

EFFET DES CONCENTRATIONS EN MANGANÈSE DU SOL SUR LA CROISSANCE DU MANIOC (*MANIHOT ESCULENTA CRANTZ*) AU GABON

T.D.S. Ontod
A.N. Lepengue
B. M'batchi

Laboratoire de Physiologie Végétale et Protection des plantes,
Unité de recherche Agrobiologie, Université des Sciences et Techniques de
Masuku (USTM) ; Franceville, Gabon

Abstract

Manganese is an essential micronutrient for the plants. At the lowest concentrations in plants, manganese stimulates various physiological mechanisms and it's getting toxic at the high doses. This is the case for example in Gabon where Mn phytotoxicity was reported. The present work was undertaken to study the effect of manganese on cassava's (*Manihot esculenta* CRANTZ) growth. Cassava microcuttings were planted and grown in a greenhouse on three enriched manganese soils (25 % Mn, 50 % Mn and 75 % Mn). The effect of manganese on cultivated cassava was evaluated by measuring at plant morphological indices and comparing them with the controls during 90 days. The results showed that manganese induced no symptom of toxicity on all cultivated plants during the experiment period. However, this element induced either a delay or an inhibition of the tuberization in the treatments with Mn at 50 and 75 %. It also reduced the number of leaves per plant and dry matter of plants. Nevertheless, inductions of foliar growth have been observed at the beginning of study, with exposed plants in the treatments with Mn at 25 and 50 %.

Keywords: Manganese, Cassava, Toxicity, Growth, Tuberization, Gabon

Resume

Le manganèse est un élément minéral indispensable aux plantes. A faibles concentrations, il stimule divers mécanismes physiologiques et devient toxique à des doses élevées. C'est le cas par exemple au Gabon où sa phytotoxicité a été signalée. Le présent travail a été effectué pour étudier

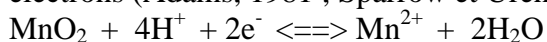
l'impact de cet élément sur la croissance du manioc (*Manihot esculenta* CRANTZ). Les boutures de cette plante ont pour cela été cultivées en serre sur 3 milieux enrichis en manganèse (25 % Mn ; 50 % Mn ; 75 % Mn). L'effet manganifère a été évalué par la mesure des indices morphologiques de croissance des plantes, en comparaison avec des cultures témoins pendant 90 jours. Les résultats obtenus ont révélé que le manganèse n'induisait aucun symptôme visuel de toxicité sur l'ensemble des plantes cultivées durant toute la période de l'expérimentation. Cet élément a cependant provoqué soit un retard, soit une inhibition de la tubérisation au sein des traitements avec le Mn à 50 et 75 %. Il a également réduit le nombre de feuilles apparues par plante, ainsi que la production de la matière sèche des plantes. Des inductions de croissance foliaire ont toutefois été observées en début d'expérience, chez les plantes exposées aux traitements avec le Mn à 25 et 50 %.

Mots-clés : Manganèse, Manioc, Toxicité, Croissance, Tubérisation, Gabon.

Introduction

Le manganèse est un élément minéral indispensable aux plantes. Il intervient à faible dose dans divers mécanismes physiologiques végétaux, notamment la photosynthèse, la réduction des nitrates et la synthèse de la chlorophylle, des acides aminés et des protéines. Il joue également un rôle important en tant que cofacteur des réactions enzymatiques (Loué, 1993).

Pour être assimilé par les plantes, le manganèse doit être présent sous la forme minérale Mn^{2+} dont la concentration dans la solution du sol dépend de la réserve de celui-ci en cet élément, du pH et de la disponibilité des électrons (Adams, 1981 ; Sparrow et Uren, 1987) :



Cependant, le manganèse peut devenir toxique lorsque sa concentration dans la solution du sol s'accroît. C'est le cas notamment à Hawaï où sa phytotoxicité a été signalée sur des oxisols à pH < 6 (Hue *et al.*, 2001). Au Gabon, des situations similaires ont été rapportées par Marchal et Fouré (1983) sur le site agro-industriel d'Okoloville, au Nord de Franceville. Ces auteurs ont en effet noté l'apparition d'une intoxication manganifère sur des bananiers plantains pour des valeurs de 12 ppm en manganèse échangeable dans le sol. Cette toxicité se manifeste notamment par des chloroses, des nécroses et le noircissement des limbes, avec un développement ultérieur des marges desséchées. D'autres travaux, comme ceux de Eba *et al.* (2007) ont également permis de mettre en valeur la toxicité de cet élément. Pour ces auteurs, la toxicité du manganèse est avérée chez de nombreuses plantes cultivées et consommées dans la région minière de Moanda. Les principaux symptômes observés sont : l'apparition des zones

jaunes entre les nervures et la formation de taches violettes sur les tiges et sous les feuilles des plantes affectées.

