



Effet du chlorure de sodium (NaCl) sur la germination et la croissance du maïs (*Zea mays* L., Poaceae) au Gabon

A. N. LEPENGUE ^{1*}, I. MOUARAGADJA ¹, B. M'BATCHI ¹ et S. AKE ²

¹Université des Sciences et Techniques de Masuku (USTM); Unité de Recherche Agrobiologie, Laboratoire de Phytopathologie, B.P. 901; Franceville, Gabon.

²U.F.R Biosciences. Université de Cocody-Abidjan, Laboratoire d'Agrophysiologie, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire.

* Auteur correspondant, E-mail : lepengue_nicaise@yahoo.fr, Tél/fax : (241) 67 77 36.

RESUME

Plusieurs plantes côtières du Gabon présentent une pathologie atypique caractérisée par la pourriture et les anomalies de germination des graines cultivées. Ces troubles, conduisent à la mort prématurée des organes, ou à la réduction de leurs rendements. Afin de déterminer si cette affection était liée à l'effet du NaCl marin, des tests de toxicité saline ont été réalisés sur des graines de maïs blanc (*Zea mays* L., Poaceae). Les paramètres morphométriques étudiés étaient : la germination des graines, la croissance longitudinale et radiale des tiges, et la production de matière sèche. Les résultats ont révélé que des concentrations salines de 1 g/l induisaient des augmentations significatives des taux de germination (18%), des croissances longitudinales (20%) et diamétrales (18%) ainsi que ceux de la biomasse végétale (22%). Ces hausses sont certainement liées à une fertilisation du milieu par les ions constitutifs (Na⁺ et Cl⁻) de ce sel. Les concentrations égales ou supérieures à 2 g/l de NaCl ont en revanche provoqué des réductions significatives de tous les paramètres morphologiques étudiés, avec des seuils critiques à 5 g/l. Ce qui laisse suggérer que les troubles analogues rencontrés sur les plantes côtières sont causés par ce sel.

© 2010 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Maïs, NaCl, Doses, Amélioration, Réduction, Croissance.

INTRODUCTION

La culture de nombreuses plantes alimentaires (gombo, maïs, morelle, roselle, aubergine, etc.) des zones côtières du Gabon est fortement entravée par les anomalies de germination de leurs différentes graines. Le maïs (*Zea mays* L. ; Poaceae), est certainement la culture la plus affectée par ce phénomène. La faible régénération de ses graines réduit considérablement les productions de cette plante dans ces zones et sa disponibilité sur le marché national. Même si l'Etat gabonais ne

dispose pas de champs agréés de culture de maïs, il est activement impliqué dans le soutien et l'encadrement des entreprises privées, spécialisées dans l'exploitation de cette culture. Le maïs constitue donc au Gabon une culture d'intérêt majeur, avec des productions estimées à 26 800 tonnes en 2002 (Feumetio, 2002).

Les affections de cette culture provoquent selon les cas, la mort prématurée des plantes, ou les perturbations de croissance et de développement qui aboutissent à de

© 2010 International Formulae Group. All rights reserved.

spécimen étioles nains, chétifs, et généralement stériles. La nature des symptômes observés et la limitation de cette pathologie à la zone côtière du pays militent en faveur d'un stress abiotique lié à la toxicité saline des eaux maritimes, comme l'ont suggéré Soltani (1988) et El Jaafari (1993), pour des symptomatologies analogues observés respectivement sur le blé et l'orge en Tunisie. Mais au Gabon, l'absence des données scientifiques ne permet pas de valider cette thèse, et de l'exploiter valablement dans les différents programmes d'amélioration de cultures maraîchères mis en place par le gouvernement. C'est pourquoi notre laboratoire s'est intéressé à cette pathologie, en initiant une série de recherches, afin d'étudier en conditions contrôlées la toxicité chimique du chlorure de sodium (NaCl) sur diverses plantes alimentaires. La présente étude s'intéresse exclusivement au maïs, plante de grande culture et de forte valeur marchande au Gabon. Le travail consiste à soumettre cette plante à différentes concentrations de NaCl, et à mesurer la variation de 3 paramètres morphométriques végétaux, à savoir : la germination des graines, la croissance des plantes et la production de matière sèche.

