International Multilingual Journal of Science and Technology (IMJST)
ISSN: 2528-9810
Vol. 7 Issue 7, July - 2022

La phytoépuration : une solution écologique pour le traitement des eaux usées urbaines:

Etude des marais dans la commune urbaine d'Antananarivo

RANDRIANANTOANDRO Tahina Lalaina
Laboratoire de Chimie de l'Environnement - Antananarivo

***Résumé*—L'objectif de notre étude est de mettre en évidence les processus d'autoépuration des réseaux d'égouts dans la commune Urbaine d'Antananarivo (CUA). Notre démarche est d'effectuer des analyses des métaux (Fe, Mn, Pb, Zn, Cd et Cu) dans les eaux des marais, les sédiments et dans les plantes envahissantes (jacinthe d'eau ou *Eichhornia crassipes*) de ces marais. On a étudié deux phénomènes : l'adsorption des métaux aux sédiments et la bioaccumulation des métaux dans les différents organes des plantes (immergés et aériens). Les résultats d'analyses nous montrent que les eaux de marais sont dépourvues de métaux toxiques. Les sédiments adsorbent des quantités importantes de métaux, notamment du Fer (14921,24 à 33088,38 mg/kg), du Manganèse (82,6 à 336,88 mg/kg) et du Zinc (86 à 248,6 mg/kg). Le classement de la potentielle adsorption des métaux sur les sols limon-argileux des trois sites d'étude est : Fe > Mn >Zn > Pb > Cu > Cd. De plus, on observe que la jacinthe d'eau présente une propriété hyper-accumulatrice. La grande quantité des métaux présents dans les eaux usées sont assimilées par la jacinthe d'eau. La majorité des métaux absorbés s'accumule dans la partie racinaire de la plante. On trouve les concentrations maximum du Fe dans le site 1 (partie racinaire : 47065,47 mg/kg ; partie aérienne : 388,88 mg/kg). Ensuite, le Mn et le Zn sont les mieux assimilés après le Fe. Ces métaux s'accumulent plutôt dans la partie racinaire que dans la partie aérienne (+96% pour le Fe et entre 71 à 88% pour le Cu, Mn et Pb). D'après ces résultats, on peut dire que l'utilisation de la jacinthe d'eau pour l'élimination des métaux dans les eaux usées urbaines est une solution efficace et écologique. Par contre, il faut prendre en compte le devenir de ces métaux quant à la valorisation de la jacinthe d'eau dans les activités agricoles (alimentation des bétails et compostage).**

Mots-clés—Eaux usées; phytoépuration; métaux toxiques; jacinthe d'eau ; adsorption; Marais masay ; Antananarivo

I. INTRODUCTION

L'assainissement demande toujours des ouvrages gigantesques dont la majorité de la population d'Afrique est actuellement desservie des assainissements suffisants, que ce soit individuel et/ou collectif [1]. Actuellement, les pays en voie de développement commencent à rattraper cette lacune tandis que les pays développés progressent dans la perfection et dans l'application des nouvelles techniques de traitements des eaux usées urbaines [2]. La difficulté d'assainissement est devenue un sujet d'actualité partout dans le monde à cause de l'accroissement rapide de la population et de l'extension démesurée de l'espace urbain. A Antananarivo, capitale de Madagascar, la croissance annuelle de la population atteint 3,6 %. Celle-ci entraîne une augmentation du volume d'effluents et de déchets ménagers solides dont la gestion devient de plus en plus pénible. Le ramassage des ordures ménagères et l'évacuation des eaux usées posent de graves problèmes, non seulement aux responsables municipaux, mais aussi aux habitants. On assiste de plus en plus à une irresponsabilité caractérisée de la part des habitants ; même la rivière est devenue un véritable égout. L'assainissement des eaux usées dans la commune urbaine d'Antananarivo est assuré par l'épuration naturelle dans les égouts et au niveau de différents marais constitués en zones tampons. L'objectif de ce travail est d'étudier les phénomènes d'épurations naturelles des eaux usées urbaines. La recherche est axée sur l'adsorption des minéraux par les sédiments et sur l'absorption des minéraux par des plantes aquatiques « *Eichhornia crassipes* », appelées communément jacinthes d'eau. Parmi les polluants présents dans les eaux, certains éléments sont assimilés par des plantes et/ou sont adsorbés par les sédiments et s'éliminent lentement [3], [4], [5]. Nous avons suivi quelques métaux (Pb, Cd, Zn, Cu, Fe et Mn) dans les différents compartiments de l'environnement (eau, sédiment et plante) sur les trois sites dans la commune urbaine d'Antananarivo (CUA), à savoir le marais masay (au nord), le marais d'Anosibe et le marais de Bypass (au sud).

