,67 \pm 0,58$  pour le témoin contre  $2,33 \pm 0,58$  pour le lot irradié. A 4 SAS on a dénombré un nombre moyen de feuilles de  $7,33 \pm 0,58$  sur le témoin contre  $4,67 \pm 0,58$  sur le lot irradié. A 6 SAS ce nombre était de  $16,00 \pm 1,00$  sur le témoin et de  $13,00 \pm 1,00$  pour le lot irradié. Cette variété a présenté pour ce paramètre une différence au seuil de significativité de 5 % entre le lot traité et le témoin à 2 SAS et à 4 SAS. Cependant aucune différence significative n'est observée sur ces deux lots à 6 SAS (Fig. 31).

Concernant la variété Crimson sweet on a dénombré à 2 SAS, un nombre moyen de feuilles de  $3,00 \pm 0,00$  pour le témoin contre  $2,00 \pm 0,00$  pour le lot irradié. Aucune différence significative n'est observée sur ces deux lots. Cette différence significative apparaissait

clairement à 6 SAS où on a observé un nombre moyen de feuilles de  $15,67 \pm 1,15$  pour le témoin contre  $9,33 \pm 2,08$  pour le lot irradié (Fig. 31).

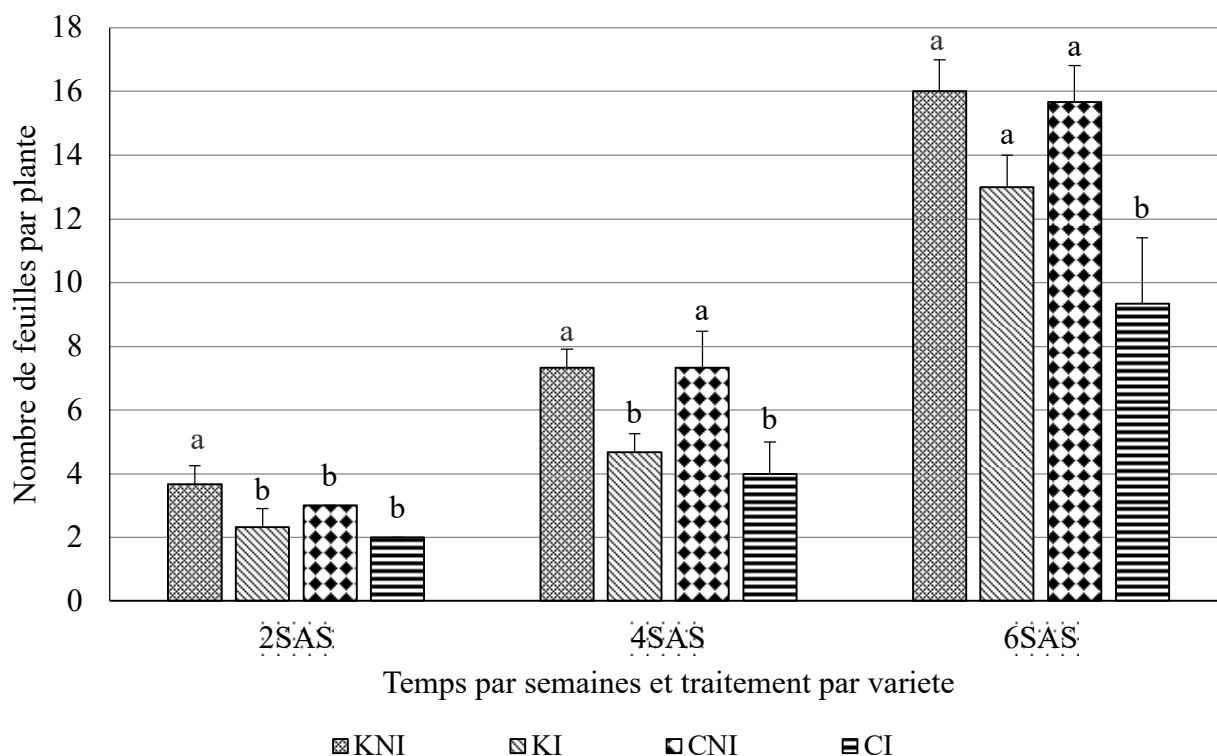


Fig. 31. Effet de l'irradiation aux rayons gamma (200 Gy) sur l'évolution du nombre de feuilles de deux variétés de pastèque.

KNI : Kaolack Non Irradié ; KI : Kaolack Irradié ; CNI : Crimson sweet Non Irradié ; CI : Crimson sweet Irradié ;

Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Tukey à ( $P < 0,05$ ).

#### III.1.3.1.4. Longueur de la tige

La longueur moyenne des tiges à 2 SAS était de  $14,43 \pm 0,60$  cm chez la variété Kaolack pour le témoin et de  $11,33 \pm 1,15$  cm pour le lot irradié. Cette longueur moyenne a été évaluée à  $38,19 \pm 2,05$  cm à 4 SAS pour le témoin contre  $32,40 \pm 2,12$  cm pour le lot irradié. A 6 SAS cette longueur était de  $55,33 \pm 5,22$  cm pour le témoin et de  $44,33 \pm 4,04$  cm pour le lot irradié (Tableau VII).

La variété Crimson sweet a présenté à 2 SAS une longueur moyenne des tiges de  $12,93 \pm 0,60$  cm pour le témoin et de  $7,33 \pm 0,58$  cm pour le lot irradié. A 4 SAS, cette longueur moyenne était évaluée à  $33,30 \pm 3,72$  cm pour le témoin contre  $14,40 \pm 0,66$  cm pour le lot irradié. Les valeurs moyenne de la taille à 6 SAS sont évaluées respectivement à  $52,50 \pm 3,12$  cm et  $29,73 \pm 1,91$  cm pour le témoin et pour le lot irradié.

Pour ces deux variétés, on note après analyse des données, une différence significative au seuil de 5 % entre le témoin et le lot irradié (Tableau VII).

Tableau VII. Effet de l'irradiation aux rayons gamma (DL50) sur certains paramètres agromorphologiques des mutants M<sub>1</sub>.

\*\* significativité au seuil de 0,001 ; \* significativité au seuil de 0,01 ; SAS= Semaine après semis. Les valeurs avec des lettres différentes présentent une différence significative et celles avec les mêmes lettres ne présentent aucune différence significative.

Variétés	Traitements	Taux de levée (%)	2 SAS		4 SAS		6 SAS	
			Longueur de la tige ( cm)	Nombre de feuilles par plante	Longueur de la tige (cm)	Nombre de feuilles par plante	Longueur de la tige (cm)	Nombre de feuilles par plante
Kaolack	Témoin	84,00 ± 3,46a	14,43± 0,60a	3,67± 0,58a	38,19±2,05a	7,33±0,58a	55,33±5,22a	16,00 ± 1,00a
	200 Gy	62,22 ± 3,84b	11,33± 1,15b	2,33 ± 0,58b	32,40±2,12a	4,67±0,58b	44,33±4,04b	13,00± 1,00a
Crimson sweet	Témoin	78,89± 1,93a	12,93 ±0,60ab	3,00 ±0,00ab	33,30±3,72a	7,33±1,15a	52,50±3,12ab	15,67± 1,15a
	200 Gy	34,44± 6,94c	7,33± 0,58c	2,00 ± 0,00b	14,40±0,66b	4,00±1,00b	29,73± 1,91c	9,33± 2,08b
Pr(>F) VxT		0,002**	0,02*	0,49	0,001**	0,52	0,03*	0,07

#### **III.1.3.1.5. Temps de floraison**

Le temps moyen de floraison pour la variété Kaolack était de  $28,71 \pm 0,46$  JAS pour le témoin contre  $30,49 \pm 1,35$  JAS pour le lot irradié. Concernant la variété Crimson sweet, le témoin a présenté un temps de floraison moyen de  $29,00 \pm 0,54$  JAS contre  $31,63 \pm 0,91$  JAS pour le lot irradié (Tableau VIII).

#### **III.1.3.1.6. Durée du cycle**

La durée du cycle a été significativement influencée ( $p \leq 0,05$ ) par le traitement d'irradiation. Ainsi la variété Kaolack a présenté une durée moyenne du cycle de  $79,43 \pm 0,91$  JAS pour le témoin contre  $82,45 \pm 2,90$  JAS pour le lot irradié. Pour ce qui est de la variété Crimson sweet, le témoin a présenté une durée moyenne du cycle de  $88,53 \pm 0,75$  JAS et quant aux plantes issues des graines traitées à l'irradiation, aucun fruit n'a été formé (Tableau VIII).

#### **III.1.3.1.7. Nombre de fleurs par plante**

Les résultats portant sur le nombre de fleurs par plante ont été analysés séparément selon les types de fleurs car la pastèque porte les fleurs mâles et femelles sur un même pied. Ces résultats ont montré que, pour la variété Kaolack le traitement témoin présentait une valeur moyenne du nombre de fleurs mâles de  $9,48 \pm 3,26$  contre  $4,10 \pm 1,23$  pour le lot irradié. Concernant la variété Crimson sweet le lot témoin a présenté un nombre moyen de fleurs mâles de  $12,22 \pm 4,37$  contre  $6,97 \pm 2,40$  pour les plantes issues de l'irradiation.

Pour ce qui est du nombre de fleurs femelles, la variété Kaolack a présenté un nombre moyen de  $3,61 \pm 1,15$  pour le témoin contre  $2,58 \pm 1,04$  pour le traitement irradié. Tandis que la variété Crimson sweet a présenté un nombre moyen de fleurs femelles de  $4,26 \pm 1,87$  pour le témoin contre  $0,78 \pm 0,54$  pour le traitement irradié.

Pour chaque variété l'on a constaté que le nombre de fleurs mâles était supérieur au nombre de fleurs femelles. Néanmoins pour chaque variété et pour chaque type de fleur, l'irradiation a entraîné une réduction significative de leur nombre bien que la variété Crimson sweet ait été la plus affectée (Tableau VIII). L'analyse de variance entre ces résultats montre une différence significative ( $P < 0,05$ ) suivant le test de Tukey.

#### **III.1.3.1.7. Nombre de fruits par plante**

Le nombre moyen de fruits par plante pour la variété Kaolack était de  $3,83 \pm 0,29$  pour le témoin contre  $2,99 \pm 0,58$  pour le lot irradié. Pour ce qui est de la variété Crimson sweet, le témoin a présenté un nombre moyen de fruits de  $3,04 \pm 0,28$  contre 0 fruit pour les plantes

issues des graines irradiées. Il en ressort néanmoins un effet significatif du traitement d'irradiation sur le nombre de fruits pour les deux variétés cependant la variété Crimson sweet a été fortement affectée. Une réduction significative du nombre de fruits est ainsi observée (Tableau VIII).



Tableau VIII. Récapitulatif des valeurs moyennes des paramètres agronomiques évalués sur les variétés de pastèque après le traitement d'irradiation à 200 Gy.

\*\*\*\* 0,001 \*\*\* 0,01 \*\* 0,05 ; ns : non significatif ; V : variétés ; T : traitement ; VxT : Interaction. Les valeurs suivies de la même lettre dans Les colonnes ne sont pas significativement différentes selon le test de Tukey à (P<0,05).

Variétés	Traitements	Emergence (JAS)	Temps de floraison (JAS)	Nombre de fleurs mâles	Nombre de fleurs femelles	Durée du cycle (JAS)	Nombre de fruits par plante
Kaolack	Témoin	7,24 ± 0,52c	28,71 ± 0,46c	9,48 ± 3,26b	3,61 ± 1,15a	79,43 ± 0,91c	3,83 ± 0,29a
	200 Gy	10,01 ± 2,14ab	30,49 ± 1,35ab	4,10 ± 1,23d	2,58 ± 1,04b	82,45 ± 2,90b	2,99 ± 0,58b
Crimson sweet	Témoin	8,04 ± 0,72bc	29,00 ± 0,54bc	12,22 ± 4,37a	4,26 ± 1,87a	88,53 ± 0,75a	3,04 ± 0,28b
	200 Gy	12,16 ± 1,18a	31,63 ± 0,91a	6,97 ± 2,40c	0,78 ± 0,54c	0,00 ± 0,00d	0,00 ± 0,00c
Pr(>F) VxT		0,26	0,31	0,9125*	<0,001***	<0,001***	<0,001***

### III.1.3.2. Caractérisation biochimique

#### III.1.3.2.1. Teneur en pigments chlorophylliens des feuilles

La teneur en pigments chlorophylliens chez les plantes est déterminante pour leur croissance et leur rendement. Ainsi cette teneur a été évaluée aussi bien sur les plantes du lot témoin que sur les plantes du lot irradié. La teneur en chlorophylle (a, b et totale) est particulièrement importante pour la précision en agriculture en tant qu'indicateur de l'activité photosynthétique.

La teneur en chlorophylle (a) chez la variété Kaolack était de  $30,01 \pm 0,18$  µg/ml pour le témoin contre  $29,9 \pm 0,5$  µg/ml pour le lot dont les graines ont été irradiées aux rayons gamma (200 Gy). Concernant la variété Crimson sweet, la teneur en chlorophylle (a) était de  $29,6 \pm 0,39$  µg/ml pour le témoin et de  $29,6 \pm 0,70$  µg/ml pour le lot ayant reçu le traitement mutagène. Après analyse des données concernant la teneur en chlorophylle (a), aucune différence significative ( $p \leq 0,05$ ) n'est observée ni entre les variétés, ni entre les traitements (Tableau IX).

La teneur en chlorophylle (b) était significativement influencée ( $p \leq 0,05$ ) aussi bien par les variétés et le traitement d'irradiation. Chez la variété Kaolack, elle a présenté une moyenne de  $9,02 \pm 0,2$  µg/ml pour le traitement témoin contre  $10,5 \pm 0,4$  µg/ml pour le traitement à l'irradiation. La variété Crimson sweet a présenté une teneur moyenne en chlorophylle (b) de  $9,3 \pm 0,3$  µg/ml pour le témoin et  $4,4 \pm 0,2$  µg/ml pour le lot traité.

La teneur en chlorophylle (a) est supérieure à celle de la chlorophylle (b) dans les deux groupes de plantes (traitement irradié et non irradié) (Tableau IX).

Tableau IX. Influence du traitement d'irradiation aux rayons gamma (200 Gy) sur la teneur en pigments chlorophylliens chez deux variétés de pastèque.

Chlo a : Chlorophylle a ; Chlo b : Chlorophylle b ; Car : Caroténoïde

Les valeurs précédées par des lettres différentes dans chaque ligne sont significativement différentes selon le test de Tukey au seuil de 5 %.

Paramètres (µg/ml)	Traitement et Variétés			
	Variété Kaolack		Variété Crimson Sweet	
	Koalack_I	Koalack_NI	Crimson I	Crimson NI
Chlo a	$29,9 \pm 0,5a$	$30,01 \pm 0,18a$	$29,6 \pm 0,7a$	$29,6 \pm 0,39a$
Chlo b	$10,5 \pm 0,4c$	$9,02 \pm 0,2b$	$4,4 \pm 0,2a$	$9,3 \pm 0,3b$
Chlo a+b	$40,4 \pm 0,5c$	$39 \pm 0,2b$	$34,1 \pm 0,7a$	$39,0 \pm 0,4b$
Car	$11,5 \pm 1,0a$	$12,3 \pm 0,7 ab$	$13,2 \pm 0,2b$	$12,0 \pm 0,5ab$

La teneur moyenne en Chlorophylle (a+b) pour la variété Kaolack était de  $39 \pm 0,2$   $\mu\text{g/ml}$  pour le traitement témoin contre  $40,4 \pm 0,5$   $\mu\text{g/ml}$  pour le lot traité. Concernant la variété Crimson sweet, cette teneur était de  $39,0 \pm 0,4$   $\mu\text{g/ml}$  pour le témoin et de  $34,1 \pm 0,7$   $\mu\text{g/ml}$  pour le lot traité. Pour ce paramètre, on observe après analyse des données, une différence significative ( $p \leq 0,05$ ) entre les variétés et entre les traitements au sein de chaque variété. Cependant la variété Kaolack a répondu favorablement à l'effet d'irradiation par rapport à la variété Crimson sweet (Fig. 32).

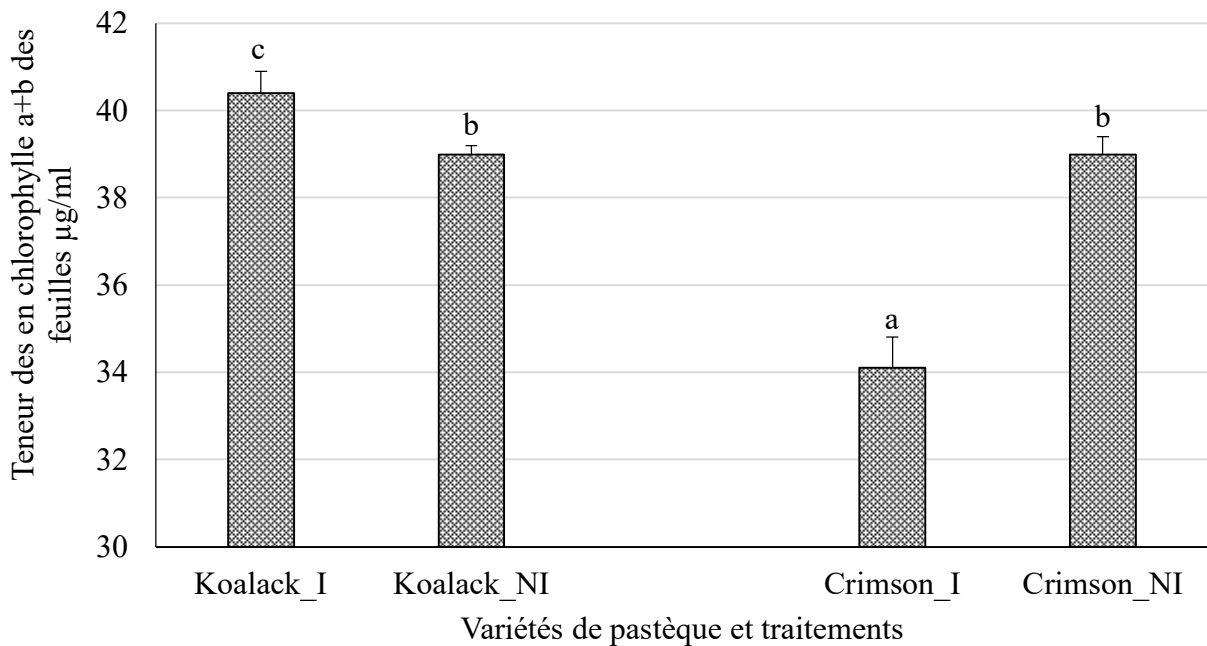


Fig. 32. Effet de l'irradiation aux rayons gamma (200 Gy) sur la teneur des feuilles en chlorophylle (a+b) de deux variétés de pastèque.

Koalack\_I: Kaolack irradié; Koalack\_NI: Kaolack non-irradié, Crimson I : Crimson sweet irradié ; Crimson NI : Crimson sweet non irradié

Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Tukey à ( $P < 0,05$ ).

La teneur moyenne en caroténoïdes pour la variété Kaolack était de  $12,3 \pm 0,7$   $\mu\text{g/ml}$  pour le traitement témoin contre  $11,5 \pm 1,0$   $\mu\text{g/ml}$  pour le traitement à l'irradiation. En ce qui concerne la variété Crimson sweet, cette teneur était de  $12,0 \pm 0,5$   $\mu\text{g/ml}$  pour le témoin contre  $13,2 \pm 0,2$   $\mu\text{g/ml}$ . La variété Kaolack a répondu à l'effet d'irradiation par une réduction significative de la teneur en caroténoïdes tandis que la variété Crimson sweet a répondu favorablement par une augmentation. Cependant la différence est très peu significative entre les traitements (Fig. 33).

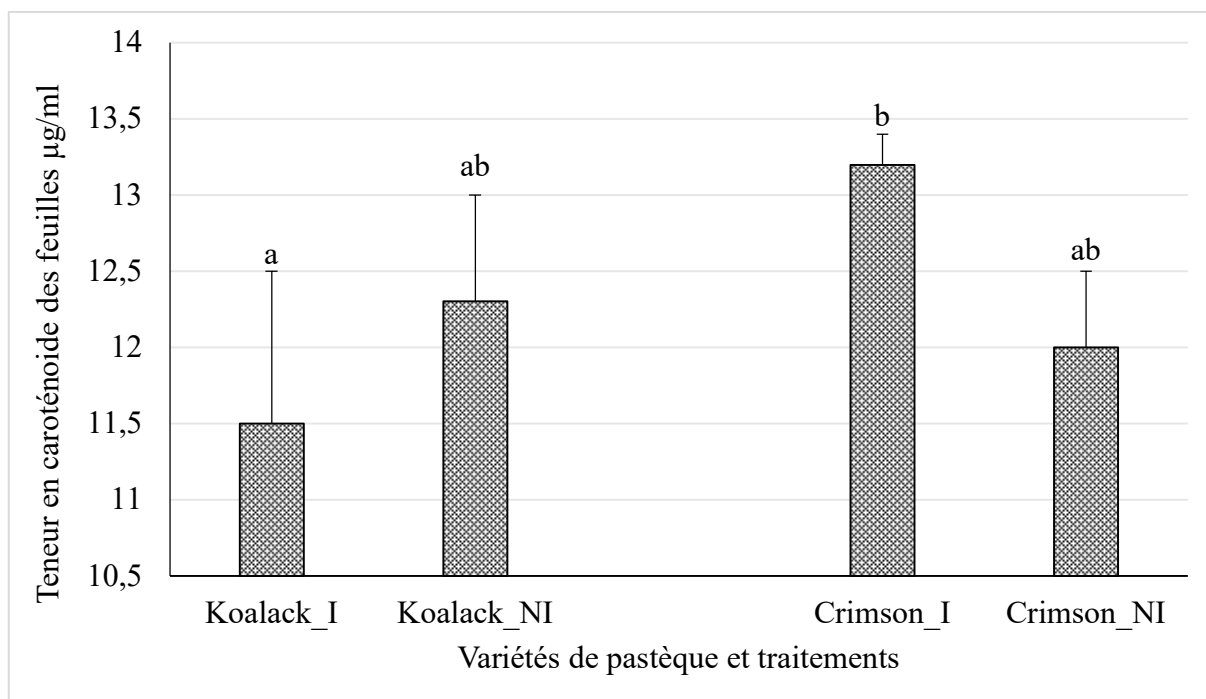


Fig. 33. Effet de l'irradiation aux rayons gamma (200 Gy) sur la teneur en caroténoïde de deux variétés de pastèque.

Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Tukey à ( $P < 0,05$ ).

### III.1.3.2.2. Teneur en composés phénoliques et en protéines solubles totales des feuilles

Certains composés bioactifs tels que les phénols totaux, les flavonoïdes et les protéines solubles totales ont été dosés au niveau des feuilles de pastèque dans le but de déterminer l'effet de l'irradiation à la DL50 (200 Gy) dans le processus de leur synthèse.

