

**Influence de la nutrition potassique sur la réponse du gombo
(*Abelmoschus esculentus* L.), en condition de stress salin
cas de la variété Clemson Spineless.**

DEDICACES

Je dédie ce travail à:

- toute ma famille ;
- mon père Maniang GUEYE qui a sacrifié toute sa vie pour construire l'avenir de ses enfants. Que le Tout Puissant lui accorde longue vie et santé de fer ;
- ma merveilleuse maman Gagne Siry NDIAYE, ma confidente, qui a toujours été là pour nous soutenir, puisse le Bon Dieu lui accorde longue vie et santé de fer ;
- mon fils Papa Saliou GUEYE. Que le Tout Puissant lui accorde longue vie et santé de fer ;
- mon homonyme Feu Serigne Abdoul Aziz SY "Dabakh" (RTA), mon guide, qui a beaucoup participé à mon éducation. Qu'Allah le place à un rang élevé, parmi ceux qui ont été guidés ;
- mes oncles Moussa NDIAYE, Cheikh NDIAYE et Sanou NDIAYE ;
- mes tantes Diakhou NDIAYE et Yacine DIAGNE ;
- mes frères Samba GUEYE et Ndiassé GUEYE ;
- mes sœurs Khady GUEYE et Mame Fatou GUEYE ;
- mes grands-pères Feus Samba GUEYE, Hamady DAFF et mes oncles Feus Saliou GUEYE et Ousmane NDIAYE. Que la terre leur soit légère ;
- mes grand-mères Khar NGOM et Bineta NDIAYE pour leurs souhaits ;
- mes oncles et tantes pour leurs conseils, soutiens et encouragements ;
- mes cousins et cousines ;
- mes amis pour leur sincérité.

REMERCIEMENTS

Au Nom d'ALLAH le Tout-Miséricordieux, le Très Miséricordieux. Ô Dieu, accorde Ta bénédiction à notre Prophète Mouhammad (PSL) qui a ouvert ce qui était clos, qui a clos ce qui a précédé, le Défenseur de la Vérité par la Vérité, le Guide du droit chemin, ainsi qu'à sa famille suivant sa valeur et l'estimation de son ultime dignité.

Je remercie tout d'abord ALLAH le Tout Puissant, qui par Sa Miséricorde et par la grâce du Prophète Seyyidouna Mouhamad (PSL), nous a donné la force et la santé d'achever ce travail.

Ce travail a été effectué en grande partie au Département de Biologie Végétale de la Faculté des Sciences et Techniques de l'UCAD. Pour arriver à son terme, il a bénéficié de soutiens de plusieurs personnes à qui j'aimerai exprimer ma profonde gratitude et ma reconnaissance.

Je suis particulièrement redevable à Monsieur le Professeur Feu Léonard E. AKPO responsable du Master qui a consacré beaucoup de son temps pour nous offrir une formation de qualité. Sa disponibilité, sa rigueur et son dynamisme ont fait de lui un homme de valeur exemplaire pour toutes les générations. Je suis particulièrement heureux de lui exprimer ma profonde reconnaissance.

Mes remerciements vont aux membres du jury:

- Professeur Aliou GUISSSE qui m'a fait bénéficier de son expertise et son savoir-faire et qui m'a inculqué un esprit critique scientifique. Je suis très fier de lui exprimer ma profonde gratitude et reconnaissance. Il est pour nous un conseiller scientifique garni de compétences, et à vrai dire une référence. Accessible, il a toujours partagé avec nous son savoir et son expérience. J'ai pu apprécier pendant ces années passées ensemble, toutes ses qualités humaines et scientifiques. Le respect et la rigueur qu'il donne à son travail seront toujours marqués dans mon esprit. Recevez ici ma très haute considération ;
- Docteur Daouda NGOM qui m'a enseigné et n'a cessé de me conseiller. J'ai beaucoup apprécié votre rigueur dans le travail, votre disponibilité, votre dynamisme, votre modestie, votre simplicité, votre efficacité et surtout votre leadership. Merci pour l'honneur que vous m'avait fait l'honneur en présidant ce jury ;
- Docteur Touroumgaye GOALBAYE qui m'a fait bénéficier de son expertise et son savoir-faire en assurant l'encadrement scientifique de ce travail. Je suis particulièrement ravi de lui exprimer ma profonde reconnaissance ;
- Docteur Sékouna DIATTA pour ses conseils et d'avoir accepté de siéger dans ce jury ;

- Docteur Aly DIALLO qui m'a fait bénéficier de son savoir et son savoir-faire. Il m'a beaucoup soutenu lors de mon stage à Widou.

Mes vifs remerciements au Professeur Mame Samba MBAYE pour tous les conseils et le soutien moral qu'il n'a cessé de m'apporter. Qu'il veuille trouver ici l'expression de ma grande reconnaissance.

Je remercie Docteur Saliou FALL, Directeur du Laboratoire Commun de Microbiologie (LCM), de m'avoir permis de faire une partie du traitement de mes données au laboratoire.

Je tiens à remercier Madame Fatou Diop MBACKE du Centre pour le Développement de l'Horticulture (CDH) pour ses conseils et son soutien constant.

Mes remerciements vont également aux Docteurs Emile Codjo AGBANGBA, Issa DIEDHIOU, Abdoul Aziz CAMARA, Birane DIENG, Daouda NDIAYE et à M. Maurice SAGNA pour tous les conseils et le soutien moral qu'ils n'ont cessé de m'apporter non seulement pour une bonne réalisation de ce travail, mais aussi pour ma carrière scientifique. Qu'ils veuillent trouver ici l'expression de ma grande reconnaissance.

J'associe à ces remerciements mes amis Adramé DIALLO, Astou TAMBEDOU, Tafsir Malick THIAM et Katina OLODO avec qui j'ai passé de merveilleux moments et qui ont toujours été là pour me soutenir du début à la fin.

Je remercie également les horticulteurs du jardin botanique à savoir Messieurs Aldiouma NDIAYE et Ousmane NDIAYE pour leur appui constant.

Je tiens également à exprimer ma reconnaissance à l'égard de Messieurs Mountaga CISSE, Moussa NDIAYE, Cheikh NDIAYE et Sanou NDIAYE, et Mesdames Diakhou NDIAYE et Khady GUEYE, sans qui, il me serait très difficile d'arriver à ce niveau. Je vous remercie infiniment.

J'ai une infinie liste d'amis et je ne ferai pas le pari de les énumérer sans risque d'en omettre certains. Je m'astreins à un devoir de reconnaissance à l'égard de tous. Mais néanmoins je cite quelques entre autres les jumeaux Assane et Ousseynou DIALLO, Amadou Hamed DRAME, Amar SY, Ibrahima NDAO, Saliou SECK et Ibrahima KA à qui je suis redevable.

Mes vifs remerciements vont aussi à l'égard de tous mes amis du Collectif des Elèves et Etudiants Résidant à Yeumbeul (CEERY) et de Benno pour un Avenir Meilleur (BAM).

Je remercie infiniment tous mes frères et sœurs qui m'ont toujours soutenu du début à la fin.

Je tiens à remercier également tous mes camarades de promotion avec qui j'ai passé de merveilleuses années.

J'éprouve une déférence et une reconnaissance particulière à mes chers parents, Maniang GUEYE et Gagne Siry NDIAYE, qui ont toujours été là pour nous assister. Je ne peux que prier pour eux et leur dire un grand merci car ceci n'est que le fruit de leur travail.

Mes vifs remerciements vont aussi à l'égard de tous ceux qui ont, de près ou de loin, contribué à la réalisation de ce travail.

TABLE DES MATIERES

DEDICACES.....	i
REMERCIEMENTS	ii
TABLE DES MATIERES.....	v
SIGLES ET ABREVIATIONS	vi
LISTE DES FIGURES	vii
LISTE DES TABLEAUX	ix
LISTE DES PHOTOS	ix
LISTE DES PLANCHES	ix
RESUME.....	x
INTRODUCTION GENERALE.....	1
I. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE	3
1.1. Gombo	3
1.1.1. Origine et répartition géographiques	3
1.1.2. Systématique et description botanique	4
1.1.2.1. Taxonomie et diversité génétique.....	4
1.1.3. <i>Abelmoschus esculentus</i> Var. Clemson Spineless	9
1.1.4. Biologie et mode de reproduction	9
1.1.5. Importances du gombo: potentialités alimentaires et intérêt socio-économique	10
1.1.6. Production mondiale.....	11
1.1.7. Les ennemis du gombo et les moyens de lutte	13
1.2. Stress et salinité	14
1.2.1. Salinité.....	14
1.2.2. Stress	26
1.3. Nutrition potassique	29
1.3.1. Fertilisation potassique et adaptation de la plante	29
1.3.2. Ratio K^+/Na^+ dans le mécanisme d'adaptation de la plante au stress salin.....	30
II. MATERIEL ET METHODES.....	31
2.1. Site de l'expérimentation.....	31
2.2. Matériel végétal.....	31
2.3. Méthodes	32
2.3.1. Conduite de culture	32
2.3.3. Paramètres mesurés	34
2.3.4. Analyses statistiques.....	35

III. RESULTATS	36
3.1. Influence du NaCl et du potassium sur la croissance du gombo	36
3.1.1. Effet du NaCl sur les paramètres de croissance	36
3.1.2. Effet du potassium sur les paramètres de croissance.....	37
3.1.3. Effet de l'interaction du NaCl et du potassium sur les paramètres de croissance	39
3.2. Influence du NaCl et du potassium sur la biomasse et le rendement et ses paramètres	42
3.2.1. Effet sur les biomasses fraîches (aérienne et racinaire).....	42
3.2.2. Effet sur les biomasses sèches (aérienne et racinaire).....	44
3.2.3. Influence sur le rendement et les caractéristiques du fruit	46
IV. DISCUSSION	49
4.1. Effet du potassium sur les plants de gombo	49
4.2. Effet du NaCl sur les plants de gombo	49
4.3. Effet de la combinaison NaCl-potassium sur les plants de gombo	50
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES	52
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	53
WEBOGRAPHIE	68

SIGLES ET ABREVIATIONS

ABA: Acide abscissique

ANSD: Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie

APG II: Angiosperm Phylogeny Group II

BSA: Biomasse Sèche Aérienne

BSR: Biomasse Sèche Racinaire

CDH: Centre pour le Développement de l'Horticulture

dS/m: Décisiemens par mètre

FAO: Food and Agriculture Organization

FST: Faculté des Sciences et Techniques

J: jour

IRD: Institut de Recherche pour le Développement

LPA: Longueur Partie Aérienne

LPR: Longueur Partie Racinaire

MEPN: Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature

M.S: Matière Sèche

PA: Partie Aérienne

PIB: Produit Intérieur Brut

pH: potentiel hydrogène

PPA: Poids Partie Aérienne

PPR: Poids Partie Racinaire

PR: Partie Racinaire

R.O.S: Espèces réactives d'oxygène

UASZ: Université Assane SECK de Ziguinchor

UCAD: Université Cheikh Anta DIOP

UDS: Université de Sarh/Tchad

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Répartition géographique des espèces du genre *Abelmoschus*

Figure 2: Le mécanisme du phénomène de salinisation des sols

Figure 3: Diminution du pourcentage de germination avec l'augmentation de la salinité

Figure 4: Classification des plantes selon leur niveau de tolérance à la salinité en fonction de la concentration en sel

Figure 5: Schématisation du bilan de la circulation du sodium dans les plantes de type *includer* (inclusif) ou *excluder* (exclusif)

Figure 6: Les points de contrôle et de la régulation de transport du sel au niveau de la plante

Figure 7: Localisation de jardin botanique FST/UCAD, Dakar

Figure 8: Plan de l'essai

Figure 9: Effet du sel sur les paramètres de croissance

Figure 10: Effet du potassium sur la hauteur des plants de gombo

Figure 11: Effet du potassium sur le diamètre au collet des plants de gombo

Figure 12: Effet du potassium sur le nombre de feuilles/plant de gombo

Figure 13: Effet du potassium sur le nombre de ramifications/plant de gombo

Figure 14: Effet de l'interaction du sel et du potassium sur la hauteur des plants de gombo

Figure 15: Effet de l'interaction du sel et du potassium sur le diamètre au collet des plants de gombo

Figure 16: Effet de l'interaction du sel et du potassium sur le nombre de feuilles/plant de gombo

Figure 17: Effet de l'interaction du sel et du potassium sur le nombre de ramifications/plant de gombo

Figure 18: Effet du sel sur les biomasses fraîches des plants de gombo

Figure 19: Effet du potassium sur les biomasses fraîches des plants de gombo

Figure 20: Effet de l'interaction du sel et du potassium sur les biomasses fraîches des plants de gombo

Figure 21: Effet de l'interaction du sel et du potassium sur la biomasse sèche aérienne en poids

Figure 22: Effet de l'interaction du sel et du potassium sur la biomasse sèche racinaire en poids

Figure 23: Influence du potassium sur le poids moyen du fruit en condition non stressée

Figure 24: Influence du potassium sur le poids moyen du fruit en condition stressée

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Evolution de la nomenclature des espèces du genre *Abelmoschus*

Tableau 2: Valeur nutritive pour 100 g de gombo consommés

Tableau 3: Principaux pays producteurs de gombo dans le monde

Tableau 4: Caractéristiques des sols salins

Tableau 5: Classes de la salinité des sols

Tableau 6: Périodes et méthodes d'évaluation des paramètres de croissance et de rendement

Tableau 7: Test de significativité des effets du sel et du potassium sur les paramètres de croissance après 4 mois de culture

Tableau 8: Test de significativité des effets du sel et du potassium sur les biomasses fraîches

Tableau 9: Test de significativité des effets du sel et du potassium sur les biomasses sèches

Tableau 10: Test de significativité des effets du sel et du potassium sur le rendement et ses paramètres

LISTE DES PHOTOS

Photo 1: Plant de gombo

LISTE DES PLANCHES

Planche 1: Quelques caractères botaniques du gombo

Planche 2: Mesure de quelques de paramètres du gombo

RESUME

Au Sénégal, la superficie des sols affectés par la salinité augmente d'année en année, 1 700 000 ha sur les 3 800 000 ha des terres arables sont salés. Cette salinité constitue l'un des principaux problèmes du développement agricole. La réponse des plantes à la salinité varie en fonction de l'espèce. Chez la plupart des plantes, la croissance diminue avec la concentration de sel dans le milieu mais, chez d'autres, la croissance est stimulée par des concentrations modérées de sel. Toutefois, peu d'études scientifiques ont été faites sur le gombo de manière générale à cause du choix orienté et délibéré des chercheurs pour les cultures céréalières et pour celles dites de rente. Le présent travail a pour objectif de contribuer à une meilleure connaissance de la réponse physiologique du gombo en condition de stress salin sous fertilisation potassique. Plus spécifiquement, il vise, d'une part, à évaluer l'effet de la fertilisation potassique, en condition de stress salin, sur la croissance et le rendement du gombo et d'autre part, à identifier la dose optimale de fertilisation potassique pour laquelle le gombo est tolérant au stress salin. Le matériel végétal est composé de graines de gombo de la variété Clemson Spineless. L'essai a été conduit suivant un dispositif expérimental en Split-plot avec (2) facteurs étudiés. Le facteur principal est l'alimentation en eau avec deux (2) niveaux ou traitements principaux (S0: eau non salée ; S1: eau salée) et le facteur secondaire étudié est la nutrition potassique avec cinq (5) doses de K_2SO_4 ou sous-traitements (P0, P1, P2, P3, P4), répétés trois fois. L'unité principale est constituée de 15 pots et la sous-unité expérimentale est représentée par 3 pots. L'engrais azoté, l'urée (1,74 g/pot) et le DSP [superphosphate double (3,2 g/pot)] ont été apportés. Les observations ont porté sur la croissance, la biomasse et le rendement en fruits. Les résultats obtenus ont révélé que le sel et le potassium ont des effets inverses sur les paramètres de croissance mesurés. Le potassium a amélioré significativement ces paramètres alors que le sel a entraîné leur réduction même si la combinaison sel-potassium a amélioré la biomasse et le rendement. Nos résultats ont également montré qu'en présence de sel, la dose optimale de fertilisation potassique pour laquelle le gombo est tolérant au stress salin a été de 5,13 g/plant. Ces résultats ainsi obtenus permettront de participer à la restauration des sols affectés par la salinité au Sénégal. Des études ultérieures au champ sont cependant nécessaires en vue de confirmer ces résultats.

Mots clés: alimentation potassique, croissance, gombo, rendement, stress salin Sénégal.

ABSTRACT

In Senegal, the area of land affected by salinity is increasing year by year, with 1,700,000 ha of the 3,800,000 ha of arable land being saline. This salinity is one of the main problems of agricultural development. The response of plants to salinity varies according to the species. In most plants, growth decreases with the concentration of salt in the environment, but in others, growth is stimulated by moderate concentrations of salt. However, few scientific studies have been done on okra in general because of the directed and deliberate choice of researchers for cereal and cash crops. The aim of this work is to contribute to a better understanding of the physiological response of okra under conditions of salt stress under potassium fertilization. More specifically, it aims, on the one hand, to evaluate the effect of potassium fertilization under saline stress conditions on okra growth and yield and, on the other hand, to identify the optimal dose of potassium fertilization for which okra is tolerant to saline stress. The plant material consists of okra seeds of the Clemson Spineless variety. The trial was carried out following an experimental Split-plot system with (2) factors studied. The main factor was water supply with two (2) main levels or treatments (S0: unsalted water; S1: salted water) and the secondary factor studied was potassium nutrition with five (5) doses of K_2SO_4 or sub-treatments (P0, P1, P2, P3, P4), repeated three times. The main unit consists of 15 pots and the experimental sub-unit is represented by 3 pots. Nitrogen fertilizer, urea (1.74 g/pot) and DSP [double superphosphate (3.2 g/pot)] were added. Observations were made on growth, biomass and fruit yield. The results showed that salt and potassium have opposite effects on the measured growth parameters. Potassium significantly improved these parameters while salt reduced them even though the salt-potassium combination improved biomass and yield. Our results also showed that in the presence of salt, the optimal dose of potassium fertilisation for which okra is tolerant to salt stress was 5.13 g/plant. These results thus obtained will enable us to participate in the restoration of soils affected by salinity in Senegal. However, further field studies are needed to confirm these results.

Keywords: potassium nutrition, growth, okra, yield, saline stress Senegal.

INTRODUCTION GENERALE

Le secteur primaire sénégalais (agriculture, élevage, foresterie et pêche) joue un rôle socioéconomique très important. En 2020, il a contribué pour 16% du PIB et emploie 50% de la population active (Sénégal, 02.01.2021). Selon l'ANSD (2013), l'agriculture est considérée comme le levier de l'économie du pays. Essentiellement de type pluvial et saisonnier, elle représente 17% du PIB en 2011 et occupe 40% à 60% de la population (Fao au Sénégal, 02.01.2021). L'agriculture crée la richesse et réduit l'insécurité alimentaire, en particulier pour les populations rurales. En effet, elle constitue la principale source de revenus des populations rurales avec 73,8% des ménages ruraux qui s'y activent (ANSD, 2013). L'agriculture sénégalaise a connu des changements importants durant ces cinquante dernières années. D'une agriculture à l'origine vivrière et familiale, elle a été fortement orientée sur les cultures de rente telles que celles de l'arachide et du coton (Aperçu de l'agriculture sénégalaise, 02.01.2021).

Le gombo est une plante légumière de la famille des Malvacées qui joue un rôle important dans l'alimentation des populations en Afrique de l'ouest et central. En Afrique de l'Ouest, les gombos occupent la deuxième place des productions légumières derrière les tomates (Hamon et Charrier, 1997). Il représente le légume le plus consommé après la tomate et l'oignon (Hamon et Charrier, 1997), et contient de nombreux éléments nutritifs (Calcium, Fer, Protéines, Vitamines, etc.) qui sont des compléments alimentaires nécessaires à l'alimentation de base constituée principalement d'amidon (céréales et tubercules) (Tounou *et al.*, 2018).

Depuis les semis jusqu'aux récoltes, les fruits, les feuilles et les graines de gombo sont utilisés par la gent féminine qui l'affectionne surtout pour ses multiples utilisations: sauce, salade, beignets et nutrition des malades (Sawadogo *et al.*, 2005). Ainsi, le gombo revêt une importance économique considérable pour la gent féminine et joue un rôle essentiel dans l'équilibre nutritionnel des populations rurales. Malgré ses multiples utilisations, son apport nutritionnel avéré et sa valeur financière, le gombo est cultivé sur de très petites surfaces, aux abords des cases et souvent dans les dépotoirs (Sawadogo *et al.*, 2005).

En 1996, l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) affirme que les régions du Sahel subissent une sécheresse, due à une importante baisse de la pluviométrie et à une augmentation de la variabilité spatio-temporelle depuis la fin des années 1960. Cette péjoration est accentuée par les effets du changement climatique et de la salinisation des terres cultivables. La sécheresse et la salinité constituent des contraintes majeures limitant considérablement la production végétale au Sahel.

Au Sénégal, la superficie des sols affectés par la salinité augmente d'année en année (Beldjoudi *et al.*, 2002), 1 700 000 ha sur les 3 800 000 ha des terres arables sont salés (LADA, 2009). Cette salinité constitue l'un des principaux problèmes du développement agricole (Beldjoudi *et al.*, 2002, Denden *et al.*, 2005). La réponse des plantes à la salinité varie en fonction de l'espèce. Chez la plupart des plantes, la croissance diminue avec la concentration de sel dans le milieu (Hamrouni *et al.*, 2010) mais, chez d'autres, elle est stimulée par des concentrations modérées de sel (Doudech *et al.*, 2008). Toutefois, d'après Sawadogo *et al.*, (2006), peu d'études scientifiques ont été faites sur le gombo de manière générale à cause du choix orienté et délibéré des chercheurs pour les cultures céréalières et pour celles dites de rente. Par ailleurs, la réponse physiologique du gombo au stress salin est peu connue. Il serait donc important d'améliorer les connaissances scientifiques sur la culture du gombo. Une meilleure compréhension des mécanismes menant à son adaptation permettrait pourtant d'optimiser sa productivité dans les grands programmes agricoles.

Ainsi, ce travail vise de manière générale à contribuer à une meilleure connaissance de la réponse physiologique de la variété Clemson Spineless du gombo, en condition de stress salin sous fertilisation potassique. Les objectifs spécifiques sont:

- évaluer l'effet de la fertilisation potassique, en condition de stress salin, sur la croissance et le rendement du gombo ;
- identifier la dose optimale de fertilisation potassique pour laquelle le gombo est tolérant au stress salin.

Cette étude est scindée en quatre parties:

- la première partie, constituant la synthèse bibliographique, qui parle des généralités sur le gombo, le stress et la salinité ainsi que la nutrition potassique ;
- la deuxième partie qui s'est focalisée sur le matériel et la méthodologie utilisés ;
- la troisième partie traitant les résultats auxquels nous sommes parvenus ;
- et la quatrième partie portant sur la discussion des résultats.

I. SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. Gombo

1.1.1. Origine et répartition géographiques

L'origine du gombo est toujours un sujet de controverse. En effet, selon Macleod et Ames (1990), le gombo est une plante originaire d'Afrique, connu depuis l'année 1216 avant J.C. pour ses fruits utilisés comme légumes. De Candolle (1883) avait proposé la même origine précisant que le gombo était déjà cultivé par les Egyptiens en 1216 avant J.C., tandis que Van Borssum Waalkes (1966), pense plutôt qu'il est originaire du Sud-est de l'Asie (Siemonsma, 1982c). Les gombos cultivés et les espèces sauvages apparentées ont été initialement classés dans le genre *Hibiscus*, section *Abelmoschus* par Linné (1737). En 1924, Hochreutiner a proposé de séparer le genre *Abelmoschus* du genre *Hibiscus*. La distinction entre les deux genres se fait actuellement sur le calice (Terrell et Winters, 1974).

Plante cosmopolite, les grands foyers de culture du gombo se localisent principalement en Asie du Sud-Est (Inde, Indonésie), en Amérique (Sud des Etats-Unis, Amérique latine), en Afrique et dans le bassin méditerranéen (Charrier, 1983).

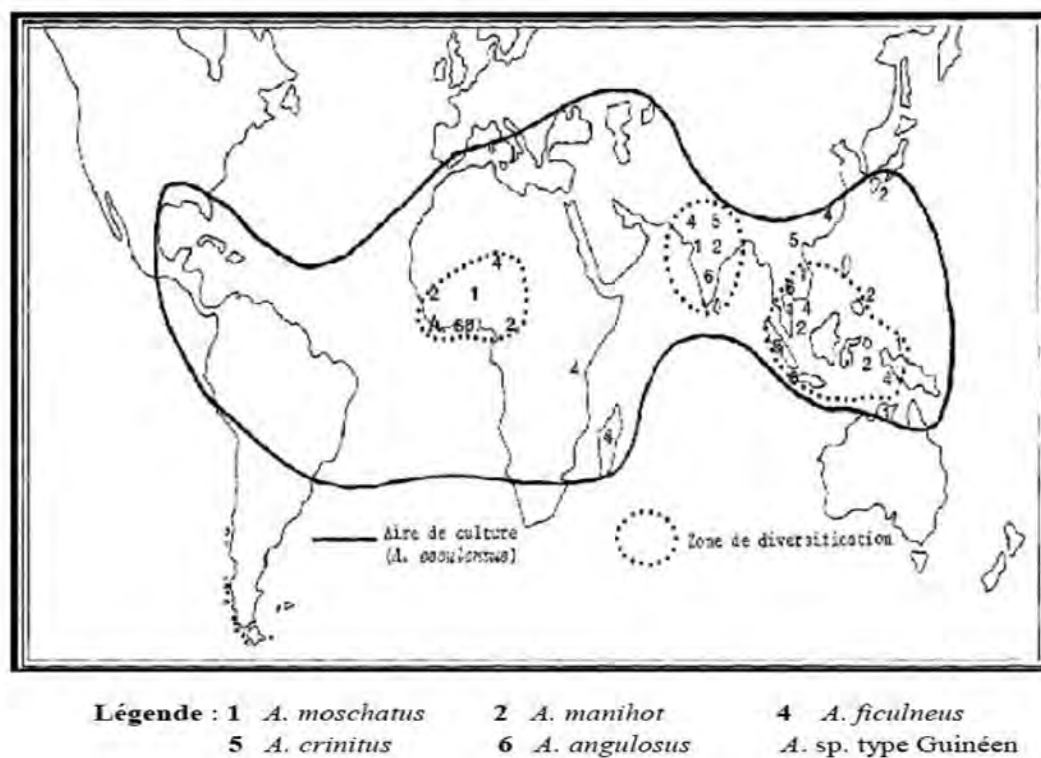


Figure 1. Répartition géographique des espèces du genre *Abelmoschus*

(Charrier et Hamon, 1982)

1.1.2. Systématique et description botanique

1.1.2.1. Taxonomie et diversité génétique

La systématique des gombos (tableau 1) est soumise à plusieurs modifications d'envergure quant au nom de genre (les gombos, autrefois rattachés au genre *Hibiscus*, forment aujourd'hui le genre *Abelmoschus*, au sein de la famille des malvacées) et au nombre d'espèces décrites (Hochreutiner, 1924 ; Van Borssum-Waalkes, 1966). L'étude taxonomique de Van Borssum-Waalkes (1966) retient six espèces parmi les treize proposées par Hochreutiner (1924). Ce sont les espèces *A. esculentus*, *A. manihot* et *A. moschatus* qui sont plus ou moins cultivées et les trois autres *A. crinitus*, *A. angulosus* et *A. ficulneoides* qui sont strictement spontanées. Une nouvelle espèce, *A. caillei*, découverte par Chevalier (1940) et décrite par Stevels (1988), est identifiée et a été largement étudiée par Siemonsma (1982a, 1982b).