MATERIEL ET METHODES

Matériel

Le matériel végétal utilisé était le maïs blanc (*Zea mays* L., Poaceae), choisi pour sa grande sensibilité à cette maladie, et pour sa forte consommation par les populations gabonaises (Meyo Bibang, 2003). Cette plante est parfois aussi appelée "maïs denté blanc moderne du sud" (Bird et Goodman, 1977).

Méthodes

Mise en place de l'essai

Quatre cents (400) graines de maïs blanc provenant de l'Institut National Supérieur d'Agronomie et de Biotechnologies du Gabon (INSAB), et de bonne qualité germinative, ont été désinfectées par trempage pendant 5 minutes dans un volume de 1 L d'hypochlorite de sodium 1%, conformément aux techniques décrites par Lépengué (2008).

Elles ont ensuite été abondamment rincées dans 10 L d'eau distillée stérile, séchées entre deux épaisseurs de papier buvard, et trempées à nouveau dans 6 éprouvettes graduées contenant chacune, 500 ml de chlorure de sodium (NaCl) de concentrations respectives 1 g/l ; 2 g/l ; 3 g/l ; 4 g/l ; 5 g/l et 6 g/l. Une septième éprouvette contenant le même volume d'eau distillée stérile a également été préparée pour recueillir les graines témoins. Les échantillons ont ensuite été incubés à l'obscurité et à la température ambiante du laboratoire (de moyenne 25 °C). Après 24 h de traitement, les graines ont été retirées de différentes solutions incubatrices, et ensemencées dans des pots de culture de forme cylindrique (de 15 cm de diamètre et de 20 cm de profondeur), contenant une terre de texture argilo limoneuse, préalablement stérilisée par autoclave pendant 30 minutes à 120 °C. Pour chaque traitement, 10 pots contenant chacun 4 graines ont été préparés, ce qui correspond à 40 graines pour chaque traitement, et à 280 graines pour l'ensemble de l'échantillonnage (soit 70 pots). Les préparations ont ensuite été transférées dans une serre métallique de dimensions 10 x 5 x 2 m³, recouverte d'un film plastique en polyéthylène d'épaisseur 180 µm, et arrosées quotidiennement par 500 ml de chaque solution expérimentale, jusqu'au 21^e jour.

Etude la germination des graines

L'effet des différentes concentrations de NaCl sur la germination des graines de maïs, a été mesuré 48 h après la mise en semis des organes, selon les techniques de Askri et al. (2007). Le pourcentage de germination (% g) a été calculé à partir de la formule suivante (Lépengué, 2008) :

$$\% g = \frac{Gt - Ge}{Gt} \times 100 \quad [1]$$

avec, Gt : Nombre de graines ayant germé dans les 10 pots d'un traitement considéré ;

Ge : Nombre de graines ayant germé dans les 10 pots témoins.

Etude des croissances longitudinales et diamétrales

L'étude des effets du NaCl sur les croissances longitudinale et diamétrale du maïs a été réalisée sur les tiges de plantes âgées de 21 jours. La croissance longitudinale a été mesurée à l'aide d'une règle graduée (du sol à la dernière branche), et la circonférence évaluée par l'emploi d'un pied à coulisse numérique (marque Fisherbrand), au niveau du collet de la tige (Lépengué *et al.*, 2007). Dans chaque cas, la variation de croissance a été déterminée à partir des moyennes des mesures essais et témoins, selon le modèle d'équation exposée ci-dessus [1].