En ce qui concerne les phénols totaux, il est à noter que la variété Kaolack a présenté les teneurs de  $41,22 \pm 1,70 \mu\text{g/ml}$  et  $41,05 \pm 1,92 \mu\text{g/ml}$  respectivement pour le témoin et le lot irradié. La variété Crimson sweet a présenté quant à elle des teneurs de  $50,43 \pm 5,67 \mu\text{g/ml}$  et  $43,27 \pm 0,94 \mu\text{g/ml}$  respectivement pour le témoin et le lot irradié à la DL50. Pour ce paramètre aucune différence significative n'est observée après analyse des données, entre le Kaolack irradié et le témoin. Cependant une réduction significative ( $p \leq 0,05$ ) est observée pour la variété Crimson sweet entre le témoin et le lot irradié (Fig. 34).

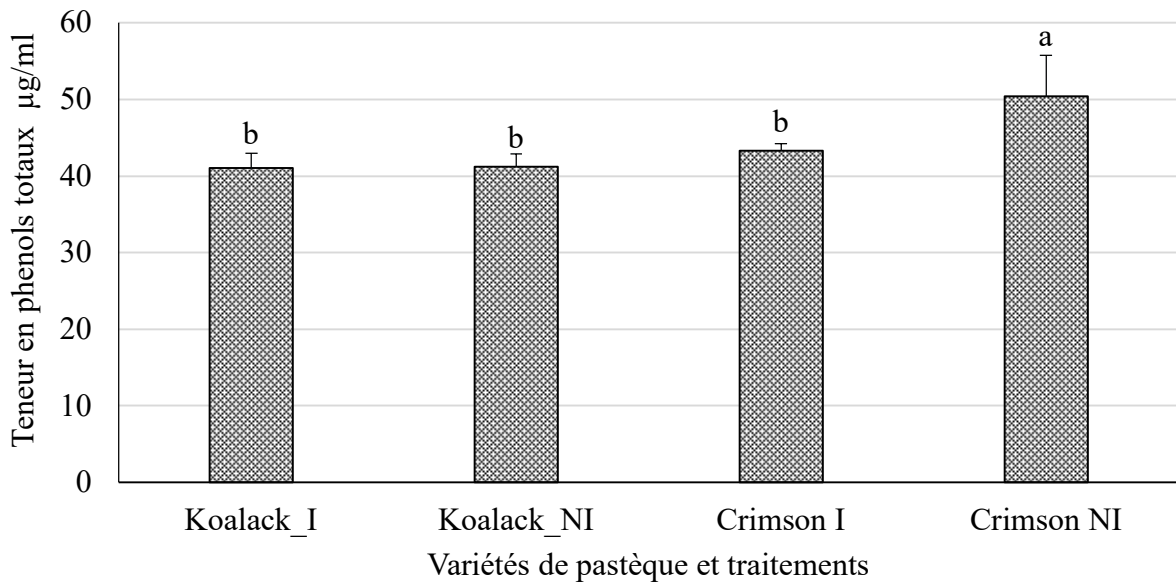


Fig. 34. Effet de l'irradiation aux rayons gamma (200 Gy) sur la teneur en phénols totaux de deux variétés de pastèque.

Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Tukey à ( $P < 0,05$ ).

Concernant la teneur en flavonoïdes, on a observé chez la variété Kaolack une teneur moyenne de  $9,54 \pm 0,5$  µg/ml pour le traitement témoin contre  $10,56 \pm 1,8$  µg/ml pour le lot irradié. Pour la variété Crimson sweet, les teneurs moyennes en flavonoïde étaient respectivement de  $11,96 \pm 1,2$  µg/ml pour le témoin et de  $4,0 \pm 1,0$  µg/ml pour le lot ayant reçu le traitement d'irradiation. L'analyse de variance montre pour la variété Crimson sweet, une réduction significative ( $p \leq 0,05$ ) entre le témoin et le lot irradié. Ce pendant l'effet d'irradiation n'a pas été significativement observable chez la variété Crimson sweet (Tableau X).

En ce qui concerne la teneur en protéines solubles, on a observé chez la variété Kaolack une moyenne de  $2,90 \pm 0,22$  µg/ml pour le témoin et de  $3,11 \pm 0,1$  µg/ml pour le lot irradié. On a noté chez la variété Crimson sweet une teneur moyenne en protéines solubles de  $2,64 \pm 0,14$  µg/ml pour le témoin contre  $3,0 \pm 0,15$  µg/ml pour le lot irradié (Tableau X).

Pour les deux variétés de pastèque, l'analyse de variance a montré une augmentation significative ( $p \leq 0,05$ ) de la teneur en protéines solubles des lots irradiés par rapport aux lots témoins.

Tableau X. Teneur en phénols totaux, en flavonoïdes et en protéines solubles dans les feuilles de deux variétés de pastèque. I : Irradié, NI : Non irradié.

Les valeurs précédées par des lettres différentes dans chaque ligne sont significativement différentes selon le test de Tukey au seuil de 5 %.

Paramètres ( $\mu\text{g/ml}$ )	Traitement et Variétés			
	Variété Kaolack		Variété Crimson Sweet	
	Koalack_I	Koalack_NI	Crimson I	Crimson NI
Phénols Totaux	41,05 $\pm$ 1,92b	41,22 $\pm$ 1,70b	43,27 $\pm$ 0,94b	50,43 $\pm$ 5,67a
Flavonoïdes	10,56 $\pm$ 1,8a	9,54 $\pm$ 0,5a	4,0 $\pm$ 1,0b	11,96 $\pm$ 1,2a
Protéines totales	3,11 $\pm$ 0,1a	2,90 $\pm$ 0,22ab	3,0 $\pm$ 0,15ab	2,64 $\pm$ 0,14b

### III.2. Discussion

Dans l'optique d'évaluer les performances agromorphologiques de cinq variétés de pastèque cultivées au Cameroun, on avait sélectionné pour cette étude dix caractères qui ont pu être analysés par des tests statistiques. Ces tests statistiques ont montré que quatre des caractères examinés (longueur de fruit, diamètre du fruit, poids du fruit mature et le poids de 100 graines) permettent de distinguer complètement les cinq variétés tandis que les autres paramètres (le temps d'émergence, taux de germination, la forme des graines, nombre de fruits par plante, temps de floraison et durée du cycle) n'ont permis qu'une distinction partielle de ces cinq variétés. Ces caractères agromorphologiques pris en compte dans les analyses ont également servi à la caractérisation d'autres cucurbites (Cowan et Smith, 1993 ; Zoro Bi et *al.*, 2003) et les résultats obtenus sont similaires à ceux présentés dans cette étude. En outre ces résultats sont proches de ceux obtenus par Ma et *al.*, (1990) sur quatre variétés de *Citrullus lanatus* d'origine chinoise.

Le temps d'émergence des graines va de 7,03  $\pm$  0,87 JAS chez la variété Kaolack à 8,73  $\pm$  1,03 JAS pour la variété Koloss. Ce temps est relativement tardif contrairement aux résultats des travaux de Zoro Bi et *al.*, (2003) qui indiquent une émergence des graines de pastèque (*Citrullus lanatus*) variant de 5,17 à 5,75 JAS avec une moyenne de 5,44  $\pm$  0,20 JAS et aux résultats de Laopé et *al.*, (2018) qui ont rapporté un temps de germination de 5,6 JAS chez la même espèce dans la région de Korhogo (Côte d'Ivoire). L'ensemble de ces différentes dates d'émergence concorde avec les résultats des travaux de Achigan et *al.*

(2006). En effet, Achigan et *al.* (2006) ont mené une évaluation agronomique de trois espèces de *Egusi* (Cucurbitacée) au Bénin, ils ont rapporté que le temps d'émergence des espèces variait entre 5 et 10 JAS. Ces résultats sont en contradiction avec ceux de Oraegbunam et *al.* (2016) qui ont trouvé pour une étude similaire au Nigeria un temps moyen de l'émergence de 14 JAS pour la variété Charleston gray et de 9,67 JAS pour la variété Koloss. Ces différences pourraient s'expliquer par les conditions pédoclimatiques des sites d'étude.

Toutes les variétés caractérisées ont un taux de germination relativement élevé allant de  $61,11 \pm 5,82 \%$  à  $90,71 \pm 1,12 \%$  ( $> 50 \%$ ). Ces résultats sont similaires à ceux de Zoro Bi et *al.*, (2003) qui indiquent un taux de germination de la pastèque allant de 70 à 90 %, avec une moyenne de  $78,40 \pm 9,21 \%$ . Ces résultats sont également très proches de ceux obtenus par Bembé et *al.*, (2010) qui ont trouvé un taux de germination moyen de 90,42 % chez *Citrullus lanatus* pour des études similaires au Congo Brazzaville.

Le temps de floraison des variétés de pastèque évaluées est relativement étendu dans le temps (28-36 JAS). Ce résultat indique que pour ces variétés, la floraison n'est pas groupée. Certaines variétés sont précoces et d'autres tardives. La date de floraison est une composante de l'adaptation d'un génotype à un environnement particulier et dépend de l'interaction de plusieurs processus complexes qui sont influencés par les facteurs génétiques ou environnementaux (Ishiyaku et *al.*, 2005 ; Uarrota, 2010). La floraison précoce est reconnue comme un bon attribut agronomique de la maturité précoce chez les plantes (Kumaga et *al.*, 2003 ; Onwubiko et *al.*, 2011). Ce résultat est proche de ceux obtenus par Zoro Bi et *al.*, (2003) qui indiquent un temps moyen de floraison de 34 JAS et de Bembé et *al.*, (2010) qui ont trouvé dans leurs travaux un temps d'apparition des boutons floraux de 31 JAS chez *Citrullus lanatus* et de 37 jours après semis chez *Lagenaria siceraria* et *Cucurbita moschata*. Oraegbunam et *al.* (2016) ont trouvé un résultat similaire (37 JAS) sur la caractérisation de trois variétés de pastèques au Nigeria.

Les observations faites dans cette étude sur les dimensions des graines ( $L/H < 1$ ) sont en accord avec les études menées par Keraudren-Aymonim (1975), Stevels (1990) et Zoro Bi et *al.* (2003). Sur la base de ces travaux, l'on en déduit que les cinq variétés évaluées dans cette étude ont des graines allongées.

La durée du cycle des différentes variétés a été évaluée au moment de la maturité des fruits. Ainsi, le cycle cultural varie parmi les variétés allant de 80 JAS pour la variété Kaolack à 110 JAS pour la variété Sugar baby. Ces deux variétés peuvent être qualifiées de précoce et de tardive respectivement. Ce résultat ne concorde pas avec ceux obtenus par Zoro Bi et *al.*

(2003), Hernandez et Léon (1994) qui ont trouvé pour d'autres cucurbites y compris la pastèque une durée de cycle allant de 120 à 170 JAS.

Concernant le poids du fruit mature, les résultats de l'analyse ont révélé que ce paramètre varie d'une variété à une autre et se situe entre 3,27 kg et 8,94 kg. Ces résultats sont nettement en contradiction avec ceux obtenus par Oraegbunam et al. (2016) qui ont obtenu sur trois variétés de pastèque au Nigeria un poids moyen de fruit entre 1,74 kg et 1,95 kg. Ces résultats s'éloignent également de ceux de Bembé et al. (2010) qui ont obtenu au Congo Brazzaville un poids moyen de 0,5 à 2,5 kg chez la pastèque. Le type de variété utilisée et les conditions pédoclimatiques seraient à l'origine de ces différences.

Le nombre de fruits par plante, caractère le plus important pour le sélectionneur et pour le cultivateur de la pastèque varie en moyenne de deux (2) à trois (3) chez toutes les variétés évaluées. Ce qui ne permet pas une nette distinction entre les variétés. Le même constat a été fait par Oraegbunam et al., (2016) dans les études similaires au Nigeria. Le défi de la production de pastèques de qualité et d'un bon rendement en fruits est déterminant pour un marché spécifique et meilleur (Kuvare, 2005). Le manque de variabilité génétique et une faible amélioration génétique du rendement en fruits sont courants dans la culture de la pastèque (Gusmini et Wehner, 2005). Les légères différences de rendement rencontrées entre les variétés de pastèques semblent donc spécifiques à l'environnement (Anikwe et al., 2016).

L'analyse des corrélations entre les caractères quantitatifs étudiés n'a pas montré de corrélation significative pour la plupart des caractères. Ceci pourrait être interprété comme une absence de relation entre ces paramètres étudiés. Toutefois, des corrélations positives et hautement significatives sont observées entre la longueur du fruit et le poids du fruit, entre la longueur du fruit et le poids de 100 graines, entre le poids du fruit et le poids de 100 graines et surtout entre la date de floraison et la durée du cycle. Ces observations sont proches de celles observées par Mbogne et al. (2015) sur les travaux similaires chez *Cucurbita maxima* et *Cucurbita moschata*. En effet, au sein de la famille des Cucurbitacées, une contribution importante de la description morphologique pour les paramètres liés aux fruits, aux feuilles et aux graines a été rapportée par Koffi et al. (2009) chez *Lagenaria siceraria* et par Maggs-Kölling et al. (2000); Gusmini (2003) chez *Citrullus lanatus*. Nerson (2002) avait également signalé une corrélation positive entre le poids du fruit et le nombre de graines chez *Citrullus lanatus*.

Deux des cinq variétés de pastèques évaluées à savoir Kaolack et Crimson sweet ont montré les performances agromorphologiques intéressantes. Ainsi, leurs graines sont



soumises à l'irradiation aux rayons gamma afin de déterminer leur radiosensibilité et leur DL50.

La détermination de la radiosensibilité des graines de ces deux variétés de pastèque à partir des tests biologiques de germination et de croissance révèle une sensibilité relative de la pastèque à l'irradiation aux rayons gamma pour toutes les doses utilisées. Ceci dans la mesure où même la dose la plus élevée (600 Gy) n'inhibe pas totalement les processus physiologiques permettant le développement de la plante. Cependant d'après Kodym et *al.* (2012), la sensibilité à un mutagène dépend du type de matériau et varie d'une espèce à l'autre voire d'une variété à une autre pour une même espèce.

Le taux de germination pour la variété Kaolack diminue progressivement de 90 % pour le témoin 0 Gy à 35 % pour 600 Gy tandis que pour la variété Crimson sweet cette baisse va de 75 % pour le témoin à 37,5 % pour 600 Gy. Ainsi pour les deux variétés, le pourcentage de germination diminue progressivement avec l'augmentation de la dose d'irradiation. Les résultats similaires ont été observés chez la citrouille et la courge par Ertan et *al.* (2017). Les mêmes constats avaient été faits respectivement par Solanki et Sharma (1994) et Singh et *al.* (2007), chez la lentille et par Girija et Dhanavel (2009) chez le niébé. La destruction de l'auxine, des changements dans le contenu de l'acide ascorbique et des perturbations biochimiques après le traitement mutagène pourraient être à l'origine de cette inhibition de la germination (Shah et *al.*, 2008).

L'évolution de la taille observée pour les deux variétés présente les valeurs maximales de  $69,8 \pm 2,8$  cm et  $67,8 \pm 6,1$  cm respectivement pour la variété Kaolack et Crimson sweet sur les traitements témoins. Les plus faibles valeurs  $9,9 \pm 1,6$  cm et  $14,1 \pm 3,2$  cm respectivement pour Kaolack et Crimson sweet sont observées au niveau des lots ayant reçu la plus forte dose irradiation 600 Gy. Il y a réduction de la taille avec l'augmentation de la dose d'irradiation. Ces résultats sont en accord avec les études antérieures rapportées sur le haricot (Bajaj et *al.*, 1970), le maïs (Marcu et *al.*, 2013), l'aubergine (Ulukapi et *al.*, 2015), la tomate (Sikder et *al.*, 2013), la courge et la citrouille (Ertan et *al.*, 2017).

Le taux de survie le plus élevé (96,66 %) est obtenu avec le traitement témoin pour la variété Kaolack. Cette même variété présente le taux de survie le plus bas (45,6 %) avec la dose 600 Gy. Cette réduction du taux de survie est également constatée chez la variété Crimson sweet et varie de 86,6 à 65 %. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus sur treize variétés de riz cultivées en Sierra Leone par Cheema et Atta (2003). Manju et Gopimony (2009) ont signalé que la réduction du taux de survie des plantes est un indice de mortalité

post germination résultant de l'effet d'irradiation sur les mécanismes physiologiques et cytologiques des plantes.

Pour tous les paramètres évalués : taux de germination des graines, le taux de survie et la taille des plantes, l'on note une réduction progressive avec l'augmentation des doses d'irradiation aux rayons gamma. Des résultats similaires concernant ces paramètres morphologiques ont été également observés chez le niébé (Gnanamuthy *et al.*, 2013) et chez le sésame (Anbarasan *et al.*, 2013). Cette réduction pourrait s'expliquer par la réduction des divisions mitotiques dans les cellules apicales méristématiques (Rajput et Siddiqui, 1982) et par les fréquences des dommages chromosomiques qui augmentent avec la dose d'irradiation (Kiong *et al.*, 2008).

La radiosensibilité est effectuée avec un large éventail de doses pour estimer la dose efficace qui est sélectionnée entre DL30 et DL50 lors de l'utilisation d'un paramètre de développement pour la progéniture ou d'un paramètre de biomasse. Cette plage a été recommandée pour préserver l'intégrité des plants de la génération M1 et donc avec le moins de dommages possibles (Mba *et al.*, 2010). La DL50 est l'un des paramètres qui prédisent le degré de radiosensibilité des plantes (Harding et Mohamad, 2009; Horn et Shimelis, 2013; Kumar *et al.*, 2013).

Dans cette étude les doses optimales (DL50) ont été estimées sur la base de la taille des plantes par la méthode de la régression linéaire et révèle les valeurs de 225,40 Gy et de 221,56 Gy respectivement pour Kaolack et Crimson sweet. Pour ces deux variétés, la DL50 est estimée entre 200 Gy et 250 Gy. Ces résultats sont proches de ceux obtenus par Sparrow *et al.* (1971) qui ont suggéré que la DL50 était de 200 à 240 Gy chez la courge. Ils ont également suggéré après étude une DL50 de 160 à 200 Gy chez la citrouille. La plupart des données relatives à la détermination de la DL50 chez la pastèque concernent l'irradiation des grains de pollen plutôt que celle des graines. Néanmoins selon les données de AIEA / FAO rapportées par Velkov *et al.*, (2016) les variétés mutantes de pastèque Luxigua 1 et Gibrid 218 ont été obtenues après un traitement mutagène aux rayons gamma de 200 Gy et de 500 Gy respectivement.

Ukai en 1983 suggère pour *Cucurbita* spp une DL50 de 400 Gy. Ertan *et al.* (2017) ont estimé chez la citrouille la DL50 de 173 Gy sur la base de la longueur des tiges et 164 Gy sur la base de la longueur des racines.

Le temps de l'émergence des deux variétés (Kaolack et Crimson sweet) a connu une augmentation significative suite au traitement d'irradiation à la DL50 comparé aux témoins. Le même constat a été fait par Dewi *et al.* (2015) sur la variété Kampar de *Vigna radiata*.

Le traitement aux rayons gamma avec la seule DL50 (200 Gy) a réduit de manière significative le pourcentage de germination par rapport aux plantes témoins. Ces résultats sont en accord avec ceux de Dewi et *al.* (2015) qui ont constaté que, le traitement à la DL50, soit 619,875 Gy, avait entraîné une diminution du taux de germination des graines par rapport au témoin chez la variété Kampar de *Vigna radiata*. Ces résultats sont également proches de ceux obtenus par Bhosale et More (2014) sur *Withania somnifera* et Bhala et Verma (2018) sur *Solanum lycopersicum*.

Dans cette étude, la hauteur de la plante et le nombre de feuilles par plante ont été réduites sur les lots traités par rapport aux témoins en raison de l'irradiation gamma utilisant la DL50. Ces résultats sont en contradiction avec ceux obtenus par Hanafiah et *al.* (2010) et Dewi et *al.* (2015) qui ont trouvé une augmentation de ces paramètres respectivement chez *Glycine max* et chez *Vigna radiata*. L'augmentation de la hauteur des plantes et du nombre de branches et de feuilles a également été observée chez les cultivars K-851 et Sona de *Vigna radiata* suite au traitement d'irradiation aux rayons gamma (Tah, 2006).

Le temps de floraison ainsi que la durée du cycle ont connu une augmentation significative sur les plantes des lots traités par rapport aux témoins. Ce retard dans le temps de floraison et de maturité après le traitement d'irradiation à la DL50 a été rapporté par Dewi et *al.* (2015) chez le haricot mungo (*Vigna radiata*). Selon ces mêmes auteurs, ce constat serait dû au fait que la DL50 aurait altéré l'ADN de sorte que divers métabolismes dans les cellules se trouvent perturbés, et en réponse la plante tarde à fleurir et cela a entraîné également le retard dans la maturation des fruits.

Le nombre de fleurs par plantes a été affecté par le traitement d'irradiation à la dose 200 Gy avec un effet négatif chez les deux variétés de pastèque évaluées. Ainsi, indépendamment du type de fleurs on a observé une réduction significative du nombre de fleurs par rapport au témoin. Ces résultats sont proches de ceux obtenus par Kaur et *al.* (2017) qui ont montré une diminution du nombre de fleurs des mutants par rapport au témoin chez *Calendula officinalis*. Ces résultats ne concordent pas avec ceux de Surahman et *al.* (2018) et de Eman et *al.* (2020) qui ont obtenu un effet positif du traitement d'irradiation sur le nombre de fleurs respectivement chez *Jatropha curcas* et *Calendula officinalis*.

En ce qui concerne le nombre de fruits par plantes, la variété Kaolack a présenté une réduction de manière significative suite à l'irradiation. Ce résultat est en contradiction avec ceux obtenus par Hanafiah et *al.* (2010) et Dewi et *al.* (2015) qui ont relevé plutôt une augmentation du nombre de gousses par plante après un traitement d'irradiation respectivement chez le soja (*Glycine max*) et chez le haricot mungo (*Vigna radiata*).

Cependant, la variété Crimson sweet a fleuri mais le lot ayant reçu le traitement d'irradiation n'a produit aucun fruit. Il serait donc judicieux de déterminer l'effet de cette DL50 (200 Gy) sur le phénomène de fructification de cette variété.

Les effets des rayons gamma sur les caractères agromorphologiques et biochimiques pourraient être observés et mieux appréciés dans les générations suivantes M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub> et M<sub>4</sub>, car Soedjono (2003) a signalé que les effets de l'irradiation gamma étaient couramment détectés dans ces générations. Cependant, les effets des rayons gamma sur de nombreux caractères ont pu être observés dans la première génération M<sub>1</sub> (Lamseejan et *al.*, 2000 ; Soedjono, 2003 ; Hanafiah et *al.*, 2010).