Mais toutes ces études bien qu'intéressantes, sont restées partielles, limitées à des caractéristiques physico-chimiques. Elles ne permettent donc pas de comprendre l'impact étendu du manganèse sur les plantes affectées. De plus, la littérature traitant des effets du manganèse sur le comportement des plantes à racines et tubercules est très rare, voire inexistante. C'est pour approfondir la compréhension de ces mécanismes de phytotoxicité que le présent travail a été initié sur la culture du manioc. Il vise donc à étudier l'impact de différentes concentrations de manganèse sur la croissance du manioc (*Manihot esculenta* CRANTZ) en début de cycle. L'étude admet 3 objectifs spécifiques :

- L'analyse symptomatologique de la toxicité manganifère au cours de la croissance des plantes ;
- L'analyse de la tubérisation sous l'effet de la contrainte manganifère ;
- La mesure des indices morphologiques de croissance des plantes cultivées sur le milieu manganifère.

Materiel et methodes

Matériel

Le matériel végétal utilisé dans cette étude était constitué de boutures de manioc d'une variété locale. Cette variété localement appelée *Oyirikouda* (en langue Téké) n'a pas encore fait l'objet d'une identification génétique formelle. Néanmoins, c'est un cultivar amer qui se distingue par des tubercules de forme conique cylindrique à phelloderme blanc. Il présente également des feuilles apicales de couleur pourpre, avec des pétioles rouge. Les jeunes tiges de ce cultivar sont rouges avec alternance de coloration verte tandis que les tiges aoûtées présentent une teinte beige foncé voire marron. Ces boutures ont été prélevées dans un champ en bordure de route, près du village Lepaka situé sur l'axe routier Franceville-Boumango (01°40'47.5" de latitude Sud et 013°34'27.6" de longitude Est).

Méthodes

Préparation des substrats de culture

Pour réaliser cette expérience, un sol de texture sableuse (Lekambou, 2007) et du minerai de manganèse (MnO_2) (Stolojan *et al.*, 2003) ont été utilisés. Les substrats de culture utilisés ont été séchés pendant 3 jours à l'air à la température moyenne de 25 °C ; les racines et les résidus ont été éliminés à l'aide d'un sas (Lépengué *et al.*, 2011). Les échantillons secs ont ensuite été pesés et repartis dans des seaux en plastique (26,3 × 20,3 cm), pour constituer les différents traitements.

Traitements

Dans chaque seau 10 kg de substrat de culture composés de manganèse (minéral) et de substrat organique ont été placés. Les substrats de culture ont été divisés en 4 groupes suivant leur proportion en manganèse contenu :

- Témoin (0 % Mn) : 10 kg de substrat organique ;
- Traitement 1 (25 % Mn) : 2,5 kg de manganèse + 7,5 kg de substrat organique ;
- Traitement 2 (50 % Mn) : 5 kg de manganèse + 5 kg de substrat organique ;
- Traitement 3 (75 % Mn) : 7,5 kg de manganèse + 2,5 kg de substrat organique.

L'ensemble de l'essai a comporté 40 seaux en plastique (26,3 × 20,3 cm) repartis en quatre blocs. Chaque bloc était constitué de 10 seaux dûment identifiés et portant la référence du traitement.

Semis des boutures et croissance des plantules

Deux (2) boutures de manioc de 25 cm de longueur et comprenant 4 à 6 nœuds ont été plantées par seau de culture ; ce qui correspond à 20 boutures par bloc, et à 80 unités pour tout l'échantillonnage. Les préparations ont ensuite été transférées dans une serre à armature en bois d'œuvre solide de dimensions 15 x 8 x 3 m³, recouverte de tôles ondulées étanches et translucides, d'épaisseur 0,8 mm. Chaque seau a été arrosé 2 fois par semaine avec 1000 ml d'eau distillée, jusqu'à la fin de l'expérimentation au 90^e jour.

Observation des symptômes de toxicité et tubérisation

Les symptômes de toxicité manganifère ont été observés visuellement sur l'ensemble des organes aériens et souterrains des plantes étudiées. Des observations plus fines ont ensuite été effectuées sur chaque organe à l'aide d'une loupe binoculaire de marque Olympus (Lépengué *et al.*, 2010). Une plante a été définie comme ayant tubérisé lorsque au moins une de ses racines était renflée en organe de réserves (Hopkins, 2003).

Paramètres évalués

Pour évaluer l'effet des différents traitements sur la croissance des plants de manioc, 5 indices morphologiques ont été mesurés chaque mois c'est-à-dire tous les 30 jours pendant 90 jours. Ce sont : la hauteur et le diamètre des tiges, la surface foliaire, le nombre de feuilles apparues par plante et la matière sèche des plantes.

- Hauteur et diamètre des tiges

La hauteur des tiges a été déterminée à l'aide d'un ruban-mètre, par

mesure de l'intervalle compris entre le sol et la dernière fourche foliaire, pour les tiges dont le point d'insertion sur la bouture est sous terre. Pour les tiges émises sur la partie aérienne des boutures, nous avons considéré la hauteur allant du point de raccordement de la tige sur la bouture à la dernière branche de la plante.

La mesure du diamètre a été effectuée à l'aide d'un pied à coulisse numérique, de marque Mitutoyo Absolute ($P \pm 0.02$ mm) au niveau du collet, ou à 2 cm du point de rattachement de la tige sur la bouture, selon que les plants soient émis sous terre ou à partir du fragment aérien de la bouture.