II. MATERIELS ET METHODES

A. Présentation des sites étudiés

Les trois sites étudiés ont chacun des caractéristiques particulières. Le site 1 (Bypass) est une zone marécageuse se trouvant au bord de la route nationale reliant la RN2 et la RN7. Elle reçoit plutôt des eaux d'écoulement pluvial. La fréquentation humaine est moins intense. Le site 2 (Marais

d'Anosibe) est une zone entourée de plusieurs fréquentations : des zones d'habitations, des activités industrielles et le grand marché d'Anosibe. Le site 3 (Marais masay) est un grand bassin tampon qui reçoit toutes les eaux usées et les eaux de ruissellement des bassins versants du grand Tana. Le marais masay est un bassin terminal des différents égouts de la CUA avant l'acheminement des eaux usées dans la station de pompage à Andranomena.

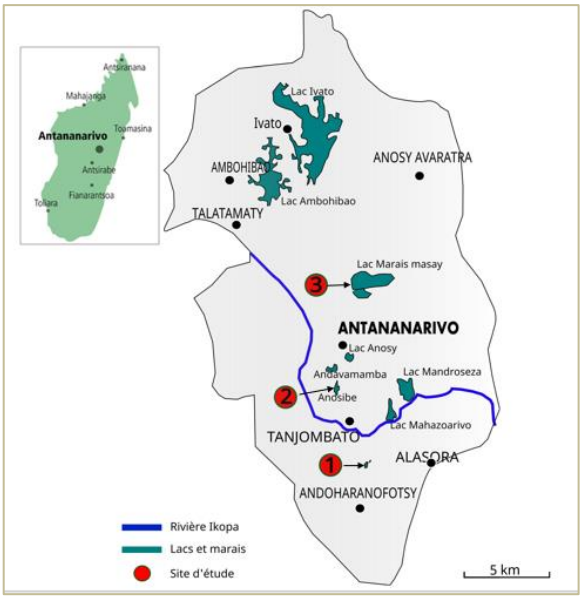

Fig. 1. *Les lacs et marais dans la ville d'Antananarivo (© l'auteur)*

B. *Méthodologie d'analyse*

1) *Echantillonnage*

Dans chaque site, on a prélevé des échantillons d'eaux, de sédiments et de plantes de jacinthe d'eau. L'eau est prélevée avec des flacons stériles fournis par le laboratoire et puis filtrée pour enlever les matières en suspension. Les échantillons de sédiments ont été prélevés à l'aide d'une tarière dans une profondeur de 0 à 30 cm. Ils sont ensuite séchés à l'air puis tamisés. Avant l'analyse, les sédiments broyés sont homogénéisés et ensuite minéralisés par voie humide et sèche dans les acides (HCl, HF, HNO_3). Pour les plantes, on a prélevé les plantes entières. Après rinçage à l'eau distillée, elles ont été préparées pour avoir les deux parties distinctes : la biomasse aérienne et la racine. Elles ont été ensuite mises dans un séchoir pendant deux semaines puis introduites dans une étuve à 105°C pendant une nuit. Elles ont été ensuite broyées pour l'analyse chimique.

2) *Les analyses physico-chimiques*

a) *Analyse des échantillons d'eau*

Pour les échantillons d'eau, nous avons déterminé quelques paramètres indicateurs de la pollution d'eau :

- la turbidité (NTU), le pH, la conductivité électrique (µS/cm) et le potentiel redox (mV) déterminé à l'aide d'un kit multiparamètre portable.
- des ions : Phosphate (PO_4^{3-}), Nitrate (NO_3^-), Nitrite (NO_2^-), Ammonium (NH_4^+) déterminés à l'aide d'une spectrométrie
- quelques éléments métalliques : fer, manganèse, plomb, cadmium, cuivre et zinc déterminés par spectroscopie d'absorption atomique à flamme
- des matières organiques : Demande Biochimique en Oxygène (DBO_5) et Demande Chimique en Oxygène (DCO) déterminées par des méthodes standards.

b) *Analyse des sédiments*

Les paramètres déterminés dans les sédiments sont :