Mesure de la matière sèche

Après la détermination des paramètres de croissance, les plantes (âgées de 21 jours) ont été précautionneusement déracinées (sans sectionner les racines principales), rincées dans 30 L d'eau distillée, et séchées pendant 2 semaines à l'étuve (de marque JP Selecta 96), à la température de 60 °C (Lépengué *et al.*, 2007). Les échantillons ont ensuite été sortis et pesés sur une balance de précision, de marque Ohaus Analytic 60. L'effet des différentes concentrations du NaCl sur la biomasse des plantes de maïs a été déterminé à partir des moyennes de masse des organes essais (de chaque traitement), et celles des plantes témoins, par un procédé similaire à celui de l'équation [1].

Répétitions et analyses statistiques

Toutes les expériences décrites dans ce travail ont été répétées 3 fois et soumises à une analyse de variance, à un critère d'évaluation, au logiciel Statistica 6.0. Les moyennes des différentes mesures ont été discriminées par les tests de comparaisons multiples de Newman-Keuls, au seuil de 5%.

RESULTATS

Effet du NaCl sur la germination des graines de maïs

Les résultats de l'effet du NaCl sur la germination des graines de maïs, ont été présentés à la Figure 1. Leur analyse a révélé que ce sel induisait 2 effets physiologiques opposés, subséquentement aux concentrations

appliquées. En effet, de faibles teneurs (1 g/l) de NaCl provoquaient des hausses significatives (13%) des germinations des graines, alors que des concentrations renforcées (égales ou supérieures à 2 g/l), réduisaient au contraire ce paramètre morphométrique (Figure 1 et Tableau 1). Les taux de germination entre les divers traitements étaient significativement différents, à l'exception des 2 derniers essais (5 g/l et 6 g/l). L'ampleur des inhibitions de germination des graines s'est par ailleurs, révélée proportionnelle à la dose de salinité appliquée. Ainsi, aux concentrations de 2 g/l de NaCl, les pourcentages d'inhibition n'atteignaient pas 20%, alors que leurs valeurs dépassaient largement 95%, pour les graines traitées au NaCl de 5 g/l.

Effet du NaCl sur la croissance longitudinale des plantes de maïs

L'impact du NaCl sur la croissance longitudinale des plantes de maïs a également révélé 2 réponses physiologiques contradictoires, selon les concentrations salines appliquées (Figure 2). Les faibles teneurs de NaCl ont induit des effets positifs, en accélérant significativement (20%) la croissance longitudinale des plantes, alors que les concentrations supérieures à 2 g/l ont plutôt retardé ce phénomène. Ces réductions se sont révélées proportionnelles aux doses de NaCl utilisées, et se sont annulées à 5 g/l.

Effet du NaCl sur la croissance diamétrale des plantes de maïs

La Figure 3 présente les résultats de l'effet du NaCl sur la croissance diamétrale des tiges de maïs. Leur analyse a montré que de faibles concentrations (1 g/l) de ce composé induisaient des augmentations significatives (13%) des diamètres des plantes étudiées, conduisant à de spécimen vigoureux et de forte envergure. Des élévations de concentrations salines (2 g/l) ont, en revanche, provoqué des réductions significatives de la croissance radiale, produisant ainsi des plantes effilées et fragiles. Ces réductions se sont révélées proportionnelles aux doses de NaCl

employées, avec des seuils critiques de toxicité situés à 5 g/l.

Effet du NaCl sur la croissance de la matière sèche des plantes de maïs

L'étude de l'effet du NaCl sur la production de matière sèche par les plantes de maïs, a généré les données présentées à la Figure 4. Leur analyse a révélé que cet indice morphologique de croissance avait

significativement augmenté (18%) par des traitements de NaCl correspondant à 1 g/l. Des concentrations élevées, de valeur supérieure ou égale à 2 g/l, ont en revanche, provoqué des baisses significatives de croissance de la biomasse de ces plantes, proportionnellement aux doses de salinité apportées. Comme dans les cas précédents, les toxicités salines létales ont été enregistrées à partir de 5 g/l de NaCl.