- Surface foliaire et nombre de feuilles apparues par plante

L'évaluation de la surface foliaire s'est limitée à un plant par traitement, et a consisté à mesurer à l'aide d'une règle graduée, la longueur du lobe central des feuilles des plants retenus. La surface foliaire (SF) de nos plants a ensuite été déterminée à partir de la formule établie par Connor et Cock (1981) : $SF \text{ (cm}^2\text{)} = 0,0067L^{2,042}$ avec L (mm) représentant la longueur du lobe central de la feuille.

Pour le nombre de feuilles des plantes, la mesure a été faite au sein de chaque traitement, par dénombrement des feuilles émises. Le nombre moyen de feuilles apparues par plante (Na) a été obtenu à partir de la formule suivante :

$$Na = \frac{Nf}{Np}$$

où

Nf : La somme du nombre de feuilles apparues sur toutes les plantes d'un traitement ; et

Np : Le nombre total des plantes du traitement considéré.

Masse de matière sèche

Pour évaluer la matière sèche, 2 plants de manioc ont été choisis de façon aléatoire et récoltés manuellement par arrachage, tous les 30 jours, jusqu'à la fin de l'expérimentation. Les échantillons ont ensuite été rincés abondamment à l'eau de robinet, séchés entre deux épaisseurs de papier buvard, découpés et pesés à la balance (Ohaus Traveler TA302). Les échantillons frais précédemment pesés ont par la suite été séchés à l'étuve à 60 °C pendant 7 jours, et à nouveau pesés, après refroidissement (Ontod *et al.*, 2013).

Répétitions et analyses statistiques

L'ensemble de l'expérimentation a été répétée 3 fois et les données obtenues ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA), à un critère d'évaluation, au logiciel Statistica 6.0. En cas de différences significatives

entre les moyennes, les tests de comparaisons multiples de Newman-Keuls ont été utilisés au seuil de 5 %.

Resultats

Symptômes visibles de toxicité et tubérisation

Les observations relatives à la symptomatologie n'ont indiqué aucun signe de toxicité sur toutes les plantes étudiées. Les plantes exposées aux différentes concentrations de manganèse ont paru saines jusqu'à la fin de l'expérience. Elles n'ont présenté aucune différence visuelle de coloration avec les plantes témoins.

La tubérisation quant à elle n'a pas été observée dans tous les traitements de l'essai durant les 60 premiers jours. Elle est apparue vers le 90^e jour de culture, mais exclusivement dans les seaux témoins ou ceux contenant 25 % de Mn.

Effet du manganèse sur la croissance longitudinale des plantes

Les résultats de l'effet des différents traitements manganifères sur la croissance longitudinale des plantes de manioc sont présentés à la figure 1. Leur analyse a révélé que tous les traitements exerçaient des influences aussi bien positives que négatives sur la taille des végétaux. Les plantes traitées à de faibles teneurs (25 % Mn) ont alors présenté des tiges plus longues (24,51 cm) que celles des témoins (21,95 cm), avec une augmentation atteignant 11,69 % au 90^e jour de culture. Les plantes traitées aux teneurs élevées (50 % et 75 % Mn) ont plutôt présenté des tailles réduites par rapport aux plantes témoins. Ces réductions de croissance longitudinale ont été proportionnelles aux doses de manganèse utilisées. Ainsi, au 90^e jour de culture par exemple, les valeurs obtenues étaient respectivement de 19,19 cm (traitement 2) et 17,2 cm (traitement 3). Ce qui correspond à des réductions de croissance longitudinales respectives de 12,58 % et 21,62 % par rapport aux témoins. L'analyse statistique a montré qu'il n'y avait aucune différence significative, au seuil de 5 % entre les différents traitements essais et le témoin.

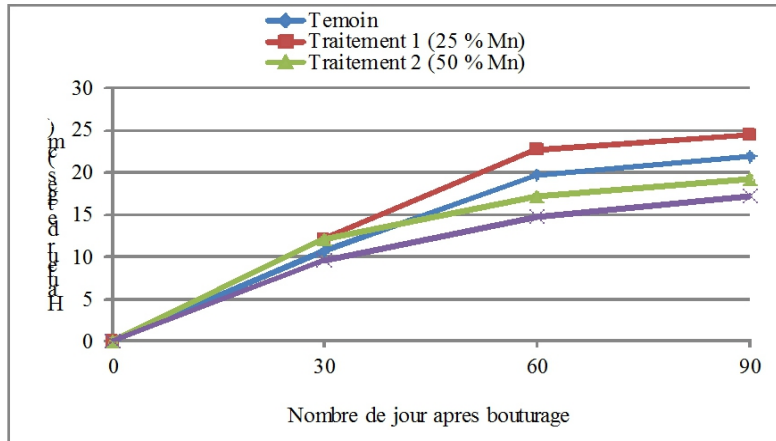


Figure 1 : Croissance longitudinale des tiges de plantes de manioc cultivées en serre sur des sols de différentes teneurs en manganèse.

