



INFLUENCE DU MANGANESE SUR L'ACTIVITE PHOTOSYNTHETIQUE DE LA LAITUE D'EAU DOUCE (*Pistia stratiotes* L.) AU GABON

INFLUENCE OF MANGANESE ON THE PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY OF *Pistia stratiotes* L.) IN GABON

| Ephrem Nzengue^{1,2} | Alexis Nicaise Lepengue¹ | Stéphane Mombo^{1*} | Dhert Souviens Ontod Tshi-Tshi¹ | Aurélien Mokea-Niaty¹ | Jean Fabrice Yala³ | Alain Souza⁴ | and | Bertrand Mbatchi¹ |

¹. Université des Sciences et Techniques de Masuku (USTM) | Département de Biologie | Laboratoire de Physiologie Végétale et Protection des Plantes | Franceville | Gabon |

². Centre National de Recherches Scientifiques et Technologiques (CENAREST) | Institut de Recherche en Écologie Tropicale (IRET) | Département de Biologie et Ecologie végétale | Libreville | Gabon |

³. Université des Sciences et Techniques de Masuku (USTM) | Département de Biologie | Laboratoire de Microbiologie | Franceville | Gabon |

⁴. Université des Sciences et Techniques de Masuku (USTM) | Département de Biologie | Laboratoire de Physiologie Animale-Pharmacologie | Franceville | Gabon |

| Received 08 July 2019 |

| Accepted 13 August 2019 |

| Published 04 September 2019 |

| ID Article | Ephrem-Ref.1-ajira080819 |

RESUME

Introduction : l'exploitation du manganèse à Moanda au Sud-Est du Gabon est responsable de la pollution des cours d'eau et présente un risque d'intoxication des plantes aquatiques. **Objectif** : cette étude vise à évaluer l'impact de la pollution en Mn sur l'activité photosynthétique de la laitue d'eau douce (*Pistia stratiotes* L.). **Méthodes** : les plantes ont été exposées pendant 7 jours dans 4 béchers contenant respectivement 250 (T25), 500 (T50), 750 (T75) et 1000 g (T100) de fines particules de manganèse dissoutes dans une solution nutritive de KNOP. Le témoin (T0) contenait uniquement la solution nutritive. À la fin de l'expérience, les teneurs en chlorophylles des feuilles ont été mesurées à l'aide d'un Chlorophyll-meter et les cellules mortes ont été dénombrées au microscope photonique. Les activités photosynthétiques des plantes ont été évaluées à l'aide d'une cuve de photosynthèse reliée à un ordinateur. **Résultats** : les résultats obtenus ont montré que les teneurs manganifères de 25% n'affectaient pas les structures et fonctions photosynthétiques de *Pistia stratiotes* L. Les teneurs manganifères de 50% et 75% ont induit de fortes mortalités cellulaires et baissé les teneurs chlorophylliennes et les activités photosynthétiques. Les doses les plus élevées de manganèse (100%) ont provoqué la mort de toutes les cellules des plantes, la dégradation de tous les pigments chlorophylliens et l'inhibition des activités photosynthétiques. **Conclusion** : nos résultats suggèrent que les fortes concentrations en manganèse dans les cours d'eau de la région de Moanda entraînent la mortalité cellulaire, la baisse de la teneur en chlorophylle et perturbent l'activité photosynthétique de *Pistia stratiotes* L.

Mots clés : Plantes, cours d'eau, manganèse, pollution, dégradation, photosynthèse.

ABSTRAC

Introduction: the exploitation of manganese in Moanda in south-east of Gabon is responsible for the pollution of the rivers and presents a risk of intoxication of the aquatic plants. **Objective**: this study aims to evaluate the impact of Mn pollution on the photosynthetic activity of freshwater lettuce (*Pistia stratiotes* L.). **Methods**: the plants were exposed for 7 days in 4 beakers containing respectively 250 (T25), 500 (T50), 750 (T75) and 1000 g (T100) of fine manganese particles dissolved in a nutritive solution of KNOP. The control (T0) contained only the nutrient solution. At the end of experiment, leaf chlorophyll levels were measured using a Chlorophyll-meter and dead cells were counted under a light microscope. The photosynthetic activities of the plants were evaluated using a photosynthesis tank connected to a computer. **Results**: The results obtained showed that manganese contents of 25% did not affect the photosynthetic structures and functions of *Pistia stratiotes* L. Manganese levels of 50% and 75% induced high cell mortality and decreased chlorophyll levels and photosynthetic activities. The high doses of 100% manganese caused the death of all plant cells, the degradation of all chlorophyll pigments and the cancellation of all photosynthetic activities. **Conclusion**: our results suggest that the high concentrations of manganese in this watercourse lead to cell mortality, lower chlorophyll content and disrupt the photosynthetic activity of *Pistia stratiotes* L..