Tableau 1. Evolution de la nomenclature des espèces du genre *Abelmoschus* (Charrier *et al.*, 1997)

Hochreutiner (1924)	Van Borssum-Waalkes (1966)	Recommandée (en 1997)
<i>A. crinitus</i>	<i>A. crinitus</i>	<i>A. crinitus</i>
<i>A. ficulneus</i>	<i>A. ficulneus</i>	<i>A. ficulneus</i>
<i>A. angulosus</i>	<i>A. angulosus</i>	<i>A. angulosus</i>
<i>A. esculentus</i>	<i>A. esculentus</i>	<i>A. esculentus</i>
<i>A. haenkaetus</i>		<i>A. tuberculatus</i>
<i>A. moschatus</i>	<i>A. moschatus</i>	
var. <i>genuinus</i>	subsp. <i>moschatus</i>	<i>A. moschatus</i>
var. <i>multiformis</i>	var. <i>moschatus</i>	
var. <i>betulifolius</i>	var. <i>betulifolius</i>	
var. <i>rugosus</i>		
<i>A. todayensis</i>		
<i>A. rhodopetalus</i>	subsp. <i>biakensis</i>	<i>A. rugosus</i> (<i>A. tuberosus</i>)
<i>A. brevicapsulatus</i>		
<i>A. sharpei</i>		
<i>A. biakensis</i>	<i>A. biakensis</i>	
<i>A. ficulneoides</i>		
<i>A. manihot</i>	<i>A. manihot</i>	
var. <i>genuinus</i>	subsp. <i>manihot</i> (cultivé)	
var. <i>timorensis</i>		
var. <i>tetraphyllus</i>	subsp. <i>tetraphyllus</i> (sauvage)	
var. <i>lusoensis</i>		
var. <i>mindanaensis</i>	var. <i>tetraphyllus</i>	
var. <i>pungens</i>	var. <i>pungens</i>	
var. <i>pungens</i> (Chevalier, 1940)		<i>A. caillei</i> (Stevels, 1988)

Systématique de l'espèce (Classification phylogénétique APG II, 2003).

Règne	Plantae (Plantes)
Sous-règne	Tracheobionta
Division	Magnoliophyta (Angiospermes, Phanérogames)
Classe	Magnoliopsida (Dicotylédones)
Sous-classe	Dilleniidae
Ordre	Malvales
Famille	Malvaceae
Genre	<i>Abelmoschus</i>
Espèce	<i>Abelmoschus esculentus</i> L.



Photo 1. Plant de gombo (Crédit photo: Abdou Aziz GUEYE)

1.1.2.2. Description botanique

➤ Tige

L'espèce *A. esculentus* a une tige de forme cylindrique, de couleur pourpre ou verte, glabre ou légèrement pubescente. Etant érigée, la tige peut atteindre une hauteur de 1,5 à plus de 3 m et présente des ramifications dressées ou courbées vers le bas et qui sont plus ou moins importantes suivant les variétés. Elle se lignifie après un certain temps (De Lannoy, 2001 ; Siemonsma et Hamon, 2004).

Sur le plan agricole, on distingue deux groupes de variétés: les variétés à tiges courtes et celles à tiges longues. Cependant, il existe une large gamme de plantes dont la hauteur est intermédiaire (De Lannoy, 2001 ; Siemonsma et Hamon, 2004).

➤ Feuilles

Les feuilles du gombo (planche 1, photos A et A') sont alternes et présentent un limbe généralement palmatilobé (3 à 7 lobes plus ou moins divisés). Elles ont des dimensions variables pouvant aller de 20 à 40 cm. Elles sont plus souvent de couleur verte et parfois marquées de rainures rouges. Les feuilles comportent un long pétiole (jusqu'à 35 cm) et leur forme est variable sur un même pied. Leur forme est stable à partir de la huitième feuille (De Lannoy, 2001).

➤ Fleurs

Le gombo, comme la plupart des Malvacées, a des fleurs hermaphrodites, axillaires, solitaires et de grandes dimensions. Les fleurs (planche 1, photo B) sont comparables et sont de couleur crème, jaune ou jaune or avec une coloration rouge à la base des cinq grands pétales libres. Son mode de reproduction préférentielle est l'autogamie, soutenu par les indices calculés qui sont de l'ordre de 2 avec un taux très variable d'allogamie allant de 0 à 69 %. Les fleurs sont éphémères. L'anthèse se produit très tôt dans la matinée et est suivie par l'épanouissement de la fleur. Elles demeurent ouvertes toute la matinée pour se refermer qu'en milieu de l'après-midi. Ensuite, elles se fanent le soir et les pétales tombent dès le lendemain. Sous des conditions nuageuses et humides, l'ouverture de la fleur est plus souvent légèrement retardée (Dupriez et Leener, 1987 ; Charrier, 1983 ; Hamon, 1987 ; De Lannoy, 2001).

➤ Fruits

Le fruit de gombo (planche 1, photo C) est une capsule érigée, cylindrique, fusiforme, de section ronde ou anguleuse. Avec sa couleur variable (vert à rouge), il peut être légèrement

rugueux ou épineux. Les fruits sont récoltés quelques jours après la floraison. En effet, le fruit atteint sa croissance maximale dès la première semaine. Au-delà, il se lignifie et devient impropre à la consommation (Koechlin, 1989; De Lannoy, 2001).

➤ **Graines**

De forme globuleuse à ovoïde, glabres ou duveteuses, les graines de gombo (planche 1, photo D) sont assez grosses et de couleur grise. Lorsque les graines sont conservées dans les meilleures conditions, elles peuvent garder leur pouvoir germinatif pendant plus de deux ans (De Lannoy, 2001).

➤ **Racines**

Le système racinaire du gombo (planche 1, photo E) est pivotant avec de nombreuses racines secondaires. Il permet à la plante de se fixer profondément dans le sol et d'y puiser l'eau et les sels minéraux dont elle a besoin pour son développement (De Lannoy, 2001).

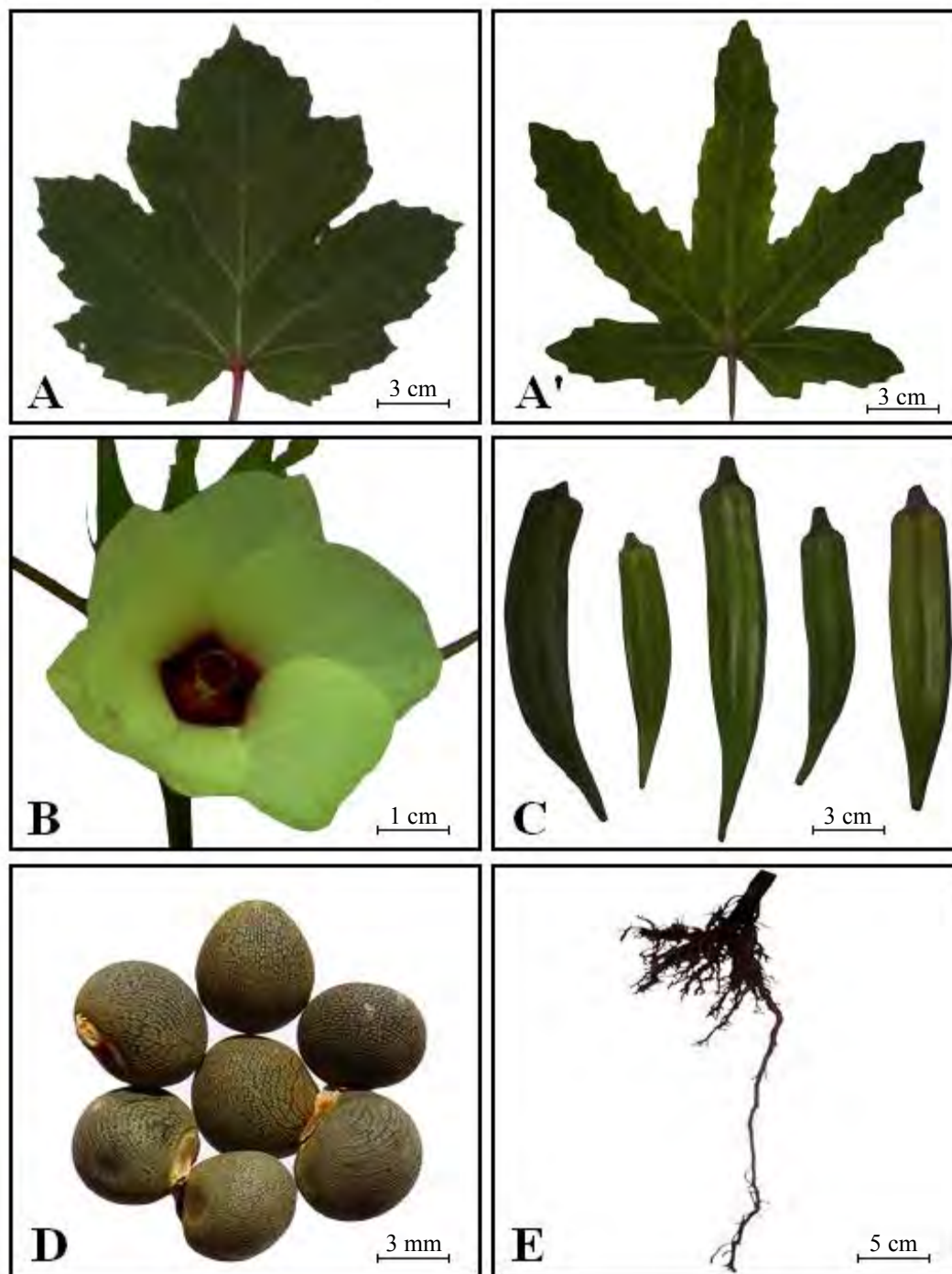


Planche 1. Quelques caractères botaniques du gombo (Crédit photo: Abdou Aziz GUEYE)

(A et A': Feuilles ; B: Fleur ; C: Fruits ; D: Graines ; E: Racines)

1.1.3. *Abelmoschus esculentus* Var. Clemson Spineless

La culture du gombo repose largement sur des variétés lignées et améliorées de *Abelmoschus esculentus*. Elles produisent des fruits sans épines dont la couleur va du blanc crémeux au rouge violacé en passant par le vert foncé. Beaucoup de variétés ont des arêtes marquées sur le fruit. Les cultivateurs portent leur choix sur les plantes précoces, de petite taille, qui résistent suffisamment aux maladies et aux insectes (Charrier *et al.*, 1997).

La variété Clemson Spineless est sélectionnée aux Etats-Unis. C'est la seule variété largement diffusée par les sociétés de production de semences. La plante est entièrement verte et atteint un peu plus de 1,5 m en fin de cycle. Ses feuilles sont assez découpées et ses fruits, présentant 6 à 7 arêtes, mesurent environ 12 cm à maturité complète.

Sa production débute environ 2 mois après le semis. Sa très grande sensibilité aux virus et aux nématodes demeure un inconvénient majeur, surtout en zone tropicale. En Afrique tropicale, son optimum de production se situe en contre-saison, où elle a un franc succès suite aux cours très élevés du gombo à cette période. Clemson Spineless est très bien adaptée aux climats méditerranéen (Egypte, Grèce, Turquie) et tropical sec (Sénégal). Selon Charrier *et al.* (1997), elle est plus chétive en climat tropical humide (Antilles, Côte d'Ivoire).

1.1.4. Biologie et mode de reproduction

Les plantes de gombo se caractérisent par une croissance indéterminée. Ils ont une floraison continue mais très dépendante des stress biotiques et abiotiques (Charrier *et al.*, 1997). Selon la variété et les conditions climatiques, la floraison se produit un à deux mois après semis (Charrier, 1983).

Pour *A. esculentus*, il y a alors émission d'une fleur, uniquement au niveau de l'axe orthotrope tous les deux ou trois jours. Le nombre de fleurs épanouies par jour peut-être d'une quinzaine pour les espèces telles que *A. moschatus*, *A. manihot* et *A. caillei* et dépend du degré de ramification, alors que leurs exigences photopériodiques sont encore mal connues. Le fruit du gombo est une capsule. Sa croissance est rapide pouvant atteindre 5 centimètres de long après 3 jours de floraison. Cette période correspond au stade de récolte le plus fréquent pour la consommation en frais du gombo (Charrier *et al.*, 1997).

Les espèces du genre *Abelmoschus* ont toutes des fleurs hermaphrodites, dont les pétales, le plus souvent de couleur jaune, attirent de nombreux insectes. Leur floraison est fugace: les fleurs s'épanouissent le matin peu avant l'aube et se flétrissent au milieu de l'après-midi. Le

style, long de 3 à 5 centimètres, est entouré d'une colonne staminale pouvant porter plus d'une centaine d'anthères. L'autopollen des anthères supérieures est mis en contact avec les stigmates par simple élongation de la colonne staminale ou par l'intermédiaire des insectes. Ces derniers sont susceptibles aussi de véhiculer de l'allopollen. La germination de l'autopollen est toujours possible ; et il n'y a pas d'auto-incompatibilité, sans que l'autogamie soit stricte pour autant. Des taux d'allogamie très variables, de 0 à 69 %, ont été observés pour *A. esculentus* (Charrier, 1984).

1.1.5. Importances du gombo: potentialités alimentaires et intérêt socio-économique

Le gombo (*Abelmoschus esculentus*) est une plante exceptionnelle et originale car toutes ses parties (racines, tige, feuilles, fruits et graines) sont valorisées sur les plans alimentaire, médicinal, artisanal et même industriel (Marius *et al.*, 1997).

Les feuilles et les fruits immatures du gombo sont consommés comme légumes. Ils confèrent aux sauces une consistance mucilagineuse gluante très caractéristique. Les fruits très parfumés gagnent à être consommés avant que les graines ne durcissent, car celles-ci sont très nutritives lorsqu'elles sont immatures (Dupriez et Leener, 1987). Les graines torréfiées de gombo sont employées dans certaines régions du Nigeria comme substitut du café (Siemonsma et Hamon, 2004). Il a été montré également que l'eau extraite à partir des polysaccharides du gombo pourrait être utilisée comme substitut de blanc d'œuf (Constantino *et al.*, 2006). La graine constitue une source de protéines (20% de la Matière Sèche: M.S) et d'huile végétale (14% de la M.S) (Martin et Ruberte, 1978 ; Shadmanov et Nigmatova, 1976 ; Charrier, 1983).

L'huile issue des graines de gombo est riche en protéines et en éléments minéraux comme le phosphore, le magnésium, le calcium et le potassium (Nzikou *et al.*, 2006). Le gombo est assez pauvre en vitamines mais sa valeur nutritive est meilleure, certes loin derrière la carotte mais devant la tomate (Hamon et Charrier, 1997).

En médecine, des études réalisées en Chine ont révélé qu'un extrait alcoolique de feuilles de gombo est susceptible d'éliminer les radicaux libres de l'oxygène, d'améliorer les fonctions rénales et de réduire la protéinurie (Siemonsma et Kouame, 2004). Il existe même des variétés qui sont recommandées pour faciliter ou enrichir la nutrition des malades. De même, ses vertus thérapeutiques ont été argumentées par Lapointe (1987) et Nacoulma (1996). Les feuilles sont parfois utilisées comme base de cataplasmes, comme émollient, sudorifique ou antiscorbutique et pour traiter la dysurie (Siemonsma et Hamon, 2004). Les jeunes fruits contiennent un mucilage ayant des propriétés variées de stabilisateurs des dispersions, substitut de plasma

sanguin, fluidifiant des systèmes liquides et sanguin (Martin *et al.*, 1981 ; Marius *et al.*, 1997). Les graines sont antispasmodiques et stimulantes et leur infusion a des propriétés sudorifiques (Chopra *et al.*, 1986).

La tige est constituée de fibres qui sont utilisées localement pour la confection de cordes, de sacs, de paniers, de lignes de pêche et de pièges à gibier. Les fibres servent aussi dans l'industrie textile et dans la fabrication de papier et de carton (Marius *et al.*, 1997 ; De Lannoy, 2001 ; Siemonsma et Hamon, 2004 ; Shamsul et Arifuzzaman, 2007). Les graines de gombo constituent une source d'huile à usage comestible après raffinage (Nzikou *et al.*, 2006).

Tableau 2. Valeur nutritive pour 100 g de gombo consommés (Grubben, 1977 ; Charrier, 1983)

Eléments nutritifs	Unités	Organes	
		Fruits	Feuilles
Matière sèche	<i>G</i>	10,40	10,00
Protéines		1,80	2,00
Energie	<i>Kcal</i>	31,00	33,00
Calcium	<i>Mg</i>	90,00	70,00
Fer		1,00	1,00
Carotène		0,10	0,99
Thiamine		0,07	0,10
Riboflavine		0,08	0,10
Niacine		0,80	1,00
Vitamine C		18,00	25,00

1.1.6. Production mondiale

Selon les données de la FAOSTAT (2015), la production mondiale de gombo pour l'année 2013 était estimée à 8 946 599 tonnes. Les principaux pays producteurs dans le monde étaient l'Inde (6 350 000 tonnes), le Nigéria (1 100 000 tonnes), le Soudan (263 263 tonnes), le Soudan du Sud (257 100 tonnes) et l'Irak (142 409 tonnes). Pour la même année, la production nationale de gombo au Sénégal était estimée à 23 711 tonnes soit 0,27% de la production mondiale.

Tableau 3. Principaux pays producteurs de gombo dans le monde

Pays	Production (en tonnes)	Pourcentage (%)
Inde	6 350 000	70,98
Nigéria	1 100 000	12,29
Soudan	263 263	2,94
Soudan du Sud	257 100	2,87
Irak	142 409	1,59
Côte d'Ivoire	139 094	1,55
Pakistan	108 426	1,21
Égypte	97 457	1,09
Production mondiale	8 946 599	100

(Source: FAOSTAT, 2015)

1.1.7. Les ennemis du gombo et les moyens de lutte

Noms	Dégâts	Traitements
Chenilles (<i>Xanthodes graellsii</i> , <i>Earia spp</i> , <i>Heliothis armigera</i>): plusieurs chenilles attaquent le gombo.	– rongent le feuillage ; – trouent les capsules et attaquent les fleurs.	– Acéphate – endosulfan – cyperméthrine – deltaméthrine – cyfluthrine
Jassides (<i>Jacobiasca lybica</i>): insectes piqueurs-suceurs que l'on trouve sur la face inférieure des feuilles.	Jaunissement des feuilles, celles-ci se recroquevillent en cuillère et peuvent tomber en cas de forte attaque.	– Diméthoate – acéphate – endosulfan
Altises (<i>Nisotra uniformis</i>): petits coléoptères bruns clairs sur le dessous des feuilles.	Ils perforent les feuilles de petits trous. Dégâts parfois très graves sur jeunes semis et jeunes plantes.	– Diméthoate – acéphate – endosulfan
Cétoines (<i>Pachnoda sp.</i>): gros coléoptères.	Ils dévorent feuilles, tiges, fleurs et capsules.	– destruction manuelle – diméthoate – deltaméthrine
Le blanc : maladie des feuilles provoquée par un champignon (<i>Oïdium abelmoschi</i>).	Sur les deux faces des feuilles, des tâches poudreuses blanches recouvrent progressivement la plante de bas en haut.	– cultivars résistants – soufre – triforine – triadimefon – fenarimol – pyrazoPhos – chinométhionate
Cercosporiose : maladie des feuilles provoquée par un champignon (<i>Cercospora fuliginea</i> , <i>C. abelmoschi</i>)	– Tâches verts, jaunes à noirâtres sur les feuilles avec, à la face inférieure, des tâches d'abord grises puis noires – Les feuilles s'enroulent et se dessèchent.	– Manèbe – mancozèbe – zinèbe – captafol – benomyl
Flétrissement : maladie provoquée par un champignon (<i>Fusarium oxysporum</i>).	– Flétrissement de la plante, parfois d'un côté seulement – En coupant la tige en oblique, on observe des stries brunes.	– rotation culturale d'au moins 3 ans – cultivars tolérant – peltar (3kg /ha)
Nématodes (<i>Meloidogyne spp.</i>)	– Nodosités sur les racines – Mauvais développement de la plante – Dégâts parfois très sévères.	– rotation culturale – nématicide – furandane à raison de 20 kg/ha

(Source: CDH, 1984, 1987)

1.2. Stress et salinité

1.2.1. Salinité

1.2.1.1. Salinisation

La salinisation est un processus d'enrichissement du sol en sels solubles qui aboutit à la formation d'un sol salin (Keren, 2000 ; Levy, 2000 ; Brady et Weil, 2002 ; Essington, 2004). D'après François (2008), la salinisation est un phénomène par lequel un sol devient sursalé. Elle résulte le plus souvent de l'irrigation de sols mal drainés sous climat aride. La stagnation de l'eau dans les couches superficielles du sol par défaut de drainage se traduit par une accumulation de sels dans les horizons les plus superficiels, car les mouvements ascendants, liés à la forte évaporation due au climat chaud et aride, excèdent de beaucoup l'infiltration et donc le lessivage (figure 2). Selon Mermoud (2001), ce phénomène d'accumulation des sels solubles (en particulier le sodium) à la surface du sol et dans la zone racinaire, occasionne des effets nocifs sur les végétaux qui vont induire une diminution des rendements et une stérilisation du sol.

La salinisation des sols est un processus anthropogénique, alors que la salinité du sol est un élément naturel et un facteur écologique constitué par la teneur en sel (5‰ NaCl) des eaux ou des sols (François, 2008). La salinité découle de la présence de solutés majeurs dissouts dans les eaux ou dans les sols. C'est la mesure de la totalité des sels dissouts, (Slama, 2004). C'est un facteur limitant pour de nombreux écosystèmes. L'excès de sel dans les sols empêche le développement d'une végétation normale, seules quelques plantes halophiles pouvant y croître.

La salinisation des terres est un problème majeur à l'échelle du globe. Selon les estimations récentes, elle a déjà affecté au moins 400 millions d'ha et en menace gravement une surface équivalente (Baatour *et al.*, 2004 ; IRD, 2008). Le monde perd en moyenne 10 hectares de terres cultivables par minute dont 3 ha (plus de 1,5 Mha par an) à cause de la salinisation (Kovda, 1983). En Afrique, près de 40 Mha sont affectés par la salinisation, soit près de 2% de la surface totale. Au Sénégal, sur les 3,8 M ha cultivables, plus de 1,23 M ha sont affectés par la salinisation (MEPN, 2005).

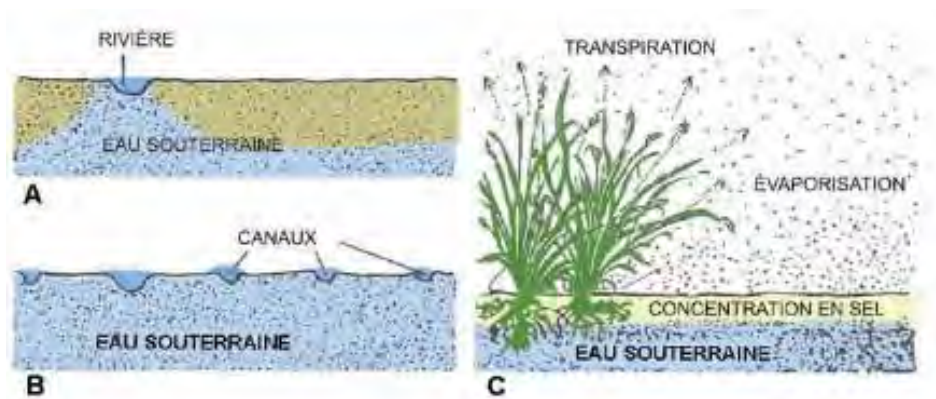


Figure 2. Le mécanisme du phénomène de salinisation des sols (François, 2008)

A: Irrigation

B: Stagnation de l'eau dans les sols due au manque de drainage

C: Accumulation des sels en surface suite à l'évaporation

1.2.1.2. Origine de la salinité

Bien que l'altération des roches et les minéraux primaires soit la principale source de tous les sels, les sols salés sont rarement formés par accumulation de sels *in situ*. Plusieurs causes sont à l'origine de ce phénomène (Maillard, 2001).

▪ Salinisation primaire (ou naturelle)

La salinisation des terres est à 80% d'origine naturelle. On parle alors de salinisation "primaire" (Mashali *et al.*, 2005). Elle est liée purement au sol, où les sels solubles se forment essentiellement d'un processus d'altération des roches mères (Le Goupil, 1974) ou à des apports naturels externes (Mashali *et al.*, 2005). Ce type de sol est très fréquent dans les zones arides dû à une évapotranspiration potentielle du sol qui dépasse largement la quantité d'eau arrivée au sol (Antipolis, 2003).