Effet du manganèse sur la croissance radiale des plantes

Les effets des différents traitements manganifères sur la croissance diamétrale des plantes de manioc ont été résumés à la figure 2. De leur analyse, il est ressorti que le manganèse n’influçait pas significativement la croissance diamétrale des plantes. Bien que l’effet de cet élément ne soit pas significatif, le traitement 1 (25 % Mn) a induit la croissance radiale la plus élevée (0,63 cm) au 90^e jour, correspondant à une augmentation de 3,98 % par rapport au témoin. Les traitements 50 % et 75 % Mn ont plutôt retardé l’épaississement des tiges des plantes. Celles-ci ont alors présenté des tiges plus minces que les témoins, avec des valeurs respectives de 0,56 cm (traitement 2) et 0,52 cm (traitement 3), au 90^e jour de culture. Ce qui correspond à des réductions de croissance diamétrales respectives de 7,05 % (traitement 2) et 13,84 % (traitement 3) par rapport au témoin.

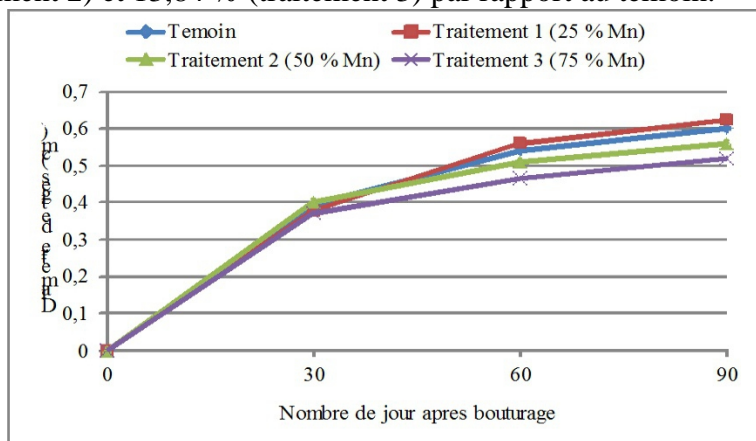


Figure 2 : Croissance diamétrale des tiges de plantes de manioc cultivées en serre sur des sols de différentes teneurs en manganèse.

Effet du manganèse sur la croissance de la surface foliaire des plantes

La figure 3 présente les résultats de l'évolution de la surface foliaire des plantes cultivées sur différents sols manganifères. Son analyse a révélé, par rapport au témoin, des inductions de croissance pour les traitements 1 (63,51 %) et 2 (147,42 %) au 30^e jour de culture des plantes. Mais ces stimulations ont progressivement diminué et toutes les plantes traitées ont présenté à partir du 60^e jour des surfaces foliaires inférieures à celles des témoins. Au 90^e jour, ces réductions de surface foliaire ont atteint des valeurs de 26,13 % (traitement 1), 41,26 % (traitement 2) et 61,51 % (traitement 3) par rapport au témoin.

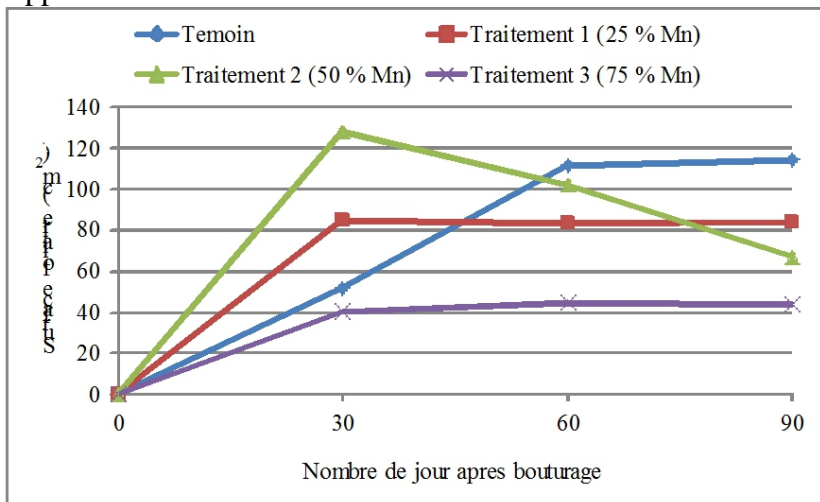


Figure 3 : Croissance de la surface foliaire des plantes de manioc soumises à différents traitements de manganèse en conditions de serre.

Effet du manganèse sur la phyllotaxie

L'action du manganèse sur la production de feuilles par plante a montré que tous les traitements 1, 2 et 3 ont provoqué des réductions d'émissions foliaires des plantes (figure 4). Ces réductions n'ont cependant pas été significatives durant les 90 jours d'expérimentation par rapport au témoin.