Key words: Plants, streams, manganese, pollution, degradation, photosynthesis.

1. INTRODUCTION

Le Gabon, à travers la Compagnie Minière de l'Ogooué (COMILOG) filiale du groupe Eramet, est le deuxième producteur mondial de manganèse (Mn) à haute teneur [1], après l'Afrique du Sud, avant le Brésil [2]. Son réseau de distribution est constitué de plusieurs continents notamment l'Europe, l'Asie et l'Amérique du Nord, avec une production estimée à plus de 4 millions de tonnes en 2017 [1]. Le gisement d'exploitation est localisé dans la ville de Moanda, au Sud Est du pays. Il représente 25% des réserves mondiales de Mn et contribue à plus de 7% du Produit Intérieur Brut (PIB) du Gabon [3]. Aussi, l'instabilité actuelle du marché pétrolier cumulée à une diminution de la production ces dernières années ont emmené le Gabon à revoir sa politique économique. Le Mn devient progressivement l'une des principales sources de revenus de l'économie gabonaise derrière le pétrole, et avant le bois [4, 5]. Les recherches minières ont par ailleurs découvert d'autres gisements de ce minerai dans d'autres régions du

pays. De nouvelles exploitations ont alors commencé à Okondja et Onkoua dans la province du Haut-Ogooué (Sud Est du pays), et à Mabounié dans la province du Moyen-Ogooué (Centre du pays).

Le gisement du Mn de Moanda est exploité par la Comilog depuis 1957, il peut alors être considéré comme un gisement historique [2]. Pendant plusieurs décennies, l'exploitation du Mn ainsi que celle des autres mines au Gabon (uranium, pétrole, or etc.) était très peu règlementée. L'absence d'un cadre juridique contraignant ne permettait pas de garantir la mise en œuvre de politiques d'exploitation durable basées sur le contrôle et le respect du droit et des normes de l'environnement [6, 7]. Ainsi, l'exploitation à ciel ouvert de la mine de Moanda a abouti au rejet des déchets miniers dans le milieu naturel, conduisant à de fortes pollutions environnementales [2-8-11]. Dans les zones d'exploitation manganifère, des études sur la toxicité de ce dernier ont révélé des perturbations de diverses fonctions physiologiques de plusieurs plantes sauvages et/ou domestiques [12]. Divers auteurs ont notamment rapporté un phénomène d'inhibition des paramètres de croissance morphométrique associé à une perturbation de la production de biomasse du manioc (*Manihot Esculenta Crantz*), de la roselle (*Hibiscus sabdariffa* L. var. *sabdariffa*), de l'arachide (*Arachis hypogea* L.) et de la patate douce (*Ipomoea batatas* L.) [11,13 -15]. Au niveau biochimique, les études ont révélé la présence d'un stress oxydatif et/ou une perturbation de la nutrition minérale de la roselle, du manioc et de *Alchornea cordifolia* (Schumach. & Thonn.) Müll. Arg [16-18]. L'essentiel de ces travaux traite des impacts de l'exploitation manganésifère sur les écosystèmes terrestres dans la zone de Moanda. Pourtant, dans les bassins versants des cours d'eau recueillant les déchets de ce minerai, des phénomènes de flétrissement et de jaunissement des feuilles et de dessèchement des tiges d'herbes ou de troncs d'arbre ont été observés. Les études d'impact sur la qualité des eaux de la Moulili, de la Massa et de la Massagoulou (qui sont des cours d'eau environnants) ont révélé des très fortes concentrations de Mn dans les sédiments corrélées à un risque très élevé de bioaccumulation piscicole [9,10]. Ces observations laissent suggérer que les fortes concentrations en Mn observé sur les sols, en plus de la perturbation des écosystèmes terrestres, pourraient aussi avoir des conséquences sur les milieux aquatiques. Ainsi, cette étude vise à évaluer l'impact de l'exploitation du Mn sur la flore aquatique. Elle a pour objectif d'étudier l'impact de fortes concentrations en Mn, sur l'activité photosynthétique d'une plante aquatique très répandue dans la ville de Monda à savoir, la laitue d'eau douce (*Pistia stratiotes* L.).