- le pH, la conductivité électrique (µS/cm), la capacité d'échange cationique (méq/100g), la texture du sédiment
- quelques éléments métalliques: fer, manganèse, plomb, cadmium, cuivre et zinc déterminés par spectroscopie d'absorption atomique à flamme.

c) *Analyse des plantes*

Après préparation des plantes, les analyses effectuées sont des éléments métalliques tels que le fer, le manganèse, le plomb, le cadmium, le cuivre et le zinc. On a effectué les analyses séparément sur les parties aériennes (feuilles et tiges) et dans les racines. Ces métaux sont aussi déterminés par une spectroscopie d'absorption atomique à flamme.

Fig. 2. *Préparation des échantillons d'eau, de sol et de la plante au laboratoire*

III. RESULTATS ET DISCUSSION

A. *Qualité des eaux de marais*

Le pH de l'eau influe sur divers phénomènes aquatiques tels que les échanges réactionnels, les réactions chimiques ainsi que la solubilité des métaux. La conductivité électrique renseigne sur la salinité de l'eau par la présence des éléments minéraux qui jouent un rôle sur la pression osmotique du milieu. La turbidité présente l'aspect visuel de l'eau.

Les résultats d'analyse nous montrent que la turbidité des eaux de marais varie de 2,11 à 7,82 NTU dont la valeur élevée était celle du lac Marais Masay. Cette valeur élevée de la turbidité est un signe de présence

de matières en suspension et de particules colloïdales qui donnent un aspect trouble à l'eau. Les pH mesurés sont généralement voisins de 6,37 (σ=±0,2). Cela signifie qu'il n'y a pas une pollution chimique intense à proximité du site. Les conductivités électriques des eaux de marais sont significatives avec un maximum observé dans le site 2 (380 µS/cm). La présence des matières organiques suit le même spectre, avec une teneur élevée de la DCO dans le site 2 (249,6 mg/l). Il faut noter que le site 2 (Anosibe) est une zone à forte fréquentation à cause de la présence de l'un des plus grands marchés d'Antananarivo où se trouvent tous les grossistes des produits agricoles et industriels de la capitale.

TABLEAU I . QUALITE PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX DE MARAIS DES TROIS SITES

	Site 1	Site 2	Site3
Turbidité (NTU)	2,11	2,22	7,82
pH	6,34	6,50	6,27
CE (µS/cm)	200	380	320
DCO (mg/l)	96	249,6	19,2
DBO_5 (mg/l)	9,47	5,54	13,83

L'analyse des métaux dans les eaux montre que les eaux de marais sont exemptes de métaux toxiques. On pense que dans un milieu aquatique à faible écoulement, des phénomènes biologiques et physico-chimiques jouent un rôle important aux différentes spéciations des métaux solubles. Ils peuvent être adsorbés au niveau des sols ou absorbés par les systèmes racinaires des plantes.

TABLEAU II . CONCENTRATION DES IONS METALLIQUES DANS LES EAUX DE MARAIS (EN PPM)

	Site 1	Site 2	Site3
Pb	0,03	0,02	0,062
Cd	0,016	0,019	0,022
Zn	0,015	0,116	0,007
Cu	0,034	0,024	0,006
Mn	1,22	0,009	0,005
Fe	4,792	-	-

B. Caractéristiques des sédiments de marais

L'analyse de la granulométrie montre que les textures des sédiments sont limoneuses :

- limon-argilo-sableuse pour les sites 1 et 2
- limon-argileuse pour le site 3

Les fractions (L+A) élevées (Tableau 3) favorisent la capacité de ces sédiments à adsorber des ions métalliques

TABLEAU III. CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES ET TEXTURALES DES SEDIMENTS

	A-L-S %	pH_{eau}	CE (µS/cm)	CEC (méq/100g)
Site 1	27-25-48	5,95	310	45,7
Site 2	32-23-45	5,99	345	53,2
Site3	29-38-33	6,85	565	12,0

A : Argile L : Limon S : sable

Ces résultats nous montrent que les sols argileux sont de bons adsorbants naturels pour retenir des métaux [6]. La figure 3 nous montre l'efficacité des sols et/ou sédiments des marais à retenir des polluants présents dans l'eau : le fer et le manganèse. On observe que le Zinc et le Plomb peuvent être aussi retenus facilement par les sols argilo-limoneux. Dans le site 3, la concentration en Zinc adsorbé par le sédiment du marais atteint un pic de 248,6 mg/kg, suivi du site 1 avec 86 mg/kg et du site 2 de 82 mg/kg. Par contre, on constate que le Cadmium est faiblement adsorbé par les sédiments des marais (Figure 4). Ces résultats ne permettent pas de conclure les phénomènes naturels exacts des processus d'adsorption des métaux sur les sédiments des marais.