Les rayons gamma induisent diverses altérations physiologiques et biochimiques chez les plantes. L'irradiation des plantes par de fortes doses de rayons gamma perturbe l'équilibre hormonal, l'échange gazeux des feuilles, l'échange d'eau et l'activité enzymatique (Kiong et *al.*, 2008). Ces effets peuvent entraîner des modifications de la structure cellulaire et du métabolisme des plantes telles que la dilatation des membranes thylakoïdes, l'altération de la photosynthèse, la modulation dans le système antioxydant et l'accumulation de composés phénoliques.

Dans cette étude, les résultats concernant les pigments chlorophylliens montrent que la concentration en chlorophylle (a) était relativement plus élevée que celle de la chlorophylle (b) dans les plantes irradiées et non irradiées. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par Dehpor (2017) et Shala (2019) respectivement sur le soja (*Glycine max* (L.) Merr) et sur le basilic (*Ocimum basilicum* L.).

Concernant la chlorophylle totale (a+b) l'on a enregistré chez la variété Kaolack une teneur significativement élevée dans le lot irradié par rapport au lot témoin. Les présents résultats sont similaires aux observations de Hamideldin et Eliwa (2015) dans lesquelles l'irradiation gamma avait permis d'augmenter la teneur en pigments photosynthétiques dans la feuille des plantes de moutarde. Aly et *al.* (2018) ont également rapporté que les plantes de blé irradiées à des doses de 100 et 200 Gy de rayons gamma présentaient une teneur élevée en pigments photosynthétiques dans des conditions de stress salin. L'augmentation de la chlorophylle par irradiation peut être due à la stimulation de sa biosynthèse et/ou au retard de sa dégradation (Aly et *al.*, 2018).

Contrairement à la variété Kaolack, la variété Crimson sweet présentait plutôt une baisse significative de la teneur en chlorophylle totale sur le lot irradié par rapport au lot témoin. Ces résultats sont proches de ceux de Suneetha et *al.* (2018) sur *Abelmoschus moschatus* qui suggéraient que les doses d'irradiation élevées entraînaient une baisse de la

teneur en chlorophylle totale. L'impact des intensités élevées d'irradiation gamma sur la chlorophylle a été évalué en termes de perturbation de l'équilibre hormonal, d'échange gazeux au niveau des feuilles, d'échange d'eau et d'activité enzymatique (Stoeva, 2002).

Pour ce qui est de la teneur en caroténoïdes, les deux variétés de pastèque (Kaolack et Crimson sweet) ont répondu différemment à l'effet de l'irradiation. Cependant, la différence était significative entre les lots témoins et les lots irradiés. Shala et Mahmoud (2018) avaient observé chez le basilic une augmentation de la teneur en caroténoïdes suite au traitement d'irradiation aux rayons gamma et signalaient que cette réponse était un moyen important d'accroître la résistance des plantes aux stress abiotiques.

En ce qui concerne les phénols totaux, le résultat du dosage montre que les deux variétés de pastèque n'ont pas le même comportement à l'issue de l'irradiation. Pour la variété Kaolack, aucune différence significative au seuil de 5 % n'a été observée entre le témoin et le lot irradié. Cependant, la variété Crimson sweet montrait une réduction significative de la teneur en phénols totaux après l'irradiation. Ces résultats sont en contradiction avec ceux de Shala (2019) qui a trouvé que l'augmentation des doses d'irradiation gamma entraînait une élévation de la teneur en phénols totaux chez le basilic (*Ocimum basilicum*). Ce qui confirme l'idée selon laquelle, l'augmentation de la teneur en phénols totaux est considérée comme une réponse commune aux fortes doses d'irradiation (Said-al Ahl et al., 2015 et Suneetha et al., 2018). D'ailleurs, selon Masoud et al. (2018) l'augmentation de la teneur en composés phénoliques jouerait des rôles physiologiques et écologiques importants, en participant à la résistance à divers types de stress.

La teneur en protéines est l'un des meilleurs paramètres pour étudier la réponse des plantes aux radiations (Oldacay, 2002 ; Wada et al., 1998). Dans cette étude, la teneur en protéines des deux variétés de pastèque (Kaolack et Crimson sweet) n'a présenté aucune différence significative entre les lots témoins et les lots irradiés. Ces résultats ne concordent pas avec ceux de Dehpor (2017) qui a constaté chez le soja une diminution significative de la teneur en protéines suite au traitement d'irradiation. Par contre, ces résultats se rapprochent plus de ceux de Alikamanoglu et al., (2011) sur le soja, qui ont remarqué que le traitement des graines avec des taux élevés de rayons gamma augmentait la teneur en protéines soluble.

**CHAPITRE IV. CONCLUSION ET  
PERSPECTIVES**

#### IV.1. Conclusion

Les travaux présentés dans cette étude s'inscrivent dans le cadre d'une contribution à l'amélioration génétique de la pastèque grâce à l'utilisation de la radio-mutagenèse aux rayons gamma, compte tenu des intérêts économiques, agronomiques et nutritionnels de ce légume fruit.

De prime abord, les variétés de pastèque évaluées se sont montrées sensibles à la mutagenèse induite aux rayons gamma. Cette radiosensibilité s'est faite ressentir au niveau de la plupart des paramètres évalués par des modifications plus ou moins marquées.

À travers cette étude, l'on a examiné des caractères distinctifs de cinq variétés de pastèque cultivées au Cameroun. La démarche expérimentale suivie a permis d'établir et d'apprécier leurs performances agromorphologiques. Pour toutes les variétés évaluées (Kaolack, Crimson sweet, Sugar baby, Koloss et Charleston gray), le temps moyen de l'émergence varie entre 7 et 8 jours après semis. Le taux (%) de germination est relativement élevé chez toutes les variétés étudiées car varie en moyenne de 61,11 % à 90,71 % respectivement pour les variétés Sugar baby et Kaolack. Les observations réalisées dans cette étude sur les dimensions des graines, montre que les cinq variétés évaluées ont des graines allongées car le ratio  $L/H < 1$  pour toutes les variétés. Les résultats concernant le temps de maturité ont permis de relever que les variétés Kaolack et Sugar baby peuvent respectivement être qualifiées de précoce et de tardive avec pour délai de maturation 80 JAS pour l'un et 110 JAS pour l'autre. Pour ce qui est du nombre de fruit par plante, caractère le plus important pour le sélectionneur et pour le cultivateur de la pastèque, les variétés Kaolack et Crimson sweet se sont montrées meilleures avec une moyenne de trois fruits alors que les autres variétés sont à deux.

D'une manière générale, quatre des caractères quantitatifs examinés permettent de distinguer complètement les cinq variétés tandis que les autres paramètres n'ont permis qu'une distinction partielle. En outre, les corrélations (Corrélation de Pearson) ont montré une grande préférence du caractère temps de floraison et longueur du fruit pour la sélection vue leur étroite relation et leur important effet direct respectivement sur la durée du cycle et le poids du fruit mature. Cependant, très peu ou aucun paramètre n'est étroitement lié au nombre du fruit par plante qui est un paramètre très important dans la sélection.

Le manque de variabilité génétique serait à l'origine de ce constat et lorsqu'une variabilité génétique suffisante n'existe pas naturellement, elle peut être créée. Dès lors, la mutagenèse induite a été adoptée.

Les variétés de pastèque qui se sont montrées plus performantes à savoir Kaolack et Crimson sweet ont été soumises à la radio-mutagenèse par l'irradiation aux rayons gamma. Les résultats ont démontré à suffisance que ces variétés utilisées sont parfaitement sensibles au traitement mutagène appliqué dans la mesure où, pour tous les paramètres évalués : taux de germination des graines, le taux de survie et la hauteur des plantes, on a noté une réduction progressive avec l'augmentation de divers dosages d'irradiation. Ces résultats ont également montré que la différence de radiosensibilité entre les deux variétés n'était pas très grande.

Le but ultime de l'expérience d'induction de mutation est d'atteindre assez de nouveaux allèles intéressants pour générer des phénotypes souhaitables dans la population. Ainsi, la DL50 ou dose de mutagène qui peut atteindre une fréquence de mutation optimale avec le moins de dommages possibles au génome a été estimée. Ces variétés (Kaolack et Crimson sweet) ont présenté respectivement une DL50 de 225,40 Gy et 221,56 Gy posant ainsi les jalons d'un programme d'amélioration de la pastèque par mutagenèse induite. Pour ces deux variétés, la DL50 est comprise entre 200 et 250 Gy. Ces valeurs seront donc utilisées pour les expérimentations en champ. Néanmoins, il faut tenir compte du fait que les mutations induites sont des événements aléatoires et, en tant que telles, les conditions d'irradiation ainsi que ces DL50 peuvent ne pas entraîner les mêmes effets de mutation pour d'autres variétés.

Dans cette étude, la DL50 a été déterminée dans la gamme 200 à 250 Gy. Mais, la seule DL50 de 200 Gy a été appliquée sur les graines qui ont servi pour mener une expérimentation en champs dans le but de déterminer l'efficacité de cette DL50 sur la génération M<sub>1</sub> des mutants. Un certain nombre de paramètres agromorphologiques et biochimiques ont été évalués à cet effet.

Les paramètres tels que l'émergence, le taux de levée, le nombre de feuilles par plante ont connu une baisse suite au traitement d'irradiation à la DL50 comparée au témoin tandis que le temps de floraison ainsi que la durée du cycle ont connu une augmentation significative. En ce qui concerne le nombre de fruits par plante, la variété Kaolack a présenté une réduction significative en moyenne 3,88 pour le témoin et 2,99 pour le lot traité à l'irradiation à la DL50. Cependant, la variété Crimson sweet a fleuri mais le lot ayant reçu le traitement d'irradiation n'a produit aucun fruit. Il serait donc judicieux de déterminer l'effet de cette DL50 (200 Gy) sur le phénomène de fructification de cette variété.

La teneur des feuilles en chlorophylle totale (a+b) chez la variété Kaolack a été significativement élevée dans le lot irradié (40,4 µg/ml) par rapport au témoin (39 µg/ml) tandis que la variété Crimson sweet présentait plutôt une baisse significative de la teneur en chlorophylle totale sur le lot irradié (34,1 µg/ml) par rapport au témoin (39 µg/ml).



Cette étude doit être poursuivie dans les générations M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub> et M<sub>4</sub>, ou en faisant à nouveau une mutation induite en utilisant la DL50. Ainsi, des variétés intéressantes, pour les agriculteurs et consommateurs pourraient être rapidement mises au point, suite à l'ensemble des résultats obtenus durant ce travail.

#### **IV.2. Perspectives**

En déterminant le degré de radiosensibilité de ces variétés de pastèque à la mutagenèse induite aux rayons gamma, cette étude constitue une contribution à l'amélioration génétique de la pastèque, jetant ainsi les bases de ladite amélioration. Ainsi pour poursuivre cette étude et la rendre applicable et utile aux populations, il serait intéressant voire judicieux de mener les études complémentaires basées sur les axes suivants :

- détermination de l'effet de l'irradiation sur le processus de fructification de la variété Crimson sweet ou la soumettre à nouveau à une dose inférieure à la DL50 utilisée ;
- réalisation d'une enquête ethnobotanique dans les différentes zones de production et de commercialisation de la pastèque au Cameroun afin d'orienter clairement la sélection ;
- évaluation de la variabilité induite en M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub> et M<sub>4</sub> puis sélection des mutants à intérêt agronomique à l'issue de cette mutagenèse induite aux rayons gamma ;
- appréciation de la variabilité génétique induite sur les générations M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub> par l'utilisation des marqueurs moléculaires ;
- identification du déterminisme de la variabilité des paramètres étudiés dans le présent travail.

## BIBLIOGRAPHIE

- Abderrahmane K. & Lahcen E., 2015. Insecticidal effect of plant extracts on aphids of watermelon. *J. Biol. Agric. Healthc.*, 5: 173-179.
- Achigan D. G. E., Nadia F., Alphonse K., Hermene A., Raymond S. V. & Adam A., 2006. Évaluation agronomique de trois espèces de Egusi (Cucurbitaceae) utilisées dans l'alimentation au Bénin et élaboration d'un modèle de prédiction du rendement. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 10 (2): 121-129.
- Adunola A.T., Chidimma A. L., Olatunde D. S. & Peter O. A., 2015. Antibacterial activity of watermelon (*Citrullus lanatus*) seed against selected microorganisms, *African Journal of Biotechnology*, 14(14): 1224-1229.
- Aguyoh J. N., Korir N. K., & Gaoqiong L., 2006. Enhanced growth and yield of greenhouse produced cucumber under high altitude areas of Kenya. *Agricultura & Tropica Subtropica.*, 39(4): 249-254.
- Ahloowalia B., Maluszynski M. & Nichterlein K., 2004. Global impact of mutation-derived varieties. *Euphytica*, 135: 187-204.
- Alao F. O., Adebayo T. A. & Olaniyan O. A., 2016. Population density of insect pests associated with melon (*Citrullus lanatus* Thumb.) in southern guinea savanna zone, Ogbomoso. *J. Entomol. Zool. Stud.*, 4: 257-260.
- Alikamanoglu S., Yaycili O. & Sen A., 2011. Effect of gamma radiation on growth factors, biochemical parameters and accumulation of trace elements in soybean plants (*Glycine max* L. Merrill). *Biological Trace Element Research.*, 141: 283-293.
- Altas S., Kizil G., Kizil M., Ketani A. & Haris P. I., 2011. Protective effect of Diyarbakır watermelon juice on carbon tetrachloride induced toxicity in rats. *Food and Chemical Toxicology*, 49(9): 2433-2438.
- Aly A. A., Maraie A. W. & Ayadi S., 2018. Some biochemical changes in two egyptian bread wheat cultivars in response to gamma irradiation and salt stress. *Bulg. J. Agric. Sci.*, 24(1): 50-59.
- Anbarasan K., Rajendran R., Sivalingam D., Anbazhagan M. & Chidambaram A., 2013. Effect of gamma radiation on seed germination and seedling growth of Sesame (*Sesamum indicum* L.) Var.TMV3. *International Journal of Research in Botany*, 3(2): 27-29.

- Andersson M. S., Schultze-Kraft R., Peters M., Hincapie B. & Lascano C. E., 2006. Morphological, agronomic and forage quality diversity of the *Flemingia macrophylla* world collection. *Field Crops Research*, 96: 387-406.
- Anikwe M. A. N., Agu J. C. & Ikenganyia E. E., 2016. Agronomic evaluation of four exotic tropical variety of watermelon (*Citrullus lanatus* L.) in two agroenvironments in Nigeria. *International Journal of Plant and Soil Science*, 10: 1-10.
- Anonyme, 2008. Lost crops of Africa Vol. III: Fruits. The National Academies Press., pp.165-180.
- Anonyme, 1991. Plantes légumières. In : Mémento de l'Agronome. Ministère de la Coopération et du Développement. République Française. 4ème édition. Collection « Techniques rurales en Afrique », pp. 838-863.
- Anonyme, 2011. Production guidelines: Watermelon (*Citrullus lanatus*). Department of Agriculture, Forestry and Fisheries, Pretoria, 24 p.
- Anonyme, 2019. FAO statistics. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rom, 234 p.
- Arnon D. I., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiol.*, 24: 1-15.
- Arumuganathan K. & Earle E. D., 1991. Nuclear DNA content of some important plant species. *Plant Mol. Biol. Rep.*, 9: 208-219.
- Ayodele O. J. & Shittu O. S., 2013. Cost-benefit analysis of melon (egusi) seed and seed-oil yield responses to phosphorus fertilizer application. *Int. Res. J. Agric. Sci. Soil Sci.*, 3: 152-155.
- Azo'o M. E., Messi J., Fohouo T. F., Tamesse J. L., Kekeunou S. & Pando J. B., 2010. Foraging behaviour of *Apis mellifera adansonii* and its impact on pollination, fruit and seed yields of *Citrullus lanatus* at Nkolbisson (Yaoundé, Cameroon). *Cameroon Journal of Experimental Biology*, 6(1): 41-48
- Bado S., Forster B. P., Nielen S., Ghanim A., Lagoda P. J. L., Till B. J. & Laimer M., 2015. Plant Mutation Breeding: Current Progress and Future Assessment. *Plant Breeding Reviews*, 39: 23-88.
- Bahari M., Rafii M. Y., Saleh G. B. & Latif M. A., 2012. Combining ability analysis in complete diallel cross of Watermelon [*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. and Nakai]. *Sci. World J.*, 2012: 1-6.
- Bajaj Y. P. S., Saettler A. W. & Adams M. W., 1970. Gamma irradiation studies on seeds, seedlings and callus tissue cultures of *Phaseolus vulgaris* L. *Rad. Bot.*, 10: 119-124.

- Bekkara F., Jay M., & Viricel M. R., 1998. Distribution of phenolic compounds within seed and seedlings of two *Vicia faba* cvs differing in their seed tannin content, and study of their seed and root phenolic exudations. *Plant Soil*, 203: 27-36.
- Bembé A. P., Mabanza J., Mingui J. M. & Mialoundama F., 2010. Étude de quelques caractères végétatifs chez trois espèces de cucurbitacées locales cultivées au Congo Brazzaville : *Lagenaria siceraria*, *Citrullus lanatus* et *Cucurbita moschata*. *Ann. Univ.*, 11 (4): 16-21.
- Berger P. H., Adams M. J., Barnett O. W., Brunt A. A., Hammond J. & Hill J. H., 2005. Family Potviridae. In: Virus Taxonomy, VIIIth Report of the ICTV (Ed. Fauquet CM, Mayo MA, Maniloff J, Desselberger U & Ball LA) pp: 819-841.
- Bhala V. P. & Verma R. C., 2018. Gamma rays induced chromosomal aberrations in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Chromosome Bot.*, 12 (4): 86-90.
- Bhardwaj A., Kumar R., Dabas V. & Alam N., 2012. Evaluation of anti-ulcer activity of *Citrullus lanatus* seed extract in Wistar albino rats. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 4(5): 135-139.
- Bhattacharyya M. K., Smith A. M., Ellis T. H., Martin C., 1990. The wrinkled-seed character of pea described by Mendel is caused by a transposon-like insertion in a gene encoding starch-branching enzyme. *Cell.*, 60 (1): 115-122.
- Bhosale R. & More A., 2014. Effect of gamma radiation on seed germination, seedling height and seedling injury in *Withania somnifera*, (L.) Dunal. *Int. J. Life Sci.*, 2 (3): 226-228.
- Biswas R., Ghosal S., Chattopadhyay A. & Datta S., 2017. A comprehensive review on watermelon seed oil – An underutilized product. *J. Pharm.*, 71: 2250-3013.
- Blakeslee A., 1937. Dédoublément du nombre de chromosomes chez les plantes par traitement chimique. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 205: 476-479.
- Blancard D., LeCoq H. et Pitrat M., 1991. *Maladies des Cucurbitacées : Observer, identifier, lutter*. INRA. Paris, 301 p.
- Bokonon-Ganta A. H., Noudofinin M., Hanna R. & Gnanvossou D., 2010. Les mouches nuisibles aux fruits et légumes fruits : importance économique et approches de lutte. Fiche technique d'information et d'éducation. Dépôt légal n°4935 du 10 /12/2010 4ème trimestre. Bibliothèque Nationale du Bénin, Porto-Novo, 15 p.
- Boualem A., Lemhemdi A., Sari M. A., Pignoly S., Troadec C., Choucha F. A., Solmaz I., Sari N., Dogimont C. & Bendahmane A., 2016. The andromonoecious sex determination gene predates the separation of *Cucumis* and *Citrullus* genera. *PLoS One*, 11(5): 1-13.

- Bouchabke O., Tardieu F. & Simonneau T., 2006. Leaf growth and turgor in growing cells of maize (*Zea mays* L.) respond to evaporative demand under moderate irrigation but not in water-saturated soil. *Plant Cell and Environment*, 29: 1138-1148.
- Bouffier L., 2007. *Evolution de la variabilité génétique dans les populations d'amélioration du pin maritime (Pinus pinaster Ait.) et conséquences pour la sélection*. Thèse de doctorat, Université Bordeaux 1, 117 p.
- Bouffier L, Raffin A, Kremer A. (2008) Evolution of genetic variation for selected traits in successive breeding populations of maritime pine. *Heredity*, 101:156-165.
- Boullard B., 2001. *Plantes médicinales du monde: croyances et réalités*, éditions ESTEM 7, Paris, 636 p.
- Boyer J. S., 1982. Plant productivity and environment. *Science*, 218: 443-448.
- Bradford M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantization of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding. *Anal. Biochem.*, 72: 248-254.
- Bravo A., 1983. Development of disease resistant lines of grain legumes through mutation breeding. *In: Induced Mutations for Disease Resistance in Crop Plants II*. IAEA, Vienna, pp 153-156.
- Brock R. D., 1979. Mutation plant breeding for seed protein improvement *In: Seed Protein Improvement in Cereals and Grain Legumes*. Vienna, pp: 43-55.
- Byrne J., 2013. *Neutrons, nuclei and matter: an exploration of the physics of slow neutrons*. Courier Corporation. Kindle Edition,, 799 p.
- Castronuovo D., Tataranni G., Lovelli S., Candido V., Sofò A. & Scopa A., 2014. Irradiation effects on young tomato plants: Preliminary results. *Pak. J. Bot*, 46(3): 945-949.
- Causse M., Caranta C., Saliba-Colombani V., Moretti A., Damidaux R. & Rousselle P., 2000. Valorisation des ressources génétiques de la tomate par l'utilisation de marqueurs moléculaires. *Cahiers Agricultures*, 9: 197-210.
- Cheema A. A. & Atta B. M., 2003. Radiosensitivity studies in Basmati Rice. *Pak. J. Bot*, 35(2): 197-207.
- Chun L., Jin-Feng C., Chun-Tao Q., Xiao-Qing Z. & Yong Bing Z., 2006. Studies on induction of haploid cucumbers by irradiated pollen pollination and their characterization. *Sci. Agric. Sin.*, 39: 1428-1436.
- Coertze A. F., 1996. Cucurbits D2: *Watermelons*. Agricultural Research Council Leaflet ARCVOP1, Pretoria, 6 p.
- Condon A. G. & Hall A. E., 1997. Adaptation to diverse environments: variation in water use efficiency within crop species. *In L.E. Jackson (ed.)* pp. 79-116.