2. MATERIEL ET METHODES

2.1 MATERIEL

Le matériel végétal utilisé est la laitue d'eau douce (*Pistia stratiotes* L.). Toutes les plantes utilisées provenaient des étangs de la Ferme Agricole et d'Elevage Ngorouma (FAEN ; Franceville) et ont été récoltées à 5 feuilles, qui pourraient indiquer une homogénéité des âges. Elles n'avaient jamais été soumises à une exposition au Mn à notre connaissance. Le Mn sous forme de fine particule a été obtenu au Département Environnement de la Comilog.

2.2 METHODES

2.2.1 Mise en place de l'essai

Les fines particules de manganèse ont été transférées dans 5 béchers codifiés T25, T50, T75 et T100, en fonction de la masse de particules de Mn introduit dans chacun des béchers. En effet, chaque bécher contenait respectivement 250, 500, 750 et 1000 g de fine particule de manganèse. Le bécher dans lequel le Mn n'a pas été introduit constitue le témoin (Te). Des volumes complémentaires de la solution nutritive enrichit avec du KNOP ont été ajoutés à chaque bécher pour atteindre un volume final de 1000 ml, le tout a été homogénéisé [19]. Les plantes ont été rincées à l'eau du robinet, et séchées entre 2 épaisseurs de papier buvard, puis pesées à l'aide d'une balance de précision [19]. Elles ont ensuite été placées dans chaque bécher et exposées pendant 7 jours à la température ambiante. Au total trois béchers ont été préparés pour chaque traitement. L'expérience a été répétée trois fois. Ainsi, l'échantillonnage comprenait 45 plantes à raison de 15 par traitement.

2.2.2 VIABILITÉ DES CELLULES DE *PISTIA STRATIOTES* L.

Après 7 jours d'exposition, une feuille a été récoltée au hasard sur une plante dans chaque traitement. La nervure centrale a été découpée en fines tranches à l'aide d'une lame tranchante (Gillette II). Les différentes coupes ont été immergées pendant 30 minutes dans une solution de bleu de méthylène à 0,5%. Ensuite, elles ont été montées entre lame et lamelle pour être observé au microscope photonique.

2.2.3 DOSAGE DES CHLOROPHYLLES TOTALES

La teneur en chlorophylles totales des feuilles de chaque traitement a été enregistrée en utilisant une technique non intrusive à l'aide d'un appareil de mesure du type Chlorophyll-meter (Altleaf+ FT Green ; USA). Cet appareil mesure les teneurs chlorophylliennes à l'aide d'un rayonnement infra-rouge [18]. Les teneurs (en mg.g⁻¹ de matières fraîches) correspondaient à la moyenne des 5 feuilles de chaque plante.

2.2.4 Activité photosynthétique de *Pistia stratiotes* L.

Après une semaine de traitement dans les différentes solutions de Mn, les plantes ont été rincées dans de l'eau distillée, séchées entre 2 épaisseurs de papier buvard et transférées dans une cuve de photosynthèse [20]. Cette cuve étanche contenant 500 ml d'eau distillée enrichie en carbonate de sodium (Na_2CO_3) à 0,05% qui était reliée à l'aide d'un tuyau à oxygène à un enregistreur de pression de marque Cobra-3 (Phywe 6; USA). Une torche surmontée d'une lampe incandescente de 500 W permettait d'éclairer la cuve pour enclencher la photosynthèse. Les volumes d'oxygène dégagés par la plante dans la cuve ont été directement enregistrés par l'enregistreur de pression (Cobra-3) et analysés par un ordinateur associé au dispositif. L'expérimentation a duré une heure et l'activité photosynthétique (en ml d' O_2 /h/g de MF) calculée à partir des volumes d'oxygène dégagés rapportés à la masse de la plante et au temps mis.

2.2.5 Répétition et traitements statistiques

L'ensemble des résultats obtenus des différents traitements ont été soumis à une analyse de variance (ANOVA). Les analyses statistiques ont été effectuées avec le logiciel R 4.0.1. En cas de différence (p-value < 0.05), les tests de comparaison multiples de Newman-Keuls ont été utilisés au seuil de 5%.