Les propriétés d'adsorption des métaux dépendent de plusieurs facteurs tels que la capacité d'échange cationique du sol adsorbant, le pH du milieu, les différentes énergies de liaison du site sédimentaire-métaux, de forces ioniques, la température, etc [7]. L'ordre du potentiel d'adsorption des métaux par les différents types de sédiments (site 1, 2 et 3) peut être classé comme suit : Fe > Mn >Zn > Pb > Cu > Cd.

Pour approfondir notre hypothèse, on a effectué des analyses des plantes aquatiques envahissantes du marais pour connaître la mobilité de ces métaux dans les différents organes de ces plantes assimilatrices [8], [9].

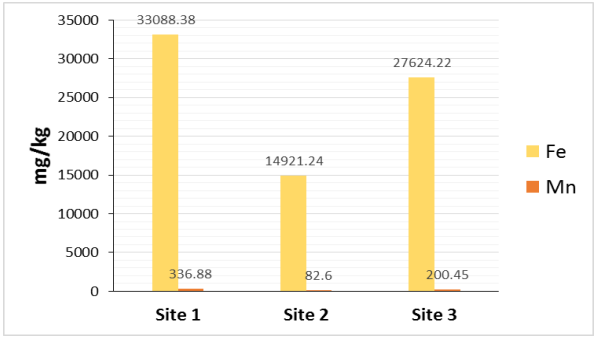

Fig. 3. *Concentration des métaux (Fe et Mn) adsorbés par les sédiments des marais*

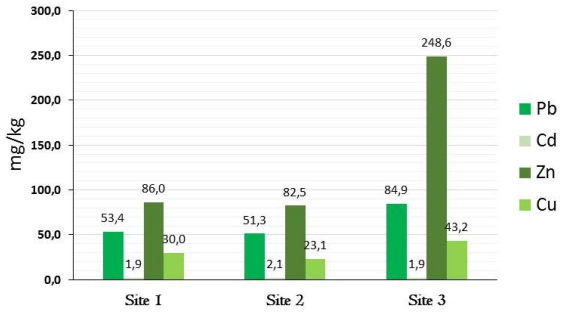

Fig. 4. *Concentration des métaux (Pb, Cd, Zn, Cu) adsorbés par les sédiments des marais*

C. *Analyse de métaux dans la plante aquatique*

Pour cette étude, on a analysé séparément la partie aérienne (tige, feuille et fleur) et la partie racinaire, c'est-à-dire la partie immergée de la jacinthe d'eau. Les analyses des métaux dans les différents organes de cette plante envahissante nous ont montré que la jacinthe d'eau est la meilleure plante épuratrice des eaux usées (*Tableau 4*). Dans les trois marais, ces plantes sont utilisées comme filtre naturel pour traiter les eaux usées urbaines à Antananarivo. En réalité, c'est la racine qui sert à assainir l'eau usée en assimilant des éléments ou substances chimiques nutritifs et polluants solubles dans l'eau. Les métaux sont assimilés et s'accumulent plutôt dans la partie racinaire que dans la biomasse aérienne. On constate que +96% de Fer absorbés par la plante s'accumulent dans la partie racinaire de la plante tandis qu'entre 71% et 88% pour le Cu, Mn et Pb. Par contre, le Zn et le Cu se trouvent en quantité variable dans les deux parties.

Ce procédé d'épuration des eaux usées est très écologique est ne nécessite aucune installation sophistiquée [10], [11].