▪ Salinisation secondaire (anthropique)

Les 20% des terres salinisées ont une origine "anthropique": on parle alors de salinisation "secondaire" (FAO, 2008). Cette dernière est le résultat des activités humaines modifiant l'équilibre hydrologique du sol entre l'eau appliquée (irrigation ou pluie) et l'eau utilisée par les cultures (transpiration). Les sols peuvent être affectés par une salinisation secondaire due principalement au défrichement et au remplacement de la végétation pérenne par les cultures annuelles (Antipolis, 2003), ainsi qu'à l'irrigation des terres avec une eau de mauvaise qualité (eau saline), un lessivage insuffisant et un drainage défaillant (Le Goupil, 1974). De même,

l'emploi des engrais d'une manière excessive et sans lessivage peut aggraver le problème de salinité. Exemple: emploi du KCl sur un sol à salure chlorurée. (Bakhti, 2005).

1.2.1.3. Genèse d'un sol salin et/ou sodique

La formation d'un sol salin ou sodique résulte généralement de l'accumulation des sels dans les horizons de surface (Churchman *et al.*, 1993 ; Naidu et Rengasamy, 1993 ; Sumner, 1993 ; Keren, 2000 ; Levy, 2000 ; Brady et Weil, 2002 ; Essington, 2004). Les paramètres les plus importants qui manifestent la genèse d'un sol salin (Tableau 4) sont le régime hydrique du sol, la forme des sels, les conditions climatiques et la texture des sols. Les sels les plus communs et présents dans le sol correspondent aux cations Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , et aux anions Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , NO_3^- . De même, les éléments traces tels que le bore, le sélénium, l'arsenic et le molybdène sont considérés comme d'autres sels moins courants et plus toxiques à faibles concentrations (Keren, 2000 ; Essington, 2004). De façon analogue à la formation d'un sol salin, un sol devient sodique lorsque la proportion d'ions Na^+ dépasse celle des autres électrolytes de plusieurs ordres de grandeur (Sumner, 1993 ; Levy, 2000 ; Essington, 2004). Cela dépend de la source de sels mais aussi des conditions physico-chimiques du sol.

D'après Bolt *et al.* (1978), la salinité se produit si:

$$\text{CEi} \times \text{Qi} > \text{CEd} \times \text{Qd}$$

CEi: conductivité électrique moyenne de l'eau d'irrigation.

Qi: quantité d'eau d'irrigation.

CEd: conductivité électrique moyenne de l'eau de drainage.

Qd: quantité d'eau de drainage

Tableau 4. Caractéristiques des sols salins (Maillard, 2001)

Caractéristiques	Sols salins
<i>Chimique</i>	Dominés par des sels solubles neutres: chlorure et sulfates de sodium, calcium et magnésium. pH de l'extrait de sol saturé généralement de moins de 8,2 (8,7 dans d'autres ouvrages) Une électro-conductivité (EC) de l'extrait de sol saturé de plus de 4 dS/m à 25 °C est en général la limite acceptée. Cependant le « Soil Science Society of America » établit une limite à 2 dS/m. Généralement pas de relation bien définie entre le pH de l'extrait de sol saturé et l'ESP ou le coefficient d'absorption du Sodium (Sodium Absorption Ration ou SAR) de l'extrait de sol saturé. Des quantités appréciables de composés calciques solubles peuvent s'y trouver (tel que le gypse)
<i>Physique</i>	En présence excessive de sels solubles neutres, la fraction est floculée et le sol est stable. La perméabilité à l'eau et à l'air de ces sols est généralement comparable à ceux des sols « normaux ».
<i>Effet sur la croissance des plantes</i>	La croissance des plantes est affectée par l'action des sels solubles sur la pression osmotique de la solution du sol entraînant une diminution de la disponibilité en eau. Toxicité des ions tels que Na, Cl, B, etc.
<i>Amélioration du sol</i>	L'amélioration des sols salins se fait par le lessivage des sels solubles dans la zone racinaire du sol. L'application d'amendements n'est généralement pas nécessaire

Tableau 5. Classes de la salinité des sols (Maillard, 2001)

Classes	Conductivité de l'extrait de sol saturé (dS/m)
<i>Non salins</i>	0-2
<i>Légèrement salins</i>	2-4
<i>Modérément salins</i>	4-8
<i>Fortement salins</i>	8-16
<i>Très fortement salins</i>	>16

1.2.1.4. Effets de la salinité sur les plantes

La salinité constitue l'un des facteurs abiotiques les plus répandus au niveau de la planète et qui limite fortement les rendements agricoles (Khales et Baaziz, 2006). L'effet de la salinité se manifeste généralement chez la plupart des plantes cultivées par un effet dépressif sur la croissance et le développement (Munns *et al.*, 1995). Cet effet néfaste se traduit par des changements morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires qui affecte négativement la croissance et la productivité végétale (Wang *et al.*, 2001 ; Ashraf et Harris, 2004).

▪ Effet de la salinité sur la germination et la levée

Selon Maillard (2001) et Abdelly (2006), la plupart des plantes sont plus sensibles à la salinité durant leurs phases de germination et de levée. L'effet de la salinité sur la germination des graines peut être partiellement osmotique ou dû à la toxicité des ions qui peut altérer le processus physiologique comme l'activité enzymatique (Croser *et al.*, 2001). La salinité ralentit la vitesse de germination, ce qui expose plus les semences aux risques (Slama, 2004). Il a été démontré que la salinité inhibe la germination par son effet osmotique (Karmous, 2007). Selon une étude menée par Askri *et al.* (2007), sur des graines de pastèque (*Citrullus latanus* L.), des concentrations de 50 et 100 mM de NaCl réduisent considérablement la vitesse et la capacité de germination de ces dernières.

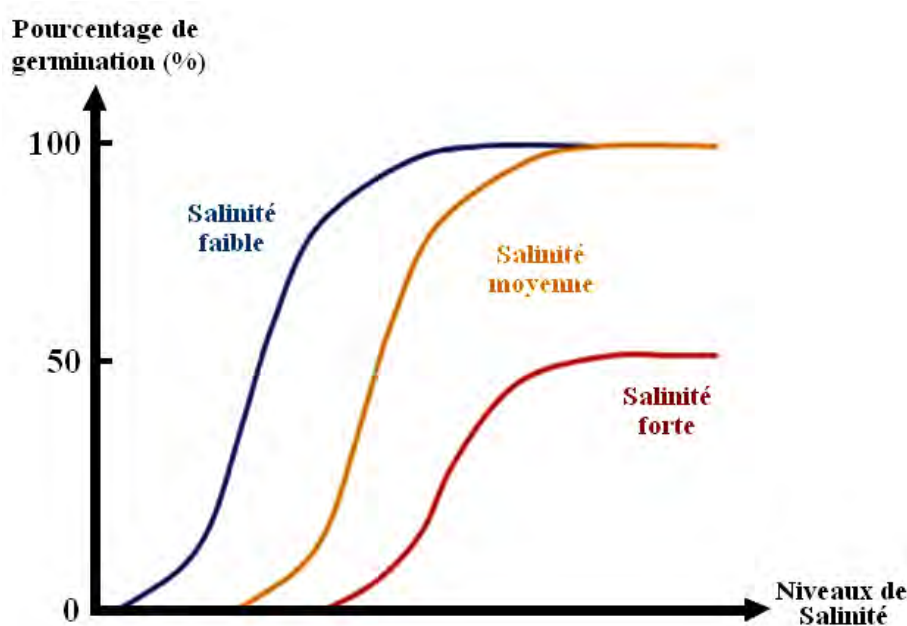


Figure 3. Diminution du pourcentage de germination avec l'augmentation de la salinité (Lauchli et Grattan, 2007)

▪ Effet de la salinité sur la croissance et le développement de la plante

Plusieurs recherches ont montré la réduction de croissance de plantes en raison du stress salin, chez la tomate (Romero-Aranda *et al.*, 2001), le coton (Meloni *et al.*, 2001) et la betterave à sucre (Ghoulam *et al.*, 2002). L'effet de la salinité s'exprime généralement, chez la plupart des plantes cultivées, par un effet dépressif sur la croissance et le développement (Munns *et al.*, 1995). Il se traduit souvent, d'après Läuchli et Epstein (1990), par une réduction de la croissance végétative, qui est fonction de la division et de l'élongation cellulaire. Selon Katerji *et al.* (2006), l'effet du sel se manifeste généralement par une réduction de la croissance en hauteur. Ceci est dû au fait que la plante utilise une proportion de ses ressources énergétiques pour la régulation osmotique et ionique nécessaire pour la turgescence cellulaire, donc moins d'énergie disponible pour les exigences de la plante (Shannon, 1984). La salinité affecte le développement de la plante en particulier la croissance des racines (Läuchli et Epstein, 1990). Il a été montré par Bayuelo *et al.* (2002) que la salinité augmente le rapport Partie Racinaire (PR)/Partie Aérienne (PA). En effet, les plantes maintiennent une croissance racinaire relativement importante sous forte contrainte saline, l'augmentation du rapport PR/PA semble être associée à une amélioration de leur tolérance au sel.

▪ Effet de la salinité sur la photosynthèse et les échanges gazeux

La salinité affecte l'activité physiologique de la feuille, et plus particulièrement la photosynthèse, qui présente la cause principale de la réduction de la productivité végétale (Alem *et al.*, 2002). D'après Munns et Tester (2008), la réduction de la photosynthèse est liée à la diminution du potentiel hydrique foliaire, qui est à l'origine de la fermeture des stomates (Price et Hendry, 1991 ; Allen, 1995). Cette fermeture conduit à une réduction de la conductance stomatique (Orcutt et Nilsen, 2000). La diffusion du CO₂ à l'intérieur des stomates devient alors limitée et sa fixation au niveau des chloroplastes diminue (Graam et Boyer, 1990), par conséquent, la régénération du RuBP (Ribulose Biphosphate) devient limitée (Gimenez *et al.*, 1992). Le contrôle et la régulation stomatique font intervenir la turgescence cellulaire mais également des hormones telles que l'acide abscissique (ABA) (Zhang et Davies, 1989).

▪ Effet de la salinité sur la physiologie de la reproduction

Selon Hu *et al.* (2005) la salinité réduit le taux de croissance de la plante et ses organes reproducteurs. D'après les études de Khan et Abdullah (2003), le nombre de pollen dans deux différents types de cultivars de blé a été réduit de 24 à 37%. L'effet de l'accumulation du sel dans le méristème du blé sur la reproduction et le développement a été étudié par Munns et

Rawson (1999). Ils ont constaté que les courtes périodes de stress salin pendant l'organogenèse peuvent avoir des conséquences irréversibles sur la fertilité de l'épi de blé, En effet, elles provoquent l'avortement des ovaires.

- **Effet de la salinité sur le rendement agronomique**

Munns et Rawson (1999) ont montré que tous les paramètres de rendement subissent une réduction sous l'action de la salinité et que, plus la salinité est élevée plus le rendement est réduit.

1.2.1.5. Tolérance des plantes à la salinité

La tolérance au sel a été définie comme étant la capacité d'une plante à s'adapter durant son cycle de vie sur un substrat à fortes concentrations de sel soluble. Toutes les plantes ne réagissent pas de la même manière aux contraintes salines. Munns et Tester (2008) ont établi les limites de tolérance à la salinité des espèces d'intérêt agronomique. Leur classification est effectuée selon le taux de réduction du rendement sous l'effet du sel à diverses concentrations mesurées en mM (Figure 4).

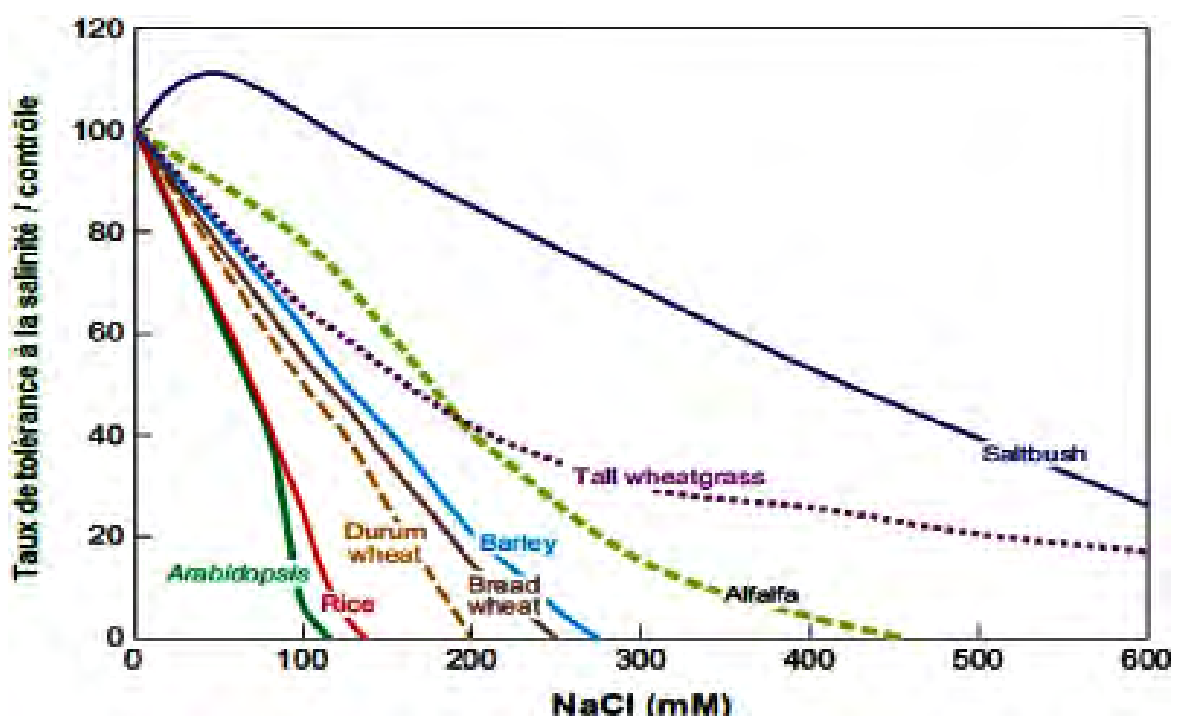


Figure 4. Classification des plantes selon leur niveau de tolérance à la salinité en fonction de la concentration en sel (Munns et Tester, 2008)

La classification révèle deux groupes : les halophytes et les glycophytes.

– Les halophytes

Les halophytes sont, selon Tester et Davenport (2008), des plantes capables de se développer et de croître sous un régime salin de 300 mM de NaCl. Flowers et Läuchli (1983) définissent les halophytes comme des plantes d'environnement salin dont le rapport K/Na tend à être plus bas, et la concentration ionique globale plus élevée que chez les glycophytes.

Levigneron *et al.* (1995), classent les halophytes en deux catégories:

- Les plantes de type *include* (inclusif):

Le sel montant est piégé et stocké dans les cellules des parties aériennes, plus particulièrement dans leur vacuole grâce à des systèmes de "pompes" moléculaires (Levigneron *et al.*, 1995 ; Levitt, 1980). A l'échelle de la plante entière, les ions chlorure et sodium entrent par les racines et sont véhiculés par la sève xylémique jusqu'aux tiges et aux feuilles là où ils sont stockés (Levigneron *et al.*, 1995).

- Les plantes de type *exclude* (exclusif):

Le sel véhiculé jusqu'aux feuilles, faute d'y être piégé, est réexporté vers les racines par le phloème. Les cellules racinaires assurent la protection des parties aériennes, en limitant la quantité de sodium transportée par le xylème capacité et stockent les ions Na⁺ et Cl⁻ dans la vacuole (Levigneron *et al.*, 1995).

– Les glycophytes

Les glycophytes sont définis comme des plantes d'environnement « doux » ou non salin, qui ont normalement un rapport K/Na élevé dans leurs feuilles (Flowers et Läuchli, 1983). Ils ne sont pas susceptibles de survivre dans des conditions salines. Cependant, ils utilisent certaines stratégies des halophytes pour faire face au sel (Yokoi *et al.*, 2002). Les glycophytes ont des comportements soit inclusifs ou exclusifs selon les génotypes (Chinnusamy *et al.*, 2005).

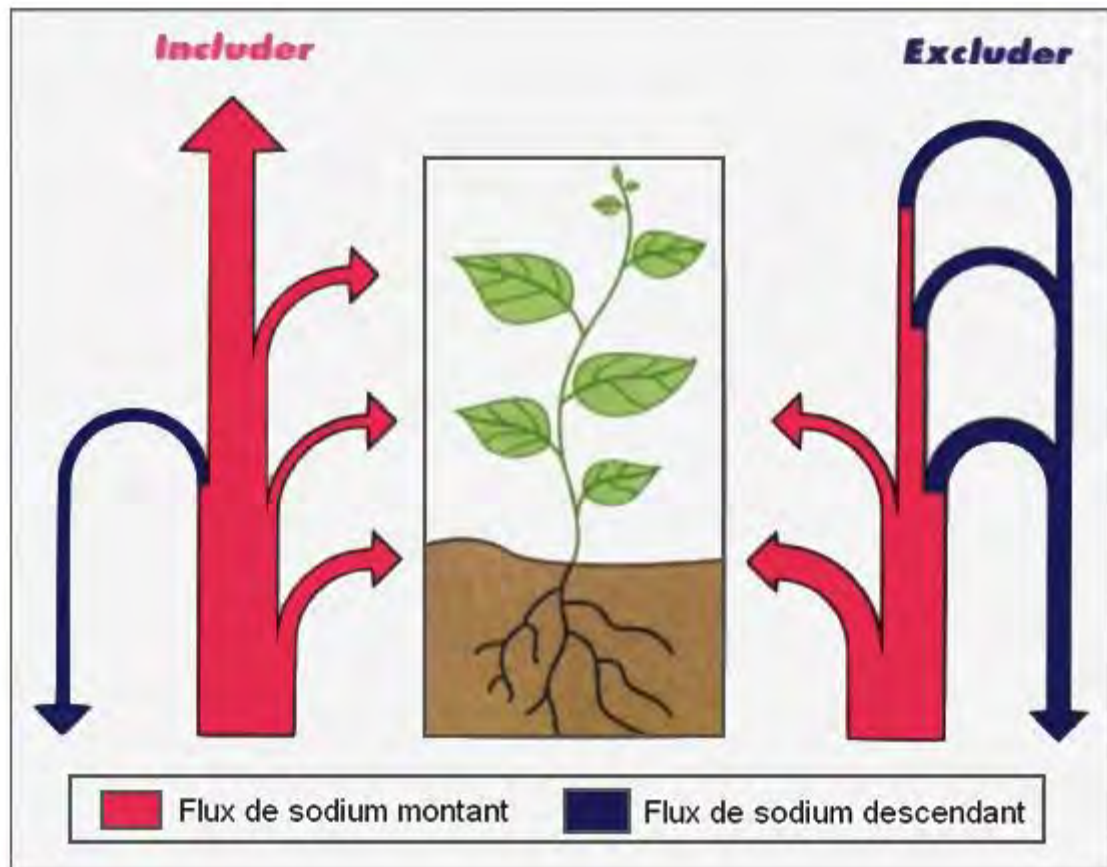


Figure 5. Schématisation du bilan de la circulation du sodium dans les plantes de type *include* (inclusif) ou *exclude* (exclusif) (Levigneron *et al.*, 1995)

1.2.1.6. Mécanismes de la tolérance des végétaux au stress salin

Les mécanismes de tolérance à la salinité s'effectuent à différents niveaux de la plante. Le contrôle se fait essentiellement dans les vacuoles (Niu *et al.*, 1995 ; Yeo, 1998 ; Horie et Schroeder, 2004) , à l'échelle de la plante entière, et éventuellement dans les organes les moins sensibles (Cheeseman, 1988 ; Munns, 1993).

Les mécanismes physiologiques de tolérance à la salinité de la plante entière dépendent de la capacité de celle-ci à contrôler l'absorption et le transport du sel à différents niveaux de la plante (Munns et Tester, 2008) (Figure 6).

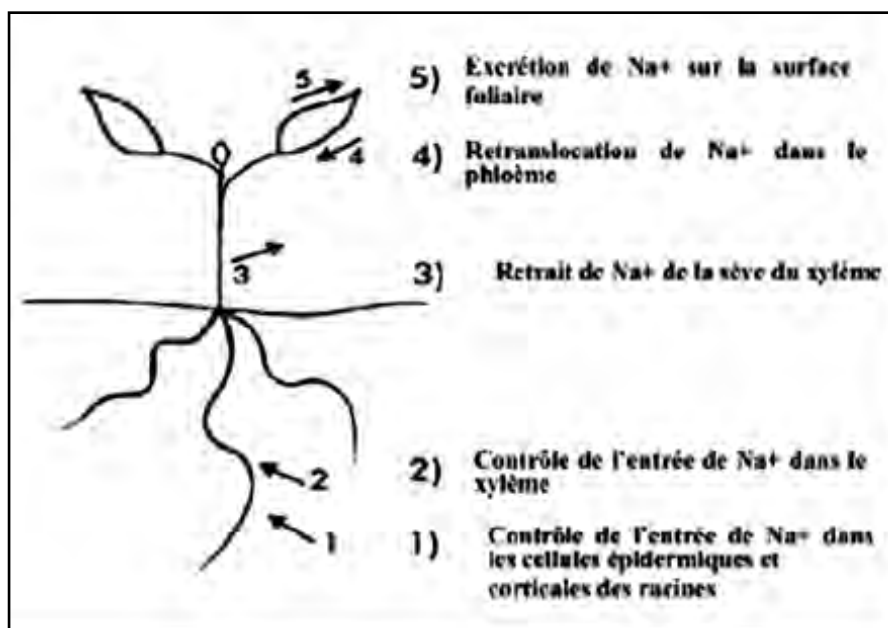


Figure 6. Les points de contrôle et de la régulation de transport du sel au niveau de la plante (Munns, 2002)

Il existe diverses stratégies de tolérance ou de résistance des plantes à la salinité, suivant la (ou les) composante(s) du stress salin qui domine (nt):

– L'exclusion des ions

La plante empêche le sel de remonter jusqu'aux feuilles. Une première barrière existe au niveau de l'endoderme, couche interne des cellules de la racine, ainsi que le transport sélectif permet d'absorber les ions nutritifs utiles et de ré-excréter les ions Na^+ (Genoux *et al.*, 1991). Cependant, cette barrière peut être interrompue, en particulier lors de l'émergence des ramifications de la racine. D'autres mécanismes limitent le passage du sel des racines vers les feuilles mais les gènes qui les gouvernent sont encore largement inconnus (Sentenac et Berthomieu, 2003).

– L'inclusion et la compartimentation des ions

L'inclusion et la compartimentation constituent la stratégie la plus efficace pour éviter la toxicité de Na^+ sur des sites métaboliques dans le cytoplasme (Jebnoune, 2008). En effet, le sel est utilisé par la plante pour l'ajustement de la pression osmotique de ses cellules. La plante capte le sel qui parvient aux feuilles au même titre que l'eau par le mouvement ascendant de la sève dans les vaisseaux. Le sel est alors stocké dans les vacuoles grâce à des systèmes de "pompes" moléculaires et il est ainsi isolé des constituants cellulaires vitaux (Sentenac et Berthomieu, 2003).

– La régulation de la croissance

L'effet commun des stress abiotiques sur la physiologie des plantes est la réduction de leur croissance (Zhu, 2001). Cette dernière varie considérablement en fonction du genre, de l'espèce et même de l'écotype ou de la variété (Epstein *et al.*, 1980 ; Cramer *et al.*, 1994). Selon Itai (1999), tous les stress provoquent une augmentation de la concentration en ABA dans la partie aérienne ou une réduction des concentrations en cytokinine. D'après Zhu en 2001, la réduction de la croissance est une capacité adaptative nécessaire à la survie d'une plante exposée à un stress abiotique. En effet, elle permet à la plante d'accumuler de l'énergie et des ressources pour limiter les effets du stress avant que le déséquilibre entre l'intérieur et l'extérieur de l'organisme n'augmente jusqu'à un seuil où les dommages sont irréversibles. Pour illustrer cette tendance, dans la nature, la croissance est inversement corrélée à la résistance au stress salin d'une espèce ou d'une variété (Zhu, 2001).

– L'ajustement osmotique

L'un des principaux caractères physiologiques de tolérance aux contraintes du milieu est l'ajustement osmotique qui joue un rôle primordial dans la résistance ou la tolérance de la plante à un stress (El Midaoui *et al.*, 2007). L'ajustement osmotique est favorisé par une augmentation de l'élasticité de la paroi des plantes et une réduction de la taille des cellules. L'ajustement osmotique permet d'abaisser le potentiel hydrique tout en maintenant la turgescence cellulaire par une accumulation active au niveau symplasmique de certains solutés, permettant une protection des membranes et des systèmes enzymatiques. Les végétaux sont capables de supporter le déficit hydrique engendré par le stress salin, en ajustant plus ou moins rapidement leur potentiel osmotique avec celui du milieu extérieur, de manière à maintenir un gradient de potentiel hydrique entre la plante et le milieu salin (Chinnusamy *et al.*, 2004). En effet, dans le cas d'un abaissement du potentiel hydrique, la tolérance à la salinité s'exprime par un maintien de la turgescence (Garg *et al.*, 2002 ; Moinuddin *et al.*, 2005). Ceci se fait grâce au phénomène d'ajustement osmotique qui apparaît aujourd'hui comme un mécanisme majeur d'adaptation aux stress ionique et osmotique. Ce phénomène s'exprime par la capacité d'un végétal à accumuler, au niveau symplasmique et de manière active, des ions tels que les K^+ (Parida et Das, 2005 ; Navarro et Rubio, 2006 ; Munns *et al.*, 2006 ; Teakle *et al.*, 2007), des nitrates (NO_3^-), des composés azotés tels que la choline, le ou la choline sulfate, le ou la glycine bêtaïne, la triméthyl-oxyméthylène β -alanine, le ou la triméthyl homosérine, des composés organiques à faible poids moléculaire tels que les sucres alcools solubles comme le

sorbitol, le mannitol et le pinitol (Ottow *et al.*, 2005), les acides organiques tels que l'acide malique, l'acide ascorbique et certains amino-acides comme la proline (Morant-Manceau *et al.*, 2004 ; Ayliffe *et al.*, 2005). Cependant, cette régulation, étant très variable selon les espèces, présente des limites (Läuchli et Epstein, 1990).