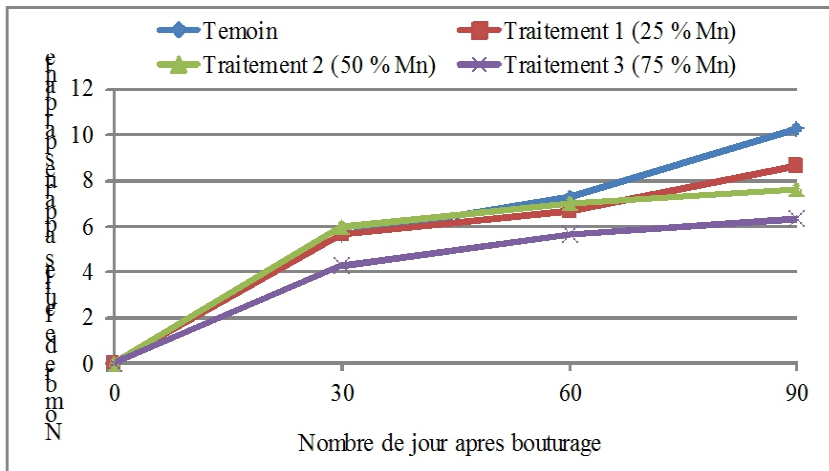


Figure 4 : Nombre de feuilles produites par les plantes de manioc cultivées en serre sur des sols amendés en manganèse.

Analyse de la matière sèche des plantes

L'effet des différents traitements manganifères sur la production de la matière sèche des plantes a révélé que les plantes issues des milieux témoins et du traitement 1 ont présenté pratiquement les mêmes masses durant les 90 jours d'étude (figure 5). Les plantes des traitements 2 et 3 ont en revanche produit des masses de matière sèche nettement inférieures à celles des 2 premiers traitements. Ces valeurs ont été au 90^e jour de 7,85 g (traitement 2) et 4,72 g (traitement 3) correspondant à des réductions significatives respectives de 60,43 % et 76,21 % par rapport aux plantes témoins.

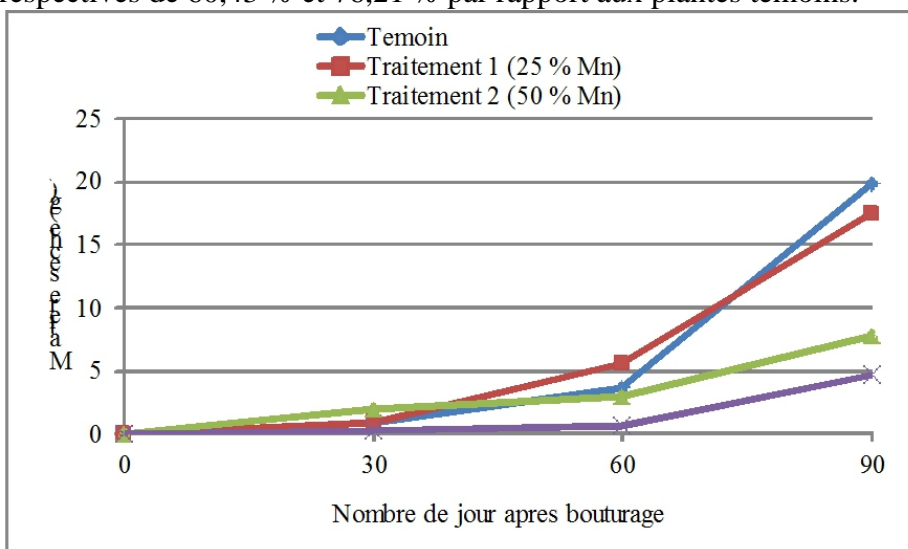


Figure 5 : Matière sèche produite par 2 plantes de manioc soumises à différents traitements de manganèse en serre.

Discussion

Les résultats relatifs à la symptomatologie n'ont indiqué aucun signe apparent de toxicité sur toutes les plantes étudiées. D'après Fageria *et al.* (2002), les teneurs critiques de toxicité en manganèse dans les plantes se situent entre 300 et 500 mg kg⁻¹. Ceci laisse supposer que l'absence de symptômes d'intoxication enregistrée dans notre étude peut être attribuée à une faible accumulation du manganèse dans les organes du manioc, particulièrement les feuilles. En effet, les symptômes caractéristiques d'une toxicité manganifère sont généralement perceptibles au niveau foliaire (Marchal et Fouré, 1983 ; El-Jaoual et Cox, 1998), du fait de l'existence d'un gradient d'accumulation minérale dans les parties des plantes (Yang *et al.*, 2008). C'est-à-dire que les feuilles stockent plus de manganèse que les tiges et les racines (Loneragan, 1988 ; Schäfer, 2004).

Par ailleurs, cette étude a montré que la tubérisation ne débutait qu'à partir du 90^e jour de culture et ce, uniquement au sein des seaux témoins ou contenant 25 % de Mn. Ce résultat pourrait correspondre soit à un ralentissement, ou à une inhibition de ce processus par l'action directe d'un excès de manganèse au niveau des traitements 2 et 3. Il pourrait également provenir indirectement d'un déséquilibre de nutrition minérale (probablement calcique) des plantes exposées à ces traitements. Ainsi, dans la première hypothèse, les teneurs de ce minerai perturberaient le transit des électrons photosynthétiques, et donc l'élaboration de la matière organique (Hopkins, 2003 ; Li *et al.*, 2010). Dans la seconde hypothèse, en revanche, les teneurs en manganèse du sol joueraient un rôle antagoniste en interférant avec le prélèvement de certains éléments essentiels, tels que le fer, le magnésium, le calcium, le zinc (Cenni *et al.*, 1998 ; De Varennes *et al.*, 2001 ; Venkatesan *et al.*, 2007 ; Savvas *et al.*, 2009). Cet antagonisme se ferait par compétition au niveau des sites d'absorption racinaire (Marschner, 1995 ; Korshunova *et al.*, 1999). En outre, dans le contexte d'une altération de la nutrition minérale des plantes, Balamani *et al.* (1986) ont suggéré que le calcium jouait un rôle important dans la tubérisation *in vitro*. En effet, selon ces auteurs, l'inhibition de son assimilation chez des plantules de pomme de terre empêchait la tubérisation qui était restaurée par ajout du calcium dans le milieu.