3. RESULTATS

3.1 Viabilité des cellules de *Pistia stratiotes* L. exposées à la toxicité manganifère

Au total deux cents (200) cellules ont été observées par champ visuel pour chaque traitement. Les cellules vivantes apparaissent incolores, alors que les cellules mortes restent définitivement bleues. Les résultats de la viabilité cellulaire de *Pistia stratiotes* L. exposé à diverses concentrations de manganèse sont présentés à la figure 1. Leur analyse a révélé que les teneurs manganifères de 25% n'affectaient pas la viabilité des cellules après 7 jours de traitement. Le nombre de cellules sur les feuilles des individus traités était en moyenne équivalent à celui des témoins, c'est-à-dire proche de 156 cellules vivantes. Les concentrations plus élevées ont en revanche fortement induit des mortalités cellulaires, en fonction de la teneur. Les teneurs manganifères à 50% et 75% ont réduit les viabilités cellulaires à des taux respectifs de 60,25% des cellules vivantes pour 38,75% des cellules mortes et 26,92% des cellules vivantes pour 74,08% des cellules mortes. Les cellules issues des plantes traitées aux concentrations manganifères de 100% ont toutes été tuées. En dehors du traitement de concentration manganifère de 25% (T25), tous les autres traitements (T50, T75 et T100) ont induit des mortalités cellulaires significatives, au seuil de 5%, par rapport au témoin.

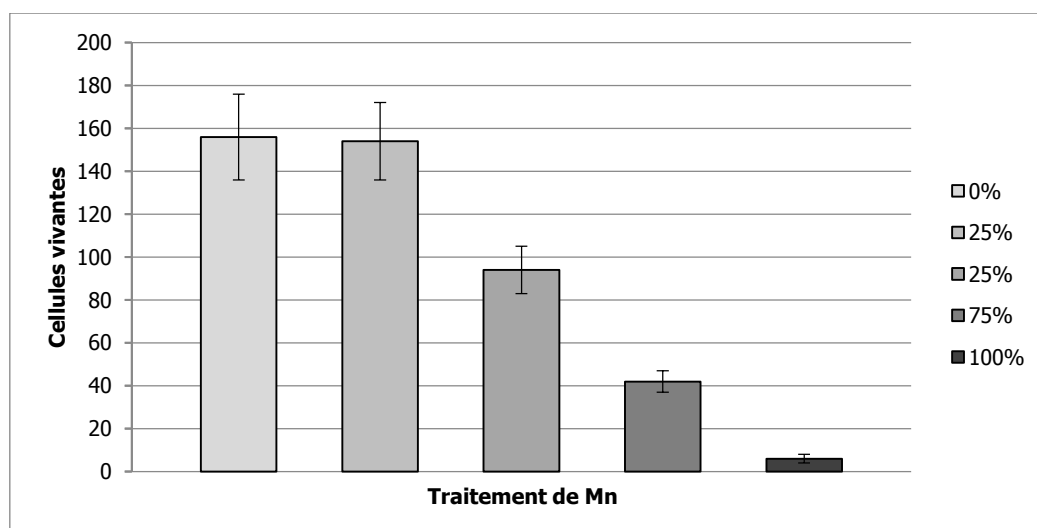


Figure 1 : Viabilité des cellules de feuilles de *Pistia stratiotes* L. incubées pendant 7 jours dans des solutions de manganèse de différentes concentrations.

3.2 Dégradation de la chlorophylle foliaire de *Pistia stratiotes* L. soumis au manganèse

Les résultats de l'influence de différents traitements de manganèse sur les concentrations des feuilles de *Pistia stratiotes* L. en chlorophylle sont présentés dans la figure 2. De leur analyse, il ressort clairement que les concentrations en Mn à 25% (T25) stimulent légèrement la teneur en chlorophylle comparativement au témoin (0% de Mn). Des concentrations plus élevées en Mn (50%, 75% et 100%) ont en revanche réduit significativement les teneurs des pigments chlorophylliens, comparativement au témoin. Ces baisses significatives, au seuil de 5%, sont respectivement de 52,15 ; 84,28 et 99,28%. Les feuilles issues des traitements T100, sont presque totalement incolores.