Les solutés organiques qui s'accumulent le plus souvent sous stress salin sont la proline et la glycine bêtaïne, bien que d'autres molécules peuvent s'accumuler à des degrés moindres (Hasegawa *et al.*, 2000). Les osmorégulateurs permettent une protection des membranes et des systèmes enzymatiques surtout dans les organes jeunes, et la proline semble jouer un rôle dans le maintien des pressions cytosol-vacuole et la régulation du pH (Ottow *et al.*, 2005). La proline permet aussi le maintien de nombreuses fonctions physiologiques (photosynthèse, transpiration, croissance, ...) (Grennan, 2006 ; Martinez *et al.*, 2007) et intervient à tous les stades du développement du végétal, (Malasses, 1996). De même des sucres solubles comme les sucres simples (glucose, fructose, ...), les sucres alcool (glycérol et inositol) et les sucres complexes (tréhalose, raffinose et fructane) ont été identifiés comme des composés impliqués dans l'ajustement osmotique (Yokoi *et al.*, 2002).

– Le contrôle membranaire

La tolérance au stress salin s'effectue également au niveau des membranes cellulaires (membrane plasmique, tonoplaste). Le contrôle des activités de transport membranaire apparaît comme un processus central assuré par des mécanismes très divers d'accumulation sélective de K^+ et d'exclusion de Na^+ (Barhoumi *et al.*, 2007 ; Blumwald, 2000 ; Blumwald *et al.*, 2000 ; Brini *et al.*, 2007 ; Glenn *et al.*, 1999). La modification qualitative et quantitative des aquaporines (protéines trans-membranaires) est par exemple un processus capable de modifier la conductivité hydrique de la plante et de favoriser la restriction des mouvements d'eau (Yeo, 1998). Dans la diffusion facilitée comme dans le transport actif, les protéines membranaires peuvent être très spécifiques de certains solutés. Néanmoins, plusieurs solutés peuvent entrer en compétition pour une même protéine de transport (Na^+ et K^+). D'un point de vue quantitative, la perméabilité membranaire au Na^+ ainsi que l'activité, la quantité, la sensibilité des antiports Na^+/H^+ membranaires évoluent pour s'adapter à un stress sodique à long terme (Niu *et al.*, 1995 ; Terman et Skerrett, 1999).

1.2.2. Stress

1.2.2.1. Stress biologique

Un stress biologique n'est pas facile à définir (Hopkins, 2003). Cependant en physique, le stress, défini comme étant une force exercée par unité de surface d'un objet, est fondamentalement un concept de mécanique. En réponse au stress, l'objet oppose une déformation. D'après Levitt (1972), la terminologie employée en physique peut et devrait être appliquée aux organismes vivants.

Selon Leclerc (1999), un stress biologique est le changement plus ou moins brusque par rapport aux conditions normales de la plante ou de l'animal, et la réaction sensible de l'individu dans les différents aspects de sa physiologie laquelle change sensiblement avec l'adaptation à la nouvelle situation à la limite de dégradation menant à une issue fatale. En effet, le stress correspond à un facteur externe (force externe) exerçant une influence désavantageuse (pression) sur la plante qui est mesurée par la survie, le rendement, l'accumulation de biomasse, la photosynthèse ou d'autres paramètres liés aux précédents et utilisés comme critères de jugement.

Les stress affectent la photosynthèse (Gilbert *et al.*, 2004) et donc entraîne une baisse du rendement (Xiong, 2002).

Les stress peuvent, de façon directe ou indirecte, affecter la physiologie de l'organisme en altérant son métabolisme, sa croissance et son développement (Marque, 2002). Par opposition aux animaux, les plantes sont immobiles et ne sont pas susceptibles de migrer lorsque les conditions de vie leur deviennent défavorables.

Naturellement, pour faire face aux agressions biotiques et abiotiques, les plantes doivent par conséquent s'adapter.

Diverses stratégies ont été développées par les plantes, souvent au détriment de leur croissance par des adaptations complexes en contrôlant et en ajustant leurs systèmes métaboliques (Levit, 1980 ; Munns, 2002 ; Hopkins, 2003).

1.2.2.2. Stress abiotiques

Les stress environnementaux (abiotiques), tels que la salinité des sols, la sécheresse, les températures extrêmes, le froid, le gel, les vents, l'excès d'eau et les radiations, sont tous des conditions qui affectent la croissance et le rendement des plantes (Wang *et al.*, 2001 ; Araus *et al.*, 2002 ; Hopkins, 2003).

Lorsqu'une plante subit un stress, il y a une perte importante d'eau au niveau des cellules (Lexer et Faym, 2005). Alors le stress engendre généralement une perturbation du potentiel hydrique compensée par une fermeture des stomates, suite à une perte de turgescence dans les cellules de garde ou une diminution de la pression osmotique cellulaire (Langridge *et al.*, 2006). Il dérègle aussi les flux ioniques chez les plantes (Atienza *et al.*, 2004 ; Langridge *et al.*, 2006).

1.2.2.3. Les composantes de la salinité

Les données classiques sur les effets de la salinité chez les plantes mettent en relief trois principales composantes par lesquelles la salinité affecte la croissance: le stress osmotique, le stress ionique, le stress nutritionnel et le stress oxydatif (Rodriguez *et al.*, 2005).

▪ Le stress osmotique

La première conséquence de la salinisation tient à la modification du potentiel osmotique de la solution du sol, lorsque la teneur en sels croît (Cheverry *et al.*, 1996). Plus la solution du sol devient salée, plus la pression osmotique est élevée, et plus il est difficile pour les racines d'extraire l'eau de la réserve du sol (Song *et al.*, 2005). Selon Munns *et al.*, 1983, l'effet du sel se manifeste généralement par une réduction de la croissance en hauteur. La concentration en sels, dépendant de la teneur en eau du sol, augmente avec le dessèchement. C'est la raison pour laquelle l'excès de sels affectant les plantes est atteint beaucoup plus rapidement dans un sol sableux que dans un sol argileux qui fait piéger les ions Na^+ via les charges négatives de l'argile (Chinnusamy *et al.*, 2005).

L'absorption de l'eau par les plantes s'effectue par osmose ; mais elle est conditionnée par la différence de potentiel hydrique entre la racine et le sol (Cramer et Bowman, 1993). Le potentiel hydrique et le potentiel osmotique des plantes deviennent de plus en plus négatifs avec l'augmentation de la salinité (Romero-Aranda *et al.*, 2001 ; Parida et Das, 2005).

▪ Le stress ionique

Lié à la composition en éléments du sol (carence ou toxicité en certains ions): un déficit en N, P, MO, Cu, Zn, Fe, B,... peut avoir d'importantes conséquences sur le développement des plantes. Un excès de minéraux Al, Na, Cl,... peut avoir des effets toxiques (Monneveux et This ,1997). L'accumulation des ions toxiques Na^+ et Cl^- , au niveau du mésophylle des feuilles, affecte la croissance et le métabolisme de la plante (Chinnusamy *et al.*, 2004). Le sel endommage les structures lipidiques et protéiques des membranes plasmiques (Pical *et al.*,

1999). Par conséquent, la présence de ces ions perturbe l'activité enzymatique cellulaire (Hasegawa *et al.*, 2000) principalement dans les tissus photosynthétiques (Bounaqba, 1998). D'après Chinnusamy *et al.*, (2005), la toxicité ionique peut être le résultat du remplacement de K^+ par Na^+ au niveau des sites actifs de protéines induisant aussi un changement des structures protéiques et enzymatiques.

▪ Le stress nutritionnel

D'après Snoussi et Halitim (1998), certains sels peuvent affecter la balance nutritionnelle chez les plantes s'ils sont présents en concentration excessive ou en proportion anormale. La présence de sels en excès dans le substrat de culture peut limiter la nutrition des plantes. Ce déséquilibre nutritionnel est une cause possible des réductions de croissance sur sel, lorsque des ions essentiels comme I^+ , Ca^{2+} ou NO_3^- deviennent limitants (Soltani *et al.*, 1990). Selon Haouala *et al.*, (2007), l'accumulation des ions Na^+ dans la plante limite l'absorption des cations indispensables tels que K^+ et Ca^{2+} . Dans certains cas le Na^+ peut suppléer le K^+ au niveau racinaire. Aussi, il y aurait une compétition entre Na^+ et Ca^{2+} pour les mêmes sites de fixation apoplasmique. La présence excessive d'ions sodique, chlorique et borique peut provoquer une augmentation du pH du sol, ce qui induit un effet indirect sur l'impossibilité d'absorption des ions ferreux, phosphate, zinc et manganèse indispensables à la croissance des plantes (Maillard, 2001). Selon Tester et Davenport (2003) et Jabnune (2008), les effets osmotiques du stress salin peuvent également limiter la croissance des racines, ce qui limite les possibilités d'absorption des éléments nutritifs du sol.

▪ Le stress oxydatif

Une des conséquences des stress environnementaux, incluant le stress salin, est l'apparition du stress oxydatif, dû à l'accumulation de peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), de l'ion superoxyde ou oxygène singulet (O^*) et des radicaux hydroxyles qui sont très réactifs à des concentrations élevées, ils endommagent les structures cellulaires (Parent *et al.*, 2008). Ces derniers sont à l'origine du dysfonctionnement de l'appareil photosynthétique et les autres troubles métaboliques. Ils sont habituellement générés par l'activité cellulaire normale avec de faibles concentrations, comme la photorespiration et la B-oxydation des acides gras (Yazici *et al.*, 2007). Parmi ces radicaux superoxydes que sont des peroxydes d'hydrogène, des radicaux hydroxyles, les anions superoxydes très réactifs provoqueraient une détérioration irréversible de l'appareil respiratoire, des membranes de la plante et la dégradation de l'auxine (Rahnama et Ebrahimzadeh, 2005).

La tolérance des plantes à la contrainte saline est fortement corrélée à leur capacité de synthèse des antioxydants nécessaires pour faire face au R.O.S et de maintien de leur concentration à faible niveau dans les cellules lors du stress (Reddy *et al.*, 2004).

De nombreux travaux montrent que des métabolites enzymatiques et non enzymatiques antioxydants tels que les superoxyde-dismutases (SOD), les ascorbate peroxydases (APX), les catalases (CAT), des glutathion-S-transférases (GST) et les glutathion-peroxydases (GPX) s'accumulent plus pendant le stress salin et ils tendent à détruire ces superoxydes (Sudhakar *et al.*, 2001). De même, la photorespiration pourrait contribuer à maintenir la teneur interne en oxygène du chloroplaste en deçà du seuil critique, particulièrement chez les plantes en état de stress, qui ferment habituellement leurs stomates.

1.3. Nutrition potassique

1.3.1. Fertilisation potassique et adaptation de la plante

En termes de nutrition minérale, la croissance de la plante n'est possible que si les besoins importants en azote et en potassium sont satisfaits. Les besoins en d'autres éléments minéraux sont faibles mais stricts (Lassoudière, 2007). Le potassium (K) joue un rôle majeur dans la régulation stomatique, la pression osmotique permet la circulation des produits de la photosynthèse de la source vers les zones stockage (puits). Le potassium est un cofacteur de biosynthèse des protéines impliquées dans la dégradation des membranes tels que des protéases qui enlèvent et recyclent des protéines dénaturées, les gènes LEA (Late Embryogenesis Abundant) qui codent les protéines qui protègent les membranes et d'autres molécules importantes (lipides), les superoxydes dismutases enzymes responsables de la destruction des radicaux libres (oxygène singulet, superoxydes d'hydrogène), des HSPs (Heat Shock Protein) qui protègent ou recyclent des protéines inactives, etc.. Il est fortement impliqué dans la formation, le mouvement et l'entreposage des sucres, de même que dans le métabolisme de l'azote. Ce cation exerce une grande influence sur les attributs de qualité des fruits. Il ressort clairement de nombreuses études qu'il existe une corrélation positive entre le potassium et le rendement, la taille, et le poids des fruits tels que le citron, les oranges douces, la goyave, et les pommes Fuji (Hunsche *et al.*, 2003 ; Lima *et al.*, 2008 ; Lester *et al.*, 2010 ; Yasin *et al.*, 2010 ; Quaggio, 2011). La fertilisation potassique assure le développement de fruits en quantité de poids et de taille commercialisable et apte au transport (Lassoudière, 2007). Une déficience en K^+ se caractérise notamment par des nécroses à la marge des feuilles âgées. Une carence en K^+ est associée à une diminution de la résistance à certaines maladies fongiques (CRAAQ, 2003).

Il intervient dans la synthèse des polyholosides à partir des oses. Ainsi son carence se manifeste également par une accumulation des oses.

L'absorption d'eau à travers les racines de la plante et son transport vers les autres organes dépendent fortement du potassium (K^+). C'est surtout grâce au K^+ et d'autres composés à effet « osmotique » tels que le sucre, que l'eau entre dans les cellules racinaires suivant le principe de l'osmose. Suivant le même principe, l'eau est ensuite conduite vers le xylème (Le potassium, 02.01.2021).

En raison de ses caractéristiques osmotiques, le potassium agit, dans les feuilles, sur l'ouverture et la fermeture des stomates et contribue donc au règlement de l'expulsion de la vapeur d'eau au niveau de l'atmosphère. La plante est refroidie par l'expulsion de la vapeur d'eau dans l'atmosphère (Le potassium, 02.01.2021).

1.3.2. Ratio K^+/Na^+ dans le mécanisme d'adaptation de la plante au stress salin

La salinité induit le stress osmotique, le déséquilibre ionique, la toxicité et la carence en éléments nutritifs préjudiciable pour la croissance des plantes (Parida et Das, 2005). Ce déséquilibre ionique et la toxicité sont dus à la substitution du potassium avec des ions sodium dans les réactions chimiques (Zhu, 2002). De plus, l'augmentation de NaCl diminue l'absorption du potassium et du calcium et interfère avec leurs fonctions physiologiques (Zhu, 2002 ; Yoshida, 2002). Par contre, une forte concentration de potassium augmente le potentiel osmotique permettant une entrée d'eau à partir du milieu extérieur (Claussen *et al.*, 1997). En effet, Mansour (2003) et Zeng (2003) ont signalé que les génotypes de piment tolérants au sel sont capables de maintenir un rapport K^+/Na^+ élevé. Par conséquent, la capacité des génotypes à maintenir des niveaux plus élevés de K^+ et de Ca^{2+} et de faibles niveaux de Na^+ dans les tissus est l'un des mécanismes clés contribuant à l'expression de la tolérance au sel. Autrement dit la capacité des plantes à soutenir un forte ratio K^+/Na^+ est l'attribut le plus important des mécanismes de tolérance au sel des plantes cultivées (Maathuis et Amtmann, 1999 ; Chen *et al.*, 2005 ; 2007; Akram *et al.*, 2010; Abbasi *et al.*, 2012).

II. MATERIEL ET METHODES

2.1. Site de l'expérimentation

L'expérimentation a été réalisée dans le jardin botanique de la Faculté des Sciences et Techniques (FST) de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD) (14° 41' Latitude Nord et 17° 28' Longitude Ouest). Le jardin botanique a une superficie de 3 ha et se situe à 5m au-dessus du niveau de la mer (Ndaw, 2019). Le climat est de type tropical sec à caractérisé par deux saisons: une saison sèche de novembre à juin et une saison des pluies plus courte de juillet à octobre (Fao au Sénégal, 02.01.2021).

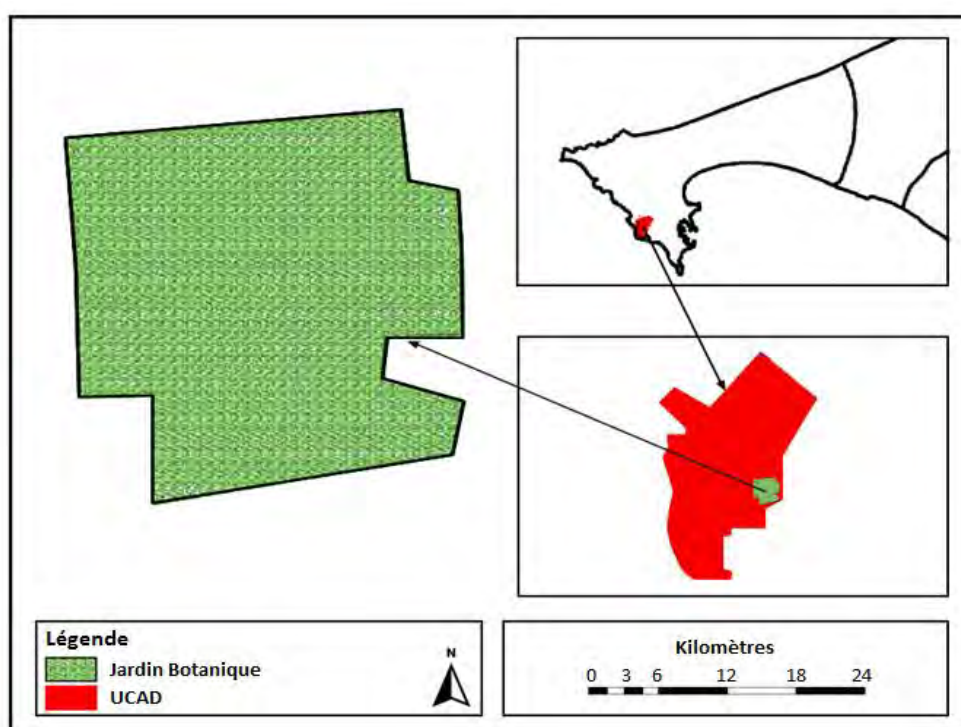


Figure 7. Localisation de jardin botanique FST/UCAD, Dakar (Ndaw, 2019)

2.2. Matériel végétal

Le matériel végétal qui a été utilisé dans cette étude est constitué de graines de gombo (*Abelmoschus esculentus* L., Malvaceae) de la variété Clemson Spineless. Cette variété la seule variété faisant l'objet d'une large diffusion par les sociétés de production de semences (Hamon et Charrier, 1997). Sa durée de cycle total de culture 110-120 jours et son rendement moyen obtenu en culture améliorée est de 8-10 tonnes par hectare (Tropiculture, 02.01.2021). La variété Clemson donne des plantes qui sont entièrement de couleur verte et atteignent en fin de cycle un peu plus de 1,5 mètre. Ses feuilles sont assez découpées. La longueur de ses fruits

mesurent environ 12 centimètres à maturité complète et présentent de 6 à 7 arêtes. Sa production débute environ 2 mois après semis (Hamon et Charrier, 1997).

2.3. Méthodes

L'essai a été conduit suivant un dispositif expérimental en Split-plot avec (2) facteurs étudiés. Le facteur principal est l'alimentation en eau avec deux (2) niveaux ou traitements principaux (S0: eau non salée de concentration 0 mmol/l de NaCl ; S1: eau salée de concentration 125 mmol/l de NaCl) et le facteur secondaire étudié est la nutrition potassique avec cinq (5) doses de K₂SO₄ ou sous-traitements (P0= 0 g ; P1= 3 g ; P2= 6 g ; P3= 9 g ; P4= 12 g), répétés trois fois afin de déterminer la dose optimale de potassium permettant au gombo de tolérer le stress salin. L'unité principale est constituée de 15 pots et la sous-unité expérimentale est constituée de 3 pots.

2.3.1. Conduite de culture

Le semis des graines de gombo de la variété Clemson Spineless a été réalisé dans des pots en plastique de forme conique (25 cm de diamètre supérieur, 18 cm de diamètre inférieur et 26 cm de profondeur). Ces pots ont été troués pour éviter l'asphyxie racinaire, et remplis de sol (13,5 kg/pot). C'est un sol dépourvu de matière organique et pauvre en éléments minéraux prélevé au niveau des dunes vives de la Niaye de Yeumbeul. Il est de couleur blanche et de texture sableuse d'où sa grande perméabilité (Diop, 2006). Après 24 h d'imbibition dans l'eau, 3 graines de gombos par poquet ont été semées. Le démariage a été effectué 21 JAS (Jours Après Semis), stade de 4 feuilles/plant, et seul un plant vigoureux a été retenu par pot. Un apport minéral d'engrais simples recommandé d'urée (1,74 g/pot) et de DSP [superphosphate double (3,2 g/pot)] a été apporté. Les différentes doses de K₂SO₄ (P0= 0 g ; P1= 1 g ; P2= 2 g ; P3= 3 g ; P4= 4 g) ont été apportées trois fois, à 23 JAS, à 36 JAS et à 48 JAS soient des doses totales de K₂SO₄ (P0= 0 g ; P1= 3 g ; P2= 6 g ; P3= 9 g ; P4= 12 g).

L'arrosage a été fait à l'eau courante à la capacité au champ à raison de 1 l/pot additionnée ou non de NaCl (S0= 0 mmol ; S1= 125 mmol). L'arrosage avec la solution saline a été démarré 24 JAS et terminé 77 JAS (entre stade végétatif et stade de floraison). L'entretien des plants a été fait régulièrement et un traitement insecticide et fongicide (2 bouchons de Tramectine et 2 cuillérées à soupe de Manczeb pour 10 l d'eau) a été appliqué contre les insectes piqueurs-suceurs et les champignons parasites.

S0: Traitement principal représenté par les pots sans stress salin (0 mmol/l): ces traitements principaux (S0) ont reçu de l'eau non salée jusqu'à la fin de l'essai ;

S1: Traitement principal représenté par les pots avec stress salin de 125 mmol/l soit 7,31 g de NaCl/l.

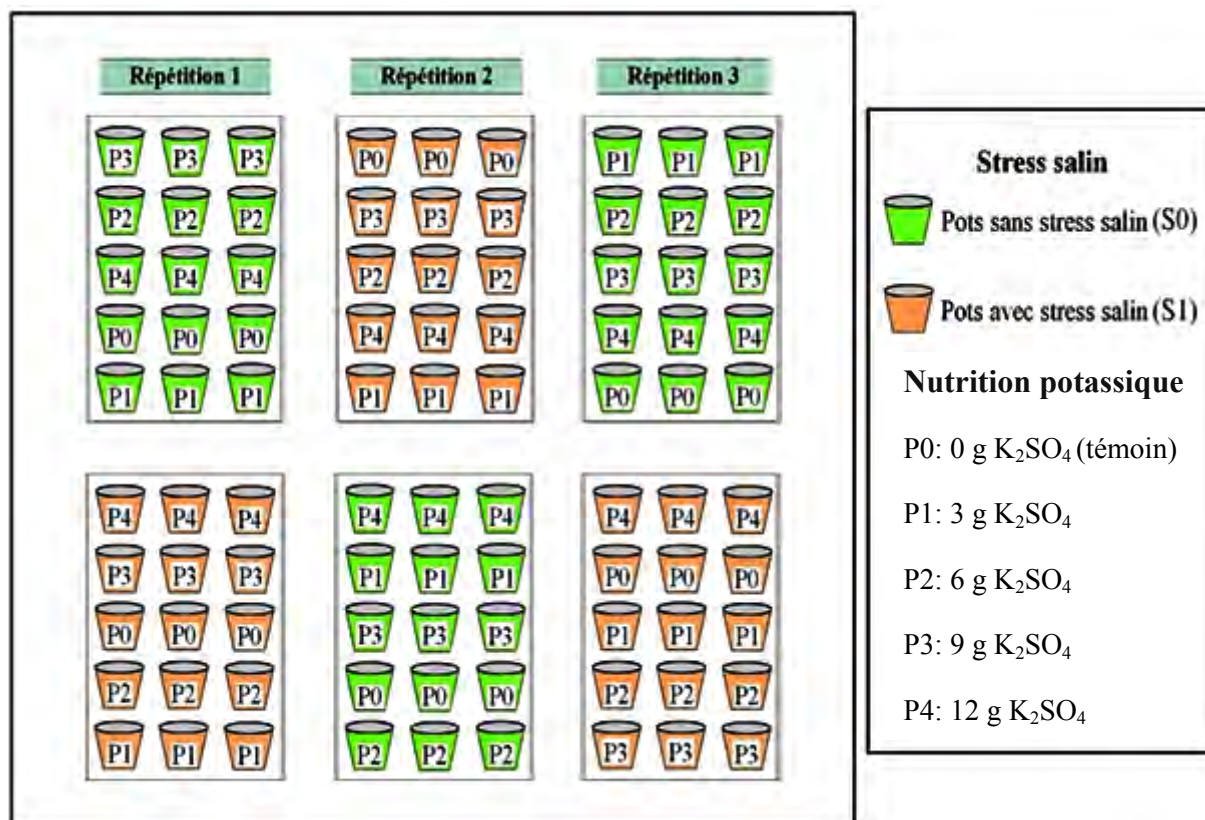


Figure 8. Plan de l'essai

2.3.3. Paramètres mesurés

Le tableau 6 montre le chronogramme et les méthodes de mesure des paramètres de croissance et de rendement.

Tableau 6. Périodes et méthodes d'évaluation des paramètres de croissance et de rendement

Paramètres	Méthodes	Périodes
Hauteur des plants (HP) (cm)	mesure avec une règle graduée	6 jours après chaque stress
Diamètre au collet des plants (DC) (cm)	mesure à l'aide d'un pied à coulisse	
Nombre de feuilles/plant (NF)	Comptage	
Nombre de ramifications/plant (NR)		
Longueur du fruit à maturité (LF) (cm)	mesure avec une règle graduée	récolte
Poids frais du fruit (PF) (g)	pesée à l'aide d'une balance de précision 0,001 g et de portée 620 g Sartorius	
Diamètre médian du fruit (DM) (cm)	mesure à l'aide d'un pied à coulisse	

En plus de ces paramètres, les **biomasses fraîche** et **sèche** ont été mesurées. Pour cela, le procédé suivant a été utilisé:

- Biomasse fraîche: La plante a été enlevée du pot. Les parties aérienne (feuilles et tiges) et racinaire ont été séparées. Les racines ont été lavées avec de l'eau distillée puis essuyées avec du papier buvard. Ensuite, la longueur de chaque partie (LPA et LPR) a été mesurée avec une règle graduée. Les deux parties (PPA et PPR) ont été séparément pesées à l'aide d'une balance de précision 0,001g et de portée 620 g Sartorius.
- Biomasse sèche: Après avoir pesé la biomasse fraîche, les deux parties ont été placées à l'étuve 70°C pendant 72 heures pour séchage. Les deux parties sèches (BSA et BSR) ont été pesées de la même manière que les biomasses fraîches avec la même balance de précision.