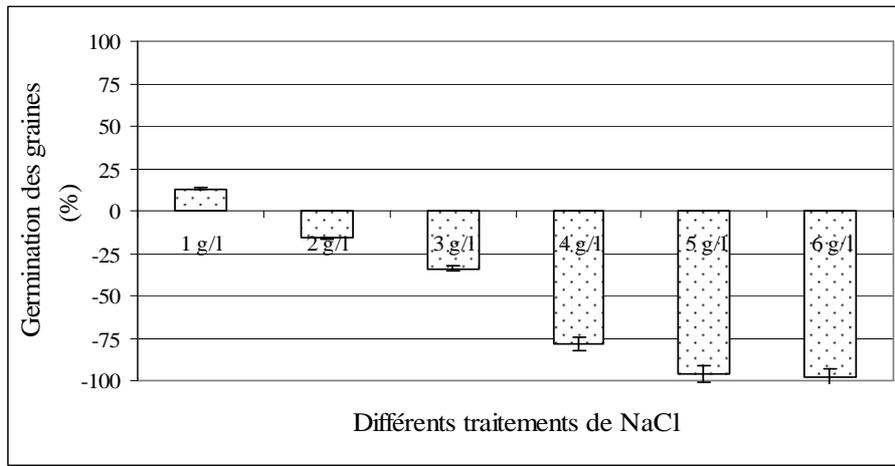


Figure 1 : Effet de différentes concentrations de NaCl sur la germination (en %) des graines de maïs cultivé en serre.

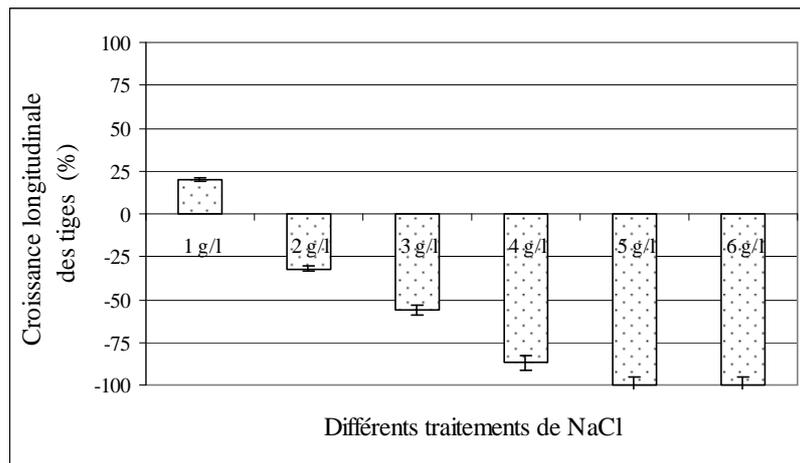


Figure 2 : Effet de différentes concentrations de NaCl sur la croissance longitudinale (en %) des tiges de maïs cultivé en serre.

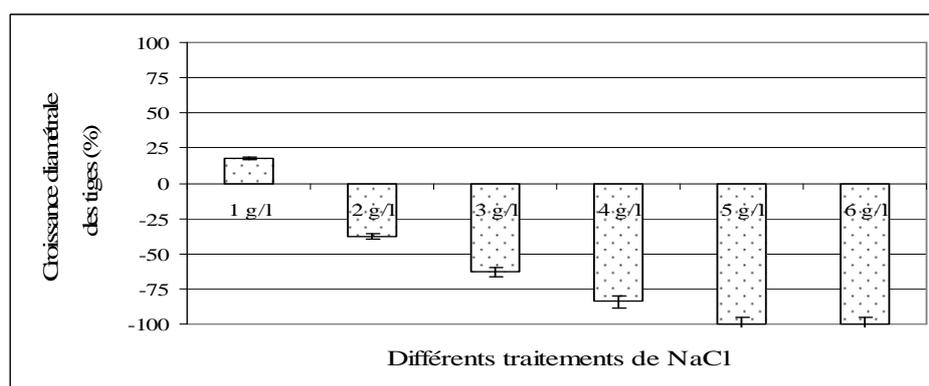


Figure 3 : Effet de différentes concentrations de NaCl sur la croissance diamétrale (en %) des tiges de maïs cultivé en serre.