- Cowan W. C. & Smith B. D., 1993. New perspectives on a wild gourd in Eastern North America. *J. Ethnobiol.*, 13 (1): 17-54.
- Cronquist A., 1988. *The evolution and classification of flowering plants*. 2nd ed. Botanical Garden, Bronx, New York, 555 p.
- Cui Z., Carter T. E., Burton J. W. & Wells R., 2001. Phenotypic Diversity of Modern Chinese and North American Soybean Cultivars. *Crop Sci.*, 41: 1954-1967.
- Cuny F., Grotte M., Dumas de Vaulx R. & Rieu A., 1993. Effects of gamma irradiation of pollen on parthenogenetic haploid production in muskmelon (*Cucumis melo* L.). *Environ. Exp. Bot.*, 33: 301-312.
- Davis A. R., Webber III C. L., Perkins-Veazie P., Russo V., Lopez Galarza S. & Sakata Y., 2008. A review of production systems on watermelon quality. Cucurbitaceae. Proceedings IXth EUCARPIA meeting on genetics and breeding of Cucurbitaceae, Avignon, France, 21–24 May.
- De Vienne D., 1998. *Les marqueurs moléculaires en génétique et biotechnologies végétales*. 2ème ed. INRA, Paris, 200 p.
- Dehpor A. A., 2017. Effect of Gamma Irradiation on Some Biochemical Parameters and Physico-chemical Properties of Oil in Soybean *Glycine max* L. merr'. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 7 (2): 1991-1998.
- De-Kai W., Zong-Xiu S. & Yue-Zhi T., 2006. Application of TILLING in plant improvement. *Acta Genetica Sinica*, 33: 957-964.
- Demol J., Louant B. P. & Mergeai G., 2002. *Amélioration des plantes: Application aux principales espèces cultivées en régions tropicales*. Ed. Presses Agronomiques de Gembloux, 584 p.
- Debashis C., Shatha N., Pramila A., Gupta V. K., Tomar R. K., Garg R. N., Sahoo R. N., Sarkar A., Chopra U. K., Sundara Sarma K. S. & Kalra N., 2008. Effect of mulching on soil and plant waterstatus, and the growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) in a semi-arid environment. *Agricultural Water Management*, 95: 1323-1334.
- Dewi I. R., Herman & Isro F., 2015. Lethal dose 50 (LD50) of mungbean (*vigna radiata* l. wilczek) cultivar Kampar. *SABRAO J. Breed. Genet.*, 47 (4): 510-516.
- Dugo M. V. G., 2002. *Effet du déficit hydrique sur l'état de nutrition azotée chez les graminées fourragères*. Thèse de Doctorat, Université de Poitiers, 189 p.
- Edwards A. J., Vinyard B. T., Wiley E. R., Brown E. D., Collins J. K., Perkin-Veazie P., Baker R. A. & Clevidence B. A., 2003. Consumption of watermelon juice increases

- plasma concentrations of lycopene and  $\beta$ -carotene in humans. *Hum. Nutr. Metab.*, 133: 1043-1050.
- El Gharras H., 2009. Polyphenols: Food sources, properties and applications. A review. *International Journal of Food Science and Technology*, 44(12): 2512-2518.
- Eman E., Sawsan E., Nahla A. & Eman F., 2020. Genetic Improvement of *Calendula officinalis* L. through Mutation Induction using Gamma Irradiation and Chemical Mutagens. *Arab Univ. J. Agric. Sci., Ain Shams Univ.*, Cairo, 82(2): 424-474.
- Emberger L., 1960. *Traité de Botanique Systématique*, vol. 2. Masson et Cie, Paris, p. 1280-1297.
- Enzonga-Yoca J. A., Nitou J. G., Allou Kippré V., Niamayoua R. K., Mvoula-Tsieri M. & Silou T., 2011. Caractérisation chimique et évaluation de la température de conservation du lait des graines de cucurbitacées : *Cucumeropsis mannii* et *Citrullus lanatus*. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 10(1): 1232-1238.
- Ertan S. K., Ahmet B. & Dilek k., 2017. Détermination of semi-lethal (LD50) doses for mutation breeding of Turkish winter squash (*Cucurbita maxima* Duch.) and pumpkin (*Cucurbita moschata* Duch.). *In Fresenius Environmental Bulletin*, 26: 3209-3216.
- Escalona J. M., Tomás M., Martorell S., Medrano H., Ribas-Carbo M. & Flexas J., 2012. Carbon balance in grapevines under different soil water supply: importance of whole plant respiration. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 18: 308-318.
- Esquinas-Alcazar J.T. & Gulick P. J., 1983. *Genetic resources of Cucurbitaceae. A global report*. International Board for Plant Genetic Resources. Rome, 101 p.
- Anonyme, 2009. FAO's Director-General on how to feed the World in 2050. *Popul. Dev. Rev.* 35 (4): 837-839.
- Anonyme, 2013. Food and agriculture organization of United Nations: economical and social Department: the statistics division; <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx> consulté le 12/11/2013.
- Anonyme, 2018. Mutation Breeding. Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture [Accessed: August 2018]. Available from: <http://www-naweb.iaea.org/nafa/pbg/mutation-breeding.html>.
- Anonyme, 1965. The Use of Induced Mutations in Plant Breeding. (Report of an FAO/IAEA Technical Meeting Room 1964). Pergamon Press, Oxford,
- Anonyme, 1984. Conclusions and recommendations. *In: Selection in Mutation Breeding*, pp.157-169.

- Fondio L., Kouamé C. & Djidia A. H., 2000. *Rapport d'avancement du projet de développement de la culture de la tomate et des plantes oléagineuses en région centre-Bouaké, Côte d'Ivoire*. CNRA, Bouaké, 257 p.
- Fraser P. D. & Bramley P. M., 2004. The biosynthesis and nutritional uses of carotenoids. *Progr Lipid Res.*, 43: 228-265.
- Freisleben R. & Lein A., 1942. Über die Auffindung einer mehltau-resistenten Mutante nach Röntgenbestrahlung einer anfälligen Lime von Sommergerste. *Naturwissenschaften* 30 p 608.
- Freisleben R. & Lein A., 1943a. Vorarbeiten zur züchterischen Auswertung röntgeninduzierter Mutationen I. *Z. Pflanzenz.*, 25: 235-254.
- Freisleben R. & Lein A., 1943b. Vorarbeiten zur züchterischen Auswertung röntgeninduzierter Mutationen II. *Z. Pflanzenz.*, 25: 255-283.
- Gallais A., 2001. *Génétique quantitative*. Institut National Agronomique Paris-Grignon, Paris, 200 p.
- Gee J. M. & Johnson I. T., 2001. Polyphenolic compounds: interactions with the gut and implications for human health. *Current Medicinal Chemistry.*, 8: 1-182.
- Girija M. & Dhanavel D., 2009. Mutagenic effectiveness and efficiency of gamma rays, ethyl methane sulphonate and their combined treatments in cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). *Global J. Mol. Sci.*, 4: 68-75.
- Giwa S., Abdullah L. C. & Adam N. M., 2010. Investigating « Egusi » (*Citrullus colocynthis* L.) seed oil as potential biodiesel feedstock. *Energies*, 3: 607-618.
- Gnanamurthy S., Dhanavel D. & Girijam M., 2013. Effect of gamma radiation on morphological characters of Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). *Int. J. Cur. Tr. Res.*, 2(1): 38- 43.
- Gnankambary K., Teyouré B. J. B., Nerbéwendé S., Mahamadou S., Djibril Y. & Tinga J. O., 2019. Assessment of radio-sensitivity for three cowpea genotypes to gamma irradiation. *Int. J. Genet. Mol. Biol.*, 11(2): 29-33.
- Godbole M. G. & Murthy H. N., 2012. Parthenogenetic haploid plants using gamma irradiated pollen in snapmelon (*Cucumis melo* var. *momordica*). *Plant Cell Tissue Org. Cult.*, 109: 167-170.
- Gomez O. J., Blair M. W., Frankow-Lindberg B. E. & Gullberg U., 2004. Molecular and Phenotypic Diversity of Common Bean Landraces from Nicaragua. *Crop Sci.*, 44: 1412-1418.



- Goode M. J. & Reading G. D., 1960. Controlling Watermelon leaf diseases with fungicide sprays. *Arkans. Fnz. Res.*, 9: 1-4.
- Guner N. & Wehner T. C., 2004. The genes of watermelon. *Hort. Science*, 39: 1175-1182.
- Guo S., Zhang J. & Sun H., 2012. The draft genome of watermelon (*Citrullus lanatus*) and resequencing of 20 diverse accessions. *Nature Genetics*, 45: 51-58.
- Guo Y., Abernathy B., Zeng Y. & Ozias-Akins P., 2015. TILLING by sequencing to identify induced mutations in stress resistance genes of peanut (*Arachis hypogaea*). *BMC genomics*, 16: 157-170.
- Guoyao W., Collins J. K., Perkins-Veazie P. & Siddiq M., 1992. Dietary supplementation with melon pomace juice enhances arginine availability and ameliorates the metabolic syndrome in Zucker diabetic fatty rats. *J. Nutr.*, 45: 34-54.
- Gusmini G. & Wehner T. C., 2005. Foundations of yield improvement in watermelon. *Crop Science*, 45: 141-146.
- Gusmini G., 2003. *Watermelon (Citrullus lanatus) breeding handbook*. Raleigh, NC, USA: North Carolina State University, 180 p.
- Gustafsson A., 1954. Swedish mutation work in plants: background and present organization. *Acta Agriculturae Scandinavica*, 4: 361-364.
- Hai-yong Q., Chaoyang Z. & Yudong S., 2016. The mechanism of seedlessness in watermelon generated using soft-X-ray irradiated pollen. *Afr. J. Agric. Res.*, 11(25): 2200-2204.
- Hamideldin N. & Eliwa N. E., 2015. Gamma irradiation effect on growth, physiological and molecular aspects of mustard plant. *Am. J. Agric. Sci.*, 2(4): 164-170.
- Hanafiah D.S., Trikoesoemaningtyas, Yahya S. & Wirnas D., 2010. Induced mutations by gamma ray irradiation to Argomulyo soybean (*Glycine max*) variety. *Nusantara Bioscience Nature Indonesia*, 2(3): 121-125.
- Hancock D. L., 1989. Pest status southern Africa. In world crop pest 3 (A). Fruit flies; their biology, natural enemies and control (Ed. by Robinson, A.S.; Hooper G.), Elsevier, Amsterdam, Pays-Bas, pp 209-219.
- Harding S. S. & Mohamad O., 2013. Radiosensitivity test on two varieties of Terengganu and Arab used in mutation breeding of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Afr. J Plant Sci.*, 3(8): 181-183.
- Harry M., 2001. *Génétique moléculaire et évolutive*. Editions Maloine, Paris, P39.
- Hassan L. E. A., Sirat H. M., Yagi S. M. A., Koko W. S. & Siddig I. A., 2011. In vitro antimicrobial activities of chloroformic, hexane and ethanolic extracts of *Citrullus*

- lanatus* var. *citroides* (Wild melon). *Journal of medicinal plants research*, 5(8): 1338-1344.
- Hernandez B. J. E. & Leon J., 1994. Cultures marginalisées, 1492 : Une autre perspective, Rome, pp. 65-87.
- Hoffmann W., 1959. Neuere Möglichkeiten der Mutationszüchtung. *Z. Pflanzenz*, 41: 371-394.
- Hopkins W. G., 2003. *Physiologie Végétale. Traduction de la 2<sup>e</sup> édition américaine*. Edition DE BOECK Université, pp. 451-473.
- Horn L. N. & Shimelis H., 2013. Investigation on radio-sensitivity of gamma irradiation on selected cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) genotypes. *Sci. Res. And Ess.*, 8: 1991-1997.
- Hugo de vries, 1901. *Die mutations theorie*. I von veit and Co., Leipzig, 648 p.
- Huh Y.C., Solmaz I. & Sarı N., 2008. Morphological Characterization of Korean and Turkish Watermelon Germplasm. In: *Cucurbitaceae 2008*, Proceedings of the IXth EUCARPIA meeting on genetics and breeding of Cucurbitaceae (Pitrat M, ed), INRA, Avignon (France), May 21-24th.
- Anonyme, 1977. Manual on Mutation Breeding. Second Edition. Technical Reports Series N°. 119.
- Irié A., Zoro Bi, Kévin K. K. & Yao Djè, 2003. Caractérisation botanique et agronomique de trois espèces de cucurbites consommées en sauce en Afrique de l'Ouest : *Citrullus* sp., *Cucumeropsis mannii* Naudin et *Lagenaria siceraria* (Molina) Standl. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 7 (3-4): 189-199.
- Ishiyakou M. F., Singh B. B. & Craufurd P. Q., 2005. Inheritance of time to flowering in cowpea (*Vigna unguiculata* L.) Walp.). *Euphytica*, 142: 291-300.
- Iwata Y., 1951. Specialization in *Pseudoperonospora cubensis* (BERK. and CURT.) ROSTOW. (III) Studies on the fungus from White Gourd (*Benincasa hispida* COGN.), Kyoto, 4, p. 1248.
- Jain S. M. & Suprasanna P., 2011. Induced mutations for enhancing nutrition and food production. *Gene conserve* 40: 201-215.
- Jain S., Jerald E. E. & Edwin S., 2013. Isolation, fractionation and evaluation of the anti-inflammatory properties of *Citrullus lanatus* Thumb. *Asian J of Biomed Parma Sci.*, 3: 66-72.
- James C., 2006. *Global status of commercialized biotech/GM crops: ISAAA Brief No. 35*. Ithaca, New York, 65 p.

- Jenczewski E., Prosperi J. M. & Ronfort J., 1999. Evidence for gene flow between wild and cultivated *Medicago Sativa* (Leguminosae) based on alloenzyme markers and quantitative traits. *Am. J. Bot.*, 86: 677-687.
- Johnson J. T., Iwang E. U., Hemen J. T., Odey M. O., Efiom E. E. & Eteng O. E., 2012. Evaluation of anti-nutrient contents of watermelon *Citrullus lanatus*. *Annals of biological Research*, 3 (11): 5145-5150.
- Julier B., Flajoulot S., Barre P., Cardinet G., Santoni S., Huguet T. & Huyghe C., 2003. Construction of two genetic linkage maps in cultivated tetraploid alfalfa (*Medicago sativa*) using microsatellite and AFLP markers. *BMC Plant Biol.*, 19: 3-9.
- Kalia K., Sharma K., Singh H. P. & Singh B., 2008. Effects of extraction methods on phenolic contents and antioxidant activity in aerial parts of *Potentilla atrosanguinea* Lodd. and quantification of its phenolic constituents by RP-HPLC. *J. Agric. Food Chem.*, 56: 10129– 10134.
- Kanda M., Boundjou G. D., Wala K., Gnandi K., Batawila K., Sanni A. & Akpagana K., 2013. Application des pesticides en agriculture maraîchère au Togo. *VertigO. La revue électronique en sciences de l'environnement*, 13 (1): 1-17.
- Kaur R., Kapoor M., Kaur R. & Kumar A., 2017. Effect of gamma radiation on cytomorphology, total phenolic content and antioxidant activity of *Calendula*. *J. Hill Agriculture*, 8(4): 395- 402.
- Kawasaki S., Miyake C., Kohchi T., Fujii S., Uchida M. & Yokota A., 2000. A response of wild watermelon to drought stress: Accumulation of an ArgE homologue and citrulline in leaves during water deficits. *Plant and Cell Physiology*, 41: 864-873.
- Keraudren A., 1975. *Flore d'Afrique Centrale (Zaire-Rwanda Burundi)*, Cucurbitaceae. Jardin botanique de Belgique, Meise, 145 p.
- Kharkwal M. C., 2012. A brief history of plant mutagenesis. In: Shu Q.Y., Forster B.P., Nakagawa H, editors. *Plant mutation breeding and biotechnology*. Wallingford: CABI; p. 21-30.
- Khush G. S., 1999. Green revolution: preparation for the 21st century. *Genome*, 42: 646-655.
- Kihara H., 1951. Triploid watermelons. *Proc Am Soc Hort Sci.*, 58: 217-230.
- Kiong A. L. P., Lai A. G., Hussein S., & Harun A. H., 2008. Physiological responses of *Orthosiphon stamineus* plantlets to gamma irradiation. *American Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, 2: 135-149.
- Kodym A., Afza R., Forster B. P., Ukai Y. & Nakagawa H., 2012. Methodology for physical and chemical mutagenic treatments. In *Plant Mutation Breeding and Biotechnology*,

- edited by Shu Q. Y., Forster B. P. and Nakagawa H. Joint FAO/IAEA Division of nuclear Techniques in Food and Agriculture International Atomic Energy Agency, Vienna, pp. 169–180.
- Koffi K., Guy K., Anzara, Malice M., Djè Y., Pierre B., Jean Pierre B., Irié A. & Zoro Bi., 2009. Morphological and allozyme variation in a collection of *Lagenaria siceraria* (Molina). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 13 (2): 257-270.
- Konzak C., Nilan R. & Kleinhofs A., 1977. Artificial mutagenesis as an aid in overcoming genetic vulnerability of crop plants. *Genetic Diversity in Plants*, 8: 163-177.
- Kovacs E. & Keresztes A., 2002. Effect of gamma and UV-B/C radiation on plant Cells. *Micron*, 33: 199-210.
- Kramling T. & Singleton V., 1969. An estimate of the non-flavonoid phenols in wines. *American Journal of Enology and Viticulture*, 20 (2): 86-92.
- Kroll R., 1994. *Les cultures maraîchères*. Le Technicien d'Agriculture Tropicale, Paris, 219 p.
- Kumaga F. K., Adiku S. G. K. & Ofori K., 2003. Effect of post-flowering water stress on dry matter and yield of three tropical grain legumes. *International Journal of Agriculture and Biology*, 5(4): 405-407.
- Kumar D. P., Chaturvedi A., Sreedhar M., Aparna M., Venu-Babu P. & Singhal R. K., 2013. Gamma radiosensitivity study on rice (*Oryza sativa* L.). *Asian J Plant Sci. Res.*, 3(1): 54-68.
- Kurowska M., Daszkowska-Golec A., Gruszka D., Marzec M., Szurman M., Szarejko I. & Maluszynski M., 2011. TILLING-a shortcut in functional genomics. *Journal of applied genetics*, 52: 371-390.
- Kurtar E. S., Sari N. & Abak K., 2002. Obtention of haploid embryos and plants through irradiated pollen technique in squash (*Cucurbita pepo* L.). *Euphytica*, 127: 335-344.
- Kuvare U. S. K., 2005. Greenhouse production of Watermelon (*Citrullus lanatus*). Stellenbosch, South Africa, Department of Horticulture, University of Stellenbosch, MS Thesis. 130 p.
- L'Annunziata M. F., 2016. *Radioactivity: Introduction and History, From the Quantum to Quarks*. Elsevier. 2nd edition, 932 p.
- Lamseejan S., Jompuk P., Wongpiyasatid A., Deeseapan S. & Kwanthammachart P., 2000. Gamma rays induced morphological changes in chrysanthemum (*Chrysanthemum morifolium*). *Kasetsart J. (Nat. Sci.)*, 34: 417-422.

- Langridge P., Lagudah E. S., Holton T. A., Appels R., Sharp P.J. & Chalmers K. J., 2001. Trends in genetic and genome analyses in wheat: a review. *Aust. J. Agric. Res.*, 52: 1043-1077.
- Laopé A. C. S., Dago F. S., Lacina F. C., Founignué K. S., Mamadou K. & Séverin A., 2018. Caractérisation agro-morphologique de cinq variétés de Cucurbitacées cultivées dans la région de Korhogo (Côte d'Ivoire). *Journal of Animal & Plant Sciences*, 37(2): 6033-6040.
- Lecoq H., Dafalla G., Desbiez C., Wipf-Scheibel C., Delécolle B. & Lanina T., 2001. Biological and molecular characterisation of Moroccan watermelon mosaic virus and a related Potyvirus isolate from Eastern Sudan. *Plant Disease*, 85: 547-552.
- Leskovar D. I., Bang H., Crosby K. M., Maness N., Franco J. A. & Perkins-Veazie P., 2004. Lycopene, carbohydrates, ascorbic acid and yield components of diploid and triploid watermelon cultivars are affected by deficit irrigation. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.*, 79 (1): 75-81.
- Lichtenthaler H.K. & Wellburn A. R., 1983. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochem. Soc. Trans.*, 11: 591-592.
- Lonsdale D., 1987. Cytoplasmic male sterility: a molecular perspective [mitochondrial DNA; a review]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 25: 265-271.
- Loy J.B., 1988. Improving seed yield in hull-less seeded strains of *Cucurbita pepo*. *Cucurbit Genet. Coop. Rep.* 11, p. 72-73.
- Luis-Arteaga M, 1994. Enfermedades producidas por virus. *En: Díaz-Ruiz JR, García-Jiménez J.*, eds. Enfermedades de las Cucurbitáceas en España. Monografías no. 1 de la Sociedad Española de Fitopatología. Agropubli, S.L. (PHYTOMA-España), p. 73-91.
- Luis-Arteaga M., Alvarez J. M., Alonso-Prados J. L., Bernal J. J., Garcia-Arenal F. & Lavina A., 1998. Occurrence, distribution and relative incidence of mosaic viruses infecting field-grown melon in Spain. *Plant Disease*, 82: 979-982.
- Lum T., Connolly M., Marx A., Beidler J., Hooshmand S., Kern M., Liu C. & Hong M. Y., 2019. Effect of fresh watermelon consumption on the acute satiety response and cardio metabolic risk factors in overweight and obese adults. *Nutrients*, 11(3):595.
- Luthria D. L. & Pastor-Corrales M. A., 2006. Phenolic acids content of fifteen dry edible bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties. *Journal of food composition and analysis*, 19(2-3): 205-211.

- Ma K., Zhang X. & Wang M., 1990. Nutrients in seeds of edible watermelon (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. and Nakai). *Cucurbit Genet. Coop. Rep.*, 13: 16-18.
- Mac Key J., 1956. Mutation breeding in Europe. *In: Genetics in Plant Breeding*, Brook haven Symposia in Biology, 9: 141-152.
- Maggs-Kölling G., Madsen S. & Christiansen J., 2000. A phenetic analysis of morphological variation in *Citrullus lanatus* in Namibia. *Genet. Resour. Crop Evol.*, 47: 385-393.
- Mallick M. F. R. & Masui M., 1986. Origin, distribution and taxonomy of melons. *Sci. Hort.*, 28: 251-261.
- Maluszynski M., Nichterlein K., Van Zanten L. & Ahloowalia S., 2000. Officially released mutant varieties. The FAO/IAEA database. *Mut. Breed. Rev.*, 12: 1-84.
- Manju P. & Gopimony R., 2009. A new okra variety through induced mutation in interspecific hybrids of *Abelmoschus* Species. *In: Shu QY (ed). Induced plant mutations in the genomics era*. Joint FAO/IAEA. Programme, Vienna, pp. 91-94.
- Maoto M., Beswa D. & Jideani A. I. O., 2019. Watermelon as a potential fruit snack. *Int. J. Food Prop.*, 22: 355-370.
- Marcu D., Damian G., Cosma C. & Cristea V., 2013. Gamma radiation effects on seed germination, growth and pigment content, and ESR study of induced free radicals in maize (*Zea mays*). *J. Bio. Phy.*, 39: 625-34.
- Masoud M., Zayed M. A., Gad D. & Elhaak M. A., 2018. Effect of gamma irradiation on some metabolites of *Cichorium pumilum* Jacq. *Egypt. J. Exp. Biol.*, 14(1): 153-159.
- Mawussi G., Kolani L., Devault D. A., Koffi-Kouma A. A. & Sanda K., 2014. Utilisation de pesticides chimiques dans les systèmes de production maraîchers en Afrique de l'Ouest et conséquences sur les sols et la ressource en eau : Le cas du Togo. 44è congrès du Groupe Français des Pesticides, 26-29 mai 2014, Actes du colloque, Schoelcher, France, pp 46-53.
- Maynard D. N., 2001. *Watermelons. Characteristics, production, and marketing. 1 ed.*, ASHS Press., Alexandria, 227 p.
- Maynard L., 2007. Cucurbit crop growth and development. Indiana CCA Conference Proceeding, 6p.
- Mba C., Afza R., Bado S. & Jaim S. M., 2010. Induced mutagenesis in plants using physical and chemical agents. *In: Plant, cell culture essential methods*, PP: 111-130.
- Mba C., Afza R., Shu Q. Y., Forster B. & Nakagawa H., 2012. Mutagenic radiations: X-rays, ionizing particles and ultraviolet. *In: Plant Mutation Breeding and Biotechnology, (Eds.) CABI: Oxfordshire*, pp: 83-90.