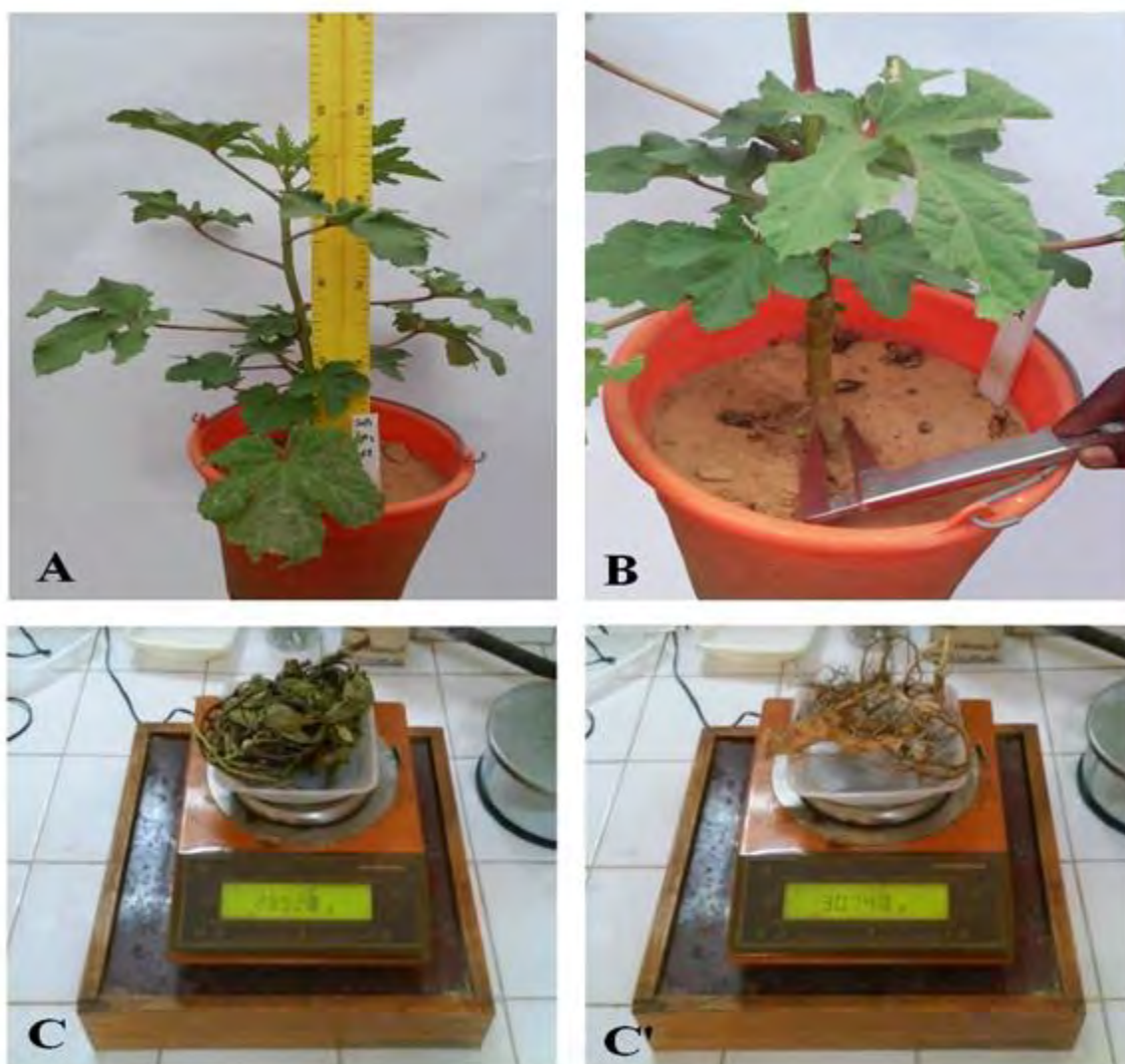


Planche 2. Mesure de quelques de paramètres du gombo (Crédit photo: Abdou Aziz GUEYE)

(**A:** Mesure de la hauteur ; **B:** Mesure du diamètre au collet ; **C** et **C'**: Mesure de la biomasse fraîche et de la biomasse sèche)

2.3.4. Analyses statistiques

Toutes les données ont été analysées à l'aide des logiciels R (version 3.1.2) et XLSTAT (version 18.1). L'analyse de la variance a été effectuée, et à chaque fois qu'il existe des différences significatives entre les traitements, les moyennes ont été séparées au moyen du test de Tukey au seuil de 5 % de probabilité.

III. RESULTATS

3.1. Influence du NaCl et du potassium sur la croissance du gombo

Les résultats statistiques ont montré que le potassium a un effet significatif ($p < 0,05$) sur la hauteur, le diamètre au collet et le nombre de ramifications des plants en condition non stressée (tableau 7). Cependant, il faut noter que le sel seul et l'interaction du sel et du potassium n'ont aucun effet significatif ($p > 0,05$) sur les paramètres de croissance.

Tableau 7. Test de significativité des effets du sel et du potassium sur les paramètres de croissance après 4 mois de culture

Facteurs	HP	DC	NF	NR
Sel	0,375	0,953	0,96	0,515
Potassium	0,009 **	0,019 *	0,094	0,01 *
Sel*Potassium	0,716	0,919	0,613	0,608

HP: Hauteur des Plants ; DC: Diamètre au Collet ; NF: Nombre de Feuilles ;
NR: Nombre de Ramification ; * : significatif ; ** : très significatif au seuil de 5% selon le test de Tukey.

3.1.1. Effet du NaCl sur les paramètres de croissance

L'effet du sel sur la hauteur des plants, le diamètre au collet, le nombre de feuilles et le nombre de ramifications des plants est reporté sur la figure 9. L'analyse statistique des résultats n'a révélé aucun effet significatif en ce qui concerne les paramètres de croissance au seuil de 5% après 4 mois de culture.

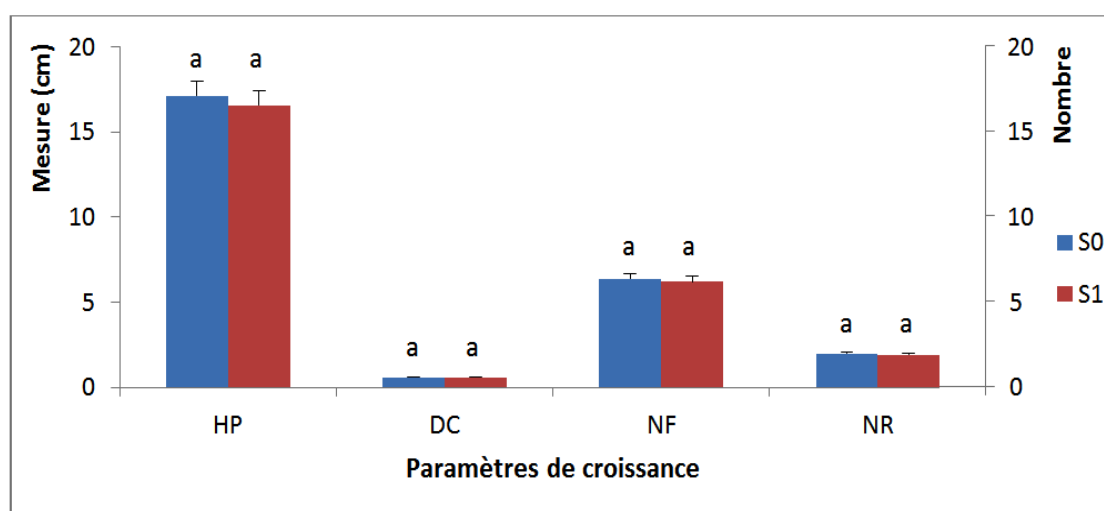


Figure 9. Effet du sel sur les paramètres de croissance
HP: Hauteur des Plants ; DC: Diamètre au Collet ; NF: Nombre de Feuilles ;
NR: Nombre de Ramification ; S0: eau non salée ; S1: eau salée

3.1.2. Effet du potassium sur les paramètres de croissance

L'effet individuel du potassium sur la hauteur, le diamètre au collet, le nombre de feuilles et le nombre de ramifications des plants après 4 mois de culture est représenté dans les figures 10, 11, 12 et 13.

– Sur la hauteur des plants

L'effet du potassium sur la hauteur des plants en condition non stressée est reporté sur la figure 10. Les résultats ont montré une différence significative entre le sous-traitement P1 et les sous-traitements P3 et P4. En effet, il a été noté une amélioration de manière significative de la hauteur des plants avec les sous-traitements P1 (21 cm) et P2 (19,62 cm) par rapport au témoin P0 (16,17 cm). En revanche, une faible croissance des plants a été notée pour les sous-traitements P3 (13,83 cm) et P4 (13,72 cm).

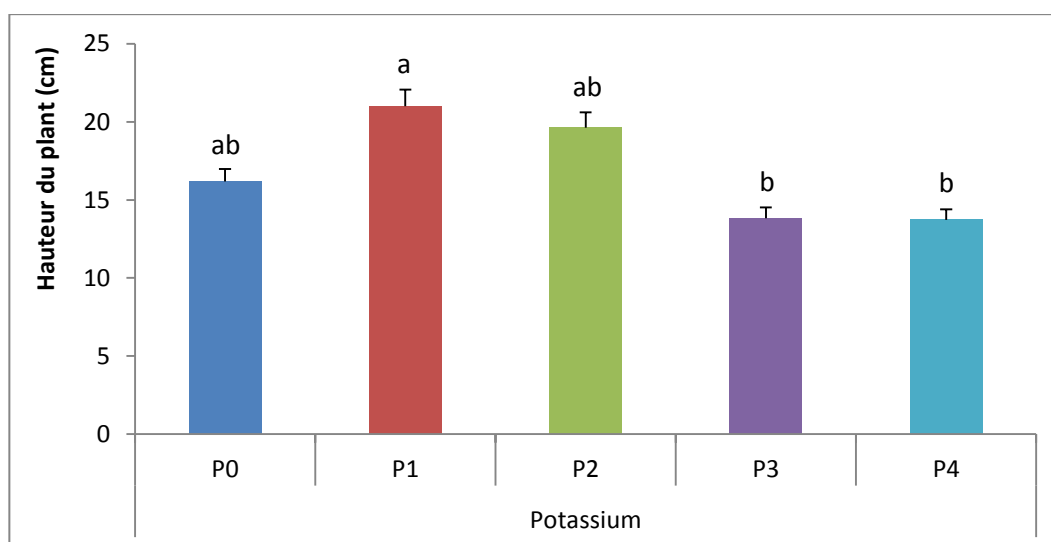


Figure 10. Effet du potassium sur la hauteur des plants de gombo

Doses de K_2SO_4 (P0= 0 g ; P1= 3 g ; P2= 6 g ; P3= 9 g ; P4= 12 g)

– Sur le diamètre au collet

L'effet du potassium sur le diamètre au collet est représenté sur la figure 11. Aucune différence significative n'a été notée entre les sous-traitements et le témoin. Cependant, les sous-traitements P1 et P4 sont significativement différents. Les résultats montrent également un plus grand diamètre avec le sous-traitement P1 (0,71 cm) tandis que le plus petit est donné par le sous-traitement P4 (0,48 cm).

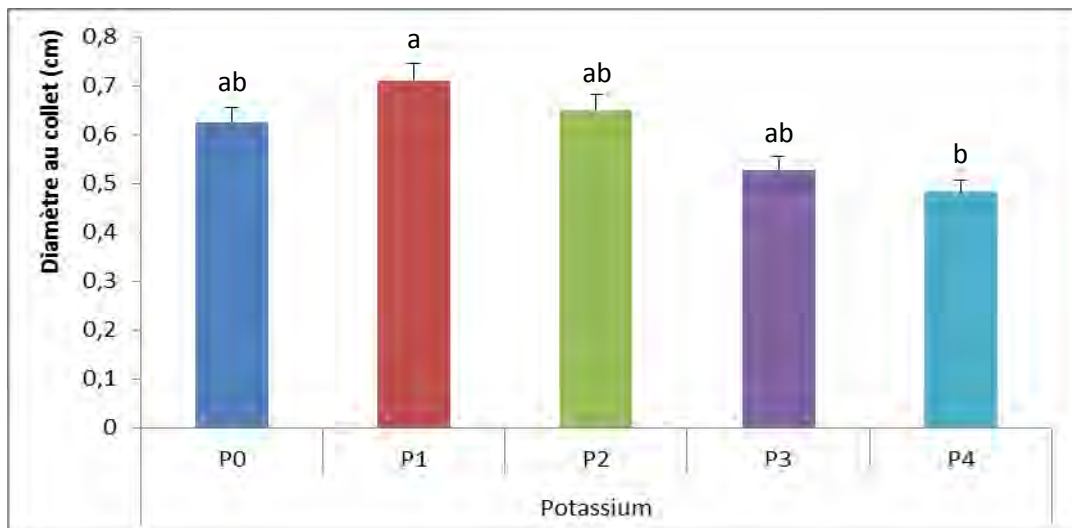


Figure 11. Effet du potassium sur le diamètre au collet des plants de gombo
Doses de K_2SO_4 (P0= 0 g ; P1= 3 g ; P2= 6 g ; P3= 9 g ; P4= 12 g)

– Sur le nombre de feuilles

L'effet du potassium sur le nombre de feuilles par plant en condition non stressée est représenté sur la figure 12. Les résultats n'ont montré aucune différence significative entre les différents sous-traitements. Cependant, le P1 (8 feuilles), P0 témoin et P2 (7 feuilles) ont présenté le plus grand nombre de feuilles contrairement au sous-traitement P4 (4 feuilles).

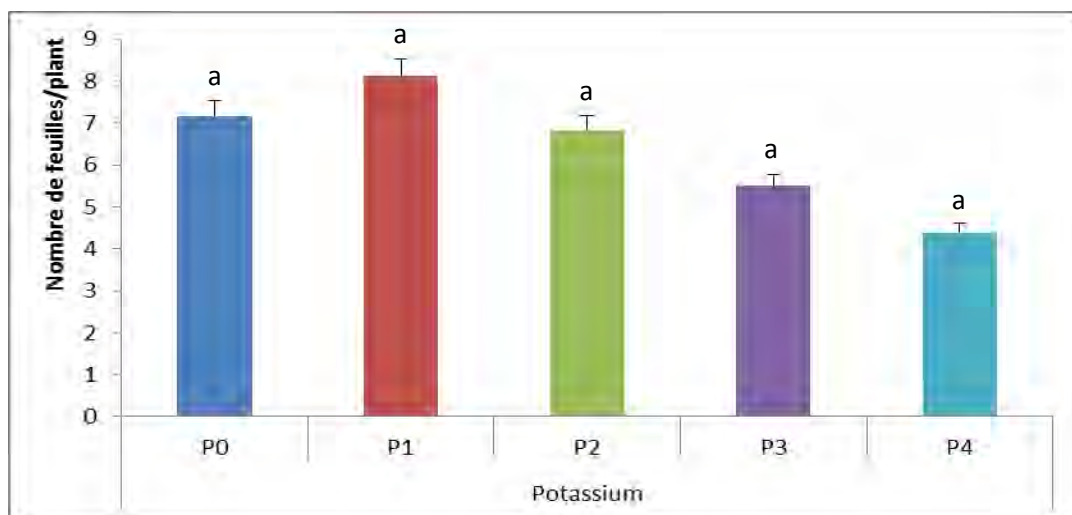


Figure 12. Effet du potassium sur le nombre de feuilles/plant de gombo
Doses de K_2SO_4 (P0= 0 g ; P1= 3 g ; P2= 6 g ; P3= 9 g ; P4= 12 g)

– Sur le nombre de ramifications

L'effet du potassium sur le nombre de ramifications/plant en condition non stressée est reporté sur la figure 13. Les résultats ont montré qu'il y a une différence significative entre le sous-traitement P1 et les sous-traitements P3 et P4. Le sous-traitement P1 a donné le plus grand nombre de ramifications/plant (3 ramifications) alors que le petit nombre est enregistré avec le sous-traitement P4 (1 ramification).

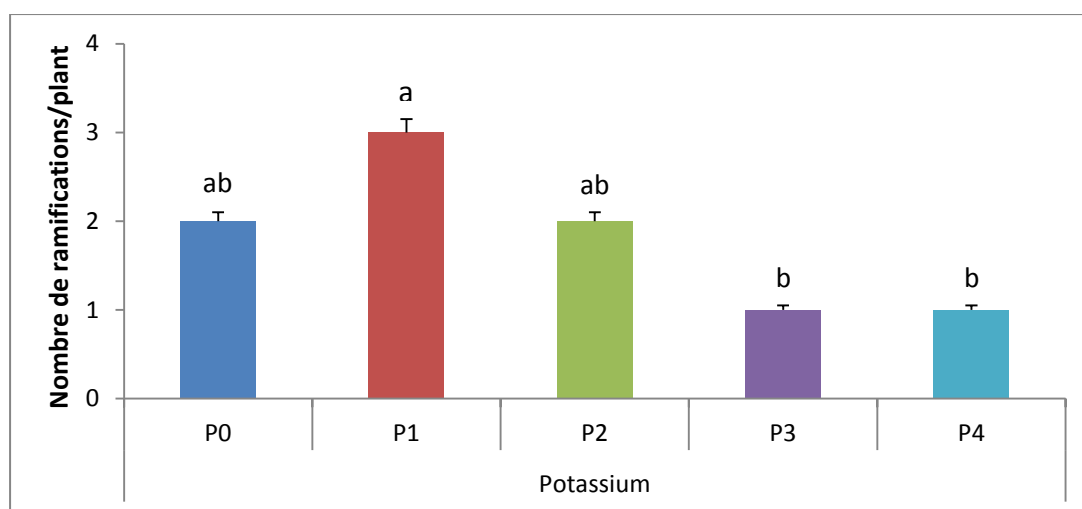


Figure 13. Effet du potassium sur le nombre de ramifications/plant de gombo
Doses de K_2SO_4 (P0= 0 g ; P1= 3 g ; P2= 6 g ; P3= 9 g ; P4= 12 g)

3.1.3. Effet de l'interaction du NaCl et du potassium sur les paramètres de croissance

L'effet combiné du sel et du potassium sur la hauteur, le diamètre au collet, le nombre de feuilles et le nombre de ramifications des plants, après 4 mois de culture, est reporté sur les figures 14, 15, 16 et 17.

– Sur la hauteur des plants

L'effet de l'interaction du sel et du potassium sur la hauteur des plants est représenté sur la figure 14. Le traitement principal S0 et le sous-traitement P2 (23,33 cm) et le traitement principal S0 et le sous-traitement P1 (22,24 cm) ont amélioré mieux la hauteur des plants contrairement au traitement principal S0 et le sous traitement P3 (13 cm) qui a enregistré la plus petite hauteur. Cependant, aucune différence significative n'a été notée entre les traitements principaux et les sous-traitements.

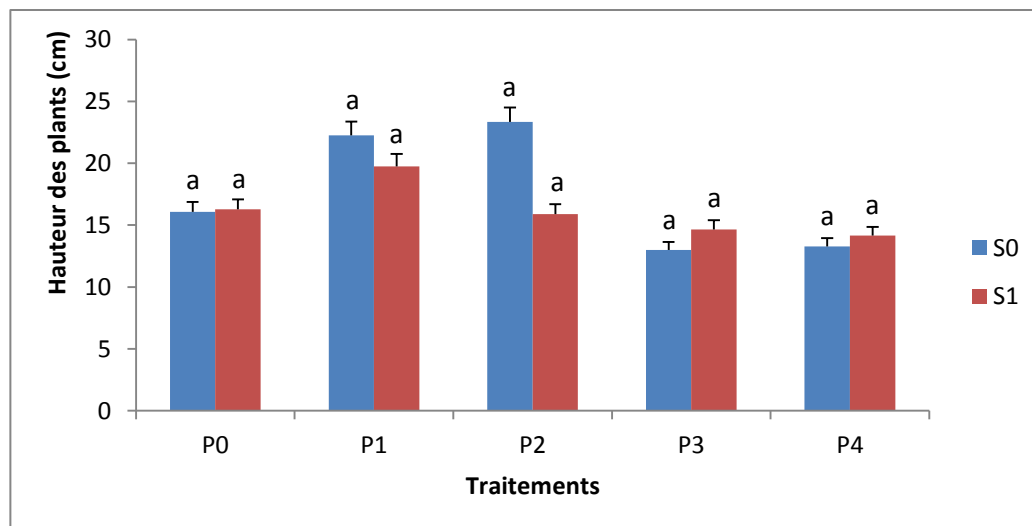


Figure 14. Effet de l'interaction du sel et du potassium sur la hauteur des plants de gombo

– Sur le diamètre au collet

L'effet combiné du sel et du potassium sur le diamètre au collet est représenté sur la figure 15. Il n'y a pas eu de différence significative entre les traitements principaux et les sous-traitements. Cependant, les plus grands diamètres au collet sont obtenus respectivement avec les S0 et P1 (0,74 cm), S1 et P1 (0,68 cm), S0 et P2 (0,67 cm) alors que le traitement principal S1 et le sous-traitement P4 ont donné le plus petit diamètre (soit 0,48 cm).

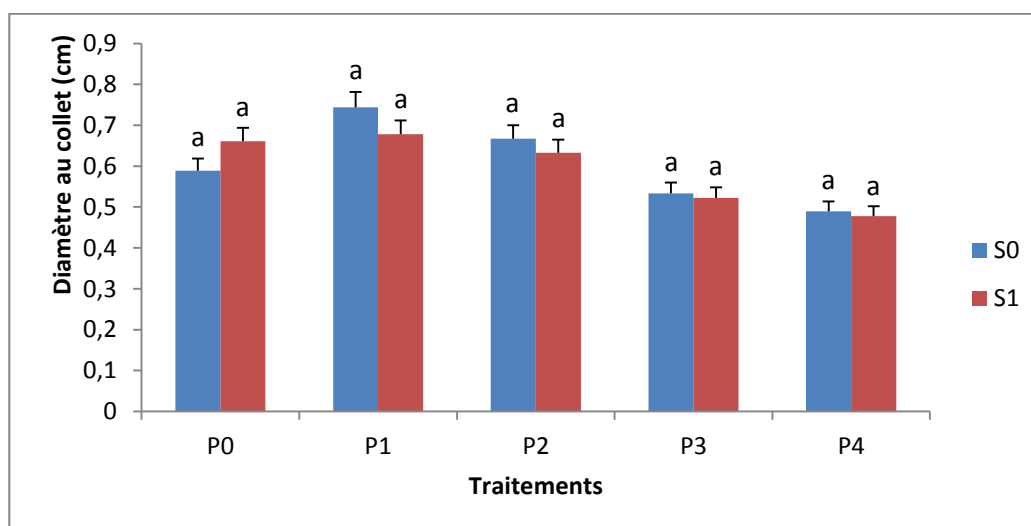


Figure 15. Effet de l'interaction du sel et du potassium sur le diamètre au collet des plants de gombo

– Sur le nombre de feuilles

La figure 16 nous présente l'effet de l'interaction du sel et du potassium sur le nombre de feuilles par plant. La réponse de l'interaction du sel et du potassium sur le nombre de feuilles par plant n'est pas significative. Néanmoins, S0 et P1 ont donné plus de feuilles (10 feuilles) contrairement à S1 et P4 qui ont donné moins de feuilles (5 feuilles).

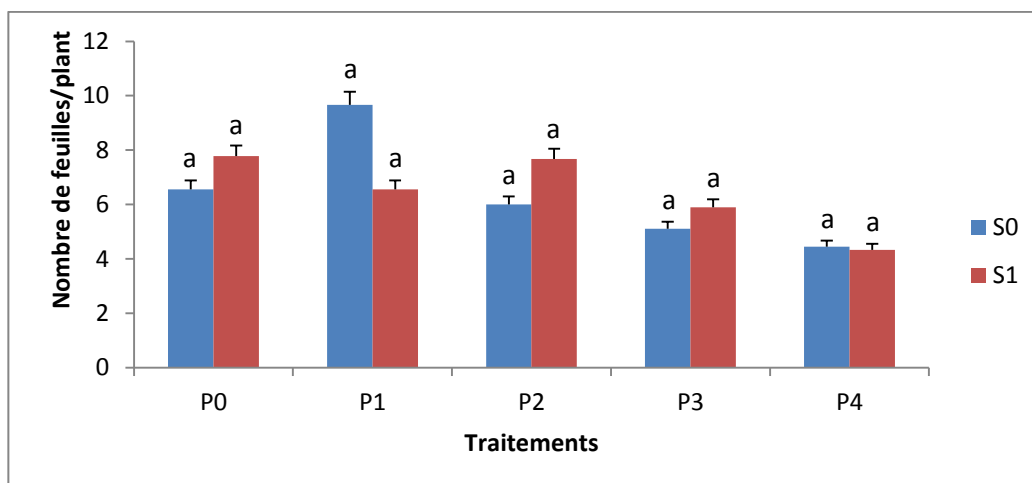


Figure 16. Effet de l'interaction du sel et du potassium sur le nombre de feuilles/plant

– Sur le nombre de ramifications

La figure 17 regroupe l'effet de l'interaction du sel et du potassium sur le nombre de ramifications par plant. Il n'y a pas eu de différence significative entre les traitements principaux et les sous-traitements. Par contre, les plus grands nombres de ramifications ont été obtenus avec les S0 et P1 et S1 et P2 (soit 3 ramifications) alors que les S0 et P4 et S1 et P4 ont enregistré moins de ramification (1 ramification).