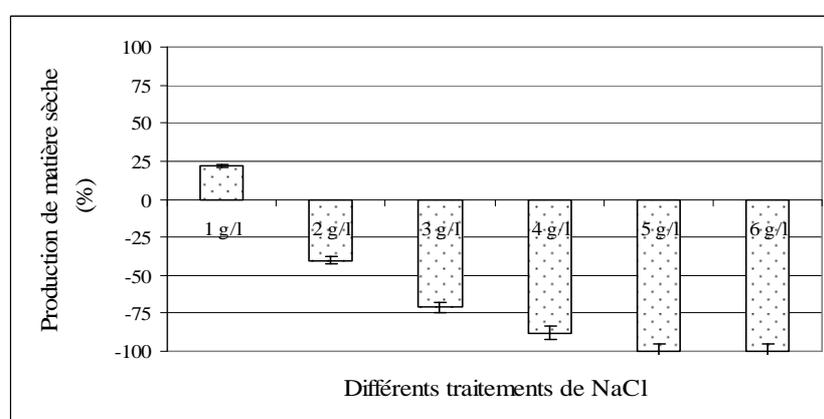


Figure 4 : Effet de différentes concentrations de NaCl sur la production de matière sèche (en %) par les plantes de maïs cultivées en serre.

Tableau 1 : Effet de différentes concentrations de NaCl sur la germination des graines de maïs cultivées en serre.

Test de Newman-Keuls : Différence significative marquée à $p < 0,005$							
	Moyenne 34,000	Moyenne 38,333	Moyenne 28,333	Moyenne 21,000	Moyenne 7,666	Moyenne 1,000	Moyenne 0,666
Témoin		0,000177*	0,000177*	0,000181*	0,000196*	0,000151*	0,000158*
1 g/l	0,000177*		0,000181*	0,000196*	0,000151*	0,000158*	0,000174*
2 g/l	0,000177*	0,000181*		0,000177*	0,000181*	0,000196*	0,000151*
3 g/l	0,000181*	0,000196*	0,000177*		0,000177*	0,000181*	0,000196*
4 g/l	0,000196*	0,000151*	0,000181*	0,000177*		0,000177*	0,000181*
5 g/l	0,000151*	0,000158*	0,000196*	0,000181*	0,000177*		0,563694
6 g/l	0,000158*	0,000174*	0,000151*	0,000196*	0,000181*	0,563694	

* : La différence des moyennes de germination des graines de maïs est significative, au seuil de 5%.

DISCUSSION

Les résultats de ce travail ont révélé que le NaCl, employé à de petites concentrations (1 g/l), améliorait la germination des graines, la croissance (longitudinale et diamétrale) des tiges, et la production de la biomasse des plantes de maïs. A de concentrations renforcées (équivalents ou supérieurs à 2 g/l), ce sel induisait des effets inverses, caractérisés par la réduction de tous les paramètres morphométriques précités.

L'amélioration des paramètres de croissance des plantes de maïs est un fait surprenant, non encore rapporté à ce jour (à notre connaissance). En effet, en dehors de quelques effets positifs relevés sur la croissance de certaines algues, et de quelques betteraves (Heller *et al.*, 1994), l'impact positif du NaCl sur la croissance végétative du maïs n'est mentionné par aucune littérature scientifique. Cette situation rend délicates la compréhension et l'explication de nos résultats. Mais en tenant compte des rôles physiologiques et biochimiques connus des atomes constitutifs (Na^+ et Cl^-) du NaCl (Heller *et al.*, 2006), on peut suggérer que ce sel agit comme un fertilisant minéral, provoquant les améliorations de germination et de croissance de plantes observées. En effet, les ions Na^+ et Cl^- jouent des rôles majeurs dans les mécanismes de nutrition hydrique et carbonée de nombreuses plantes (Nabors *et al.*, 1980). Le Na^+ est notamment impliqué dans le passage (comme ion d'accompagnement) des anions des solutions nutritives du sol vers les racines, alors que les ions Cl^- facilitent l'entrée cellulaire des cations, par création de potentiels cytosoliques négatifs (Heller *et al.*, 1994). Ces derniers jouent également un important rôle oligodynamique, par régulation des transferts des électrons de l'eau vers la chlorophylle, au cours des mécanismes photosynthétiques.