- Mbogne T. J., Youmbi E., Ibouaïman B. & Ntsomboh N. G., 2015. Agromorphological, chemical and biochemical characterization of pumpkin (*Cucurbita maxima* and *Cucurbita moschata*, *Cucurbitaceae*) morphotypes cultivated in Cameroon.” *Research in Plant Sciences*, 3: 12-17.
- McCallum C. M., Comai L., Greene E. A. & Henikoff S., 2000. Targeted screening for induced mutations. *Nature biotechnology*, 18: 455-457.
- McDonald M. B. & Copeland L., 1997. *Seed Production: Principles and Practices*. Chapman and Hall, New York, 249 p.
- Meunier E., 2005. Des plantes mutantes dans nos assiettes. Inf’OGM, 67, Septembre 2005, <http://www.infogm.org/spip.php?Article 2406>, (10/05/2010).
- Micke A., 1999. Mutations in plant breeding. *Breeding in crop plants: mutations and in vitro mutation breeding*. Kalyani Publishers, Ludhiana, pp: 1-19.
- Moneddji A. D., Nyamador W. S., Amevoin K., Adéoti R., Abbévi G. A., Koffiviketo G. & Glitho I. A., 2015. Analyse de quelques aspects du système de production légumière et perception des producteurs de l’utilisation d’extraits botaniques dans la gestion des insectes ravageurs des cultures maraîchères au Sud du Togo. *International Journal of Biology and Chemistry Sciences*, 9(1): 98-107.
- Mujica M. V., Granito M. & Soto N., 2009. Importance of the extraction method in the quantification of total phenolic compounds in *Phaseolus vulgaris* L. *Interciencia*, 34(9): 650-654.
- Muliele M. T., Nsombo M. B., Kapalay M. O. & Mafuka M. P., 2017. Amendements organiques et dynamique de l’azote minéral dans le sol sableux de Kinshasa (RD Congo). *Journal of Animal and Plant Sciences*, 32 (2): 5156-5167.
- Munisse P., Jensen B. D. & Andersen S. B., 2013. Genetic differentiation of watermelon landraces in Mozambique using microsatellite markers. *Afr. J. Biotechnol.*, 12: 5513-5521.
- Nakai H., Nakamura K., Kuwahara S. & Saito M., 1990. A new gene, developed through mutagenesis, for resistance of rice to bacterial leaf blight (*Xanthomonas campestris* pv. *oryzae*). *J. Agric. Science*, 114: 219-224.
- Naz A., Butt M. S., Sultan M. T., Qayyum M. M. N. & Naiz R. S., 2014. Watermelon lycopene and allied health claims. *Excli J.*, 13: 650-666.
- Nerson H., 2002. Relationships between plant density and fruit and seed production in muskmelon. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 127 (5): 245-256.

- Nguegang A. P., 2008. *L'agriculture urbaine et périurbaine à Yaoundé : Analyse multifonctionnelle d'une activité montante en économie de survie*. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques et Ingénierie Biologique, Université de Dschang, 200 p.
- Nilan R. A., Konzak C. F., Wagner J. & Legault R. R., 1965. Effectiveness and efficiency of radiations for inducing genetic and cytogenetic changes. In: The use of induced mutations in plant breeding. (Report Fao/Iaea Technical Meeting, Rome 1964). Pergamon Press, Oxford, P. 71-89.
- Okunrobo O. L., Uwaya O. J., Imafidon E. K., Osarumwense O. P. & Omorodion E. J., 2012. Quantitative determination, Metal analysis and Antiulcer evaluation of Methanol seeds extract of *Citrullus lanatus* Thunb (Cucurbitaceae) in Rats. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*, pp 1261-1265.
- Olasupo F. O., Ilori C. O., Forster B. P. & Bado S., 2016. Mutagenic effects of gamma radiation on eight accessions of cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.). *American J Plant Sci.*, 7:339–351.
- Oldacay S. Y., 2002. *Effect of magnetic field on gamma irradiated sunflower (Helianthus annus L.) varieties*. ph.D. thesis, Istanbul University, 207 p.
- Oldach K., Pratap A. & Kumar J., 2011. Mutagenesis. In: *Biology and breeding of food legumes*. Cabi, Kanpur, pp 208-219.
- Onwubiko N. I. C., Odum O. B., Utazi C. O. & Poly-Mbah P. C., 2011. Studies on the adaptation of bambara groundnut (*Vigna subterranea*) in Owerri Southeastern Nigeria. *New York Science Journal*, 4 (2): 60-67.
- Oraegbunam C. J., Njoku O. M., Imoh O. N., Obalum S. E., Onyia V. N., Atugwu A. I. & Uchida Y., 2016. Agronomic performance and adaptability of three varieties of watermelon (*Citrullus lanatus*) on sandy loam soil in derived savanna. *Agro-Science Journal of Tropical Agriculture, Food, Environment and Extension*, 15 (3): 46-50.
- Pelletier G., Primard C., Vedel F., Chetrit P., Remy R. & Rousselle P., 1983. Intergeneric cytoplasmic hybridization in cruciferae by protoplast fusion. *Mol. Gen. Genet.*, 191: 244-250.
- Perkins-Veazie P. & Collins J. K., 2006. Carotenoid content of intact watermelons after storage. *J. Agric. Food Chem.*, 54: 5868-5874.
- Pitrat M., Chauvet M. & Foury C., 1999. Diversity, history and production of cultivated cucurbits. *Acta Horticulturae*, 492: 21-28.



- Poduri A., Rateri D. L., Saha S. K., Saha S. & Daugherty A., 2013. *Citrullus lanatus* 'sentinel' (watermelon) extract reduces atherosclerosis in LDL receptor-deficient mice. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 24(5): 882-886.
- Radulović M., Ban D., Sladonja B. & Lusečić-Bursić V., 2007. Changes of quality parameters in watermelon during storage. *Acta Hort.*, 731: 451-456.
- Reamakers H. R., 2001. Crop production in the Tropical regions. DGIT Ministry of foreign affairs, external trade and international cooperation, Brussels, pp 475-479.
- Rajendran K. & Lakshmi S., 2006. Effect of gamma rays and EMS on two varieties of soybean. *Asian J. Plant Sci.*, 5: 721-724.
- Rajput M. A. & Siddiqui K. A., 1982. Mutation Breeding of Soybean for high yield and oil content. *In induced mutations for improvement of grain legume production*. Proceeding of the second research co-ordination meeting of the use of induced mutations for improvement of grain legume production in southeast Asia, Thailand: 27: 117-119.
- Ramakrishna A., Tam H. M., Wani S. P. & Long T. D., 2006. Effect of mulch on soil temperature, moisture, weeds infestation and yield of groundnut in Northern Vietnam. *Field Crops Research*, 95: 115-125.
- Ray D. K., Mueller N. D., West P. C. & Foley J. A., 2013. Yield trends are insufficient to double global crop production by 2050. *PLoS One*, 8(6):e66428.
- Rimando A. M. & Perkins-Veazie P. M., 2005. Determination of citrulline in watermelon rind. *Journal Chromatogr. A.*, 1078(1-2): 196-200.
- Robinson R.W. & Decker-Walters D. S., 1999. Crop production science in horticulture. *Cucurbit*, 6: 226 p
- Ronald P., 2011. Plant genetics, sustainable agriculture and global food security. *Genetics*, 188(1): 11-20.
- Rosignol J. L., Berger R., Deutsch J. & Fellous M., 2004. *Génétique : Gènes et génomes*. Dunod, Paris, 231 p.
- Roychowdhury R. & Tah J. 2013. Mutagenesis: A potential approach for crop improvement. *In. Crop improvement: New approaches and modern Techniques*. Springer, Boston, pp 149-187.
- Said E. M. & Fatiha H., 2018. Genotypic variability in fruits characters of Moroccan watermelon cultivars (*Citrullus lanatus*) cultivars under well and limited watered conditions. *Hortic. Int. J.*, 2:378-381.

- Said-al Ahl H. A. H., Sarhan A. M. Z., Abou Dahab A. D. M., Abou-Zeid E. S. N., Ali M. S. & Naguib N. Y., 2015. Bio-fertilizer and gamma radiation influencing flavonoids content at different parts of dill herb. *Int. J. Life Sci. & Eng.*,1(4): 145-149.
- Samouelian F., Gaudin V. & Boccara M., 2009. *Génétique moléculaire des plantes*. Quae, Paris, 360 p.
- Santoni S., Faivre-Rampant P., Prado E. & Prat D., 2000. Marqueurs moléculaires pour l'analyse des ressources génétiques et l'amélioration des plantes. *Cah. Agric.*, 9 (4): 3311-3327.
- Sari N. & Abak K., 1996. Farkli Isin dozlarinin ve Is,inlamaya alternatif uygulamalarin karpuzda haploid embryo uyartimina etkileri. *Turkiye II. Ulusal Bahce Bitkileri Kongresi Bildirileri, Cilt II, Adana*, pp. 212-215.
- Sari N., Abak K., Pitrat M., Rode J. C. & Dumas De Vaulx R., 1994. Induction of parthenogenetic haploid embryos after pollination by irradiated pollen in watermelon. *Hort Science*, 29: 1189-1190.
- Sato Y., Shirasawa K., Takahashi Y., Nishimura M. & Nishio T., 2006. Mutant selection from progeny of gamma-ray-irradiated rice by DNA heteroduplex cleavage using *Brassica* petiole extract. *Breed Sci.*, 56:179–183.
- Scarascia-Mugnozza G.T., 1966. Mutazioni indottee miglioramento genetico delle piante agrarie. *Genetica Agraria*, 20: 140-178.
- Schaefer H. & Renner S. S., 2011. Phylogenetic relationships in the order cucurbitales and a new classification of the gourd family (*Cucurbitaceae*). *Taxon*, 60 (1): 122-138.
- Schippers R. R., 2000. *African indigenous vegetables. An overview of the cultivated species*. Natural Resources Institute/ACP-EU Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation, Chatham, 214 p.
- Schippers R. R., 2004. *Légumes africains indigènes. Présentation des espèces cultivées*. Margraf Publishers GmbH, Scientific Books, 482 p.
- Servais S., 2004. Altération mitochondriale et stress oxydant pulmonaire en réponse à l'ozone: Effets de l'âge et d'une supplémentation en oméga-3. Thèse doctorat, Université Claude bernard- Lyon 1, pp. 19-35.
- Shah A. R., Khan T. M., Sadaquat H. A. & Chatha A. A., 2011. Alterations in leaf pigments in cotton (*Gossypium hirsutum*) genotypes subjected to drought stress conditions. *Int. J. Agric. Biol.*, 13 : 902-908.
- Shah T. M., Mirza J. I., Haq M. A. & Atta B. M., 2008. Radio sensitivity of various chickpea genotypes in M1 generation In Laboratory studies. *Pak. J. Bot.*, 40: 649-665.

- Shala A. Y., 2019. Effect of different doses of gamma irradiation on vegetative growth and oil yield of *Ocimum basilicum* L. *J. Plant Production, Mansoura Univ.*, 10 (1): 1-6.
- Shala, A.Y. & Mahmoud M. A., 2018. Influence of glycinebetaine on water stress tolerance of *Hibiscus sabdariffa* L. *plant. J. Plant Prod.* Mansoura Univ., 9(12): 981-988.
- Sharma S., Paliwal S., Dwivedi J. & Tilak A., 2011. First report on laxative activity of *Citrullus lanatus*. *Pharmacology online*, 2: 790-797.
- Sigurbjornsson B. & Micke A., 1974. Philosophy and accomplishments of mutation breeding. *In: Polyploidy and induced mutations in plant breeding.* IAEA, Vienna, pp. 303-343.
- Sigurbjörnsson B., 1983. Induced mutations. *In: D. R. Wood. Crop Breeding.* American Society of Agronomy, pp 153-176.
- Sikder S., Biswas P., Hazra P., Akhtar S., Chattopadhyay A., Badigannavar A. M. & D'Souza S. F., 2013. Induction mutation in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) by gamma irradiation and EMS. *Indian J. Genet.*, 73:392-399.
- Singh S., Singh R., Singh N., Prasad J. & Shahi J., 2007. Mutagenic efficiency of gamma rays, ethyl methane sulphonate and its combination on microsperma lentil (*Lens culinaris* Medik). *International Journal of Agricultural Sciences*, 3: 113-118.
- Singleton V. L., Rossi J. R., 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic – phosphothungstic acid. *Am. J. Enol. Vitic.*, 16: 144-158.
- Smith B., 2006. Farming handbook. University of KwaZulu- Natal Press, Pietermaritzburg. Agricultural practices in the Ciskei with emphasis on the human factor. Unpublished M.A. Dissertation, University of Fort-Hare. Alice, 135 p.
- Smith H. H., 1961. Mutagenic specificity and directed mutation. *In: Mutation and Plant Breeding.* NAS-NRC, 891: 413-436.
- Soedjono S., 2003. Application of induced mutation and somaclonal variation in plant breeding. *Jurnal Litbang Pertanian*, 22(2): 70-78.
- Solanki I. & Sharma B., 1994. Mutagenic effectiveness and efficiency of gamma rays, ethylene imine and N-nitroso-N-ethyl urea in macrosperma lentil (*Lens culinaris* Medik.). *The Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 54: 72-76.
- Solanki R., Gill R., Verma P. & Singh S., 2011. Mutation breeding in pulses: an Overview. *In: Breeding of pulse crops.* Kalyani Publishers, Ludhiana, pp: 85-103.
- Sowell G., 1958. Cucumber testing on the west coast of Florida. *Plant Dis. Reprtr.*, 42, p. 1333-6.

- Sparrow A. H., Evans H. J (1961). Nuclear factors affecting radio sensitivity: the influence of nuclear size and structure, chromosome complement, and DNA content. *Brookhaven Symp. Biol.* 14:76-100.
- Staub J. E. & Fredrick L.R. 1988. Evaluation of fruit quality in *Cucumis sativus* var. *hardwickii* (R.) Alef.-derived lines. *Cucurbit Genet. Coop. Rep.* 11: 25-28.
- Stevens J. M. C., 1990. *Légumes traditionnels du Cameroun : une étude agro-botanique.* Université Agronomique de Wageningen, 259 p.
- Stoeva N., 2002. Physiological effects of the synthetic growth regulator thidiazurol (drop) on gamma-irradiated stress in peas plants (*Pisum sativum* L). *J. Cent. Eur. Agric.*, 3 (4): 293-300.
- Strid A., Chow W. S. & Anderson J. M., 1990. Effects of supplementary gamma irradiation on photosynthesis in *Pisum sativum*. *Biochemistry*, 1020: 260-268.
- Suneetha S., Priya B. T., Shekar M. R., Sadarunnisa S. & Latha P., 2018. Effect of gamma rays treatments on percentage germination, morphological variation and chlorophyll mutation in musk okra (*Abelmoschus moschatus* L.). *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.*, (6): 2875-2884.
- Surahman M., Santosa E., Agusta H., Aisyah S. I. & Nisya F. N., 2018. Effects of gamma irradiation on the performance of *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.) accessions. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 141 012029.
- Sybenga J., 1983. Genetic manipulation in plant breeding: somatic versus generative. *Theoretical and Applied Genetics*, 66: 179-201.
- Tah P. R., 2006. Studies on gamma ray induced mutation in mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). *Asian J. Plant Sci.*, 5(1): 61-70.
- Taiwo A. A., Agbotoba M. O., Oyedepo J. A., Shobo O. A., Oluwadare I. & Olawunmi M. O., 2008. Effects of drying methods on properties of watermelon (*Citrullus lanatus*) seed oil. *Af. J. Food Agric. Nutr. and Dev.*, 8(4): 493-501
- Tarafdar J.C. & Marschner H., 1994. Phosphatase activity in the rhizosphere and hydrosphere of VA mycorrhizal wheat supplied with inorganic and organic phosphorus. *Soil Biol. Biochem.*, 26: 387-395.
- Taskin H., Yucel N. K., Baktemur G., Comlekcioglu S. & Buyukalaca S., 2013. Incidence de divers génotypes et doses de rayons gamma sur l'haploïdisation par la technique du pollen irradié chez la pastèque (*Citrullus lanatus* L.). *Can. J. Plant Sci.*, 93: 1165-1168.
- Tester M., Langridge P. 2010. Breeding technologies to increase crop production in a changing world. *Science*, 327(5967): 818-822.

- Teulat B. B., Monneveux P., Wery J., Borries C., Souyriss L., Charrieri A. & This D., 1997. Relationships between relative water content and growth parameters under water stress in barley: a QTL study. *New Phytol.*, 137: 99-107.
- Thompson D. C. & Jenkins S. F., 1985. Effect of temperature, moisture, and cucumber cultivar resistance on lesion size increase and conidial production by *Colletotrichum lagenarium*. *Phytopathology*, 75: 828-832.
- Toker C. & Cagirgan M., 2004. Spectrum and frequency of induced mutations in chickpea. International Chickpea and Pigeon pea. *Newsletter*, 11: 8-10.
- Toker C., Yadav S. S. & Solanki I., 2007. Mutation breeding. In: Yadav S. S., NcNeil D., et Stevenson P. C. Lentil: An ancient crop for modern times. Springer, Dordrecht, pp: 209-224.
- Tompkins C. M., Ark P. A., Tucker C. M. & Middleton J. T., 1939. Soft rot of pumpkin and watermelon fruits caused by *Pythium ultimum*. *J. Agric. Res.* 58: 401-475.
- Tshilenge-Lukanda L., Funny-Biola C., Tshiyoyi-Mpunga A., Mudibu J., Ngoie-Lubwika M., Mukendi-Tshibingu R. & Kalonji-Mbuyi A., 2012. Radio-sensitivity of some groundnut (*Arachis hypogaea L.*) genotypes to gamma irradiation: indices for use as improvement. *Brit J. Biotechnol.*, 3: 169-178.
- Uarrotta V. G., 2010. Response of cowpea (*Vigna unguiculata*) to water stress and phosphorus fertilization. *Journal of Agronomy*, 9 (3): 87-91.
- Ukai Y., 1983. Mutation breeding. Gamma Field Symposia No.20 Suppl. Yokendo, Tokyo. [34] Ozalpan, A. (2001) Temel Radyobioloji. Halic Univ. Press, 353 p.
- Ulukapi K., Ozdemir B. & Onus N., 2015. Determination of proper gamma radiation dose in mutation breeding in eggplant (*Solanum melongena L.*). *Adv. in Env. and Agr. Sci.*, 149-153.
- Van Harten A. M., 1998. *Mutation breeding: theory and practical applications*. Cambridge University Press, 330 p.
- Vayssières J. F., Sinzogan A. & Bokonon-Ganta A., 2008. La nouvelle espèce invasive de mouche des fruits : *Bactrocera invadens* Drew Tsuruta & White. Fiche technique 2, CIRAD, UPR Production Fruitière, Montpellier, France; IITA Cotonou, 4 pp.
- Vedele F. & Loudet O., 2001. Ecole Thématique Biologie Végétale, 2001.p 6.
- Velkov N., Tomlekova N. & Sarsu F., 2016. Sensitivity of watermelon variety Bojura to mutant agents <sup>60</sup>Co and EMS. *J. BioSci. Biotech*, 5(1): 105-110.

- Vodouhé S., Kouke A., Adjakidje V. & Achigan-Dako E., 2000. *Observation sur la diversité génétique du egussi au Benin (Citrullus spp., Cucumeropsis spp., Lagenaria siceraria; Cucurbitaceae)*. Cotonou, IPGRI : 65-75.
- Wada H., Koshiha T., Matsui T. & Yato M., 1998. Involvement of peroxidase in differential sensitivity to gamma radiation in seedling of two Nicotina species. *Plant Science*, 132: 109-119.
- Watson L. & Dallwitz M. J., 1992. The families of flowering plants: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. Delta-intkey.com.
- Wehner T.C., 2008. Watermelon. In: Prohens J. and Nuez F. Edition. *Handbook of Plant Breeding; Vegetables I: Asteraceae, Brassicaceae, Chenopodiaceae, and Cucurbitaceae*. Springer Science and Business LLC, New York, 17: 381-418.
- White I. M., & Elson-Harris M. M., 1992. *Fruit flies of economic significance: their identification and bionomics*. C.A.B. International, Wallingford, 230 p.
- Whitmore J. S., 2008. *Drought management on farmland*. Series: Water Science and Technology Library, Vol. 35 360 p
- Wi S. G., Chung B. Y., Kim J. S., Kim J. H., Baek M. H., Lee J. W. & Kim Y. S., 2007. Effects of gamma irradiation on morphological changes and biological responses in plants. *Micron*, 38: 553-564.
- Yonezawa K. & Yamagata H., 1977. On the optimum mutation rate and optimum dose for Practical mutation breeding. *Euphytica*, 26: 413-426.
- Zaini N. A. M., Anwar F., Hamid A. A. & Saari N., 2011. Kundur [*Benincasa hispida* (Thunb.) Cogn.]: A potential source for valuable nutrients and functional foods. *Food Res. Int.*, 44: 2368-2376.
- Zalapa J. E., Cuevas H., Zhu H., Steffan S., Senalick D., Zeldin E., McCown B., Harbut R. & Simon P., 2012. Using nex-generation sequencing approaches to isolate simple sequence repeat (SSR) loci in the plant sciences. *American Journal of Botany*, 99: 193-208.
- Zeng R., Liao Q., Feng J., Li D. & Chen J., 2007. Synergy between Cucumber mosaic virus and Zucchini yellow mosaic virus on Cucurbitaceae Hosts Tested by Real-time Reverse Transcription-Polymerase Chain Reaction. *Acta Biochimica and Biophysica. Sinica*, 39 (6): 431-437.
- Zeven A. C. & De Wet J. M. J., 1982. *Dictionary of cultivated plants and their regions of diversity*, 3rd. Ed. Pudoc, Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, 263 p.