Les résultats de cette étude ont également montré que les traitements manganifères induisaient aussi bien des augmentations que des réductions des indices de croissance du manioc : croissances longitudinale et diamétrale des tiges, surface foliaire, nombre de feuilles apparues par plante et matière sèche des plantes. Au niveau de la croissance longitudinale, les résultats de l'effet des différents traitements sur cet indice de croissance se sont révélés non significatifs. Il en est de même pour ceux concernant la croissance diamétrale. Dans les travaux relatifs à l'effet du manganèse sur le manioc, les

conditions expérimentales pratiquées sont très diverses. De plus, les données essentielles de quantification minérale fournies par la littérature restent sans explication spécifique sur les réponses mises en place par la plante, ce qui rend difficile la formulation d'une hypothèse. Mais en se référant aux travaux effectués sur d'autres plantes (par exemple la fève), les variations non significatives des croissances longitudinale et diamétrale obtenues dans la présente étude pourraient être attribuées à une faible accumulation du Mn dans les tiges des plantes (Shashi et Roy, 2011).

Les données portant sur la croissance de la surface foliaire ont montré que les traitements 1 (25 % Mn) et 2 (50 % Mn) ont induit des augmentations de ce paramètre au 30^e jour de culture. Ces résultats corroborent ceux de Ontod *et al.* (2013) sur la roselle. Ces auteurs ont en effet relevé une influence positive du traitement 50 % de Mn sur la croissance de la surface foliaire des plantes de roselle. Ceci pourrait être expliqué par une augmentation du nombre et de la taille des cellules après activation des mécanismes photosynthétiques de la phase lumineuse par le manganèse. Par ailleurs, la solubilité du manganèse dépend de plusieurs facteurs environnementaux, à savoir : le pH du sol, la disponibilité des électrons (Hue *et al.*, 2001) puis du degré d'hydratation (Boupassia, 2004). Ces conditions pourraient aussi expliquer les stimulations obtenues pour ce paramètre en début d'expérience et les réductions observées au cours des 60 autres jours d'étude.

En ce qui concerne le nombre de feuilles apparues par plante, nos résultats ont montré une réduction générale de ce paramètre pendant toute la durée de culture. De tels résultats proviennent vraisemblablement d'un ralentissement de l'organogénèse foliaire comme suggéré par Moussavou (2010), à propos des mécanismes d'accumulation du cadmium chez *Arabidopsis thaliana*.

L'analyse des résultats de la matière sèche a révélé que tous les traitements exerçaient une influence négative sur la production de la biomasse des plantes. Dans tous les cas, on note une réduction proportionnelle de ce paramètre du traitement 1 au traitement 3. De nombreux travaux font état d'une réduction des masses de matière fraîche et sèche, après exposition au manganèse des plantes telles que la roselle (Ontod *et al.*, 2013), la patate douce (Yene, 2013), le ray-grass (Mora *et al.*, 2009), *Casuarina equisetifolia* (Kasraei *et al.*, 1996) et *Schima superba* (Yang *et al.*, 2008). Des résultats similaires sont rapportés dans d'autres types de contamination aux métaux lourds : c'est le cas du concombre et de la pomme de terre à l'aluminium (Pereira *et al.*, 2010 ; Tabaldi *et al.*, 2007), du riz à l'arsenic (Choudhury *et al.*, 2010). C'est également le cas des contaminations du blé et du radis au cadmium (Liu *et al.*, 2007b ; Anuradha et Rao, 2007), du melon au chrome (Akinci et Akinci, 2010), du radis au

cuivre (Sun *et al.*, 2010) et du maïs et du radis au plomb (Ekmekçi *et al.*, 2009 ; Biteur, 2012). Ces réductions résultent probablement de la perturbation de croissance de certains paramètres morphométriques, notamment la surface foliaire et l'émission des feuilles, comme observées dans la présente étude.

Conclusion

La présente étude a été effectuée dans l'optique de quantifier l'impact du manganèse sur la croissance du manioc au Gabon en conditions contrôlées. Les résultats ont montré que cet élément provoquait soit un retard, soit une inhibition de la tubérisation au sein des traitements à forte teneur de manganèse (50 % et 75 % Mn). Aucun signe visuel de toxicité n'est apparu sur toutes les plantes cultivées, durant les 90 jours d'expérimentation. Les réductions morphologiques de croissance ont, quant à elles été enregistrées sur le nombre de feuilles apparues par plante et la matière sèche des végétaux. Un contrôle minutieux des facteurs environnementaux qui conditionnent la solubilisation du manganèse aiderait, du moins en partie, à assurer une bonne croissance des plantes de manioc sur des sols enrichis en cet élément. L'apport d'un amendement organique pourrait également être utile pour atténuer l'effet de ce minéral.