L'amélioration des indices de croissance du maïs par de faibles doses de NaCl dans notre étude, laisse suggérer l'implication de telles actions biochimiques et physiologiques.

Les résultats de ce travail ont également montré que des concentrations équivalentes ou supérieures à 2 g/l de NaCl provoquaient des réductions significatives de la germination des graines, des croissances des tiges ainsi que celles de la biomasse des plants de maïs. Tous ces faits sont en accord avec ceux rapportés par Nabors *et al.* (1980) sur le tabac ; Piri (1991) sur le blé, et Symaraytis *et al.* (1992) sur la patate douce. Dans tous les cas, les auteurs admettent que l'action perturbant du NaCl sur la croissance des plantes s'exerce essentiellement à 3 niveaux, notamment sur :

- la texture du sol ;
- l'absorption racinaire minérale ;
- l'assimilation foliaire du CO_2 .

Au niveau textural, l'action du NaCl consisterait en une cimentation du sol, par formation des agrégats augmentant ainsi la compacité tellurique (El Jaafari, 1993). Cette désorganisation provoque la baisse du potentiel hydrique et la réduction de la disponibilité en eau, aboutissant à des baisses d'absorption et au dessèchement des racines. De tels mécanismes ont également été observés par Roudani (1996) en Tunisie sur le blé soumis au stress salin.

L'effet perturbant du NaCl sur l'absorption racinaire minérale est liée à la compétition moléculaire engendrée par ses ions structuraux (Na^+ et Cl^-) vis-à-vis d'autres ions telluriques (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , NO_3^- , PO_4^{3-} , ...), au cours de la nutrition minérale (Levigneron *et al.*, 1995). La baisse d'absorption de ces derniers provoque la désorganisation de nombreux mécanismes physiologiques cibles (germination, respiration, ...), aboutissant aux troubles de croissance observés. Ce mode d'action est principalement rencontré chez l'orge soumise au stress salin (Soltani, 1988).

Les ions salins (Na^+ et Cl^-) absorbés ne sont éliminés que par certaines plantes dites glycophytes et qui sont dotées de mécanismes physiologiques d'osmoprotection (Levitt, 1980). Chez les autres végétaux (dits halophytes), ce sel s'accumule dans les organes foliaires et provoque des toxicités

aiguës qui perturbent les phénomènes de photosynthèse. La nutrition carbonée est alors désorganisée, et toutes les fonctions de croissance et de développement affectées, par voie de conséquence (Denden *et al.*, 2005).

L'ensemble des anomalies de germination et de croissance du maïs, observées dans notre étude, en réaction au NaCl, est vraisemblablement lié à l'action de ce sel par l'une ou l'autre de ces différentes voies de perturbation sus-mentionnées. Au stade actuel de nos investigations, il n'est pas possible de spécifier exactement la voie (ou les voies) concernée(s), ni les modalités d'action toxique mis en jeu. Des travaux supplémentaires devraient permettre d'approfondir la compréhension physiologique de ces affections.

Conclusion

Le NaCl provoque des perturbations de croissance significatives sur le maïs, à des concentrations égales ou supérieures à 2 g/l. Les nombreuses anomalies de germination et de croissance observées chez cette plante dans les zones côtières sont donc, au moins en partie, liées au NaCl, dont les teneurs dans ce cas égaleraient ou dépasseraient 2 g/l.