TABLEAU IV. CONCENTRATION EN METAUX DANS LES JACINTHES D'EAU EN mg/kg (**P.A** : PARTIE AERIENNE ; **P.R** : PARTIE RACINAIRE)

$\frac{P.A}{P.R}$	Site 1	Site 2	Site 3
Mn	671,64 1689,84	255,95 1677,6	360,10 1089,36
Fe	388,88 47065,47	618,11 33152,25	1615,54 42832,37
Pb	10,09 52,65	8,33 27,21	11,43 86,19
Cd	1,493 2,80	1,594 2,69	1,543 2,99
Zn	93,68 144,58	102,72 61,29	72,52 269,65
Cu	4,17 33,22	1,66 49,10	4,33 43,67

IV. CONCLUSION

Les résultats de notre recherche confirment que les réseaux d'égouts à Antananarivo sont assainis par l'utilisation des jacinthes d'eau comme filtre naturel dans les marais. Les métaux solubles présents dans l'eau sont à priori soumis à deux processus : adsorption et bioaccumulation. Les sédiments du marais retiennent efficacement des métaux (Fe, Mn, Pb, Cd, Zn et Cu) tandis que les jacinthes d'eau absorbent des quantités importantes des métaux. Elles donc considérées comme des plantes envahissantes hyper-accumulatrices de métaux toxiques.

A cet effet, on peut conclure que l'utilisation de la jacinthe d'eau est la meilleure méthode pour la dépollution des métaux lourds et toxiques dans les eaux usées urbaines. Ce processus de phytoremédiation est complètement écologique et peu coûteux. Par contre, les risques de contamination de la chaîne alimentaire à Antananarivo sont à craindre car certains éleveurs et agriculteurs utilisent les jacinthes d'eau récoltées dans ces marais pour l'alimentation des bétails et pour le compostage. Les composts sont ensuite utilisés pour les cultures maraîchères. La suite de notre prochaine étude consistera à analyser la présence des métaux toxiques dans les produits alimentaires obtenus après l'usage de la jacinthe d'eau dans leur activité agricole.

REFERENCES

[1] CIEH, Conception générale: des systèmes d'assainissement urbain dans le contexte Africain, Comite interafrícain d'études hydrauliques, 1984, 323 p

[2] PSEAU, Traitement des eaux usées urbaines, Lyonnaise des eaux- Cirsee – Engees, 2002, 418 p, web : https://www.pseau.org, consulté le 26 juin 2022

[3] A.Traore, S.Gbombélé, A. Kouassi, S. Barthélémy, S. Nagnin et J.BIEMI, Niveau de contamination en métaux lourds des sédiments d'une lagune tropicale: la lagune Aghien (Sud-Est de la Côte d'Ivoire) . Af. Sci., Vol. 10 No. 3, 2014, 16 p

[4] T. L. Randrianantoandro, W. A. Rajerison et R. V. Rakotobe, Étude du devenir de l'indigo carmin dans la rivière Ikopa, Antananarivo – Madagascar, Af. Sci, 10(2), 2014, pp. 98 -117

[5] I. Gnandi et H. Tobschall, Bioaccumulation de certains éléments métalliques dans les produits maraîchers cultivés sur les sols urbains le long de l'autoroute Lomé- Aného, Sud Togo, Botany Letters, Volume 155, 2013, pp 415-426

[6] S. Bouzid, Adsorption des différents polluants sur des argiles, mémoire de recherche, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran, 2010, 131 p

[7] B. Serpaud, R. Al-Shukry, M. Casteignau et G. Matejka, Adsorption des métaux lourds (Cu, Zn, Cd et Pb) par les sédiments

superficiels d'un cours d'eau: rôle du pH, de la température et de la composition du sédiment, Revue des sciences de l'eau, 7(4), 1994, 343–365.

[8] T. Randrianantoandro, R. Rakotobe, H. Razafimandimby, H. Rakotondrazaka, L. Raharimalala et T. Rakotonirina Etude des répercussions de la pollution industrielle sur la riziculture dans la plaine de Laniera à Antananarivo, Madagascar, Af. Sci, 10(4), 2014, 45 – 60

[9] J.L. Chopart et P., Marie, Estimation de la biomasse résiduelle potentiellement disponible après une culture de canne à usage de combustible dans le Sud de la Guadeloupe, Programme REBECCA - Note Scientifique n°9 – Cirad, 2012, 17 p

[10] A. Guittonny-Philippe, V. Masotti, I. Laffont-Schwob, D. Delmail, J. Viglione, Potentiels d'utilisation des macrophytes pour réduire l'impact des industries sur les milieux aquatiques européens, Sciences Eaux & Territoires, 3(15), 2014,74-77

[11] P. Perera et B. Baudot, Guide procédé extensifs d'épuration des eaux usées, Office International de l'Eau, commission Européenne, ISBN 92-894-1690-4, 2001, 44 p