References:

- Adams F, 1981. Nutritional imbalances and constraints to plant growth on acid soils. *J. Plant Nutr.* 4: 81–87.
- Akinci IE, Akinci S, 2010. Effect of chromium toxicity on germination and early seedling growth in melon (*Cucumis melo* L.). *Afr. J. Biotech.* 9 (29): 4589-4594.
- Anuradha S, Rao SSR, 2007. The effect of brassinosteroids on radish (*Raphanus sativus* L.) seedlings growing under cadmium stress. *Plant Soil Environ.* 53: 465-472.
- Balamani V, Veluthambi K, Poovaiah BW, 1986. Effect of calcium on tuberization in potato. *Plant Physiol.* 80: 856-858.
- Biteur N, 2012. Essais d'utilisation du radis (*Raphanus sativus*) dans la phytoremédiation (biodépollution) au niveau du sol contaminé par les métaux lourds (plomb) : Etude du stress oxydatif et quelques paramètres enzymatiques. Thèse de Doctorat, Spécialité Biochimie appliquée, Univ. d'Oran, Algérie, 110 p.
- Boupassia C, 2004. Étude des sols et des résidus miniers de la région de Moanda au Sud-Est du Gabon : Perspectives de réhabilitation du plateau manganésifère de Bangombé. Thèse de Doctorat, Spécialité Sciences de la Terre et de l'Environnement, Univ. de Bourgogne, France, 306 p.
- Cenni E, Bussotti F, Galeotti L, 1998. The decline of a *Pinus nigra* Arn.

- Reforestation stand on a limestone substrate: The role of nutritional factors examined by means of foliar diagnosis. *Ann. Sci. For.* 55: 567-576.
- Choudhury B, Mitra S, Biswas AK, 2010. Regulation of sugar metabolism in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings under arsenate toxicity and its improvement by phosphate. *Physiol. Mol. Biol. Plants*, 16 (1): 59-68.
- Connor DJ, Cock JH, 1981. Response of cassava to water shortage. II. Canopy dynamics. *Field Crops Res.* 4: 285-296.
- De Varennes A, Carneiro JP, Goss MJ, 2001. Characterization of manganese toxicity in two species of annual medics. *J. Plant Nutr.* 24 (12): 1947-1955.
- Eba F, Ondo JA, Emame MS, Ollui-M'boulou M, Omva-Zue J, 2007. Taux de manganèse accumulé dans quelques plantes vivrières cultivées dans la région manganésifère de Moanda (Gabon). *J. Soc. Ouest-Afr. Chim.* 023: 69-74.
- Ekmekçi Y, Tanyolaç D, Ayhan B, 2009. A crop tolerating oxidative stress induced by excess lead in maize. *Acta Physiol. Plant*, 31: 319-330.
- El-Jaoual T, Cox DA, 1998. Manganese toxicity in plants. *J. Plant Nutr.* 21: 353-386.
- Fageria NK, Baligar VC, Clark RB, 2002. Micronutrients in crop production. *Adv. Agron.* 77: 185-268.
- Hopkins WG, 2003. *Physiologie végétale*. Edition de Boeck, Université de Bruxelles, Belgique, 532 p.
- Hue NV, Vega S, Silva JA, 2001. Manganese toxicity in a Hawaiian Oxisol affected by soil pH and organic amendments. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 153-160.
- Kasraei R, Rodríguez-Barrueco C, Arroyo MI, 1996. The effect of Al and Mn on growth and mineral composition of *Casuarina equisetifolia* Forst. *Fertilizers and Environment*, 75-81.
- Korshunova YO, Eide D, Clark WG, Guerinot ML, Pakrasi HB, 1999. The IRT1 protein from *Arabidopsis thaliana* is a metal transporter with a broad substrate range. *Plant Mol. Biol.* 40: 37-44.
- Lekambou JM, 2007. Effet de trois fumures organiques sur la croissance et le rendement de l'oseille de Guinée (*Hibiscus sabdariffa* var. *sabdariffa*) en sols ferrallitiques de savane et de forêt du Haut-Ogooué. Mémoire d'ingénieur agronome, Institut National Supérieur d'Agronomie et de Biotechnologies, Univ. Sci. Et Tech. Masuku, 92 p + annexes.
- Lépengué AN, Atteke C, Mouaragadja I, Aké S, M'batchi B, 2010. Caractéristiques biologiques de *Phoma sabdariffae* Sacc. et *Trichosphaeria* sp., deux agents pathogènes de la roselle au Gabon. *Agronomie Africaine*, 22 (1): 1 – 9.
- Lépengué AN, Ontod T, Mbadoumou N, Mouaragadja I, M'batchi B, Aké S, 2011. Effet des prétraitements d'acide auxinique sur la croissance des plants de gombo au Gabon. *Agronomie Africaine*, 23 (3): 237 – 245.
- Li Q, Chen L-S, Jiang H-X, Tang N, Yang L-T, Lin Z-H, Li Y, Yang G-H,