Des teneurs inférieures à ce seuil induisent, au contraire des augmentations de germination des graines et celles des croissances longitudinale et diamétrale du maïs. De tels résultats laissent entrevoir la possibilité d'incorporation du NaCl comme fertilisant chimique à de faibles doses, dans les programmes d'amélioration des productions vivrières mis en place par l'Etat gabonais.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Askri H, Rejeb S, Jebari H, Nahdi H, Rejeb MN. 2007. Effet du chlorure de sodium sur la germination des graines de trois variétés de pastèque (*Citrus lanatus* L.). *Science et Changements planétaires/ Sécheresse* **18** (1): 51-55.

Bird MM, Goodman M. 1977. The race of maize. V. Grouping maize races on the basis of ear morphology. *Economic*

Botany, **31**: 471-481.

- Denden M, Bettaieb T, Salhi A, Mathlouthi M. 2005. Effect of Chloride Sodium on Chlorophyll Fluorescence, Plant Proline Content and flowers production of three ornamental species. *Tropicultura* **23**(4): 220-225.
- El Jaafari S. 1993. Contribution à l'étude des mécanismes biophysiques et biochimiques de résistance à la sécheresse chez le blé. Doctorat, Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique, 214p.
- Feumetio B. 2002. *Les Marchés Emergents d'Afrique*. Editions Marchés Emergents : Paris ; 106p.
- Heller R, Esnault R, Lance C. 1994. *Physiologie Végétale. Nutrition* (5^e édition de l'abrégé). Editions Masson : Paris ; 294p.
- Heller R, Esnault R, Lance C. 2006. *Physiologie Végétale. Développement* (6^e édition de l'abrégé). Editions Dunod : Paris ; 366 p.
- Lépingué AN, M'batchi B, Aké S. 2007. Impact de *Phoma sabdariffae* Sacc. sur la croissance et la valeur marchande de la roselle (*Hibiscus sabdariffa* L. var. *sabdariffa*) au Gabon. *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, **10**: 207-216.
- Lépingué AN. 2008. Contribution à la protection de la roselle (*Hibiscus sabdariffa* L. var. *sabdariffa*), contre la pourriture engendrée par *Phoma sabdariffae* Sacc. et *Trichosphaeria* sp., au Gabon : Etude des mécanismes d'action fongiques phytotoxiques. Doctorat d'Université, UFR Biosciences, Univ. Cocody-Abidjan, 294 p.
- Levigneron A, Lopez F, Vansuyt G, Berthomieu P, Fourcroy P, Casse DF. 1995. Les plantes face au stress salin. *Cahier Agriculture*, **4** : 263-273.
- Levitt J. 1980. Salt and ion stress. In *Response of Plant to Environmental Stresses, Water Radiation Salt and Others Stresses* (Vol. II). New York Academic Press; 365-406.

- Meyo Bibang F. 2003. *Le Gabon, le Monde* (nouvelle édition). Collection Hatier: Paris; 80 p.
- Nabors MW, Gibbs SE, Bernstein CS, Neis ME. 1980. NaCl-tolerant tobacco plant from cultured cells. *Z.P.F. Lauzen Physiol.*, **97**: 13-17.
- Piri K. 1991. Contribution à la sélection *in vitro* des plantes androgéniques de blé pour leur tolérance à NaCl. Doctorat, Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique, 168 p.
- Roudani M. 1996. Physiologie comparée de deux espèces de blé en relation avec les conditions de nutrition. Métabolisme racinaire en milieu salé. Thèse d'Univ. Sci. Biol. Univ. Tunis II, 180 p.
- Soltani A. 1988. Analyse des effets de NaCl et de la source d'azote sur la nutrition minérale de l'orge. Thèse de Doctorat d'Etat, Faculté de Sciences de Tunis, 322 p.
- Symaraytis S, Neigrotiu I, Jacobs M. 1992. Salt and water resistant mutant isolated from potato plants of *Nicotiana plumbaginifolia* (Viviani). Med. Fac. Landow Univ. Gent 57/4a, 1507-1516.