Zoro Bi I. A., Kelvin K., Koffi & Yao Djè, 2003. Caractérisation botanique et agronomique de trois espèces de cucurbites consommées en sauce en Afrique de l'Ouest : *Citrullus* sp., *Cucumeropsis mannii* Naudin et *Lagenaria siceraria* (Molina) Standl. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 7 (3-4): 189-199.

# **ANNEXES**



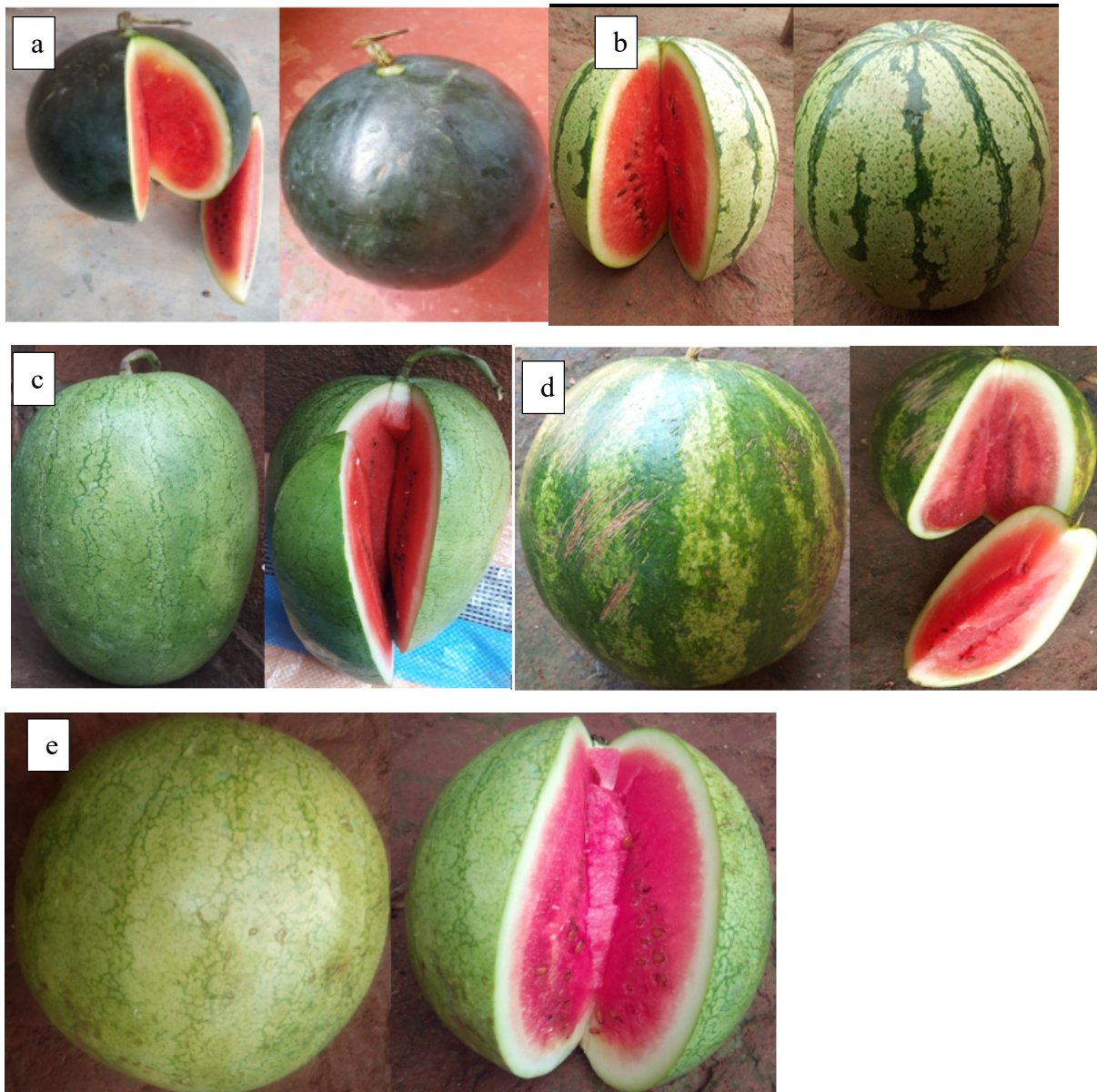
**Annexe 1. Analyse de variance sur la taille des plantes et le taux de survie de deux variétés de pastèque a différentes doses de radiation gamma.**

Doses	Taille des plantes (cm)		Taux de survie des plantes (%)	
	Kaolack	Crimson Sweet	Kaolack	Crimson sweet
0	69,8 ± 2,8e	67,8 ± 6,1c	96,6 ± 5,7c	86,6 ± 10,4a
100	45,4 ± 3,6d	45,5 ± 8,0b	80,0 ± 5,0bc	83,3 ± 7,6a
200	36,2 ± 6,4c	20,4 ± 2,4a	90,0 ± 5,0b	78,3 ± 2,9a
300	29,6 ± 5,1bc	19,1 ± 9,7a	78,3 ± 10,4b	65,0 ± 12,0a
400	22,2 ± 6,7b	15,4 ± 2,1a	48,3 ± 12,5a	66,6 ± 17,2a
600	9,9 ± 1,6a	14,1 ± 3,2a	45,0 ± 5,0a	66,6 ± 5,7a
F-value	56,20	38,98	22,26	1,78
Pr(>F)	<0,001	<0,001	<0,001	0,1911
DL	5	5	5	5

**Annexe 2. Caractéristiques des fruits des variétés de pastèque étudiées**

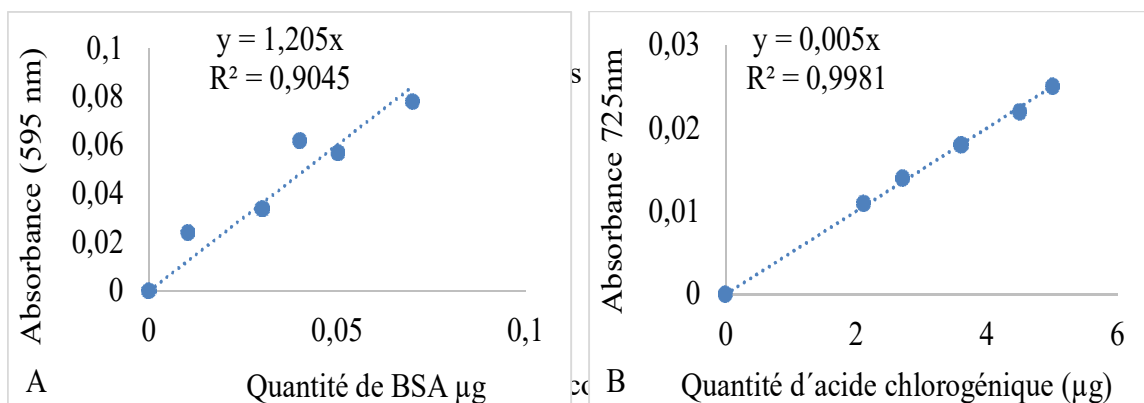
Variétés	Kaolack	Crimson sweet	Sugar baby	Koloss	Charleston gray
Caractères					
Forme du fruits	Fruit rond	Fruit rond ou ovale	Fruit rond ou ovale	Fruit rond ou légèrement Allonge	Fruit gros oblongs
Statut du fruit	Lisse	Lisse	Lisse	Lisse	Lisse
Type de peau	peau marbrée	Peau striée de vert foncé et vert clair	Peau uniforme	Peau marbrée de vert	peau marbrée
Couleur de la peau	vert clair	Verte	vert foncé a noir	vert clair	vert clair
Couleur de la chair	chair rouge	chair rouge	chair rouge,	chair rouge	chair rouge
Goût du fruit	juteux et sucré	juteux et sucré	juteux et sucré	juteux et sucré	juteux et sucré

**Annexe 3. Aspect qualitatif des fruits des cinq variétés de pastèque étudiées.**



a: Sugar baby; b: Koloss; c: Charleston gray; d: Crimson sweet; e: Kaolack

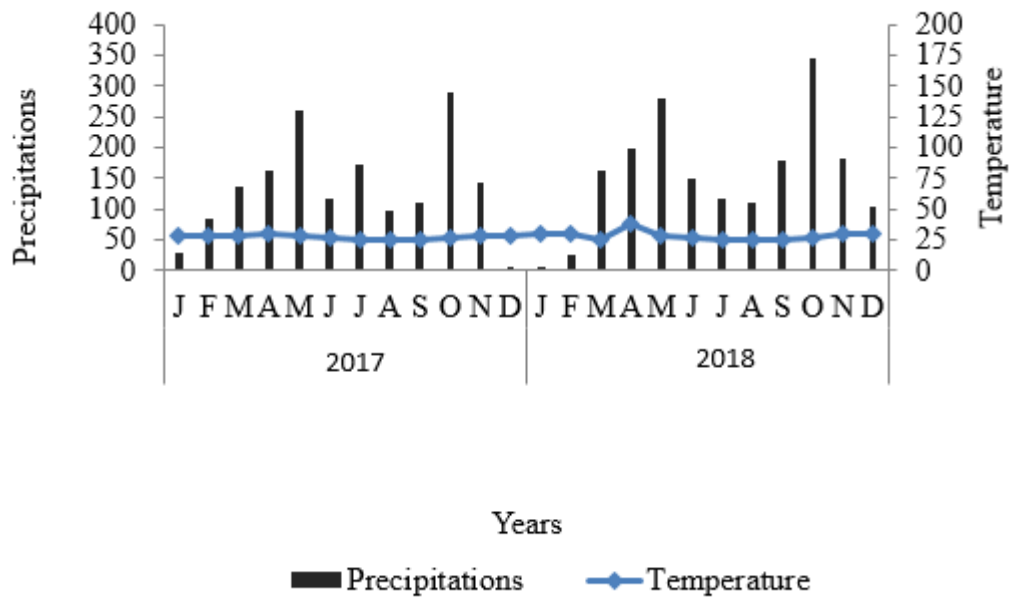
**Annexe 4. Courbe d'étalonnage des dosages**



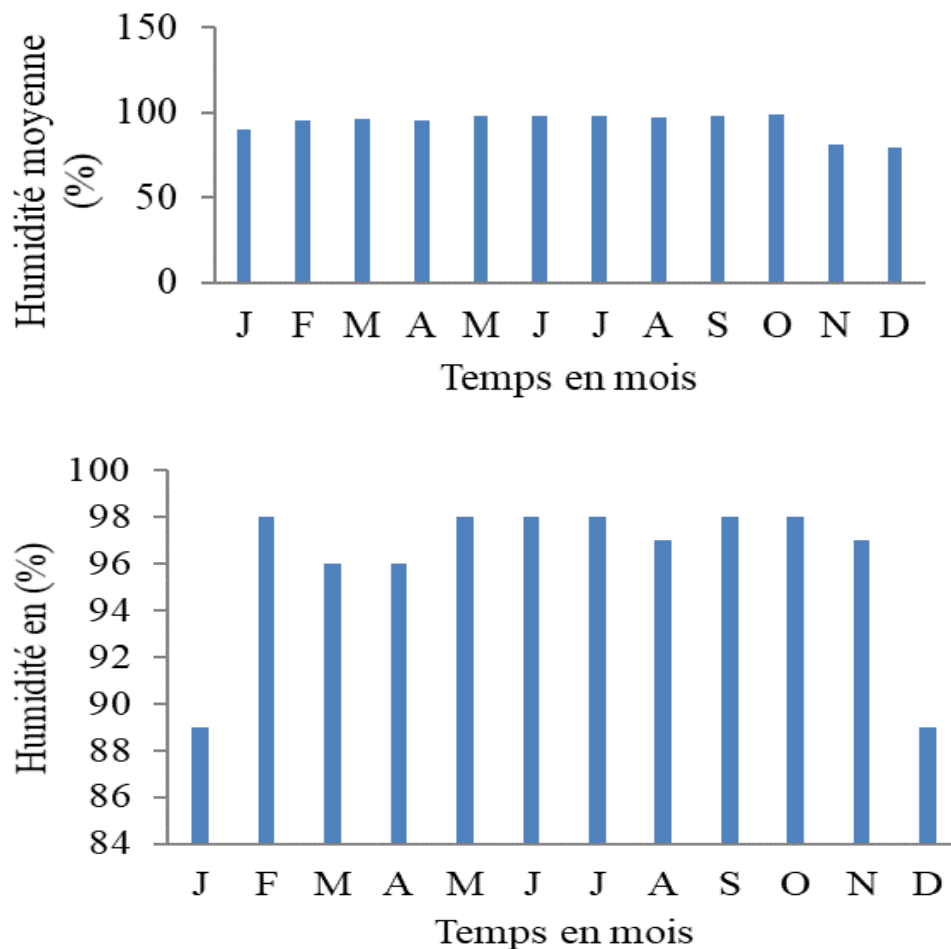
A : courbe d'étalonnage pour protéine ; B : courbe d'étalonnage pour phénol

## Annexe 5. Conditions climatiques durant l'expérimentation

### 1) Diagramme ombro thermiques



### 2) Humidité moyenne dans la région du Centre : en 2017 et en 2018



## Annexe 6. Machine à rayonnement gamma pour l'irradiation



## Annexe 7. Prise des paramètres en serre et en champ



### Annexe 8. Exemple de mutants à rendements améliorés

Culture	Caractère	Méthode	Mutant/Cultivar de Landmark (pays)	Référence
Riz <i>Oryza sativa</i>	Haut rendement	Rayon gamma	Zhefu – 8 cultivars: 1985–2005 (Chine)	MBNL* Nos. 25 and 26, 1985
Blé tendre <i>Triticum aestivum</i>	Haut rendement		Jauhar – 78. 1979 (Pakistan)	Ahloowalia <i>et al</i> , 2004
Orge <i>Hordeum vulgare</i>	Semi-nain (GPert), brassicole	qualité Rayon gamma	Golden Promise (Royaume-Uni)	Sigurbjörnsson and Micke, 1974
Orge <i>Hordeum vulgare</i>	Semi-dwarf (sd1)	Rayon X	Diamant (République tchèque)	Ahloowalia, Maluszynski and Nichterlein, 2004
Banane <i>Musa sp.</i>	Haut rendement	Rayon gamma	Al Beely (Soudan)	PBGNL** Nos. 16 and 17, 2006
Arachide <i>Arachis hypogea</i>	Haut rendement	Rayon gamma	TAG24 (Inde)	Kale, Badigannavar and Murty, 1999
Blackgram <i>Vigna munda</i> L.	Haut rendement	Rayon gamma	TAU-1 (Inde)	(Ahloowalia, Maluszynski and Nichterlein, 2004)
Coton <i>Gossypium sp.</i>	Haut rendement	Rayos gamma	NIAB 78 (Pakistan)	Ahloowalia, Maluszynski and Nichterlein, 2004

\*MBNL: Mutation Breeding Newsletter; \*\*PBGNL: Plant Breeding and Genetics Newsletter

## Annexe 9. Exemples de mutants tolérants au stress abiotique

Culture	Caractère	Méthode	Mutant/Cultivar de Landmark (pays)	Référence
Riz <i>Oryza sativa</i>	Tolérance à la salinité	Rayon gamma	NIAB-IRRI-9 (Inde)	MBNL No. 45, 2001
Riz <i>Oryza sativa</i>	Tolérance à la salinité	Irradiation par faisceau ionique	Japon	Abe <i>et al</i> , 2007
Riz <i>Oryza sativa</i>	Tolérance à la salinité	Rayon gamma	VND95-20 (Viêt Nam)	Do <i>et al</i> , 2009
Blé tender <i>Triticum aestivum</i>	Tolérance à la sécheresse	Rayon gamma	Njoro BW1 (Kenya)	IAEA Bulletin, 50-1
Orge <i>Hordeum vulgare</i>	Haute altitude (mauvais temps/Intempérie), précoce/ précocité (mauvais maturité)	Rayon gamma	UNA La Molina (Pérou)	MBNL No. 43, 1997 Gomez-Pando <i>et al</i> , 2009
Amarante <i>Amaranthus cuadatus</i> L.	Haute altitude (mauvais temps/ Intempérie)	Rayon gamma	Centenario (Pérou)	Gómez-Pando <i>et al</i> , 2009
Riz <i>Oryza sativa</i>	Tolérance au froid	Rayon gamma	Kashmir Basmati (Pakistan)	Ahloowalia, Maluszynski and Nichterlein, 2004
Riz <i>Oryza sativa</i>	Tolérance à la chaleur	Rayon gamma	Nagina 22 (Inde)	Poli <i>et al</i> , 2013
Soja <i>Glycine max</i>	Tolérance au froid, sécheresse et engorgement	Rayon gamma	Heinong 26 (Chine)	Khan and Tyagi, 2013

\*PMR: Plant Mutation Report

## Annexe 10. Exemples de mutants à tolérance améliorée au stress biotique

Culture	Caractère	Méthode	Mutant/Cultivar (pays)	de Landmark	Référence
Riz <i>Oryza sativa</i>	Résistance à la rouille et aux maladies virales	Rayon gamma	Camago 8 ( Costa Rica )		MBNL No. 43, 1997
Blé tender <i>Triticum aestivum</i>	Résistance à la rouille noire (Ug99)	Rayon gamma	EldoNgano-I (Kenya)		PBGNL Nos. 32 and 33, 2014
Pois chiches <i>Cicer arietinum</i>	Résistance à la brûlure bactérienne	Rayon gamma	Hassan-2K Pakistan		Hassan <i>et al.</i> , 2001
Lentilles <i>Lens culinaris Medik.</i>	Résistance à la brûlure/ bactérienne	Rayon gamma	NIAB MASOOR 2006 Pakistan		Sadiq <i>et al.</i> , 2008
Orge <i>Hordeum vulgare</i>	Oïdium	Rayon-X	Comtesse (Allemagne)		MBNL No. 33, 1989 and No. 36, 1990
Orge <i>Hordeum vulgare</i>	Résistance à la moisissure	EMS	Betina (France)		Sigurbjornsson and Micke, 1974
Poire Japonaise <i>Pyrus pyrifolia</i> Nakai	Résistance aux taches noires	Rayon gamma	Gold Nijisseiki ( Japon )		Saito, 2016
Menthe poivrée <i>Menta × piperita</i> L.	Résistance au flétrissement	Irradiation aux neutrons	Murray Mitcham; (États-Unis)		Todd, Green and Horner, 1977

## Annexe 11. Exemples de mutants à traits agronomiques améliorés

Culture	Caractère	Méthode	Mutant/Variété de Landmark (pays)	Référence
Riz <i>Oryza sativa</i>	Semi-nain	Rayon gamma	Reimei (Japon)	Das, Patra and Baek, 2017
Riz <i>Oryza sativa</i>	Petite taille	Rayon gamma	Calrose 76 (USA)	Rutger, Peterson and Hu, 1977
Riz <i>Oryza sativa</i>	Petite taille, maturité Précoce	Rayon gamma	TNDB 100 (Viet Nam)	MBNL No. 45, 2001
Riz basmati <i>Oryza sativa</i>	Petite taille	Rayon gamma	CRM 2007-1 (Inde)	PMR No. 1 (1 and 2), 2006
Blé dur <i>Triticum aestivum</i>	Court, résistant à la verse	Rayons X	Creso (Italie)	MBNL No. 6, 1973
Blé dur <i>Triticum aestivum</i>	Résistant à la verse	Rayon gamma	Gergana (Bulgarie)	MBNL No. 37, 1991
Orge <i>Hordeum vulgare</i>	Floraison précoce (Eam 8)	Rayon gamma	Mari (Suède)	Sigurbjörnsson, 1975
Riz <i>Oryza sativa</i>	Semi-nain (Sd)	Rayon gamma	Calrose-76 (USA)	Lestari, 2016
Orge <i>Hordeum vulgare</i>	Semi-nain (Sdw)	Rayons X	Diamant (République Tchèque)	Ahloowalia, Maluszynski and Nichterlein, 2004
Riz basmati <i>Oryza sativa</i>	Résistant à la verse	Rayon gamma	CRM 2007-1 (Inde)	PMR Nos. 1 and 2, 2006
Arachide <i>Arachis hypogea</i>	Maturité précoce, semi-nain	Rayon gamma	TAG24 (Inde)	Patil <i>et al</i> , 1995
Chrysanthème <i>Chrysanthemum sp.</i>	Bourgeons axillaires réduits	Faisceau d'ions	Allajin (Aladdin) (Japon)	Shirao <i>et al</i> , 2013



Riz <i>Oryza sativa</i>	Non-déhiscent	Rayon gamma	Mini-yutaku Japon	Hiroshi, 2008
Seigle <i>Secale cereale</i>	Cycle de vie court	Rayon gamma	Soron (Pérou)	Gómez-Pando <i>et al</i> , 2009
Banane ( <i>Musa acuminata</i> )	Petite taille	Rayon gamma	Novaria (Malaisie)	MBNL No. 44, 1999, Mak <i>et al</i> , 1996
Riz <i>Oryza sativa</i>	Résistance herbicides	aux Rayon gamma	Riz (USA)	Maluszynski, Ahloowalia and Sigurbjörnsson, 1995



# Radiosensitivity of two varieties of watermelon (*Citrullus lanatus*) to different doses of gamma irradiation

Fokam Paul Ernest<sup>1</sup> · Mafouasson Apala Hortense Noëlle<sup>2</sup> · Ntsomboh-Ntsefong Godswill<sup>1,2</sup> · Muthu Thiruvengadam<sup>3</sup> · Owona Albert Simon<sup>2</sup> · Ngalle Hermine Bille<sup>1</sup> · Bell Joseph Martin<sup>1</sup> · Maksim Rebezov<sup>4,5</sup> · Mohammad Ali Shariati<sup>6</sup>

Received: 24 June 2020 / Revised: 13 September 2020 / Accepted: 16 September 2020  
© Botanical Society of Sao Paulo 2020

## Abstract

Watermelon (*Citrullus lanatus*) is one of the most popular fruits in Cameroon and the world at large. However, the extreme sensitivity of watermelon to parasites and climatic vagaries makes its cultivation demanding of chemical inputs that can have negative impacts on human health and the environment. In Cameroon, there is a slow improvement of fruit yield in watermelon breeding due to the lack of natural heritable genetic variation, which is a prerequisite for genetic improvement of crops. Such variation can be created through either random or targeted processes on genotypes with appropriate doses of radiation. Genetic improvement by induced mutagenesis appears today alongside hybridization as an alternative method of creating new plant varieties. However, the success of this approach is determined by the application of an appropriate and ideal dose of mutagen. The objective of this study was to evaluate the radiosensitivity of the two most cultivated watermelon varieties in Cameroon to gamma radiation from <sup>60</sup>Co in order to determine an optimal dose or lethal dose 50 (LD50) for the induction of the genetic variability necessary for genetic improvement. Seeds of the Kaolack and Crimson sweet watermelon varieties were irradiated with five doses of gamma radiation (100, 200, 300, 400 and 600 Gy) in the laboratory of the International Atomic Energy Agency in Seibersdorf, Austria. These seeds were cultivated in a greenhouse following an utterly randomized device with three repetitions, and parameters such as the germination rate, the survival rate and the shoot length of plants were evaluated. High rates of 90% and 75% germination were obtained, respectively, for the control treatments of Kaolack and Crimson sweet, while the lowest rates were 35% at 600 Gy for Kaolack and 30% at 400 Gy for Crimson sweet. The highest survival rate of plants (96.66%) was obtained with the control seeds of the Kaolack. This variety had the lowest survival rate (45.6%) at 600 Gy dose. Statistical analysis of data obtained helped to estimate the ideal LD50 doses based on growth reduction of seedlings' heights after gamma-ray treatment. Using a linear regression model based on parameters like plant size, the LD50 doses for Kaolack and Crimson sweet were calculated at 225.40 Gy and 221.56 Gy, respectively, and predicted between 200 and 250 Gy. These results show that the two varieties evaluated were radiosensitive as clearly expressed in the parameters evaluated, where the values decreased with the increase in the irradiation dose. The LD50 doses from this study could be safely applied as reference doses for large-scale gamma irradiation of watermelon genotypes to create desirable agronomic traits in the mutation breeding efforts.