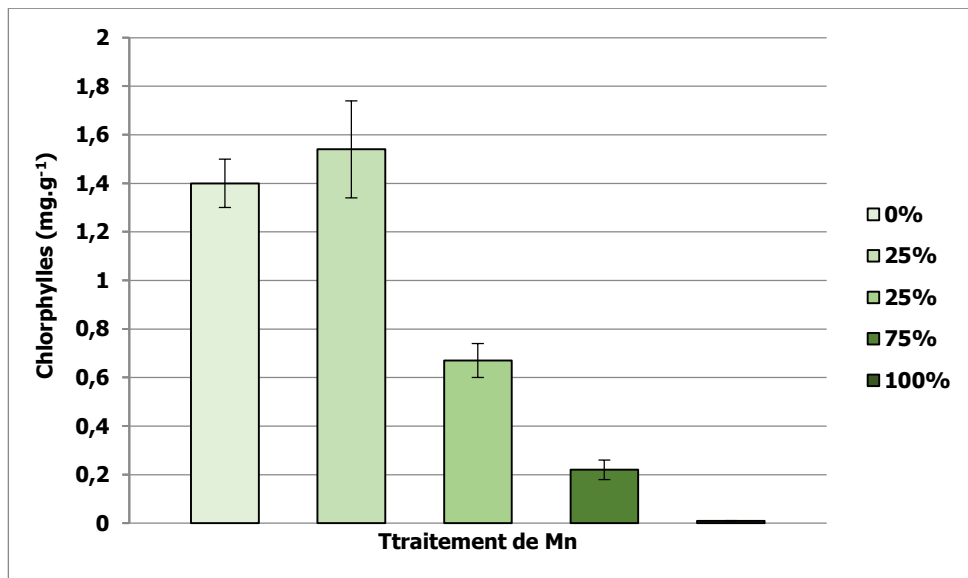


Figure 2 : Teneurs des pigments chlorophylliens dans les feuilles de *Pistia stratiotes* L. exposées pendant 7 jours dans des solutions de manganèse de concentrations croissantes.

3.3 Activités photosynthétiques des plantes de *Pistia stratiotes* L. traitées au manganèse

Les résultats de l'influence de différentes concentrations de manganèse sur l'activité photosynthétique de *Pistia stratiotes* L. sont présentés à la figure 3. Comme pour les teneurs chlorophylliennes, ces résultats ont montré que la concentration en Mn à 25% augmente légèrement l'activité photosynthétique de cette plante. Par contre, les végétaux soumis aux traitements manganifères de 50% (T50), 75% (T75) et 100% (T100) ont provoqué des baisses significatives l'activité photosynthétique respectivement de 61,36 ; 84,09 et 97,23%. Les substrats contenant 100% de manganèse ont presque totalement inhibé l'activité photosynthétique de cette plante.

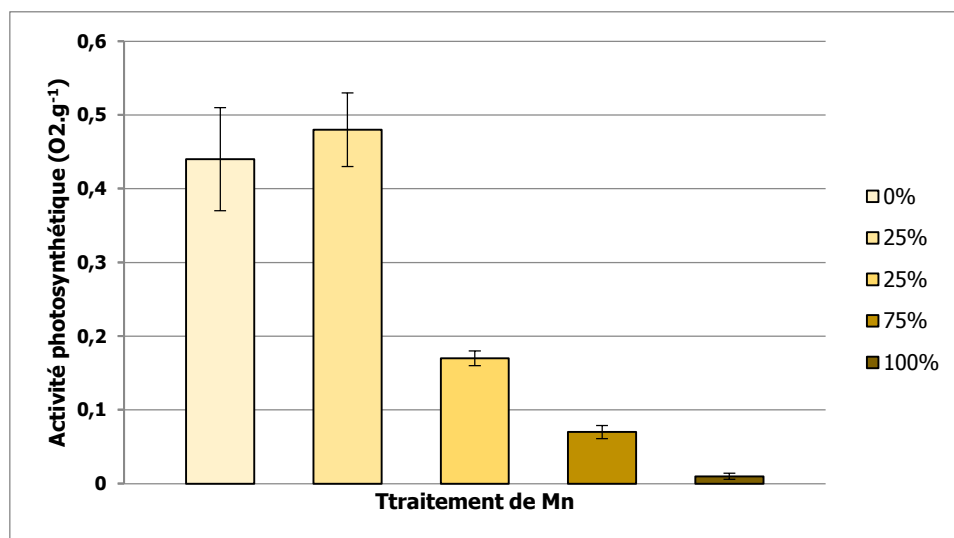


Figure 3 : Activités photosynthétiques des plantes de *Pistia stratiotes* L. exposées pendant 7 jours à des solutions manganifères de concentrations croissantes.

4. DISCUSSION

Les résultats de ce travail ont révélé que les teneurs en manganèse de 25% induisaient des hausses non significatives des concentrations chlorophylliennes et des activités photosynthétiques de la laitue d'eau douce. Des teneurs plus élevées (supérieures à 50%) de cet oligoélément ont en revanche provoqué la mort cellulaire des tissus et réduit les teneurs chlorophylliennes ainsi que l'activité photosynthétique de *Pistia stratiotes* L..