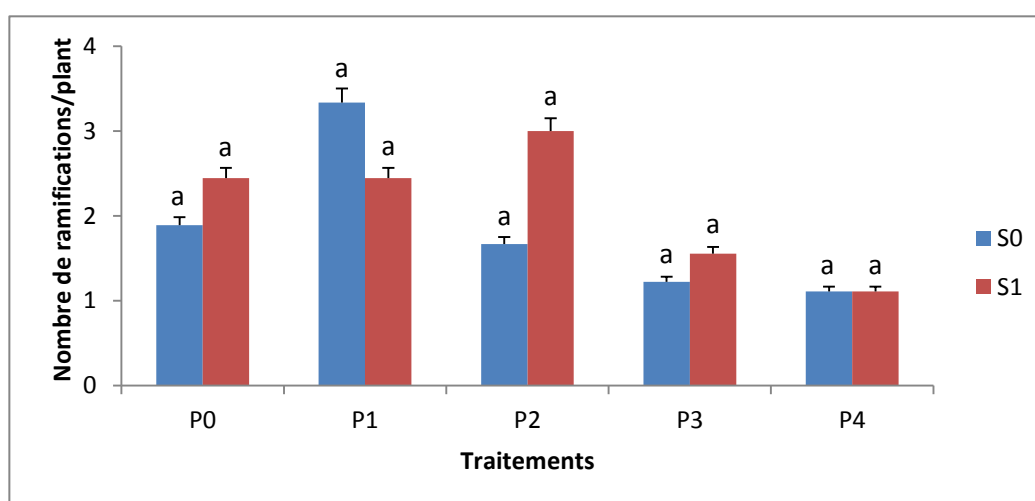


Figure 17. Effet de l'interaction du sel et du potassium sur le nombre de ramifications/plant

3.2. Influence du NaCl et du potassium sur la biomasse et le rendement et ses paramètres

3.2.1. Effet sur les biomasses fraîches (aérienne et racinaire)

Les résultats du test de significativité des effets du sel et du potassium sur les biomasses fraîches après 4 mois de culture sont reportés dans le tableau 8. L'analyse statistique a montré que l'interaction du sel et du potassium n'a pas un effet significatif ($p > 0,05$) sur les biomasses fraîches aérienne et racinaire. Par contre, le potassium a un effet significatif ($p < 0,05$) sur la longueur de la partie aérienne (biomasse aérienne) en condition non stressée.

Tableau 8. Test de significativité des effets du sel et du potassium sur les biomasses fraîches

Facteurs	LPA	LPR	PPA	PPR
Sel	0,95	0,52	0,218	0,355
Potassium	0,016 *	0,061	0,485	0,344
Sel*Potassium	0,72	0,391	0,623	0,608

LPA: Longueur Partie Aérienne ; LPR: Longueur Partie Racinaire ; PPA: Poids Partie Aérienne ; PPR: Poids Partie Racinaire. * : significatif au seuil de 5% selon le test de Tukey.

– Effet du sel sur les biomasses fraîches

La figure 18 nous présente l'effet du sel sur les biomasses fraîches. Il ressort de l'analyse que le sel diminue la longueur de la partie racinaire mais améliore le poids de la partie aérienne et celui de la partie racinaire.

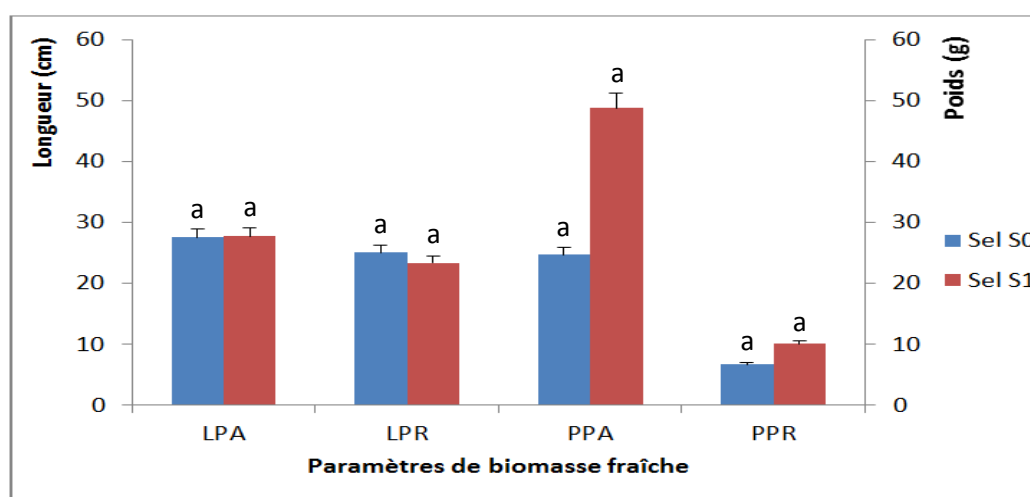


Figure 18. Effet du sel sur les biomasses fraîches des plants de gombo

LPA: Longueur Partie Aérienne ; LPR: Longueur Partie Racinaire ;

PPA: Poids Partie Aérienne ; PPR: Poids Partie Racinaire ; S0: eau non salée ; S1: eau salée

– Effet du potassium sur les biomasses fraîches

La figure 19 montre l'effet du potassium sur les biomasses fraîches en condition non stressée. Les résultats statistiques ont montré qu'il y'a une différence significative entre le sous-traitement P2 et les sous-traitements P3 et P4 pour la longueur de la partie aérienne. Les plus grandes longueurs sont obtenues respectivement avec les sous-traitements P2 (37 cm), P0 et P1 (29 cm).

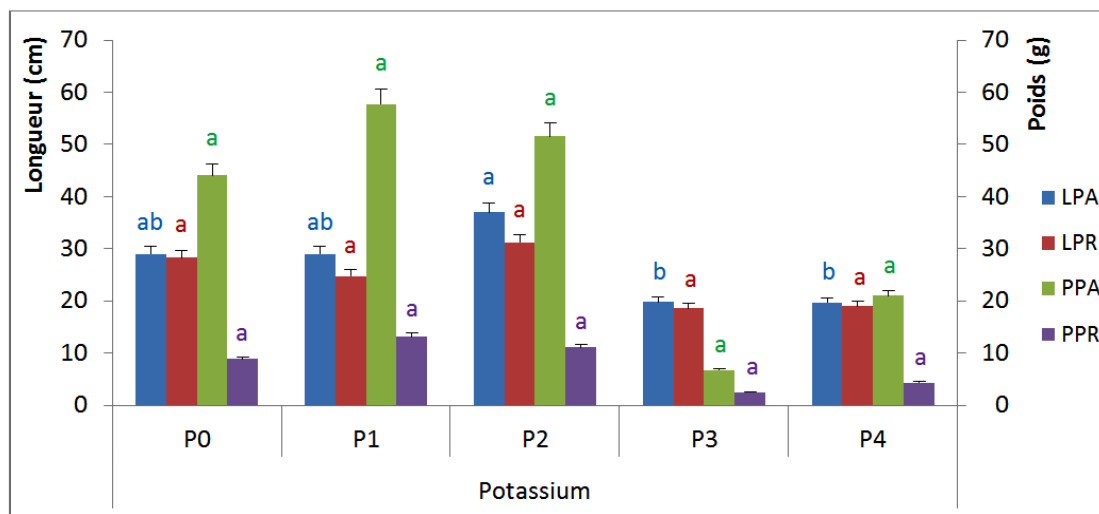


Figure 19. Effet du potassium sur les biomasses fraîches des plants de gombo

Doses de K_2SO_4 (P0= 0 g ; P1= 3 g ; P2= 6 g ; P3= 9 g ; P4= 12 g) ; LPA: Longueur Partie Aérienne ; LPR: Longueur Partie Racinaire ; PPA: Poids Partie Aérienne ; PPR: Poids Partie Racinaire.

– Effet de l'interaction du NaCl et du potassium sur les biomasses fraîches

La figure 20 nous révèle l'effet de l'interaction du sel et du potassium sur les biomasses fraîches. Statistiquement, l'analyse n'a montré aucune différence significative entre les traitements. Pour le poids de la partie aérienne, les meilleures valeurs sont obtenues avec les S1 et P1 (91,33 g), S1 et P0 (témoin) (68,48 g) et S1 et P2 (56,96 g). De même, les S1 et P1 (20,54 g), S1 et P0 (11,67 g) et S0 et P2 (11,05 g) ont obtenu les meilleurs poids de partie racinaire. Pour la longueur de la partie aérienne, les meilleures valeurs sont obtenues avec les S0 et P2 (41 cm), S1 et P2 (33 cm) et S1 et P0 (32 cm). Par ailleurs, les S0 et P2 (37,67 cm), S0 et P0 (témoin) (28,88 cm) et S0 et P1 (28,29) ont enregistré les plus grandes longueurs de partie racinaire.

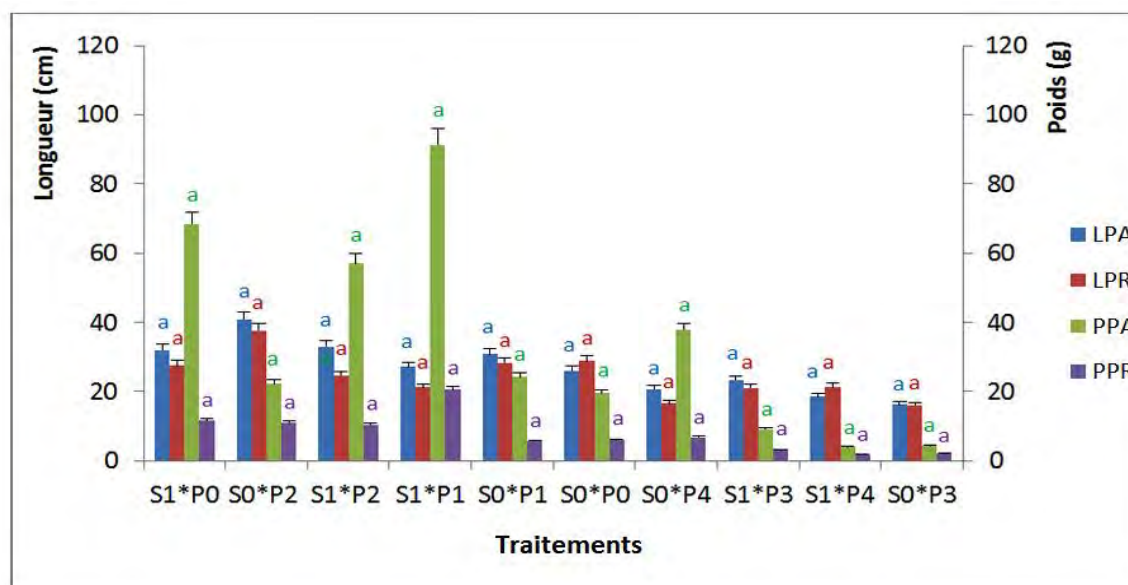


Figure 20. Effet de l'interaction du sel et du potassium sur les biomasses fraîches des plants

LPA: Longueur Partie Aérienne ; LPR: Longueur Partie Racinaire ;

PPA: Poids Partie Aérienne ; PPR: Poids Partie Racinaire

3.2.2. Effet sur les biomasses sèches (aérienne et racinaire)

Les résultats du test de significativité des effets du sel et du potassium sur les biomasses sèches après 4 mois de culture sont consignés dans le tableau 9. Il ressort de l'analyse que le potassium a un effet significatif sur les biomasses sèches aérienne et racinaire en condition non stressée. L'interaction du sel et du potassium a aussi un effet significatif sur la biomasse sèche aérienne ($p < 0,05$). Cependant, aucun effet significatif du sel n'est noté sur les biomasses sèches aérienne et racinaire ($p > 0,05$).

Tableau 9. Test de significativité des effets du sel et du potassium sur les biomasses sèches

Facteurs	BSA (g)	BSR (g)
Sel	0,06	0,104
Potassium	0,0142 *	0,0172 *
Sel-Potassium	0,0147 *	0,077

BSA: Biomasse Sèche Aérienne ; BSR: Biomasse Sèche Racinaire

* : significatif au seuil de 5% selon le test de Tukey.

– **Effet de l'interaction du NaCl et du potassium sur la biomasse sèche aérienne**

La figure 21 nous montre l'effet de l'interaction du sel et du potassium sur la biomasse sèche aérienne. L'analyse a montré qu'en considérant uniquement le potassium, les plus grandes biomasses sèches aériennes sont fournies respectivement par les S0 et P2 et S0 et P1. En ce qui concerne l'interaction du sel et du potassium, les plus grandes valeurs de biomasse sont obtenues avec S1 et P1 et S1 et P3.

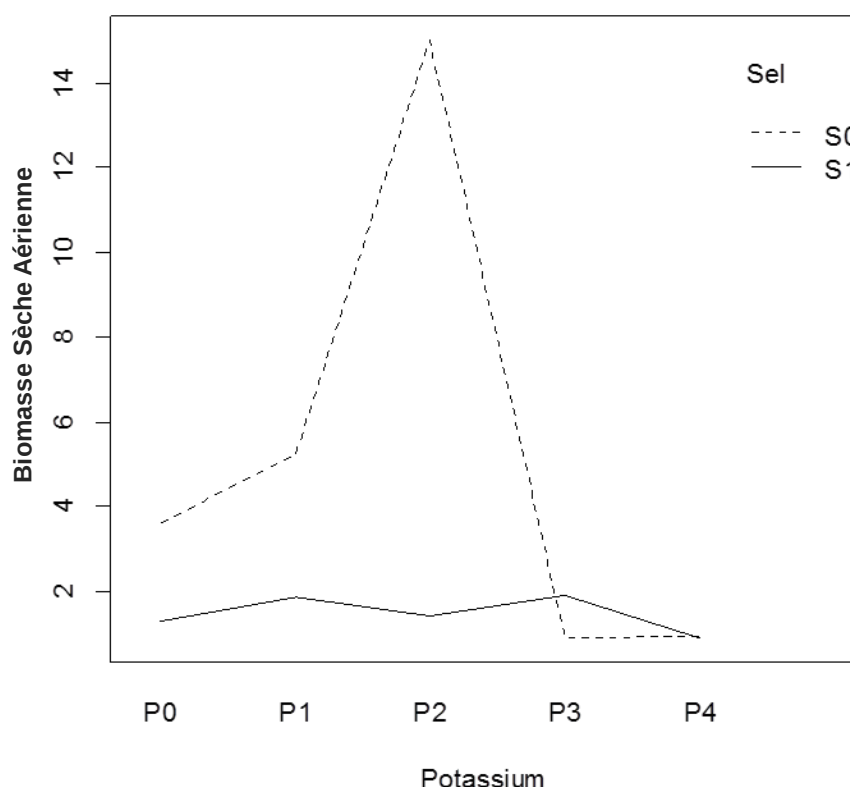


Figure 21. Effet de l'interaction du sel et du potassium sur la biomasse sèche aérienne en poids

Doses de K_2SO_4 (P0= 0 g ; P1= 3 g ; P2= 6 g ; P3= 9 g ; P4= 12 g) ; S0 : eau non salée ; S1 : eau salée

– **Effet de l'interaction du NaCl et du potassium sur la biomasse sèche racinaire**

L'effet de l'interaction du sel et du potassium sur la biomasse sèche racinaire est représenté sur la figure 22. Les résultats ont révélé qu'avec le potassium, les S0 et P2, S0 et P0 et S0 et P1 ont donné les meilleures biomasses fraîches racinaires. Mais suivant l'interaction du sel et du potassium, le traitement principal S1 et le sous-traitement P0 et de même que S1 et P2 ont donné les plus grandes valeurs.

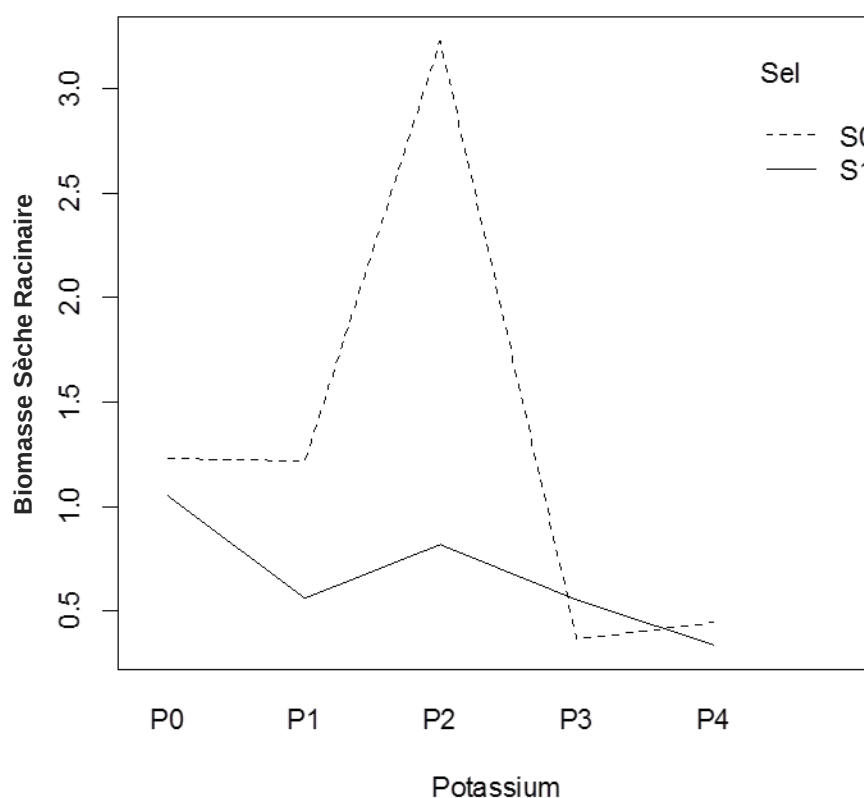


Figure 22. Effet de l'interaction du sel et du potassium sur la biomasse sèche racinaire en poids

Doses de K_2SO_4 (P0= 0 g ; P1= 3 g ; P2= 6 g ; P3= 9 g ; P4= 12 g) ; S0: eau non salée ; S1: eau salée

3.2.3. Influence sur le rendement et les caractéristiques du fruit

Les résultats du test de significativité des effets du sel et du potassium sur le rendement et ses paramètres, après 4 mois de culture, sont consignés dans le tableau 10. L'analyse a révélé que la réponse du potassium sur le poids et la longueur du fruit en condition non stressée est significative ($p < 0,05$) ainsi qu'en condition stressée.

Tableau 10. Test de significativité des effets du sel et du potassium sur le rendement et ses paramètres

Facteurs	PF (g)	LF (cm)	DM (cm)
Sel	0,16	0,151	0,412
Potassium	0,00332 **	0,00332 **	0,0521
Sel*Potassium	0,02691 *	0,02691 *	0,1358

PF: Poids frais Fruit ; LF: Longueur du Fruit ; DM: Diamètre Médian du Fruit

* : significatif ; ** : très significatif au seuil de 5% selon le test de Tukey.

Les figures 23 et 24 montrent respectivement l'influence du potassium sur le poids moyen du fruit en condition non stressée et en condition stressée. L'analyse a révélé que, l'effet quadratique de K sur le rendement en fruits est significatif, la dose optimale est l'abscisse qui annule la dérivée première de l'équation de la parabole.

Pour la condition non stressée, la dose optimale de potassium (K) est de 4,93 g/plant (Figure 23). En présence du sel, la dose optimale, solution des systèmes d'équations est: $K_{\max} = 5,13$ g/plant (Figure 24).

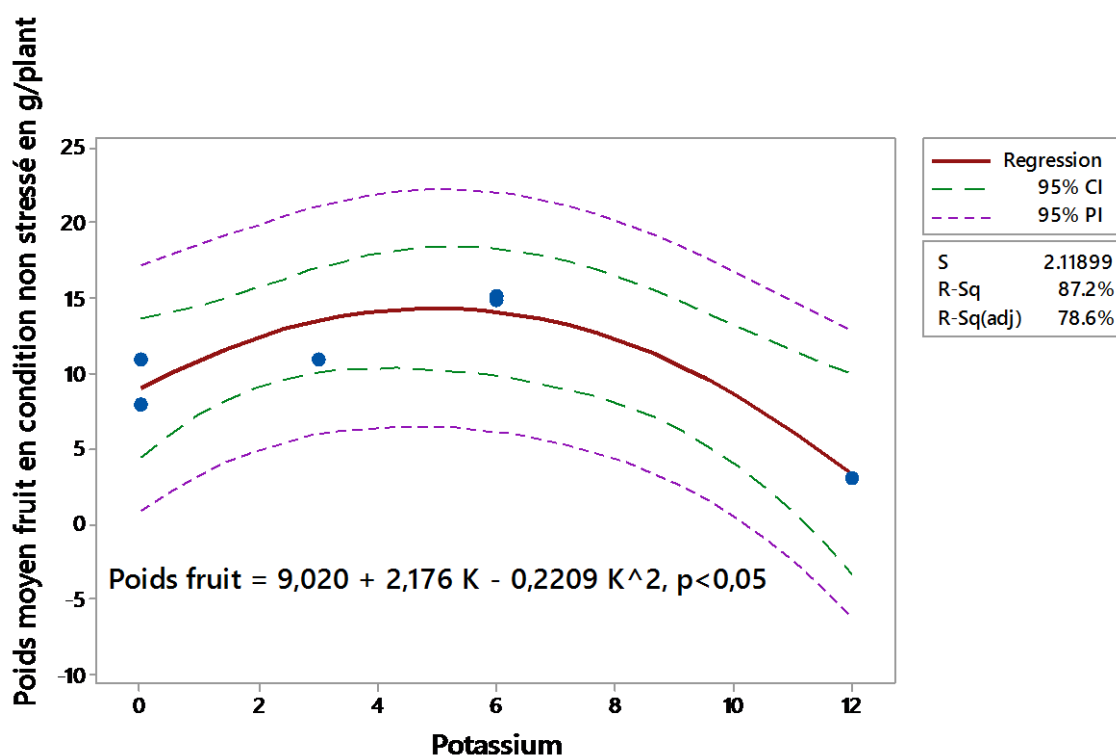


Figure 23. Influence du potassium sur le poids moyen du fruit en condition non stressée

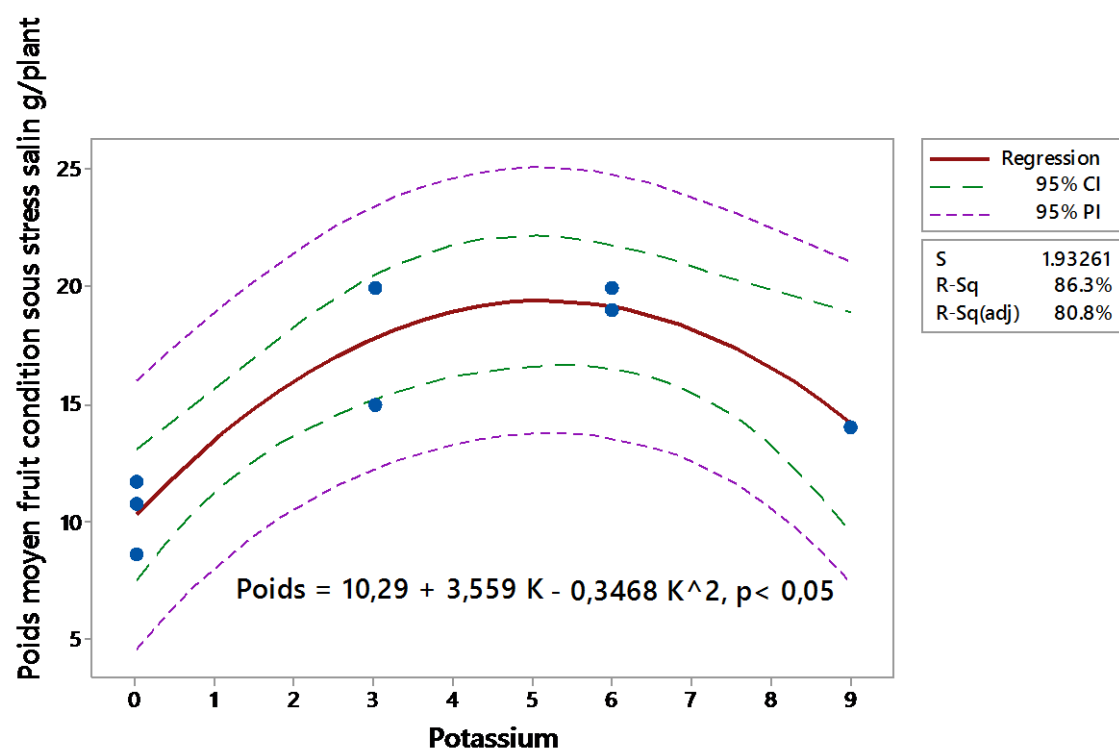


Figure 24. Influence du potassium sur le poids moyen du fruit en condition stressée

IV. DISCUSSION

Les données obtenues dans nos expériences indiquent des effets inverses du sel et du potassium sur les paramètres de croissance mesurés. Le potassium améliore significativement ces paramètres alors que le sel entraîne leur réduction même si la combinaison sel-potassium améliore la biomasse et le rendement.

4.1. Effet du potassium sur les plants de gombo

Les résultats de notre étude ont montré que l'application de potassium a amélioré significativement les paramètres de croissance du gombo. Le potassium renforce la photosynthèse et la biomasse aérienne. En effet, il augmente significativement l'activité de Rubisco, enzyme responsable de la photosynthèse permettant la fixation du dioxyde de carbone (CO₂) sur l'accepteur qui est le Ribulose Bi phosphate en initiant le cycle de Calvin, grâce à l'énergie solaire captée par la chlorophylle. Des résultats similaires à notre étude ont été rapportés par d'autres auteurs sur plusieurs espèces d'intérêt agronomique. Une application, à différentes doses de potassium sur des plants de pomme de terre, a révélé une augmentation significative des paramètres de croissance et de rendement (Zeleeuw *et al.*, 2016). Une étude récente de Dakshina Murthy *et al.* (2015) a également indiqué une efficacité du potassium sur le rendement des grains de riz. Par ailleurs, il a été rapporté que la nutrition à base de potassium aide le maïs à résister au déficit hydrique en empêchant la perte en eau entraînant une augmentation du rendement en grain (Martineau *et al.*, 2017).