**Keywords** Gamma rays · Induced mutagenesis · LD50 · Radiosensitivity · Watermelon

✉ Ntsomboh-Ntsefong Godswill  
ntsomboh@yahoo.fr

✉ Bell Joseph Martin  
josmarbell@yahoo.fr

<sup>1</sup> Laboratory of Genetics and Plants Improvement, Faculty of Science, University of Yaounde 1, Yaoundé, Cameroon

<sup>2</sup> Institute of Agricultural Research for Development (IRAD), Yaoundé, Cameroon

<sup>3</sup> Department of Crop Science, College of Sanghuh Life Science, Konkuk University, Seoul 05029, Republic of Korea

<sup>4</sup> V.M. Gorbatoov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

<sup>5</sup> Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Science, Moscow, Russian Federation

<sup>6</sup> K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (The First Cossack University), Moscow, Russian Federation

## 1 Introduction

The current world's population growth rate and food needs require that food production should be at least doubled by the year 2050 (FAO 2009; Tester and Langridge 2010; Ray et al. 2013). An important component to tackle this challenge and address pressures on global food security and nutrition is the genetic improvement of food crops (Ronald 2011) like watermelon. Watermelon [*Citrullus lanatus* var. *lanatus* (Thunb.) Matsum and Nakai] is a herbaceous fruit vegetable belonging to the Cucurbitaceae family (Schippers 2000). This family is known for its great genetic diversity (Zaini et al. 2011) and its great adaptation to tropical, subtropical regions and arid deserts (Giwa et al. 2010). *C. lanatus* is warm, long season, prostrate and annual which has monoecious and/or andro-monoecious sexuality (Boualem et al. 2016). The fruit has a thick rind (exocarp) that has variable pigmentation with a solid or striped appearance, a fleshy mesocarp and an endocarp which varies in color from white to yellow or red (Bahari et al. 2012; Munisse et al. 2013). Esquinas-Alcazar and Gulick (1983) and Mallick and Masui (1986) proposed Central Africa and the Kalahari Desert as the center of origin for cultivated watermelon. Watermelon is one of the most important national and global fruit crops, occupying about 7% of the world area devoted to the production of fruits and vegetables (Guo et al. 2012). World watermelon production evaluated in 2011 was 104,472,354 tonnes. China ranks first with approximately 71% of world watermelon production followed by Turkey and Iran, respectively (Huh et al. 2008). In Algeria, production is 1,285,134 tonnes. In tropical Africa, some countries have significant watermelon production, such as Senegal with 224,000 tonnes, Sudan with 143,000 tonnes, Cameroon and Somalia with 28,000 tonnes each and Mauritania with 11,000 tonnes (FAO 2013).

Composed of approximately 92% of water, with moisturizing properties, watermelon has a refreshing taste that quenches thirst. It is particularly rich in phytochemicals such as flavonoids, tannins, anti-inflammatory, antiviral and antioxidant substances (Johnson et al. 2012). Lycopene (Edwards et al. 2003), Vitamins A, B6, C, carotenoids (Olson 1999) and antioxidants are some nutrients found in watermelon (Maoto et al. 2019). Watermelon is a diuretic and contains large amounts of  $\beta$ -carotene, a precursor of Vitamin A (Naz et al. 2014). The watermelon fruit is effective in reducing cancer, cardiovascular disorders, diabetes, blood pressure and obesity (Edwards et al. 2003; Naz et al. 2014; Lum et al. 2019). The quantitative assessment indicates that watermelon has 46% calories, 20% vitamin C and 17% vitamin A and has higher lycopene than tomato (Biswas et al. 2017). The emulsion

obtained from aqueous extract of watermelon seeds is used to treat catarrhal infections, intestinal disorders, urinary tract infections and fever (Taiwo et al. 2008). Watermelon is also rich in citrulline, an effective precursor of L-arginine (Guoyao et al. 1992). Vegetable milk can be extracted from watermelon seeds which can replace or supplement cow or soy milk and could also meet the needs of vegetarians (Enzonga-Yoca et al. 2011). Syrup, a fermented drink, can be made from watermelon juice (Webster and Romshe 1951). This watermelon juice can increase blood levels of carotenoids (lycopene and  $\beta$ -carotene). Carotenoids are essential for humans because they have antioxidant activity and prevent free radicals from harming the body. They have protective effects against heart disease and certain cancers, such as prostate, bladder, breast, cervix, endometrium, lungs and colon cancer (Edwards et al. 2003).

Despite the importance of watermelon, little research on watermelon production has been done in Africa compared to cereals and legumes (Kuvare 2005; Davis et al. 2008). Information on cultivar performance under various technologies, environments and production systems and knowing how these systems affect the quality and phytonutrient content are necessary to ensure high fruit quality, yield and disease resistance for future breeding (Ayodele and Shittu 2013). The varieties of watermelon cultivated in Africa lack the diversity needed to cause differences in fruit yield (Gusmini and Wehner 2005). The availability of heritable variation is a prerequisite for genetic improvement of crops. Where sufficient variation does not exist naturally, it can be created through either random or targeted processes. Mutation breeding is an alternative method for the development of new plant varieties.

Mutagenesis is one method to introduce genetic variability. This approach to broaden genetic variability has been demonstrated to be efficient through the use of gamma-ray irradiation (Kumar and Shunmugavalli 2018; Olasupo et al. 2018). Mutagenesis is an abrupt, inheritable change that occurs in DNA and is not caused by segregation or genetic recombination. It can either be spontaneous or induced by mutagens (Roychowdhury and Tah 2013). The choice of which type of mutagen to use for mutation breeding is often based on past successes reported for the species and other considerations such as the availability of mutagens, costs and infrastructure (Mba 2013; Bado et al. 2015). Induced mutations are caused by the action of mutagenic agents or transposable DNA elements to create and increase variability within a population. Radiomutagenesis significantly improves the frequency of appearance of mutations and can, therefore, be used to widen genetic variability, which can be integrated into many breeding and varietal creation schemes (Guerin De Montgareuil 1984). These modifications are characterized either by gains or losses of function. The exploitation of mutants can help locate and identify

affected genes and determine their biological function (Meunier 2005).

The first plant variety created by induced mutagenesis was launched in 1936, and the use of selection by induced mutation took off worldwide in the 1960s, including in Europe, Japan, India and China, regions that were much more skeptical at first. To date, more than 3000 varieties of plants in 190 plant species have been created by induced mutagenesis (Shu et al. 2012). The induced mutation has been used to produce many cultivars of improved economic value as well as development processes and resistance to plant pests and diseases. Mutations can be induced in a variety of ways, such as exposure of plant propagules, including seeds, tissues and other organs, to physical and chemical mutagens (Mba et al. 2010). Mutagens are chemicals or physical factors whose actions are random and could modify any part of the genome or gene (Morère et al. 2003). Physical mutagens are mainly electromagnetic radiation such as gamma rays, X-rays, UV light and radiation from thermal particles, such as fast neutrons, alpha and beta particles. Chemical mutagens include ethyl methanesulfonate (EMS), ethidium bromide and basic analogues such as bromouracil (van Harten 1998; Girija and Dhanavel 2009; Mba et al. 2010). Among the different mutagenic agents, gamma rays are commonly used in breeding programs to induce mutations in various plant species because of their easy availability, simple application, good penetration, high reproducibility, large mutation frequency and low disposal problems (Mba et al. 2012). Thus, more than 60% of the mutant cultivars were produced by gamma rays (Bado et al. 2015). The efficacy of a mutagenic treatment to induce genetic variation in cultivated plants depends, among other things, on the genetic makeup of the test varieties and the treatment dose (Van Harten 1998; Mba et al. 2010). In watermelon (*Citrullus lanatus* L.), different genotypes and doses of gamma rays have been tested by Sari and Abak (1996). Similarly, pollen irradiation tests with gamma radiation for the production of haploid embryos have been successfully carried out by Taskin et al. (2013), with the aim of creating haploid watermelon varieties. Compared to conventional breeding methods, mutation breeding is a more powerful and effective crop improvement technique, requiring only a short time to develop a new variety. Furthermore, among more current plant breeding methods, mutation breeding is a more economical and generally accepted approach than transgenic technology (GMOs) for the development of new traits (Wilde et al. 2012).

Radiosensitivity and determination of the optimal dose of radiation are terms describing a relative measure of the amount of recognizable effects of radiation exposure on the irradiated material (Owoseni et al. 2007). Optimizing the dose of radiation is the first step in induced mutation breeding where its predictable value guides the researcher in the choice of the ideal dose depending on the plant materials and desired

outcome. The LD50 is an important parameter to measure the short-term poisoning potential (acute toxicity) of treatment and widely used to determine the optimum mutation frequency with least possible unintended damage (Owoseni et al. 2007). According to Mba et al. (2010), the dose of mutagen considered as optimal or LD50 is that which reaches the optimal mutation frequency with the least possible damage.

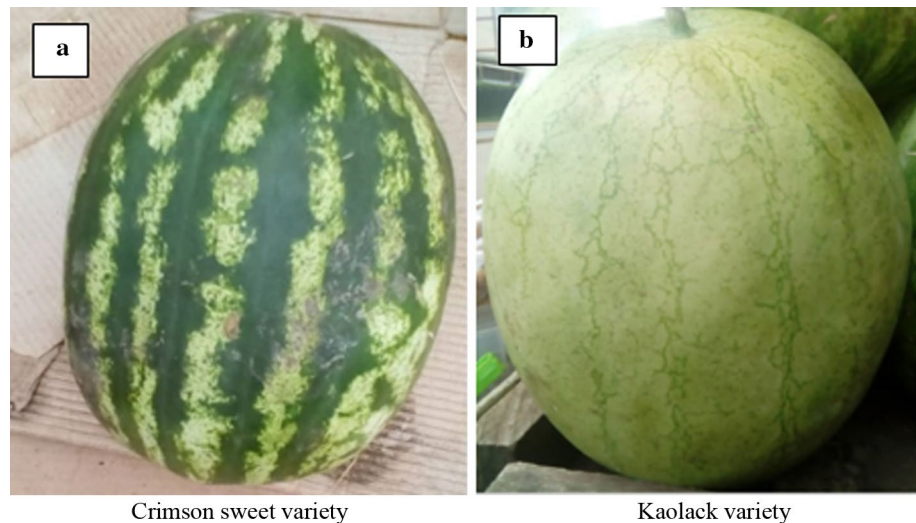
The cultivation of watermelon is of great interest but faces several problems. Its extreme sensitivity to parasites and climatic hazards makes its cultivation demanding of chemical inputs that can have negative impacts on human health and the environment. Its richness in water exposes the crop in drought conditions to water stress which considerably limits plant production. Improvement by induced mutation has many advantages, such as the expansion of genetic resources, the creation of local mutant gene banks, the development of new varieties and the integration of new combinations of genes which are not found in nature (Mba 2013). Radiosensitivity test is a relative measure that indicates the quantity of recognizable effects of radiation on the irradiated objects (Morishita et al. 2003). Before any selection by induced mutagenesis, a radiosensitivity test is thus recommended. This provides a simple method for measuring mutagenic effects and determining the optimal radiation dose for mutation induction. The lethal doses 50 (LD50) usually create maximum variability with minimum numbers of undesirable mutants. The objective of this study was to assess the sensitivity to gamma radiation of two varieties of watermelon in order to determine the ideal dose LD50 for genetic improvement.

## 2 Materials and methods

**Plant material and study site** – This study was conducted in the experimental greenhouse of the Institute of Agricultural Research for Development (IRAD), Cameroon, from March to April 2019. Two commercial varieties of watermelon with better agro-morphological performance were used for this experiment: (a) Crimson sweet fruit of light green color mottled with dark green, and with red and juicy flesh, and (b) Kaolack characterized by a high germination rate having the round fruit marbled of light green color and with red and juicy flesh (Fig. 1).

**Seed irradiation** – The study used seeds of two varieties of watermelon (Kaolack and Crimson sweet). Dry, healthy and quiescent seeds were prepared for irradiation and were sent from Cameroon to the International Atomic Energy Agency (IAEA), Agriculture and Biotechnology Laboratory, based in Seibersdorf, Austria. Twenty seeds per variety were gamma-irradiated in three replications using the gamma irradiation facility at the IAEA. Five doses of gamma radiation

**Fig. 1** Fruits of the two varieties of watermelon (*Citrullus lanatus*) used in the experiment



Crimson sweet variety

Kaolack variety

were used (0, 100, 200, 300, 400 and 600 Gy). The 0 Gy dose served as a comparative control. The seeds were packed in separate seed envelopes and placed in desiccators for three days to attain the desired moisture level of 8%. Irradiation was applied using a Cobalt 60 ( $^{60}\text{Co}$ ) source Gamma Cell Model No. 220 with 11.96 Gy/min dose rate. The various doses were used to establish the optimum irradiation level that can achieve optimum mutation frequency with the least possible and unintended damage (Mba et al. 2010).

**Growing plants, experimental design, data collection and analysis** – The radiosensitivity test (the biological effects of the mutagen treatments on plants) was studied following the methods described by Mba et al. (2010) and Tshilenge-Lukanda et al. (2012). Irradiated seeds were planted in seedling trays containing a sandy loam rich in organic matter and previously sterilized in an autoclave. Trails were established under environmentally controlled greenhouse with temperatures of 22 to 35 °C and light regime kept at 12 h photoperiod. The experiment was set up in a completely randomized design with three replications. Seedlings were watered every day to ensure adequate soil moisture.

**Seed germination** – Five days after sowing, the first germination was recorded, and then, the time of germination (time separating the date of sowing and the date of the first germination) was evaluated. The germination rate expressed as a percentage of germinated seed was evaluated three weeks after sowing by making the ratio between the numbers of seeds germinated by the number of seeds sown according to Olasupo et al. (2016).

$$\text{Germination rate(\%)} = \frac{\text{number of germinated seeds}}{\text{number of irradiated seeds planted}} \times 100$$

**The shoot length** – Between the 14th and the 20th day after sowing (DAS), the lengths of the stems were measured every day above the soil surface to the tip of the primary leaf using a ruler and expressed in centimeters (Fig. 2).

**The survival rate** – The survival rate of M1 populations was evaluated at the 28th DAS by relating the number of plants alive to the number of germinated seeds sown according to the following relationship (Olasupo et al. 2016).

$$\text{Survival rate(\%)} = \frac{\text{number of survived seedling}}{\text{number of germinated seeds}} \times 100$$

**Semilethal dose (LD50)** – The LD50 (led to 50% reduction in the shoot length) for each variety was estimated through the simple linear regression model by fitting the straight-line



**Fig. 2** Radiosensitivity test in watermelon (*Citrullus lanatus*). Various doses of gamma radiation were used (0, 100, 200, 300, 400 and 600 Gy). The 0 Gy dose served as a comparative control. The Experiment was done using a Gamma Cell 220 Cobalt 60 ( $^{60}\text{Co}$ ) irradiation unit source with 11.96 Gy/min dose rate

**Table 1** Plant survival rate and time of seed germination after irradiation with <sup>60</sup>Co gamma rays of two watermelon varieties

Varieties	Mutagen	Treatment dose (Gy)	Number of treated seeds	Survived plants (number)	Survived plants compared to control (%)	Days to germination (number of days)
Kaolack	<sup>60</sup> Co	Control	60	58	100.00	5
		100	60	48	82.76	6
		200	60	54	93.10	6–14
		300	60	47	81.03	6–14
		400	60	26	50.00	6–14
		600	60	27	46.55	7–14
Crimson sweet	<sup>60</sup> Co	Control	60	52	100.00	6
		100	60	50	96.15	7
		200	60	47	90.38	8–15
		300	60	39	75.00	8–17
		400	60	40	76.92	8–17
		600	60	40	76.92	8–17

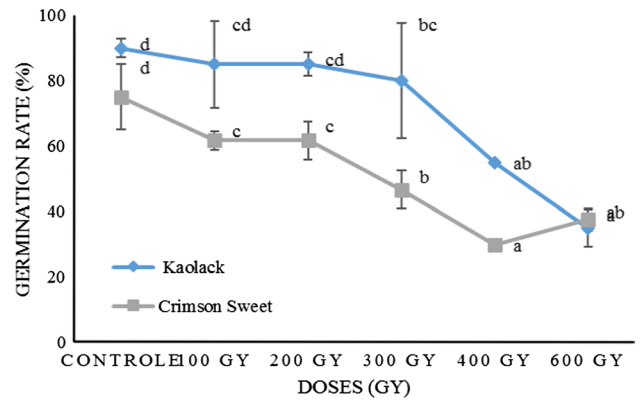
equation  $y = mx + c$ , where  $y$  is the response variable (shoot length), and  $x$  is the independent variable (irradiation dose), while  $m$  and  $c$  represent the slope and constant, respectively (Horn and Shimelis 2013; Ertan et al. 2017; Gnankambary et al. 2019).

**Statistical analysis** – The data obtained were subjected to an analysis of variance (ANOVA) using the statistical software STATGRAPHICS 5.1. The LSD (least significant difference) test was used to compare and separate the means values at the significance level of ( $P < 0.05$ ). Microsoft Excel 2010 software was used to calculate means, plot curves and linear regression.

### 3 Results

**Germination of seeds** – Time of germination and plant survival data are presented in Table 1. The results reveal that 100 Gy dose had a stimulating effect on germination and caused seeds to germinate all in just 6 days for Kaolack variety and seven days for Crimson sweet variety. The control seeds germinated five days after sowing for Kaolack and six days after sowing for Crimson sweet. The seeds treated with 200, 300, 400 and 600 Gy germinated between 6 and 14 days after sowing for Kaolack and between 7 and 17 days after sowing for Crimson sweet.

**Germination rate** – The mean and standard deviation of percent germination are presented in Table 1. The highest germination rates were observed in control treatment for



**Fig. 3** Schematic presentation of the germination rate of the Kaolack and Crimson sweet varieties after gamma radiation (control = 100%). Different letters denote significant differences at 5% probability level according to LSD test

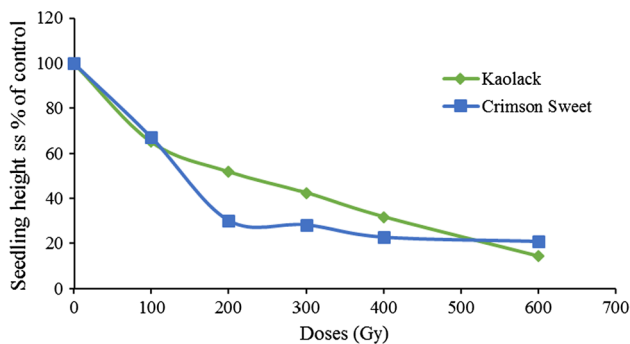
the two varieties at 90% for Kaolack and 75% for Crimson sweet. The low germination rates are observed at 600 Gy treatment for all varieties. Results reveal a significant negative effect of gamma rays ( $P < 0.05$ ) on germination. Germination percentage decreased drastically in all the varieties with increased Gy doses (Fig. 3).

**Shoot length** – The observations on shoot length with respect to gamma-ray irradiation showed a significant effect on all the treatment doses compared to the control for Kaolack variety (Table 2). For Crimson sweet, a significant difference was observed only between 100 Gy treatment and the control. The maximum shoot lengths

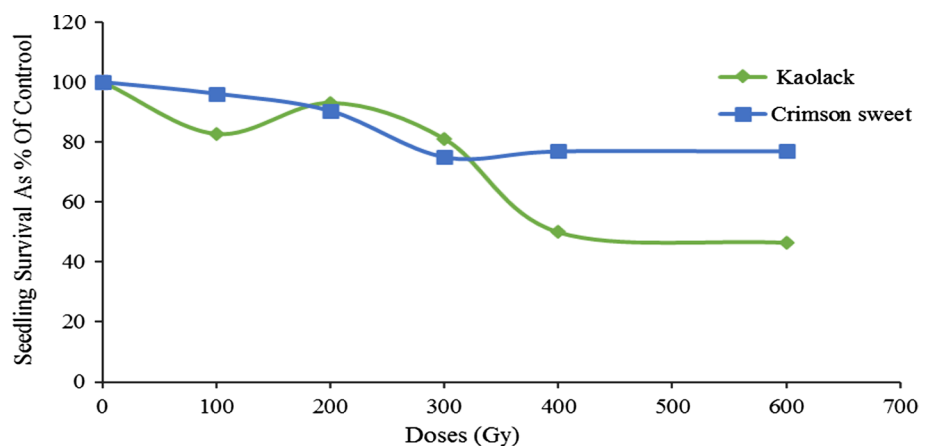
**Table 2** Analysis of variance on the size and survival rate of two watermelon varieties

Doses	Seedling height (cm)		Seedling survival (%)	
	Kaolack	Crimson sweet	Kaolack	Crimson sweet
0	69.8 ± 2.8e	67.8 ± 6.1c	96.6 ± 5.7c	86.6 ± 10.4a
100	45.4 ± 3.6d	45.5 ± 8.0b	80.0 ± 5.0bc	83.3 ± 7.6a
200	36.2 ± 6.4c	20.4 ± 2.4a	90.0 ± 5.0b	78.3 ± 2.9a
300	29.6 ± 5.1bc	19.1 ± 9.7a	78.3 ± 10.4b	65.0 ± 12.0a
400	22.2 ± 6.7b	15.4 ± 2.1a	48.3 ± 12.5a	66.6 ± 17.2a
600	9.9 ± 1.6a	14.1 ± 3.2a	45.0 ± 5.0a	66.6 ± 5.7a
F value	56.20	38.98	22.26	1.78
P value	0.0000	0.0000	0.0000	0.1911
Df	5	5	5	5

Means followed by the same letter within the same rows are not significantly ( $P > 0.05$ ) different according to LSD test

**Fig. 4** Reduction in seedling height of M1 generation of two varieties of watermelon (Kaolack and Crimson sweet) after gamma irradiation

(69.8 cm) for Kaolack and (67.8 cm) for Crimson sweet were observed on controls. The lowest values: 9.9 and 14.1 cm, respectively, for Kaolack and Crimson sweet were observed for the treatment with the highest irradiation dose 600 Gy (Table 2).