Les inductions de la synthèse chlorophyllienne des plantes par de faibles teneurs en manganèse ont déjà été rapportées par plusieurs auteurs [21, 22]. En effet, ces auteurs ont montré que les traitements en manganèse de 25% augmentaient les teneurs en chlorophylles et en glucides des plantes de roselle (*Hibiscus sabdariffa* L. var. *sabdariffa*) et de manioc (*Manihot esculenta* Crantz). Ces auteurs ont également rapporté la réduction des mêmes paramètres biochimiques chez ces deux plantes à des teneurs manganifères supérieures à 50%.

Les inductions de la teneur en chlorophylle et de la photosynthèse par des traitements manganifères de 25% paraissent liées et découler de l'activation de la phase lumineuse de la photosynthèse. En effet, dans le schéma dit en "Z" de la circulation des électrons, le manganèse constitue un récepteur intermédiaire important situé sur le palier de production d'ATP entre les molécules d'eau (+0,81V) et le photorécepteur P680 (0,09V) [23]. L'augmentation de sa teneur au sein des milieux de culture induirait un meilleur transfert des électrons issus de la photolyse de l'eau et donc une activation de la phase lumineuse suivie de celle de la phase sombre. Ces actions aboutiraient non seulement à la hausse d'activités photosynthétiques, mais également à celle de la synthèse des matières organiques, dont les pigments chlorophylliens [23]. Des résultats similaires ont déjà été signalés à propos de l'induction des paramètres morphométriques et biochimiques des plantes de manioc et de roselle traitées au manganèse de concentration 25% [22, 23].

Les résultats de hausse de mortalité cellulaire et de réduction des teneurs chlorophylliennes ou d'activités photosynthétiques observés chez les plantes de laitue d'eau douce soumises à des concentrations de manganèse élevées (50%, 75% et 100%) pourraient être dus à la perturbation de l'absorption minérale des autres ions, ou à la toxicité engendrée par de trop fortes teneurs en manganèse. Les travaux de Boupassia (2016) ont en effet révélé des inhibitions de l'absorption des ions Ca^{2+} chez les plantes de maïs cultivées sur des sols riches en manganèse, dans la ville de Moanda au Gabon [2]. Des études réalisées par sur le sélénium a montré que cette oligoélément à forte concentration sous sa forme sélénite (SeO_3) perturbait l'activité photosynthétique de maïs [24, 26].

Le manganèse semblerait agir par compétition de fixation sur des sites moléculaires des ions de même valence, dont le calcium. Cette action conduirait à la carence du Ca^{2+} dans les tissus et à la mal formation des tissus pariétaux aboutissant à la nécrose cellulaire des tissus. Ce phénomène a plusieurs fois été observé chez les plantes de gombo et de choux cultivées sur des milieux appauvris en calcium [23].

De trop fortes teneurs en manganèse peuvent également causer la mortalité des cellules, la réduction des teneurs chlorophylliennes et celle des activités photosynthétiques, par le phénomène de toxicité chimique [21, 24, 25]. En effet, faute de sites de fixation du manganèse par encombrement stérique, les molécules absorbées peuvent occasionner des occlusions vasculaires, se lier à des anions cellulaires ou inhiber les activités de certaines enzymes, telles que les chlorophyllases et les phéophytases [28]. Des cas de mortalités cellulaires liées au manganèse ont déjà été rapportés par certains auteurs [29, 30]. C'est le cas de Abo (1984) qui a attribué la mortalité des tissus de plantes de blé (*Triticum aestivum*) cultivées sur des milieux manganifères à la toxicité de cet oligoélément présent en excès [30]. Des conclusions similaires ont été tirées pour expliquer la mortalité cellulaire des plantes de niébé (*Vigna unguiculata*) cultivées sur des milieux enrichis en manganèse [31].

5. CONCLUSION

Le présent travail a été initié pour étudier l'effet des concentrations élevées de manganèse sur l'activité photosynthétique d'une plante aquatique (*Pistia stratiotes* L.), rencontrée dans des nombreux cours d'eau des bassins versants des zones d'exploitation de manganèse à Moanda. Les résultats ont montré que de fortes concentrations de manganèse (50% à 100%) induisaient des mortalités cellulaires, des baisses de teneurs chlorophylliennes et des réductions des activités photosynthétiques. Ces résultats laissent suggérer que les phénomènes de déverdissement, flétrissement et dessèchement des plantes dans les cours d'eau accumulant les sédiments manganifères sont liés à la destruction des structures et fonctions photosynthétiques des plantes. Des activités d'excavation des sédiments le long des cours d'eau avoisinant les mines doivent donc être fortement recommandé, pour prévenir la destruction des écosystèmes végétaux, voire microbiens et animaux.