4.2. Effet du NaCl sur les plants de gombo

La salinité est l'un des principaux stress abiotiques limitant la croissance et la productivité des plantes (Rasool *et al.*, 2013; Ly *et al.*, 2014; Soliman *et al.*, 2014 ; Hajlaoui *et al.* ; 2015). Les résultats obtenus ont montré une réduction des paramètres de croissance mesurés lorsque les plants de gombo sont soumis au stress salin. Cela pourrait s'expliquer par l'effet dépressif du sel sur la croissance et le développement (Munns *et al.*, 1995 ; Munns, 2002). L'effet de la salinité s'exprime généralement, chez la plupart des plantes cultivées. Plusieurs recherches ont montré que le stress salin réduit la croissance des plantes (tomate) (Romero-Aranda *et al.*, 2001). Des études faites sur le blé (Morant-Manceau *et al.*, 2004) et le maïs (Cui *et al.*, 2015, Hajlaoui *et al.* ; 2015) font ressortir des résultats similaires concernant la baisse des paramètres mesurés. Cette baisse se traduit souvent, d'après Läuchli et Epstein (1990), par une réduction de la croissance végétative, qui est fonction de la division et de l'élongation cellulaire.

Par ailleurs, les travaux de Parida et Das (2005) ont montré que la salinité induit le stress osmotique, le déséquilibre ionique, la toxicité et la carence en éléments nutritifs préjudiciable pour la croissance des plantes. En condition de stress salin, l'alimentation minérale de la plante est perturbée. En effet, les ions Na^+ perturbent l'absorption des cations K^+ et Ca^{2+} (Houala *et al.*, 2007). Selon Katerji *et al.* (2006), l'effet du sel se manifeste généralement par une réduction de la croissance en hauteur. Ceci serait dû au fait que la plante utilise une proportion de ses ressources énergétiques pour la régulation osmotique et ionique nécessaire pour la turgescence cellulaire, donc moins d'énergie disponible pour les exigences de la plante (Shannon, 1984).

Nos données indiquent également une diminution très significative du nombre de feuilles et de ramifications. Ces résultats sont similaires à ceux enregistrés dans le cas du bananier (Belfakih *et al.*, 2015). La salinité pourrait également réduire les teneurs en chlorophylle des feuilles. Cette réduction est peut-être liée à la sensibilité de sa biosynthèse au chlorure de sodium (Rohanipoor *et al.*, 2013). Or, la chlorophylle joue un rôle primordial dans le processus de photosynthèse. Il a été rapporté que la salinité a un effet dépressif par une réduction de la teneur en chlorophylle (Lepengue *et al.*, 2012 ; R'him *et al.*, 2013 ; Rohanipoor *et al.*, 2013). Sous un régime salin la chlorophylle a été considérablement réduite chez le "mung bean" (Saha *et al.*, 2010) et le canola (Baghizadeh *et al.*, 2014). En outre, la culture de plantes dans des conditions de solution saline est connue pour endommager le photosystème II (PSII) (Ashraf et Harris, 2004) et les enzymes photosynthétiques (Youssef et Awad, 2008). Le stress salin joue un rôle dans la diminution de l'activité de la chlorophyllase (Djanaguirama et Vara, 2013). Ce qui pourrait diminuer le taux d'assimilation du CO_2 dans les feuilles, et par conséquent, une inhibition de la photosynthèse (Fryer *et al.*, 1998).

4.3. Effet de la combinaison NaCl-potassium sur les plants de gombo

De même que le sel, la combinaison sel-potassium n'améliore pas la hauteur, le diamètre au collet, le nombre de feuilles et le nombre de ramifications des plants. Nos résultats sont discordants avec les travaux de Kaya *et al.* (2002) dans lesquels ils ont conclu que l'application du potassium (K) atténue les effets négatifs de la salinité sur la croissance des plantes et le développement physiologique chez les épinards et la laitue, en régulant le rapport K^+/Na^+ souhaitable, un bon indicateur de tolérance au sel (Zhu, 2003). En effet, la diminution des paramètres de croissance pourrait être liée aux perturbations des taux de régulateurs de croissance dans les tissus, particulièrement l'acide abscissique et les cytokinines induites par le sel (Fahad *et al.*, 2015). Dans tous les cas, cette réduction de la croissance est considérée comme une stratégie adaptative nécessaire à la survie des plantes exposées à la salinité (Daroui

et al., 2013). Ceci permet à la plante d'emmagasiner de l'énergie nécessaire pour faire face au stress afin de réduire les dommages irréversibles occasionnés, quand le seuil de la concentration létale est atteint (Benmahioul *et al.*, 2009).

Il a été également rapporté que la salinité supprime l'absorption des nutriments essentiels comme le phosphore et le potassium (Nasim *et al.*, 2008), et donc pourrait nuire à la croissance et à la vigueur des plantes. Prisco et Vieira (1976) ont signalé une diminution de l'absorption d'eau à la fois pendant la germination et la croissance de jeunes plants de riz en cas de stress salin. Cela s'est traduit par des changements physiologiques et biochimiques des plants de riz (Prisco *et al.*, 1981, Gomes et Sodek 1988).

Par contre, nos données ont aussi montré que la combinaison sel-potassium a un effet bénéfique pour le poids, la longueur du fruit et la biomasse sèche aérienne. Cet effet pourrait s'expliquer par le rôle majeur que joue le potassium dans la pression osmotique, impliquée dans le contrôle de la transpiration. Ce cation exerce une grande influence sur les attributs de qualité des fruits. Il ressort clairement de nombreuses études qu'il existe une corrélation positive entre le potassium et le rendement, la taille et le poids des fruits tels que le citron, les oranges douces, la goyave et les pommes Fuji (Hunsche *et al.*, 2003 ; Lima *et al.*, 2008 ; Lester *et al.*, 2010 ; Yasin *et al.*, 2010 ; Quaggio, 2011). Nos résultats sont similaires aux travaux de Lassoudière (2007) qui a montré que la fertilisation potassique améliore le développement de fruits en poids et en taille commercialisable et apte au transport.

Nos résultats ont également montré qu'en condition non stressée, la dose optimale de potassium pour un meilleur rendement en fruits est de 4,93 g/plant. La dose optimale de fertilisation potassique pour laquelle le gombo est tolérant au stress salin est de 5,13 g/plant. L'ajout de potassium peut améliorer le rapport K^+/Na^+ dans la cellule et aider à la tolérance des plantes. Tester et Davenport (2003) ont rapporté que l'une des principales caractéristiques de la tolérance au sel des plantes est la capacité des cellules végétales à maintenir un rapport K^+/Na^+ optimal.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Ce travail a pour objectif de contribuer à une meilleure connaissance de la réponse physiologique de la variété Clemson Spineless du gombo en condition de stress salin sous fertilisation potassique.

Nous avons soumis les plants de gombo à différentes concentrations de potassium, au sel et à une combinaison sel-potassium pour évaluer leurs effets sur les paramètres de croissance et de rendement de la spéculation.

Nos résultats ont montré un effet bénéfique du potassium sur la hauteur, le diamètre au collet, le nombre de ramifications, la longueur de la partie aérienne (biomasse fraîche aérienne), les biomasses sèches aérienne et racinaire, le poids et la longueur du fruit des plants en condition non stressée. La combinaison sel-potassium a augmenté la biomasse sèche aérienne et le rendement et ses paramètres tels que le poids et la longueur du fruit. Cependant, le sel et la combinaison sel-potassium n'ont pas amélioré les paramètres de croissance.

Par ailleurs, les résultats de la combinaison sel-potassium ont été analysées afin d'identifier la dose optimale pour laquelle le gombo est tolérant au stress salin. Cette dose correspond à 5,13 g/plant.

Ces résultats ainsi obtenus permettront de participer à la restauration des sols affectés par la salinité au Sénégal. Des études ultérieures au champ sont cependant nécessaires en vue de confirmer ces résultats.

En perspectives, plusieurs essais au champ seraient nécessaires pour confirmer nos résultats. Il serait intéressant d'envisager une étude sur l'effet combiné du sel et du potassium sur les paramètres physiologiques du gombo. Elle consistera à i) évaluer les teneurs en chlorophylle a et b pour mieux comprendre le fonctionnement de l'appareil photosynthétique et ii) déterminer les taux de proline afin d'analyser les mécanismes d'ajustement osmotique puisque ce « marqueur biochimique » sert à évaluer le degré de tolérance au stress salin et par conséquent peut être utilisé pour la sélection de variétés tolérantes au sel chez le gombo.

Il serait également important d'effectuer des enquêtes ethnobotaniques auprès des populations afin de déterminer les usages connexes du gombo outre qu'alimentaires en vue d'une valorisation durable.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abbasi, G. H., J. Akhtar, Haq M. A. et Ahmad N. (2012) – Screening of maize hybrids for salt tolerance at seedling stage under hydroponic condition. *Soil & Envir.*31: 83-90.

Abdelly C. (2006) – Caractérisation des halophytes pour le dessalement des sols salins et le traitement des eaux salines. Rapport d'activités 2007. Centre de biotechnologie à la technopole de Borj-Cedria, Tunisie, pp. 28-31.

Akram M., Ashraf M. Y., Ahmad R., Waraich E. A., Iqbal J. et Mohsan M. (2010) – Screening for salt tolerance in maize (*Zea mays* L.) hybrids at an early seedling stage. *Pak. J. Bot.*, 42: 141-154.

Alem C., Labhilili M., Brahimi K., Jlibene M., Nasrallah N., et Filali-Maltouf A. (2002) – Adaptations hydrique et photosynthétique du blé dur et du blé tendre au stress salin. *C. R. Biologies*, Vol. 325: 1097-1109.

Allen R. D. (1995) – Dissection of oxidative stress tolerance using transgenic plants. *Plant Physiol.* 107: 1049-1054.

ANSD (2013) – Recensement Général de la Population et de l'Habitat, de l'Agriculture et de l'Elevage. Etat et structure de la population: Rapport définitif, 70 p.

Antipolis S. (2003) – Les menaces sur les sols dans les pays méditerranéens. Les cahiers du plan bleu, Vol. 2: 44-49.

APG II (2003) – An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for orders and families of flowering plants: APG II. *Bot. J. Linn. Soc.* 141: 399-436.

Araus J. L., Slafer G. A., Reynolds M. P. et Royo C. (2002) – Plant breeding and drought in C-3 cereals : what should we breed for ? *Ann. Bot.* (89) 925-940.

Ashraf M. et Harris P. (2004) – Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Sci.*, 166: 3-6.

Askri M., Rajeb S., Jebari H., Nahdi H. et Rajeb M. N. (2007) – Effet du chlorure de sodium sur la germination des graines de 3 variétés de pastèque (*Citrullus lanatus*). *Sécheresse*, 18 (1), p. 5-51-55.

Ashraf M. et Harris P.J.C. (2004) – Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants, *Plant Science*, vol. 166, no 1, pp. 3-16.

Atienza S., Faccioli O., Perrota G., Dalfino G., Zschiesche W., Humbek K., Stanca A. M. et Cattivelli L. (2004) – Large scale analysis of transcripts abundance in barley subjected to several single and combined abiotic stress conditions. *Plant Science* 167 : 1359-1365.

Ayliffe M., Mitchell H., Deuschle K. et Pryor A. (2005) – Comparative analysis in cereals of a key proline catabolism gene. *Mol. Gen. Genomics*. 274: 494-505.

Baatour O., M'rah S., Ben Brahim N., Bioulesnem F. et Lachaal M. (2004) – Réponse physiologique de la gesse (*Lathyrus sativus*) à la salinité du milieu. *Revue des régions arides*, Tome 1, no. Spécial : 346-358.

Baghizadeh A., Salarizadeh M.R., Abaasi F. (2014) – Effects of Salicylic acid on some physiological and biochemical parameters of *Brassica napus* L. (Canola) under salt stress, *International Journal of Agri Science*, Vol.4, no.2, pp. 147-152.

Bakhti F. (2005) – Contribution à l'étude des interrelations sol-végétation dans une zone humide (Chott El-Hodna-Wilaya de M' Sila). Mémoire d'ingéniorat. Dép. Agro. Univ. Batna. p 94.

Barhoumi Z., Djebali W., Abdelly C., Chaïbi W. et Smaoui A. (2007) – Ultrastructure of *Aeluropus litoralis* leaf salt glands under NaCl stress. *J Plant Physiol*. 164: 842-850.

Bayuelo-Jiménez J., Craig R. et Lynch J. P. (2002) – Salinity tolerance of *Phaseolus* species during germination and early seedling growth. *Crop Sci.*, 42, 2184-2192.

Beldjoudi Z., et Daoud Y. (2002) – Conséquence de la salinité sur l'antagonisme Na^+/K^+ chez six cultivars de blé dur. III^{ème} Journées scientifiques sur le blé. G.B.B.V.- D.S.N.V.- I.T.G.C., Univ. Mentouri, Constantine: 98-99.

Benmahioul, B., Daguin, F., and Kaid-Harche, M. (2009) – Effet du stress salin sur la germination et la croissance in vitro du pistachier (*Pistacia vera* L.). *Comptes Rendus Biologies*. 332 (8): p. 752-758.

Blumwald E. (2000) – Salt transport and resistance in plants and other organisms. *Curr Opin. Cell Biol*. 12: 431-434.

Blumwald E., Aharon G. S. et Apse M. P. (2000) – Sodium transport in plant cells. *Biochim. Biophys. Acta*. 1465: 140-151.

Bolt H. M. et al. (1978) – International Archive on Occupational Environmental Health, 60 (3), 141- 4.

Brady N. C. et Weil R. R. (2002) – The nature and properties of soils. 13th edn. Prentice Hall, Upper Saddle river, N. J., USA, 960p.

Brini F., Hanin M., Mezghanni I., Berkowitz G. et Masmoudi K. (2007) – Overexpression of wheat Na^+/H^+ antiporter TNHx1 and H^+ -pyrophosphatase TVP1 improve salt and drought stress tolerance in *Arabidopsis thaliana* plants. *J. Exp. Bot*. 58: 301-308.

CDH, (1984) – Les principaux ennemis des cultures maraîchères au Sénégal. 2^{ème} édition, 95p.

CDH, (1987) – Guide pratique du maraichage au Sénégal. Les cultures horticoles. N° 1 de Collection Cahiers d'information, 144 p.

Charrier A. et Hamon S. (1982) – La variabilité du Gombo et des espèces apparentés d'*Abelmoschus*. Relevé des échantillons d'herbier de Florence (Italie), Linden (Hollande), Londres (Angleterre) et Paris (France). ORSTOM. Centre d'Adiopodoume. Laboratoire de Génétique. Abidjan, Côte d'Ivoire. Document de travail. Pp. 34.

Charrier A. (1983) – Les ressources génétiques du genre *Abelmoschus* Med. (Gombo). Conseil International des Ressources Phytogénétiques Ed. CIRPG, FAO, Rome, 61p.

Charrier A. (1984) – Genetic resources of the genus *Abelmoschus* Med. (okra). Rome, Italie, IBPGR, 61p.

Charrier A., Jacquot M., Hamon S. et Nicolas D. (1997) – L'amélioration des plantes tropicales. Les gombos. Editeur Cirad et Orstom. Montpellier, France, pp. 313-333.

Cheeseman J. M. (1988) – Mechanisms of salinity tolerance in plants. *Plant Physiology* 87: 547 - chloride and sodium sulphate. *Physiologia Plantarum* 120: 482-490.

Chen Z., Newman I., Zhou M., Mendham N., Zhang G. et Shabala S. (2005) – Screening plants for salt tolerance by measuring K flux: a case study for barley. *Plant Cell Environ.*, 28: 1230-1246.

Chen Z., Zhou M., Newman I., Mendham N., Zhang G. et Shabala S. (2007) – Potassium and sodium relations in salinised barley tissues as a basis of differential salt tolerance. *Funct. Plant Biol.*, 34: 150-162.

Chen H., Jiao H., Cheng Y., Xu K., Jia X., Shi Q., Guo S., Wang M., Du L., Wang F. (2016) – In Vitro and In Vivo Immunomodulatory Activity of Okra (*Abelmoschus esculentus* L.) Polysaccharides. *J Med Food*.19 (3): 253-265.

Chevalier A. (1940) – L'origine, la culture et les usages de cinq *Hibiscus* de la section *Abelmoschus*. *Revue de Botanique Appliquée*, 20: 319-328, 402-419.

Cheverry C., Bourrié G. (1996) – La salinisation des sols. In « sols: interfaces fragiles » 3^{ème} partie. Conséquences de l'utilisation des sols par l'homme. Coédition INRA/NATHAN. A paraître, 17 pages.

Chinnusamy V., Schumaker K. et Zhu J. K. (2004) – Molecular genetics perspectives on cross-talk and specificity in abiotic stress signaling in plants. *J. of Experimental Botany*. 55: 225-236.

Chinnusamy V., Jagendorf A. et Zhu J. K. (2005) – Understanding and improving salt tolerance in plants. *Crop Sci.*, 45: 437-448.

Chopra R. N., Navar S. L. et Chopra I. (1986) – Glossary of India Medicinal plants (including the supplement). Council of Scientific and Industrial Research. *In Glossary of Indian Medicinal Plant (3rd Edn)*. New Delhi, 249p.

Churchman G. J., Skjemstad J. O. et Oades J. M. (1993) – Influence of clay minerals and different water regimes. *Tree physiology* 24: 65-73.

Claussen M., Luthen H., Blatt M., Bottger M. (1997) – Auxin induced growth and its linkage to potassium channels. *Planta*, 201: 227-234.

Constantino A. C., Romanchik-Cerpovicz J. E. et Laura H. G. (2006) – Sensory evaluation ratings and melting characteristics show that okra gum is an acceptable milk-fat ingredient substitute in chocolate frozen dairy dessert, *J. Am. Diet. Assoc* 106, pp. 594-597.

CRAAQ (Centre de Référence en Agriculture et Agroalimentaire du Québec) (2003) – Guide de Référence en fertilisation 1^{ère} édition P. 102

Cramer G. R. et Bowman D. C. (1993) – Cell elongation control under stress conditions. In: *Handbook of Plant and Crop Stress*, M Pessarakli (Ed.). Marcel Dekker, New York, pp. 303-319.

Croser C., Renault S., Franklin J. et Zwiazk J. (2001) – The effect of salinity on the emergence and seedling growth of *Picea mariana*, *Picea glauca* and *Pinus banksiana*. *Environ Pollut.*, 115: 9-16.

Cui D., Wu D., Liu J., Li D., Xu C., Li S., Li P., Zhang H., Liu X., Jiang C., Wang L., Chen T., Chen H. et Zhao L. (2015) – Proteomic Analysis of Seedling Roots of Two Maize Inbred Lines That Differ Significantly in the Salt Stress Response, *Plos One* , vol.10,no.2, pp. 1-13.

Dakshina Murthy K. M., Upendra Rao A., Vijay D. and T.V. Sri (2015) – Effect of levels of nitrogen, phosphorus and potassium on performance of rice. *Indian J. Agric. Res.*, 49 (1): 83-87.

Daroui E.A., Boukroute A., Kouddane N., E. et Berrichi A. (2013) – Effet de la salinité sur la germination et la croissance in vitro du *Washingtonia filifera* L. *Nature & Technology*. 8: p. 32-38.

De Lannoy G. (2001) – Gombo *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench. In: *Agriculture en Afrique Tropicale. Légumes*. Direction Générale de la Coopération Internationale (DGCI). 478-484.

Denden M., Bettaieb T., Salhi A., et Mathouthi M. (2005) – Effet de la salinité sur la fluorescence chlorophyllienne, la teneur en proline et la production florale de trois espèces ornementales. *Tropicultura*, 23(4): 220-225.

Diop A. (2006) – Dynamique de l'occupation du sol dans des Niayes de la région de Dakar de 1954 à 2003: exemples de la grande niaye de Pikine et de la niaye de Yeumbeul. Université Cheikh Anta Diop de Dakar, mémoire de DEA, 112p.

Djanaguiraman M. et Vara-Prasad P.V. (2013) – Effects of Salinity on Ion Transport, Water Relations and Oxidative Damage, in: P. Ahmad, M.M. Azooz and M.N.V. Prasad (Eds.), *Ecophysiology and Responses of Plants under Salt Stress*, Springer New York Heidelberg Dordrecht London, pp. 89-114.

Doudech N., Mhamdi M., Bettaieb T. et Denden M. (2008) – Tolérance à la salinité d'une graminée à gazon : *Paspalum notatum* Flüggé. *Tropicultura*, 26 (3): 182-185.

Dupriez H. et Leener P. (1987) – Jardins et vergers d'Afrique. ISBN 2-87105-005-8, 354p.

El Midaoui M., Benbella M., Aït Houssa A., Ibriz M. et Talouizte A. (2007) – Contribution à l'étude de quelques mécanismes d'adaptation à la salinité chez le tournesol cultivé (*Helianthus annuus* L.). *Revue HTE* N° 136. P: 1.

Essington M. E. (2004) – Soil and water chemistry. An integrative approach. CRC Press, USA, Boca Raton, 534 pp.

Fahad S., Hussain S., Matloob A. et al. (2015) – Phytohormones and plant responses to salinity stress: a review. *Plant Growth Regulation*. 75 (2): p. 391- 404. 49.

Flowers T. J. et Läuchli A. (1983) – Sodium versus potassium: substitution and compartmentation. In: Läuchli A., Pirson A., eds. *Inorganic nutrition*. Berlin: Springer: 651-81.

François R. (2008) – Dictionnaire encyclopédique des sciences de la nature et de la biodiversité, Edition DUNOD, Paris, 1 152 pages.

Fryer M.J., Andrews J.R., Oxborough K., Blowers D.A. et Baker N.R. (1998) – Relationship between CO₂ assimilation, photosynthetic electron transport, and active O₂ metabolism in leaves of maize in the field during periods of low temperature, *Plant Physiology*, vol. 116, N° 2, pp. 571-580.

Garg A., Kim K., Owens J., Ranwala T., Choi A., Kochian Y. V. et Wu R. J. (2002) – A trehalose accumulation in rice plant confers high tolerance levels to different abiotic stresses. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 99: 15898-15903.

Genoux C., Putzola F. et Maurin G. (1991) – Thème générale: La lagune méditerranéenne. TPE: les plantes halophytes.

Ghoulam C., Foursy A. et Fares K. (2002) – Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. *Environmental and Experimental Botany*, 47: 39–50.

Gilbert M., Wagner H., Weingart I., Skotnica J. Nieber K., Tauer G., Bergmann F., Fischer H. et Wilhelm C. (2004) – A new type of thermoluminometer : A highly sensitive tool in applied photosynthesis research and plant stress physiology. University of Leipzig. Institute of Botany, *Plant Physiology*, Johannisallee 21-23, D – 04103 Leipzig, Germany.

Gimenez C., Mitchell V. J. et Lawlor D. W. (1992) – Regulation of photosynthetic rate of two sunflower hybrids under water stress. *Plant Physiol.* 98: 516-524.

Glenn E., Brown J. J. et Blumwald E. (1999) – Salt-tolerant mechanisms and crop potential of halophytes. *Crit. Rev. Plant Sci.* 18: 227-225.

Grennan A. K. (2006) – High Impact Abiotic Stress in Rice. An «Omic» Approach; *Plant Physiology*, April 2006, Vol. 140, pp. 1139-1141.

Gruben G. J. H. (1977) – Tropical vegetable and their genetic resources. H. D. Tindall et J. T. Williams (eds.) IBPGR. ROME. Pp. 197.

Hajlaoui H., Denden M., et Bouslama M. (2006) – Effet du chlorure de sodium sur les critères morpho-physiologiques et productifs du pois chiche (*Cicer arietinum*). *Ann. INRGREF* 8: 171-187.

Hajlaoui H., Maatallah S., Denden M. (2015) – Effet du stress salin sur l'efficacité d'utilisation d'azote et les bilans ioniques chez deux variétés de maïs (*Zea mays* L.) fourragères. *Journal of Animal and Plant Sciences*, Vol. 24, issue 3: 3787-3801.

Hamon S. (1987) – Organisation évolutive du genre *Abelmoschus* (Gombo): co-adaptation et évolution de deux espèces de Gombo cultivées en Afrique de l'Ouest (*A. esculentus* et *A. caillei*). Ed. ORSTOM. Paris, France. 191 p

Hamon S. et Charrier A. (1997) – Les gombos. In: Amélioration des plantes tropicales. CIRAD et ORSTOM, ISSN 1251-7224, ISBN 2-87614-292-9, 2-7099-1374-7, pp. 313-333.

Hamrouni L., Hanana M. et Khouja M. L. (2010) – Évaluation de la tolérance à la salinité du myrte (*Myrtus communis*) aux stades germinatif et plantule. *Botany*, 88: 893-900.

Haouala F. et al. (2007) – Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na^+ , K^+ et Ca^{2+}) et du chlore (Cl^-) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* Vol.11, n° 3, pp. 235-244.

Hasegawa P. M., Bressan R. A., Zhu J. K. et Bohnert H. J. (2000) – Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 51, 463-499.

Hochreutiner B. P. G. (1924) – Genres nouveaux et genres discutés de la famille des malvacées. *Candollea*, 2: 79-90.

Hopkins W. G. (2003) – Physiologie végétale traduction de la 2^{ème} édition américaine par Serge RAMBOUR. Révision scientifique de Charles Marie EVRARD. Edition DEBOEK Université, Bruxelles. P: 66-81, 237, 309-362, 514.

Horie T. et Schroeder J. I. (2004) – Sodium transporters in plants. Diverse genes and physiological functions. *Plant Physiology* 136: 2457-2462.

Hu Y., Fricke Y. W. et Schmidhalter U. (2005b) – Salinity and the growth of non-halophytic grass leaves: the role of mineral nutrient distribution. *Funct. Plant Biol.* 32: 973-985.