**Fig. 5** Effect of different doses of gamma radiation on the survival of plants in two varieties of watermelon, 28 days after sowing

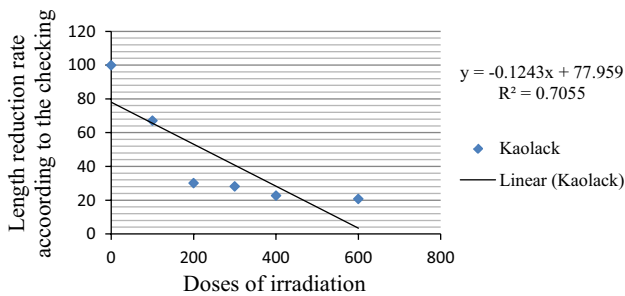
**Survival rate** – Plant survival data are presented in Table 2. Results reveal a significant effect ( $P < 0.05$ ) of gamma rays for Kaolack variety. Survival rates were greater for the control at (96.66%). This variety had the lowest survival rate (45.6%) with a dose of 600 Gy (Fig. 4).

For the Crimson sweet variety, the average survival rates varied from 86.6 to 65%, respectively, for the control and the 300 Gy dose. However, unlike the Kaolack variety, no significant difference was observed for the Crimson sweet variety concerning the survival rate (Table 2, Fig. 5).

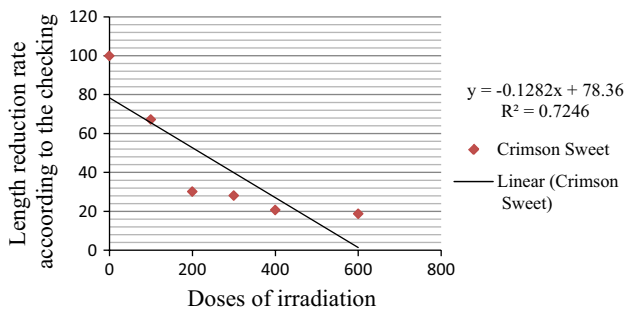
**Determination of the LD50** – Figures 6 and 7 show linear regression of seedling heights to irradiation doses. The seedling height responses of Kaolack and Crimson sweet against irradiation doses are given by the linear equations:  $y = -0.124x + 77.95$  and  $y = -0.128x + 78.36$ , respectively. LD50 doses were predicted based on seedling height (Table 3). The results indicated that LD50 doses varied among varieties. It was concluded that the optimum dose LD50 for Kaolack variety was 225.40 Gy and 221.56 Gy for Crimson sweet.

## 4 Discussion

The present study compared the responses of two watermelon varieties using five gamma radiation doses to establish the LD50 and to determine associated effects on early growth characters. Results revealed that seed germination, seedling height and survival rate decreased substantially with increased gamma radiation doses. These results were similar to those of other workers who reported that increasing the irradiation dose decreased the seed germination and seedling growth (Tshilenge-Lukanda et al. 2013; Verma et al. 2017; Karidiatou et al. 2019). However, according to Kodym et al. (2012), sensitivity to a mutagen depends on the type of material and varies from one species to another.



**Fig. 6** Seedling length (cm) and fitted straight lines of Kaolack when tested with five gamma radiation doses



**Fig. 7** Seedling length (cm) and fitted straight lines of Crimson sweet when tested with five gamma radiation doses

**Table 3** The optimal dose (LD50%) of seedling height for two varieties of watermelon

Variety	Linear equation	R <sup>2</sup>	LD50% (GY)
Kaolack	$y = -0.124x + 77.95$	0.705	225.40
Crimson sweet	$y = -0.128x + 78.36$	0.724	221.56

LD50% optimal dose 50%, R<sup>2</sup> coefficient of determination

The germination rate for the Kaolack variety gradually decreases from 90% for the 0 Gy control to 35% for 600 Gy, while for the Crimson sweet variety, this drop goes from 75% for the control to 37.5% for 600 Gy. Thus, for both varieties, the percentage of germination gradually decreases with the increase in the dose of irradiation. Similar results have been observed in pumpkin and squash by Ertan et al. (2017). These same observations were made, respectively, by Solanki and Sharma (1994) and Singh et al. (2007) in lentils and by Girija and Dhanavel (2009) in cowpeas. These results differ from those of Essel et al. (2016) which showed no significant effect of increasing doses of gamma irradiation on cowpea germination. The destruction of auxin, changes in the content of ascorbic acid and biochemical disturbances after mutagenic therapy may be responsible for this inhibition of germination (Shah et al. 2008).

The growth parameter based on seedling height was observed for the two varieties with the maximum values of  $69.8 \pm 2.8$  cm for the Kaolack variety against  $67.8 \pm 6.1$  cm for the Crimson sweet variety, respectively. The lowest values:  $9.9 \pm 1.6$  and  $14.1 \pm 3.2$  cm, respectively, for Kaolack and Crimson sweet were observed in the batches with the highest irradiation dose 600 Gy. There is a reduction in seedling height with an increase in the irradiation dose. These results are in agreement with the previous studies reported on rice varieties in Sierra Leone, on beans (Bajaj et al. 1970), corn (Marcu et al. 2013), eggplant (Ulukapi et al. 2015), chilli (Sikder et al. 2013), squash and pumpkin (Ertan et al. 2017). Reduction of this trait with increasing gamma-ray dose may be due to the insufficient water and nutrient uptake as a result of the severe effect of high irradiation dose on root growth and development (Ulukapi et al. 2015).

The highest percentage of survivors (96.66%) is obtained with the control treatment for the Kaolack variety. This same variety has the lowest survival rate (45.6%) with the 600 Gy dose. This reduction in survival rate is also observed in the Crimson sweet variety and varies from 86.6 to 65%. Manju and Gopimony (2009) reported that the reduction in plant survival is an index of post-germination mortality resulting from the irradiation effect on the physiological and cytological mechanisms of plants. The lower percentage of survival after the treatment with the gamma rays may be attributed to a drop in auxin level resulting in poor establishment and chromosomal aberrations caused by the mutagenic treatments (Mahure et al. 2010).

According to Maluszynski et al. (2003), radiosensitivity test between LD30 and LD50 is preferable to obtain the desired and optimum traits. The data collected for shoot length were used to determine the LD50. The LD50 doses of Kaolack and Crimson sweet plants were 225.40 Gy and 221.56 Gy, respectively. This indicated that varieties could respond differently to gamma radiation. This observation is similar to the findings of Tabasum et al. (2011). They revealed that the response of genotypes to various doses of gamma irradiation was different, and the highest dosage caused a reduction in physiological processes. However, Ukai (1983) suggested an LD50 of 400 Gy for *Cucurbita* spp. Ertan et al. (2017) estimated the LD50 of 173 Gy in pumpkins based on the length of the shoots. Olasupo et al. (2016) presented a wide variation of LD 50% ranging from 326 to 1053 Gy for seed germination and from 148.8 to 620.2 Gy for seedling survival in cowpea.

In conclusion, determination of the optimum dose of a mutagen in mutation breeding studies is critical for the development of lines with desirable agronomic traits. The results of the present study indicate that investigations of growth parameters (such as root and shoot lengths) are more effective than those of seed traits (germination and emergence) for assessing irradiation history. The results



also show that the difference in radiosensitivity between the two varieties is not very significant. The LD50 or doses of mutagen, which can reach an optimal mutation frequency with the least possible damage to the genome, were estimated between 200 Gy and 250 Gy for the two varieties. The use of this technique may speed up naked seed watermelon breeding programs for obtaining new, improved cultivars or hybrids with high yield potential and better resistance to diseases. As we envisage pursuing this research, these optimum mutagen doses determined for the different watermelon varieties could be useful in watermelon varietal improvement programs in Cameroun.

**Author contributions** FPE, BJM and GNN conceived and designed the experiments. MNA, OAS and NHB performed the experiments and drafted the manuscript. BJM and MR analyzed the data. MAA helped perform the analysis with constructive discussion. MT reviewed and edited the manuscript. All authors read and approved the submitted manuscript.

### Compliance with ethical standards

**Conflict of interest** All authors declare that they have no conflict of interest.

### References

- Ayodele OJ, Shittu OS (2013) Cost-benefit analysis of melon (egusi) seed and seed-oil yield responses to phosphorus fertilizer application. *Int Res J Agric Sci Soil Sci* 3:152–155
- Bado S, Forster BP, Nielsen S, Ghanim A, Lagoda P, Till BJ, Laimer M (2015) Plant mutation breeding: current progress and future assessment. *Plant Breed Rev* 39:23–88
- Bahari M, Rafii MY, Saleh GB, Latif MA (2012) Combining ability analysis in complete diallel cross of Watermelon [*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. and Nakai]. *Sci World J* 2012:1–6
- Bajaj YPS, Saettler AW, Adams MW (1970) Gamma irradiation studies on seeds, seedlings and callus tissue cultures of *Phaseolus vulgaris* L. *Rad Bot* 10:119–124
- Biswas R, Ghosal S, Chattopadhyay A, Datta S (2017) A comprehensive review on watermelon seed oil—An underutilized product. *J Pharm* 71:2250–3013
- Boualem A, Lemhemdi A, Sari MA, Pignoly S, Troadec C, Choucha FA, Solmaz I, Sari N, Dogimont C, Bendahmane A (2016) The andromonoecious sex determination gene predates the separation of *Cucumis* and *Citrullus* genera. *PLoS ONE* 11:1–13
- Davis AR, Webber CL, Perkins-Veazie P, Russo V, Lopez Galarza S, Sakata Y (2008) A review of production systems on watermelon quality. Cucurbitaceae 2008. In: Proceedings IXth EUCARPIA meeting on genetics and breeding of Cucurbitaceae, Avignon, France, 21–24 May
- Edwards AI, Vinyard BT, Wiley ER, Brown ED, Collins IK, Perkins-Veazie P, Baker RA, Clevidence BA (2003) Consumption of watermelon juice increases plasma concentrations of lycopene and  $\beta$ -carotene in humans. *J Nutr* 133:1043–1050
- Enzonga-Yoca JA, Nitou JG, Allou Kippré V, Niamayoua RK, Mvoula-Tsieri M, Silou T (2011) Caractérisation chimique et évaluation de la température de conservation du lait des graines de cucurbitacées: *Cucumeropsis mannii* et *Citrullus lanatus*. *J Anim Plant Sci* 10:1232–1238
- Ertan SK, Ahmet B, Dilek K (2017) Determination of semi-lethal (LD50) doses for mutation breeding of Turkish winter squash (*Cucurbita maxima* Duch.) and pumpkin (*Cucurbita moschata* Duch.). *Fresenius Environ Bull* 26:3209–3216
- Esquinas-Alcazar JT, Gulick PJ (1983) Genetic resources of *Cucurbitaceae*. A global report. International Board for Plant Genetic Resources, Rome, p 101
- Essel E, Asante IK, Odamtten G (2016) Mutagenic effect of gamma irradiation on seed germination and yield components of cowpea. *J Ghana Sci Assoc* 17:53–59
- FAO (2009) FAO's Director-General on how to feed the World in 2050. *Popul Dev Rev* 35:837–839
- FAO (2013) Food and agriculture organisation of the United Nations: Economic and Social Department: the statistics division. <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>. Accessed 12 Nov 2013
- Girija M, Dhanavel D (2009) Mutagenic effectiveness and efficiency of gamma rays, ethyl methane sulphonate and their combined treatments in cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.). *Glob J Mol Sci* 4:68–75
- Giwa S, Abdullah LC, Adam NM (2010) Investigating Egusi (*Citrullus colocynthis* L.) seed oil as potential biodiesel feedstock. *Energies* 3:607–618
- Gnankambary K, Teyouré BJ, Nerbéwendé S, Mahamadou S, Djibril Y, Tinga JO (2019) Assessment of radio-sensitivity for three cowpea genotypes to gamma irradiation. *Int J Genet Mol Biol* 11:29–33
- Guerin De Montgareuil P (1984) Radioagronomie in Echos. Groupe CEA, France, pp 56–57
- Guo S, Zhang J, Sun H (2012) The draft genome of watermelon (*Citrullus lanatus*) and resequencing of 20 diverse accessions. *Nat Genet* 45:51–58
- Guoyao W, Collins JK, Perkins-Veazie P and Siddiq M (1992) Dietary supplementation with melon pomace juice enhances arginine availability and ameliorates the metabolic syndrome in Zucker diabetic fatty rats. *J Nutr* 45:34–54
- Gusmini G, Wehner TC (2005) Foundations of yield improvement in watermelon. *Crop Sci* 45:141–146
- Horn LN, Shimelis H (2013) Investigation on radio-sensitivity of gamma irradiation on selected cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) genotypes. *Sci Res and Ess* 8:1991–1997
- Huh YC, Solmaz I, Sari N (2008) Morphological characterization of Korean and Turkish watermelon germplasm. In: Pitrat M (ed) Cucurbitaceae 2008, Proceedings of the IXth EUCARPIA meeting on genetics and breeding of *Cucurbitaceae*, INRA, Avignon, France, 21–24 May 2008
- Johnson JT, Iwang EU, Hemen JT, Odey MO, Efon EE, Eteng OE (2012) Evaluation of anti-nutrient contents of watermelon *Citrullus lanatus*. *Annal Biol Res* 3:5145–5150
- Karidiatou G, Teyouré BJ, Nerbéwendé S, Mahamadou S, Djibril Y, Tinga JO (2019) Assessment of radio-sensitivity for three cowpea genotypes to gamma irradiation. *Int J Genet Mol Biol* 11:29–33
- Kodym A, Afza R, Forster BP, Ukai Y, Nakagawa H (2012) Methodology for physical and chemical mutagenic treatments. In: Plant mutation breeding and biotechnology, pp 169–180
- Kumar R, Shunmugavalli N (2018) Assessment of gamma rays induced variability in M2 generation of Sesamum (*Sesamum indicum* L.). *Int J Chem* 6:292–296
- Kuvare USK (2005) Greenhouse production of watermelon (*Citrullus lanatus*). Stellenbosch, South Africa, Department of Horticulture, University of Stellenbosch, MS Thesis, p 300
- Lum T, Connolly M, Marx A, Beidler J, Hooshmand S, Kern M, Liu C, Hong MY (2019) Effect of fresh watermelon consumption on the acute satiety response and cardiometabolic risk factors in overweight and obese adults. *Nutrients* 11:595

- Mahure HR, Choudhary ML, Prasad KV, Singh SK (2010) Mutation in chrysanthemum through gamma irradiation. *Indian J Hort* 67:356–358
- Mallick MFR, Masui M (1986) Origin, distribution and taxonomy of melons. *Sci Hort* 28:251–261
- Maluszynski M, Szarejko I, Maluszynski J (2003) Mutation techniques. In: Thomas B, Murphy DJ, Murray BG (eds) *Encyclopedia of applied plant sciences*. Elsevier Academic Press, San Diego, pp 186–201
- Manju P, Gopimony R (2009) A new okra variety through induced mutation in interspecific hybrids of *Abelmoschus* Species. In: Shu QY (ed) *Induced plant mutations in the genomics era*. Joint FAO/IAEA Programme, Vienna, Austria, pp 91–94
- Maoto M, Beswa D, Jideani AIO (2019) Watermelon as a potential fruit snack. *Int J Food Prop* 22:355–370
- Marcu D, Damian G, Cosma C, Cristea V (2013) Gamma radiation effects on seed germination, growth and pigment content, and ESR study of induced free radicals in maize (*Zea mays*). *J Bio Phy* 39:625–634
- Mba C (2013) Induced mutations unleash the potentials of plant genetic resources for food and agriculture. *Agronomy* 3:200–231
- Mba C, Afza R, Bado S, Jaim SM (2010) Induced mutagenesis in plants using physical and chemical agents. In: *Plant cell culture essential methods*, pp 111–130
- Mba C, Afza R, Shu QY (2012) Mutagenic radiations: X-rays, ionizing particles and ultraviolet. In: Shu Q, Forster BP, Nakagawa H (eds) *Plant mutation breeding and biotechnology*. CABI, Oxfordshire, UK, pp 83–90
- Morère JL, Pujol R (2003) *Dictionnaire raisonné de biologie*. Frison-Roche, Paris
- Meunier E (2005) Des plantes mutantes dans nos assiettes. *Inf OGM*, 67, Septembre 2005. <http://www.infogm.org/spip.php?Article2406>. Accessed 10 May 2010
- Morishita T, Yamaguchi H, Degi K, Shikazono N, Tanaka A, Abe T (2003) Dose response and mutation induction by ion beam irradiation in buckwheat. *Nucl Instr Meth Phys Res B* 206:565–569
- Munisse P, Jensen BD, Andersen SB (2013) Genetic differentiation of watermelon landraces in Mozambique using microsatellite markers. *Afr J Biotechnol* 12:5513–5521
- Naz A, Butt MS, Sultan MT, Qayyum MMN, Naiz RS (2014) Watermelon lycopene and allied health claims. *Excli J* 13:650–666
- Olasupo FO, Ilori CO, Forster BP, Bado S (2016) Mutagenic effects of gamma radiation on eight accessions of cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.). *American J Plant Sci* 7:339–351
- Olasupo FO, Ilori CO, Forster BP, Bado S (2018) Selection for novel mutations induced by gamma irradiation in cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. *Int J Plant Breed Genet* 12:1–12
- Olson JA (1999) Carotenoids. In: Shils ME, Olson JA, Shike M, Ross AC (eds) *Modern nutrition in health and disease*, 9th edn. Williams & Wilkins, Baltimore, pp 525–541
- Owoseni O, Okwaro H, Afza R, Bado S, Dixon A, Mba C (2007) Radiosensitivity and in vitro mutagenesis in African accessions of cassava, *Manihot esculenta* Crantz. *Plant Mutat Rep* 1:32–36
- Ray DK, Mueller ND, West PC, Foley JA (2013) Yield trends are insufficient to double global crop production by 2050. *PLoS ONE* 8:e66428
- Ronald P (2011) Plant genetics, sustainable agriculture and global food security. *Genetics* 188:11–20
- Roychowdhury R, Tah J (2013) Mutagenesis A potential approach for crop improvement. In: Hakeem KR, Ahmad P, Ozturk M (eds) *Crop improvement: new approaches and modern techniques*. Springer, Boston, pp 149–187
- Sari N, Abak K (1996) Farkli Isin dozlarininveIs, I nlamaya alternative uygulamalarinkarpuzda haploid embryo uyartimnaetkileri. Tu rkiye II. UlusalBahçe Bitkileri Kongresi Bildirileri, Cilt II, Adana, Turkey, pp 212–215
- Schippers RR (2000) African indigenous vegetables. An overview of the cultivated species. Natural resources institute/ACP-EU technical centre for agricultural and rural cooperation, Chatham, UK, pp 214
- Shah TM, Mirza JI, Haq MA, Atta BM (2008) Radiosensitivity of various chickpea genotypes in M1 generation in laboratory studies. *Pak J Bot* 40:649–665
- Shu Q, Forster BP, Nakagawa H (2012) *Plant mutation breeding and biotechnology*. CABI
- Sikder, S, Biswas, P, Hazra, P, Akhtar, S, Chattopadhyay, A, Badiganavar, AM and D'Souza SF (2013) Induction mutation in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) by gamma irradiation and EMS. *Indian J Genet* 73: 392–399
- Singh S, Singh R, Singh N, Prasad J, Shahi J (2007) Mutagenic efficiency of gamma-rays, ethyl methane sulphonate and its combination on microsperma lentil (*Lens culinaris* Medik). *Int J Agric Sci* 3:113–118
- Solanki I, Sharma B (1994) Mutagenic effectiveness and efficiency of gamma rays, ethylene imine and N-nitroso-N-ethyl urea in macrosperma lentil (*Lens culinaris* Medik.). *The Indian J Genet Plant Breed* 54:72–76
- Tabasum A, Cheema AA, Hameed A, Rashid M, Ashraf M (2011) Radiosensitivity of rice genotypes to gamma radiations based on seedling traits and physiological indices. *Pak J Bot* 43:1211–1222
- Taiwo AA, Agbotoba MO, Oyedepo JA, Shobo OA, Oluwadare I and Olawunmi MO (2008) Effects of drying methods on properties of watermelon (*Citrullus lanatus*) seed oil. *Af J Food Agric Nutr and Dev* 8:1456–1460
- Taskin H, Yucel NK, Baktemur G, Comlekcioglu S, Buyukalaca S (2013) Incidence de divers genotypes et doses de rayons gamma sur l'haploidisation par la technique du pollen irradié chez la pastèque (*Citrullus lanatus* L.). *Can J Plant Sci* 93:1165–1168
- Tester M, Langridge P (2010) Breeding technologies to increase crop production in a changing world. *Science* 327:818–822
- Tshilenge-Lukanda L, Funny-Biola C, Tshiyoyi-Mpunga A, Mudibu J, Ngoie-Lubwika M, Mukendi-Tshibingu R, Kalonji-Mbuyi A (2012) Radio-sensitivity of some groundnut (*Arachis hypogaea* L.) genotypes to gamma irradiation: indices for use as improvement. *Brit J Biotechnol* 3:169–178
- Tshilenge-Lukanda LA, Kalonji-Mbuyi A, Nkongolo KKC, Kizungu RV (2013) Effect of gamma irradiation on morpho-agronomic characteristics of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Am J Plant Sci* 4:2186–2192
- Ulukapi K, Ozdemir B, Onus N (2015) Determination of proper gamma radiation dose in mutation breeding in eggplant (*Solanum melongena* L.). In: *Advances in Environmental and Agricultural Science*, pp 149–153
- Van Harten AM (1998) *Mutation breeding: theory and practical applications*. Cambridge University Press, Cambridge, p 330
- Verma AK, Sharma S, Kakani RK, Meena RD, Choudhary S (2017) Gamma radiation effects seed germination, plant growth and yield attributing characters of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Int J Current Microbiol Appl Sci* 6:2448–2458
- Webster JE, Romshe FA (1951) Watermelon syrup: its composition and composition of the juice from which it was made. *Am Soc Hort Sci* 57:302–304
- Wilde HD, Chen Y, Jiang P, Bhattacharya A (2012) Targeted mutation breeding of horticultural plants. *Emir J Food Agric* 24:31–41
- Ukai Y (1983) Mutation breeding. *Gamma Field Symposia* N° 20 Suppl. Yokendo, Tokyo
- Zaini NAM, Anwar F, Hamid AA, Saari N (2011) Kundur [*Benincasa hispida* (Thunb.) Cogn.]: a potential source for valuable nutrients and functional foods. *Food Res Int* 44:2368–2376