Remerciement : nous tenons à remercier tout particulièrement le Directeur Général de la compagnie Minière de l'Ogooué (COMILOG), ainsi que le Département Environnement pour le Mn mis à notre disposition ainsi que pour leurs collaborations. Nous remercions aussi le responsable de la Ferme Agricole et d'Élevage Ngorouma (FAEN; Franceville).

6. BIBLIOGRAPHIE

- [1] Comilog, "Le premier pas," *Rapp. Annu. 2017*, p. 68, 2018.
- [2] C. Boupassia, "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," *These Dr. en Sci. la Terre l'Environnement. Univ. Bourgogne*, p. 305, 2004.
- [3] Comilog, "Réinventer," *Rapp. Annu. 2016*, p. 56, 2017.
- [4] P. D. I. Ndala and E. Moussone, *Les opportunités des investissements directs étrangers au Gabon*, vol. 2, no. 14, 2011.
- [5] A. Aterianus-owanga and M. Debain, "Un renversement électoral confisqué au Gabon," *Polit. africaine Cairn.info pour Ed. Karthala*, vol. 144, pp. 157–179, 2016.
- [6] K. J. N. Essoungou, "Implication des industriels asiatiques dans les secteurs minier et forestier au Cameroun, au Gabon et en République Démocratique du Congo," *Reper. du Cent. Int. For. Res.*, p. 43, 2009.
- [7] S. Bandoki, "Le droit minier et pétrolier en Afrique," *Edil. APARIS*, p. 88, 2008.
- [8] F. Eba, J. A. Ondo, S. E. Mba, M. O. Boulou, and J. Omva-zué, "Taux de manganèse accumulé dans quelques plantes vivrières cultivées dans la région manganésifère de Moanda (Gabon)," *J. la Société Ouest-Africaine Chim.*, vol. 023, pp. 69–74, 2007.
- [9] L. Lebas, "Impacts de l'exploitation minière sur les populations locales et l'environnement dans le Haut-Ogooué," *Rapp. d'Etude l'ONG Brainforest*, p. 47, 2010.
- [10] N. S. K. C. G. Nguéma, J. N. Bibang, P. Tongo, and Z. P. Ekoua, "Etat des lieux environnemental: Riviere la moulili aval de Moanda," *Rapp. d'Etude*

l'ONG Brainforest, p. 54, 2014.