2010. Effects of manganese-excess on CO₂ assimilation, ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase, carbohydrates and photosynthetic electron transport of leaves, and antioxidant systems of leaves and roots in *Citrus grandis* seedlings. *BMC Plant Biol.* 10: 42.
- Liu X, Zhang S, Shan XQ, Christie P, 2007b. Combined toxicity of cadmium and arsenate to wheat seedlings and plant uptake and antioxidative enzyme responses to cadmium and arsenate co-contamination. *Ecotoxicol. Environ.* 68: 305-313.
- Loneragan JF, 1988. Distribution and movement of manganese in plants. In: Manganese in soils and plants, Graham RD, Hannam RJ. et Uren NC (eds.), Kluwer Acad. Publ. Dordrecht, Netherlands, 113-124.
- Loué A, 1993. Oligo-éléments en agriculture. 2^{ème} édition. Editions Nathan, Paris, 577 p.
- Marchal J, Fouré E, 1983. Un cas de toxicité du manganèse chez des bananiers plantains au Gabon. *Fruits*, 38 (3): 153-160.
- Marschner H, 1995. Mineral nutrition of higher plants, 2nd edn. Academic Press, London, 889 p.
- Mora ML, Rosas A, Ribera A, Rengel Z, 2009. Differential tolerance to Mn toxicity in perennial ryegrass genotypes: involvement of antioxidative enzymes and root exudation of carboxylates. *Plant Soil*, 320: 79–89.
- Moussavou MCF, 2010. Etude des mécanismes d'accumulation du cadmium chez *Arabidopsis thaliana* (écotype Wassilewskija) et chez un mélèze hybride (*Larix x eurolepis*) par des approches moléculaires et développementale. Thèse de Doctorat, Spécialité Biologie de l'environnement, Univ. de Limoges, France, 223 p.
- Ontod TDS, Lépengué AN, M'batchi B, 2013. Effet de la toxicité manganifère sur les paramètres morphométriques de la roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.var.*sabdariffa*) au Gabon. *European Scientific Journal*, 9 (15): 255-264.
- Pereira LB, Mazzanti CMA, Gonçalves JF, Cargnelutti D, Tabaldi LA, Becker AG, Calgaroto NS, Farias JG, Battisti V, Bohrer D, Nicoloso FT, Morsch VM, Schetinger MRC, 2010. Aluminum-induced oxidative stress in cucumber. *Plant Physiol. Biochem.* 1-7.
- Savvas D, Papastavrou D, Ntatsi G, Ropokis A, Olympios C, 2009. Interactive effects of grafting and manganese supply on growth, yield, and nutrient uptake by tomato. *Hortscience*, 44 (7): 1978–1982.
- Schäfer U, 2004. Manganèse. In: Elements and their compounds in the environment. Eds. Merian, Anke, Ihnat et Stoeppler. 2^{ème} édition, Wiley-VCH Weinheim (D). Metals and their compounds, 2: 901-930.
- Shashi KA, Roy BK, 2011. Manganese induced changes in growth, chlorophyll content and antioxidants activity in seedlings of broad bean (*Vicia faba* L.). *J. Environ. Biol.* 32: 707-711.

- Sparrow LA, Uren NC, 1987. Oxidation and reduction of Mn in acidic soils: Effect of temperature and soil pH. *Soil Biol. Biochem.* 19: 143–148.
- Stolojan N, Pelon R, Gentilhomme P, 2003. Le marché du manganèse : organisation et perspectives. In: Recueil des Econotes 2003 de la cellule d'intelligence économique du BRGM. 97- 105.
- Sun BY, Kan SH, Zhang YZ, Deng SH, Wu J, Yuan H, Qi H, Yang G, Li L, Zhang XH, Xiao H, Wang YJ, Peng H, Li YW, 2010. Certain antioxidant enzymes and lipid peroxidation of radish (*Raphanus sativus* L.) as early warning biomarkers of soil copper exposure. *J. Haz. Mat.* 183: 833-838.
- Tabaldi LA, Nicoloso FT, Castro GY, Cargnelutti D, Gonçalves JF, Rauber R, Skrebsky EC, Schetinger MRC, Morsch VM, Bisognin DA, 2007. Physiological and oxidative stress responses of four potato clones to aluminum in nutrient solution. *Braz. J. Plant Physiol.* 19 (3): 211-222.
- Venkatesan S, Hemalatha KV, Jayaganesh S, 2007. Characterization of manganese toxicity and its influence on nutrient uptake, antioxidant enzymes and biochemical parameters in tea. *Res. J. Phytochem.* 1 (2): 52-60.
- Yang SX, Deng H, Li MS, 2008. Manganese uptake and accumulation in a woody hyperaccumulator, *Schima superba*. *Plant Soil Environ.* 54 (10): 441-446.
- Yene ECJ, 2013. Effet du manganèse sur la croissance et la tubérisation de la patate douce (*Ipomoea batatas* L.). Mémoire de Master, Faculté des Sciences, Univ. Sci. Et Tech. Masuku, 43 p.