Hunsche M., Brackmann A., Ernani P. R. (2003) – Effect of potassium fertilization on the postharvest quality of ‘Fuji’ apples. *Pesq. Agropec. bras., Brasilia.* 38 (4), 489-496.

IRD (1996) – Afrique tropicale: la sécheresse gagne du terrain. Fiche scientifique n° 28.

IRD (2008) – Les dossiers thématiques de l’Institut de Recherche pour le Développement.

Itai C. (1999) – Role of phytohormones in plant responses to stresses. In: Lerner H.R. (ed). *Plant response to environmental stresses, from phytohormones to genome reorganization.* Marcel Dekker Inc., Basel, N.Y., USA, pp. 287-301.

Jabnoute M. (2008) – Adaptation des plants au stress salin: caractérisation de porteurs de sodium et de potassium de la famille de HKT chez le riz, 114 p.

Karmous C. (2007) – Contribution à l’étude des mécanismes de tolérance à la salinité au stade juvénile chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.): aspects physiologique, biochimique et moléculaire. Thèse de doctorat en agronomie et science de la production végétale. INAT, Tunis: 211p.

Kaya C, Higgs D, Sakar E. (2002a) – Response of two leafy vegetables grown at high to supplementary potassium and phosphorus during different growth stages. *Journal of Plant Nutrition*, 25, 2663-2676.

Keren R. (2000) – Salinity. In: Summer M. E. (Ed). *Handbook of soil science.* CRC Press, N.Y., USA, pp 3-25.

Khales A. et Baaziz M. (2006) – Etude des peroxydases d’écotypes de *Opuntia ficus-indica* L. en relation avec le développement dans les conditions de stress salin. Congrès international de Biochimie, Agadir: p. 133-136.

Khan M. A. et Abdullah Z. (2003) – Salinity-sodicity induced changes in reproductive physiology of rice (*Oryza sativa*) under dense soil conditions. *Environ ExpBot.* 49: 145-157.

Koechlin J. (1989) – Les gombos africains (*Abelmoschus* sp): Etude de la diversité en vue de l'amélioration. Thèse Doctorat, Institut National Agronomique. Paris-Grignon, France. 180p.

Kovda V.A. (1983) – Loss of productive land due to salinization. *Ambio*, 12, 91-93.

LADA (2009) – The Land Degradation Assessment in Drylands: reflexions for indicators for land degradation assessment. In the future of drylands. *Springer Netherlands*, pp. 327-384.

Langridge P., Paltridge N. et Fincher G. (2006) – Fonctionnal genomics of abiotic stress tolerance in cereals. Briefings in Fonctionnal genomics and proteomics. 4 (4): 343-354.

Lapointe A. (1987) – *Plantes médicinales*. Fiche Technique. 161pp.

Lassoudière A. (2007) – Le bananier et sa culture. Versailles: Editions Quae, 383p.

Läuchli A. et Epstein E. (1970) – Transport of potassium and rubidium in plant roots. The significance of calcium. *Plant Physiol.* 45: 639–641.

Läuchli A. et Grattan S. R. (2007) – Plant Growth And Development Under Salinity Stress. In M. A. Jenks, P. M. Hasegawa & S. M. Jain (Eds.), *Advances in Molecular Breeding Toward Drought and Salt Tolerant Crops*, (pp. 1-32): Springer Netherlands.

Leclerc J. C. (1999) – Ecophysiologie végétale – publications univ. Saint Etienne p. 188-235.

Le Goupil J. C. (1974) – Agronomie tropicale. Série 3: Séminaire « Développement rural et révolution agraire dans le haut-chéelif, (Algérie) ». Agronomie Générale, Etudes Scientifiques, 29 (12): P. 1212-1227.

Lepengue A. N., Mouaragadja I., Ibrahim B., Ake S. et M'Batchi B. (2012) – Réponse du maïs (*Zea mays* var. LG 60) au stress salin: étude de la synthèse de quelques composés biochimiques, *Journal of Animal & Plant Sciences*, vol. 14, no. 1, pp. 1866-1872.

Lester G. E., Jifon J. L., Makus D. J. (2010) – Impact of potassium nutrition on postharvest fruit quality: Melon (*Cucumis melo* L.) case study. *Plant Soil.* 335, 117-131.

Levigneron A., Félice L., Gérard V., Pierre B., Pierre F. et Francine C.D. (1995) – Les plantes face au stress salin. Cahiers Agricultures 1995; 4: 263-73.

Levitt J. (1980) – Responses of plants to environmental stresses, 2nd Edn. Academic Press, New York, 497 p.

Levitt J. (1980) – Salt and ion stress. In: Levitt J., (eds). Response of plant to environmental stresses. Vol II, water radiation, salt and others stresses. New York: Academic Press, p. 365-406.

Levitt J. (1972) – Response of plant to environment stress. New York. Aca. Press: p. 697.

Levy G. J. (2000) – Sodcity. In: Summer M. E. (Ed). Handbook of Soil Science. CRC Press, N.Y., USA, pp 27-62.

Lexer C. et Faym F. (2005) – Adaptation to environmental stress: a rare or frequent diver of speciation J Evol Biol. 18: 893-900. 1140 *Plant Physiol.* Vol. 140.2006.

Lima M. A., Bassoi L. H., Silva D. J., De Santos P., De Castropaes P., De Almeida Ribeiro P. R., Dantas B. F. (2008) – Effects of levels of nitrogen and potassium on yield and fruit maturation of irrigated guava trees in the Sao Francisco Valley. *Rev. Bras. Frutic.*, Jaboticabal-SP. 30 (1), 246-250.

Ly M. O., Kumar D., Diouf M., Nautiyal S. et Diop T. (2014) – Effet de la salinité sur la croissance et la production de biomasse de deux provenances de *Jatropha curcas* L. cultivés en serre, *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol.8, no.1, pp. 46-56.

Maathuis F. J. M. et Amtmann A. (1999) – K⁺ nutrition and Na⁺ Toxicity: the basis of cellular K⁺/Na⁺ ratios. *Annals of Botany*, 84: 123-133.

Mashali A., Suarez D., Nabhan H. L. et Rabindra R. (2005) – Integrated management for sustainable use for salt affected soils. Rome: FAO Soils Bulletin, now printing.

Mashali, S.; A. Abou El-Kheir; C. Ahl and K.w. Becker (2005). Extractability of some pollution elements in Egyptian soils with special reference to extraction methods. *Mitteilungen der DBG jahrestagung*, 2-9 September 2005 in Marburg, Germany, pp. 149-150.

Macleod G. et Ames J. M. (1990) – Volatile components of starfruit. *Phytochemistry Oxford*: Pergamon Press. 1990. Vol 29 (1) p. 165-172.

Maillard J. (2001) – Le point sur l'Irrigation et la salinité des sols en zone sahélienne. Risques et recommandations. Handicap International. Novembre 2001, 34p.

Malasses L. (1996) – Economie de production et de consommation; Ed. ujas; pp 32-40.

Mansour M. M. F. (2003) – Transport proteins and salt tolerance in plants. *Plant Sci.* 164, 891–900.

Marius C., Gerard V. et Antoine G. (1997) – Le gombo, *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench, une source possible de phospholipides. *Agronomie et Biotechnologies*. Oléagineux, Corps gras, Lipides 4 (5): 389-392.

Martinez J. P., Silva H., Ledent J. F. et Pinto M. (2007) – Effect of drought stress on the osmotic adjustment, cell wall elasticity and cell volume of six cultivars of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) *European journal of agronomy*. Jan., Vol. 26, 1, p. 30-38.

Marque C., Galaud J. P., Mazars C. (2002) – Les plantes: un fabuleux potentiel d'adaptation.

Martin F. W., Rhodes A. M., Manuel O., Diaz F. (1981) – Variation in Okra. *Euphytica*, vol. 7 n° 30, 697-705.

Martineau E., Domec J.C., Bosc A., Denoroy P., Fandino V.A., Lavres J.Jr., Jordan-Meille L. (2017) – Les effets de la nutrition potassique sur l'utilisation de l'eau chez le maïs cultivé en plein champs (*Zea mays* L.). *Environmental and experimental botany*, 134: 62-71.

Meloni D. A., Oliva M. A., Ruiz H. A., Martinez C. A. (2001) – Contribution of proline and inorganic solutes to osmotic adjustment in cotton under salt stress. *J. Plant Nutr.* 24 (3), 599-612.

Mermoud A. (2001) – Cours de physique du sol: Maîtrise de la salinité du sol. Version provisoire: 14 p. Ecole Fédérale de Lausanne.

Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature (MEPN) (2005) – Rapport sur l'état de l'environnement au Sénégal, 214p.

Moinuddin A., Fischer R., Sayre K. et Reynolds M. P. (2005) – Osmotic Adjustment in Wheat and Relation to Grain Yield under Water Deficit Environments. *Agro. J.* 97: 1062-1071.

Monneveux P., This D. (1997) – La génétique face au problème de la tolérance des plantes cultivées à la sécheresse: espoirs et difficultés. *Sécheresse*, 8 (1), 29-37.

Morant-Manceau A., Pradier E. et Tremblin G. (2004) – Osmotic adjustment, gas exchanges and chlorophyll fluorescence of a hexaploid triticale and its parental species under salt stress, *Journal of Plant Physiology*, vol. 161, no. 1, pp. 25-33.

Munns R. et al. (1983) – Halotolerante eukaryotes. In *Physiological Plant Ecology. III. Responses to the Chemical and Biological Environment. Encycl. Plant Physiol.*, pp. 59-135 New Series, Vol. 12 C. Springer, Berlin.

Munns R. (1993) – Physiological processes limiting plant growth in saline soils: some dogmas and hypotheses. *Plant, Cell and Environment* 16: 15-24.

Munns R., Schachtman D. P. et Condon A. G. (1995) – The significance of a two-phase growth response to salinity in wheat and barley. *Aust. J. Plant Physiol.* 22, 561–569.

Munns R. et Rawson H. M. (1999) – Effect of salinity on salt accumulation and reproductive development in the apical meristem of wheat and barley. *Aust. J. Plant Physiol.* pp. 459-464.

Munns R. (2002) – Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell. Environ.* 25: 239-250.

Munns R., Richard A. J. et Lauchli A. (2006) – Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 57, No. 5, pp. 1025-1043.

Munns R. et Tester M. (2008) – Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651-681.

Nacoulma O. (1996) – Plantes médicinales et pratiques médicales traditionnelles au Burkina Faso. Cas du plateau central. Thèse d'état, Tome I. Université de Ouagadougou. 261p.

Naidu R. et Rengasamy P. (1993) – Ion interactions and constraints to plant nutrition in Australian sodic soils. *Australian Journal of Soil Research* 31: 801-819.

Navarro A. R. et Rubio F. (2006) – High-affinity potassium and sodium transport systems in plants, *Journal of Experimental Botany*; 57(5): 1149-1160.

Ndaw M. G. (2019) – Nuisibilité de *Cyperus rotundus* L. vis-à-vis de l'oignon (*Allium cepa* L.), dynamique de levée et stock semencier dans le champ école du jardin botanique du département de Biologie Végétale. Université Cheikh Anta Diop, mémoire de Master. 52p.

Niu X., Bressan R. A., Hasegawa P. M. et Pardo J. M. (1995) – Ion homeostasis in NaCl stress environments. *Plant Physiology*, 109: 735-742.

Nzikou J. M., Mvoula T., Matouba E., Ouamba J. M., Kapseu C., Parmentier M. et Desobry S. (2006) – A study on gumbo seed grown in Congo Brazzaville for its food and industrial applications. *African Journal of Biotechnology*. 5 (24), 2469-2475.

Orcutt D. M. et Nilsen E. T. (2000) – Physiology of plants under stress. John Wiley & Sons Inc., New York, N.Y., USA.

Ottow E., Brinker M., Fritz E., Teichmann T., Kaiser W., Brosche M., Kangasjarvi J., Jiang X. et Polle A. (2005) – *Populus euphratica* Displays Apoplastic Sodium Accumulation, Osmotic Adjustment by Decreases in Calcium and Soluble Carbohydrates, and Develops.

Parent C. et al. (2008) – Formes réactives de l'oxygène, stress et mort cellulaire chez les plantes. C. R. Biologies pp 255-261. Polytechnique fédérale de Lausanne, 23 p.

Parida A. K., Das A. B. (2005) – Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 60: 324-349.

Petropoulos S., Fernandes A., Barros L., Ciric A., Sokovic M., Ferreira ICFR. (2017) – The chemical composition, nutritional value and antimicrobial properties of *Abelmoschus esculentus* seeds. *Food Funct.* 8(12): 4733-4743.

Pical C., Westergren T., Dove S. K., Larsson C., et Sommarin M. (1999) – Salinity and hyperosmotic stress induce rapid increases in phosphatidylinositol4,5-bisphosphate, diacylglycerol pyrophosphate, and phosphatidylcho-line in *Arabidopsis thaliana* cells. *J. Biol. Chem.* 274: 38232-38240.

Price A. H. et Hendry G. A. F. (1991) – Iron-catalysed oxygen radical formation and its possible contribution to drought damage in nine native grasses and three cereals. *Plant Cell Environ.* 14: 477-484.

Quaggio J. A., Junior D. M., Boaretto R. M. (2011) – Sources and rates of potassium for sweet orange production. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*. 68(3), 369-375.

Rahnama H. et Ebrahimzadeh H. (2005) – The effect of NaCl on antioxidant enzyme activities in potato seedling. *Biol. Plant.* pp. 93-97.

Rasool S., Hameed A., Azooz M. M., Rehman M., Siddiqi T.O. et Ahmad P. (2013) – Salt Stress: Causes, Types and Responses of Plants, in: P. Ahmad, M.M. Azooz and M.N.V. Prasad (Eds.), *Ecophysiology and Responses of Plants under Salt Stress*, Springer New York Heidelberg Dordrecht London, pp. 1-24.

Reddy A. R., Chaitanya K. V. et Vivekanandan M. (2004) – Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *J. Plant Physiol.* 161: 1189-1202.

République du Sénégal/Ministère de l'Economie, des Finances et du plan (2013) – Recensement Général de la Population et de l'Habitat, de l'Agriculture et de l'Elevage (RGPHAE-2013): Rapport définitif. ANSD.

R'him T., Tlili I., Hnan I., Ilahy R., Benali A. et Jebari, H. (2013) – Effet du stress salin sur le comportement physiologique et métabolique de trois variétés de piment (*Capsicum annuum* L.), *Journal of Applied Biosciences*, vol. 66, pp. 5060-5069.

Rodriguez M., Canales E. et Borrás-Hidalgo O. (2005) – Molecular aspects of abiotic stress in plants. *Biotechnol. Aplicada* 22: 1-10.

Rohanipoor A., Norouzi M., Moezzi A. et Hassibi P. (2013) – Effect of Silicon on Some Physiological Properties of Maize (*Zea mays*) under Salt Stress, *J. Biol. Environ. Sci.*, vol. 7, no. 20, pp. 71-79.

Romero-Aranda R., Soria T. et Cuartero J. (2001) – Tomato plant-water uptake and plant-water relationships under saline growth conditions. *Plant Sciences*. 160, 265-272.

Saha P., Chatterjee P. et Biswas A. K. (2010) – NaCl pretreatment alleviates salt stress by enhancement of antioxidant defense system and osmolyte accumulation in mung bean (*Vigna radiata* L. Wilczek), *Indian Journal of Experimental Biology*, vol. 48, no.6, pp. 593-600.

Saravanan S., Pandikumar P., Pazhanivel N., Paulraj M. G., Ignacimuthu S. (2013) – Hepatoprotective role of *Abelmoschus esculentus* (Linn.) Moench., on carbon tetrachloride-induced liver injury. *Toxicol Mech Methods*. 23 (7): 528-536.

Sawadogo M., Ouédraogo J., Bélem M., Balma D., Dossou B. et Jarvis D. (2005) – Influence of ecosystem components on cultural practices affecting the in situ conservation of agricultural biodiversity. *Plant Genetic Resources Newsletter*, 141: 19-25.

Sawadogo M., Zombré G et Balma D. (2006) – Expression de différents écotypes de gombo (*Abelmoschus esculentus* L.) au déficit hydrique intervenant pendant la boutonnisation et la floraison. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* Volume 10 (1), 43–54.

Sawadogo M., Balma D., Nana R. et Sumda R. (2009) – Diversité agromorphologique et commercialisation du Gombo (*Abelmoschus esculentus* L.) à Ouagadougou et ses environs. *Int. J. Biol. Chem. Sei.*, vol 3, n° 2, 326-336.

Sentenac H. et Berthomieu P. (2003) – Découverte d'un nouveau mécanisme de tolérance des plantes au sel. UMR Biochimie et physiologie moléculaire des plantes (Unité mixte Ecole nationale supérieure agronomique de Montpellier /Université/CNRS/ INRA). Service Presse INRA. 34p.

Shamsul A. et Arifuzzaman K. (2007) – Chemical Analysis of Okra Bast Fiber (*Abelmoschus esculentus*) and its Physico-chemical Properties. *Journal of textile and Apparel, Technology and management*. Vol. 5. Issue 4.

Shannon M. C. (1984) – Effects of salinity on growth and accumulation of organic ions in cultivated and wild tomato species. *Journal of the American Society for horticultural Science*. 112: 416-423.

Sheu S. C., Lai M. H. (2012) – Composition analysis and immuno-modulatory effect of okra (*Abelmoschus esculentus* L.) extract. *Food Chem*. 134 (4): 1906-11.

Siemonsma J. S. (1982a). La culture du gombo (*Abelmoschus* sp.), légume-fruit tropical, avec référence spéciale à la Côte d'Ivoire. Thèse, université de Wageningen, Wageningen, Pays-Bas, 297p.

Siemonsma J. S. (1982b) – West African okra: morphological and cytological indications for the existence of a natural amphiploid of *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench and *A. manihot* (L.) Medikus. *Euphytica*, 31: 241-252.

Siemonsma J. S. (1982c) – La culture du gombo légume fruit tropical avec référence spéciale à la Côte d'Ivoire. Thèse de l'Université Agronomique de Wageningen (Pays Bas), 297p.

Siemonsma J. S. et Hamon S. (2004) – *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench. In: Ressources végétales de l'Afrique Tropicale 2. Fondation PROTA. Wageningen. Pays-Bas, 25-30.

Siemonsma J. S. et Kouamé C. (2004). Vegetable Plant Resource of Tropical Africa 2. PROTA Foundation Wageningen, pp. 21-22.

Skriver K., Mundy J. (1990) – Gene expression in response to abscisic acid and osmotic stress. *Plant Cell*, 2: 503-512.

Slama F. (2004) – La salinité et la production végétale. Centre de publication universitaire. Tunis: 151p.

Snoussi S. A. et Halitim A. (1998) – Valorisation des eaux salines pour la nutrition minérale des plantes cultivées. Etude et gestion des sols, pp. 289-298.

Soltani A, Hajji M. et Grignon C. (1990) – Recherche de facteurs limitant la nutrition minérale de l'orge en milieu salé. *Agronomie* 10, 857-866.

Song et al. (2005) – Strategies for Adaptation of Suaedaphysophora, Haloxylonammodendron and Haloxylonpersicum to a Saline Environment during Seed-Germination Stage. *Annals of Botany*. pp. 399-405.

Soliman W. S. et El-Shaieny A. H. (2014) – Effect of saline water on germination and early growth stage of five Apiaceae species, *Academic Journals*, Vol. 9, no.7, pp. 713-719.

Sudhakar C., Lakshmi A., Giridarakumar S. (2001) – Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) under NaCl salinity. *Plant Sci.* 141: 613-619.

Sumner M. E. (1993) – Sodic soils: New perspectives. *Australian Journal of Soil Research* 31: 683-750.

Stevens J. M. C. (1988) – Une nouvelle combinaison dans *Abelmoschus* Medik. (Malvaceae), un gombo d'Afrique de l'Ouest et Centrale. Bulletin du Muséum national d'histoire naturelle, section B, 10: 137-144.

Teakle N., Flowers L., Real T. J. D. et Colmer T. D. (2007) – *Lotus tenuis* tolerates the interactive effects of salinity and waterlogging by 'excluding' Na⁺ and Cl⁻ from the xylem. *Journal of Experimental Botany*, published online on May 17, 2007.

Terman S. D. et Skerrett I. M. (1999) – Root ion channels and salinity. *Sci. Hort.* pp. 175-235.

Terrell E. E. et Winters H. F. (1974) – Changes scientific names for crops plants. *Hortscience* 9(4): 324-325.

Tester M. et Davenport R. (2003) – Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. *Ann. Bot.* 91: 503-527.

Tounou A. K., Agboka K., Bakouma B. E., Aadam M., Adjevi A. K. M. et Sanda K. (2018) – Etude comparée de l'efficacité de la cyperméthrine et deux bioinsecticides, *Beauveria bassiana* et suneem contre l'altise du gombo, *Podagrica* spp (Coleoptera: Chrysomelidae). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 12(1): 491-500.

Van Borssum-Waalkes J. (1966) – Malaysian Malvaceae revised. *Blumea*, 14: 1-251.

Vayssade M., Sengkhampan N., Verhoef R., Delaigue C., Goundiam O., Vigneron P., Voragen A. G. (2010) – Schols HA, Nagel MD. Antiproliferative and proapoptotic actions of okra pectin on B16F10 melanoma cells. *Phytother Res.* 24 (7): 982-989.

Wang W., Vinocur B., Shoseyov O. et Altman A. (2001) – Biotechnology of plant osmotic stress tolerance : Physiological and molecular considerations. *Acta Horticulturae* 560: 285-292.

Wang H., Chen G., Ren D. et Yang S. T. (2014) – Hypolipidemic activity of okra is mediated through inhibition of lipogenesis and upregulation of cholesterol degradation. *Phytother Res.* 28 (2): 268-73.

Xiong L., Schumake R., Karen S. et Zhu J. K. (2002) – Cell Signaling during Cold, Drought and Salt Stress. The Plant Cell, S165-S183, Department of Plant Sciences, University of Arizona, Tucson, Arizona 85721.

Yasin A. M., Gul A., Ashraf M., Hussain F., Ebert G. (2010) – Improvement in yield and quality of kinnow (*Citrus deliciosa* x *Citrus nobilis*) by potassium fertilization. *J. Plant Nutri.* 33, 1625-1637.

Yazici I., Turkan F., Sekmen A. H., et Demiral T. (2007) – Salinity tolerance of purslane (*Portulaca oleracea* L.) is achieved by enhanced antioxidative system, lower level of lipid peroxidation and proline accumulation. *Environ Exp. Bot.* 61 (1): 49-57.

Yeo A. R. (1998) – Molecular biology of salt tolerance in the context of whole-plant physiology. *Journal of Experimental Botany.* pp. 915-929.

Yokoi S., Quintero F. J., Cubero B., Ruiz M. T., Bressan R. A., Hasegawa P. M. et Prado J. M. (2002) – Differential expression and function of *Arabidopsis thaliana* NHX Na⁺/K⁺ antiporters in the salt stress response. *Plant. J.* 30: 529-539.

Yoshida K. (2002) – Plant biotechnology genetic engineering to enhance plant salt tolerance. *J. Biosci. Bioeng.* 94, 585-590.

Youssef T. et Awad M. (2008) – Mechanisms of enhancing photosynthetic gas exchange in date palm seedlings (*Phoenix dactylifera* L.) under salinity stress by a 5-aminolevulinic acid-based fertilizer, *Journal of Plant Growth Regulation*, vol. 27, no. 1, pp. 1-9.

Zhang J. et Davies W. J. (1989) – Absciscic acid produced in dehydrating roots may enable the plant to measure the water status of the soil. *Plant Cell and Environment*, 12: 73-81.

Zeng L., Poss J., Wilson C., Draz A. S. E., Grieve C. M. (2003) – Evaluation of salt tolerance in rice genotypes by physiological characters. *Euphytica* 129, 281-292.

Zhu J. K. (2001) – Plant salt tolerance. *Trends in Plant Science* 6: 66-71.

Zhu J. K. (2002) – Salt and drought stress signal transduction in plants. *Ann. Rev. Plant Biol.* 53, 247-273.

Zhu J. K. (2003) – Regulation of ion homeostasis under salt stress. *Current Opinion in Plant Biology*, 6, 441-445.

Zeleeuw D. Z., Lal S., Kidane T. T. and Biniam M. G. (2016) – Effect of Potassium Levels on Growth and Productivity of Potato Varieties. *American Journal of Plant Sciences*, 7, 1629-1638.

WEBOGRAPHIE

- Aperçu de l'agriculture sénégalaise [en ligne]. Disponible sur: <<http://www.au-senegal.com/l-agriculture-senegalaise.359.html>>, (Consulté le 02.01.2021)
- Fao au Sénégal [en ligne]. Disponible sur: <<http://www.fao.org/senegal/la-fao-au-senegal/le-pays-en-un-coup-doeil/fr/>> (Consulté le 02.01.2021)
- Le potassium pour un approvisionnement et une utilisation optimum de l'eau par la plante [en ligne]. Disponible sur: <<http://www.ks-kali.com/frfr/company/news/charts/chart-of-the-month-201104-potassium-for-water-use-efficiency-of-plants.html>>, (Consulté le 02.01.2021)
- FAO (2005) – AQUASTAT Country profiles. [en ligne]. Disponible sur: <<http://www.fao.org/aquastat/en/countries-and-basins/country-profiles/country/TCD>>, (Consulté le 02.01.2021)
- FAOSTAT (2015). Production de gombo en 2013 [en ligne]. Disponible sur: <<http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/F>>, (Consulté le 02.01.2021)
- Sénégal [en ligne]. Disponible sur: <<https://www.tresor.economie.gouv.fr/Pays/SN/indicateurs-et-conjoncture#:~:text=L%C3%A9conomie%20s%C3%A9n%C3%A9galaise%20d%C3%A9pend%20encore,PIB%20et%20le%20tertiaire%2061%25>>, (Consulté le 02.01.2021)
- Tropiculture [en ligne]. Disponible sur: <<https://tropicasem.sn/test/wp-content/uploads/2020/08/Tropi-n%C2%B0-252-sept-2017.pdf>>, (Consulté le 02.01.2021)