- [11] E. Nzengué *et al.*, "Effets des terrils de Manganèse de la mine de Moanda (Gabon) sur quelques caractères morphométriques de l'Arachide (*Arachis hypogaea* L)," *Eur. J. Sci. Res.*, pp. 1–24, 2019.
- [12] J. Aubin Ondo, F. Eba, R. Menye Byogo, P. Prudent, M. Ollui-Mboulou, and J. Omva-Zue, "Characteristics of a manganese-rich soil and metal accumulation in edible parts of plants in the region of Moanda, Gabon," *African J. Agric. Res.*, vol. 9, no. 25, pp. 1952–1960, 2014.
- [13] A. N. Lepengue *et al.*, "Effet du Manganèse sur la Croissance de la Patate Douce (*Ipomoea batatas*) au Gabon," *Eur. Sci. J.*, vol. 15, no. 24, pp. 281–293, 2019.
- [14] T.-T. D. S. Ontod, A. N. Lepengue, and B. M'batchi, "Effet de la toxicité manganifère sur les paramètres morphométriques de la roselle (*Hibiscus Sabdariffa* L. Var. *Sabdariffa*) au Gabon," *Eur. Sci. J.*, vol. 9, no. 15, pp. 255–264, 2013.
- [15] T.-T. D. S. Ontod, A. N. Lepengue, and B. Mbatchi, "Effet Des Concentrations En Manganèse Du Sol Sur La Croissance Du Manioc (*Manihot Esculenta* Crantz) Au Gabon," *Eur. Sci. J.*, vol. 11, no. 33, pp. 281–295, 2015.
- [16] A. Y. Mavoungou, A. N. Lepengue, and B. M'Batchi, "Polymerization Degree of Phytochelatin in Contaminated Soil Phytoremediation of Manganese in *Hibiscus Sabdariffa* Linn Var *Sabdariffa*," *Eur. Sci. J.*, vol. 12, no. 33, pp. 482–492, 2016.
- [17] S. Mombo *et al.*, "Etude de l'impact du manganèse sur l'absorption minérale du manioc (*Manihot esculenta* Crantz) dans les sols manganifères au Gabon et de ses potentielles conséquences environnementales et sanitaires," *Sustain. Urban Agric. Vector Ecol. Transit.*, p. 1, 2017.
- [18] A. Mokea, "Alchornea cordifolia (Schumach. & Thonn.) Müll. Arg., Euphorbiaceae : candidate potentielle à la phytoremédiation des sols pollués en manganèse," *These Dr. en Chim. inorganique, Spec. Biotechnol. Ecophysiol. végétales. Univ. Sci. Tech. Masuku*, p. 294, 2019.
- [19] A. N. Lepengué, J. F. Yala, B. Ibrahim, A. Souza, and B. M'Batchi, "Etude de la sensibilité de quelques plantes maraichères à *Phoma Sabdariffae* et à ses productions toxiques au Gabon," *Eur. Sci. J.*, vol. 9, no. 12, pp. 321–331, 2013.
- [20] V. R. Tóth and S. Herodek, "A simple incubation tank for photosynthesis measurements with six light intensities," *Ann. Limnol. - Int. J. Limnol.*, vol. 45, no. 3, pp. 195–202, 2009.
- [21] Y. A. Mavoungou, N. A. Lepengue, and B. M'batchi, "Antioxydants Et Phytochelatines Dans La Tolerance Et L'Accumulation Du Manganese Chez L'*Hibiscus Sabdariffa* Linn.," *Eur. Sci. J.*, vol. 11, no. 21, pp. 430–444, 2015.
- [22] T.-T. D. S. Ontod, "Effets et de la pollution manganifère sur la croissance et le rendement du manioc (*Manihot esculenta* CRANTZ) cultivé en serre, dans le Sud Est du Gabon," *These Dr. en Sci. Fondam. appliquées, Spec. Ecophysiol. végétales. Univ. Sci. Tech. Masuku*, p. 155, 2017.
- [23] R. Heller, R. Esnault, and C. Lance, "Physiologie végétale; développement," *l'Abrégé, Éditions Dunod, Paris*, vol. 6e édition, pp. 1–5, 2006.
- [24] S. Mombo *et al.*, "Bioaccessibility of selenium after human ingestion in relation to its chemical species and compartmentalization in maize," *Environ. Geochem. Health*, vol. 16, no. 4, pp. 1–11, Sep. 2015.
- [25] T. Xiong, T. Leveque, M. Shahid, Y. Foucault, S. Mombo, and C. Dumat, "Lead and Cadmium Phytoavailability and Human Bioaccessibility for Vegetables Exposed to Soil or Atmospheric Pollution by Process Ultrafine Particles," *J. Environ. Qual.*, vol. 43, no. 5, p. 1593, 2014.
- [26] S. Mombo, C. Dumat, M. Shahid, and E. Schreck, "A socio-scientific analysis of the environmental and health benefits as well as potential risks of cassava production and consumption," *Environ. Sci. Pollut. Res.*, pp. 1–15, 2016.
- [27] A. G. González, S. Mombo, J. Leflaive, A. Lamy, O. S. Pokrovsky, and J.-L. Rols, "Silver nanoparticles impact phototrophic biofilm communities to a considerably higher degree than ionic silver," *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, vol. 22, no. 11, pp. 8412–8424, 2015.
- [28] Hopkins, "Physiologie végétale," *Univ. Bruxelles, Belgique*, vol. Edition de, p. 514, 2003.
- [29] "Kinetic study of phytotoxicity induced by foliar lead uptake for vegetables exposed to fine particles and implications for sustainable urban agriculture," *J. Environ. Sci.*, 2016.
- [30] F. Abo, "Influence du bore et du manganèse sur la nutrition, le développement et la production du blé (*Triticum aestivum* L.) sur sols de régions tempérée et aride," *These Dr. d'état, Spec. Sci. Nat. l'Université Paris VII*, p. 388, 1984.
- [31] H. Führes *et al.*, "Early manganese-toxicity response in *Vigna unguiculata* L. - A proteomic and transcriptomic study," *Proteomics*, vol. 8, no. 1, pp. 149–159, 2008.



Citer cet article: Ephrem Nzengue, Alexis Nicaise Lepengue, Stephane Mombo, Dhert Souviens Ontod Tshi-Tshi, Jean Fabrice Yala, Alain Souza, and Bertrand Mbatchi. INFLUENCE DU MANGANESE SUR L'ACTIVITE PHOTOSYNTHETIQUE DE LA LAITUE D'EAU DOUCE (*Pistia stratiotes* L.) AU GABON. *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2019; 9(3): 235-240.

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>