

ANALYSE DES METAUX LOURDS ET ELEMENTS MINERAUX DANS LES CO-COMPOSTS PAR UTILISATION DE SPECTROMETRIE DE FLUORESCENCE

ANALYSIS OF HEAVY METALS AND MINERAL ELEMENTS IN CO - COMPOSTS BY USING FLUORESCENCE SPECTROMETRY



| Hobinirina Andrianantenaina ^{1,2*} | Anthonio Randriatsimihory ² | Fabbie Razafindrabe ² | Edmond Randrianarivony ¹ | et | A.J. Franck Ratovonjanahary ¹ |

¹. Parcours de Physique Nucléaire Appliquée et Environnement | Université d'Antananarivo | Madagascar |

². ONG, GRET | Madagascar |

| Received November 29, 2022 |

| Accepted December 10, 2022 |

| Published December 24, 2022 |

| ID Article | Coulibaly-Ref6-6-15ajiras251022 |

RESUME

Introduction : Le co-compostage de déchets organiques avec des excréments humains est l'une des techniques de réutilisation dans le secteur des déchets solides. Le co-compostage permet de valoriser le produit dans ses deux composantes. **Objectif :** Cette étude vise à analyser qualitativement et quantitativement le co-compost en métaux lourds et éléments minéraux tels que le fer, le titane, le manganèse, le zinc, le strontium, le cuivre, le plomb, le cobalt, le rubidium. **Méthodes :** Une étude comparative avec la norme actuelle a également été réalisée. La méthode utilisée pour la détection est la fluorescence aux rayons X et pour les échantillons, huit (08) types différents de co-compost ont été réalisés afin d'obtenir une conclusion optimale sur la composition du co-compost. Résultats : Les résultats montrent que tous les co-compost contiennent du fer dont le pourcentage varie entre 2,7% et 4,2%. La concentration de plomb dans les échantillons varie de 45,4 mg/kg à 70,4 mg/kg. On note également la présence de titane, strontium, rubidium, cobalt, manganèse, zinc, cuivre. **Conclusion :** La concentration en métaux lourds et autres éléments ne dépend pas directement de la proportion de digestat par rapport à la matière organique. Toutes les concentrations sont conformes à la norme..

Mots clés : Analyse XRF, métaux lourds, co-compost, déchets solides, déchets liquides.

ABSTRACT

Background: The co-composting of organic waste with human excrement is one of the reuse techniques in the solid waste sector. The co-composting allows to valorize the product in its two components. **Objective:** This study aims to analyze qualitatively and quantitatively the co-compost in heavy metals and mineral elements such as iron, titanium, manganese, zinc, strontium, copper, lead, cobalt, rubidium. **Methods:** A comparative study with the current standard was also carried out. The method used for detection is X-ray fluorescence and for the samples, eight (08) different types of co-compost were made in order to obtain an optimal conclusion on the composition of co-compost. **Results:** The results show that all the co-compost contain iron whose percentage varies between 2.7% and 4.2%. The concentration of lead in the samples varied from 45.4 mg/kg to 70.4 mg/kg. The presence of titanium, strontium, rubidium, cobalt, manganese, zinc and copper was also noted. **Conclusion:** The concentration of heavy metals and other elements does not depend directly on the proportion of digestate to organic matter. All concentrations are in accordance with the standard.

Keywords: XRF analysis, heavy metals, co-compost, solid waste, liquid waste.

1. INTRODUCTION

Le co-compost est une sorte d'engrais composé de compost avec du digestat solide et liquide venant de Site de Traitement de Boue de Vidange (STBV). Dans les milieux ruraux, la fabrication de compost est faite par la fermentation des débris végétaux, mais dans les milieux urbains, la fermentation se fait avec des déchets organiques. Le développement du co-compostage dans les grandes villes diminue la surcharge des déchets dans les décharges et valorise les boues de vidange venant du site de traitement. L'utilisation hygiénique du co-compost à Madagascar n'est pas encore développée et c'est la raison pour laquelle la collaboration entre les trois entités suivantes a été fondée dans le but d'assurer la qualité de ce produit vis-à-vis de la santé public :

- L'ONG GRET, porteur du projet ALISOTA, qui travaille les domaines de l'assainissement liquide et solide dans l'agglomération d'Antananarivo;
- La Société MADACOMPOST qui travaille déjà sur le compostage de déchets organiques dans le site de décharge d'Andranitra Antananarivo et à Mahajanga ;
- Le laboratoire LPNPE (Laboratoire de Physique Nucléaire et Physique de l'Environnement) de l'Université d'Antananarivo qui fournit ses appuis techniques.

À cet effet, des analyses ont été faites, entre autres l'analyse biochimique et l'analyse de métaux lourds par la méthode de fluorescence X, mais le présent article va seulement parler de l'analyse de métaux lourds. Par définition, on appelle métaux lourds tout élément métallique naturel dont la masse volumique dépasse 5g/cm^3 . Les plus souvent considérés comme toxique pour l'homme sont : le Pb, le Hg, l'As et le Cd. D'autres comme le Cu, le Zn, et le Cr, pourtant nécessaires à l'organisme en petites quantités, peuvent devenir toxiques à des doses plus importantes [1].

2. MÉTHODOLOGIES

2.1. Études préliminaires

Une étude préliminaire a été faite sur le site de décharge Andralanitra afin d'avoir les caractéristiques des déchets, elle consiste à catégoriser les déchets par rapport à sa nature. Le pourcentage en masse du déchet selon leur nature est alors donné dans le tableau 1.

Tableau 1 : Caractéristiques des déchets sur la décharge Andralanitra

<i>Catégories</i>	<i>Résultats globaux (%)</i>
Déchets alimentaires	49,94
Déchets verts (de jardin)	22,765
Bois	1,68
Papiers et cartons	3,37
Textiles	8,01
Plastiques	6,46
Métaux	0,715
Verre	0,595
Pneu	6,05
Autres	0,415
Total	100

L'ONG GRET a déjà mis en place deux (02) sites de traitement de boue de vidange, durant le Projet antérieur, dont un (01) dans la commune rurale d'Ampitatafika et un (01) dans la commune rurale de Tanjombato. Un (01) troisième, dans la commune Ambohimangakely, a été construit durant ce Projet.



Figure 1 : un des sites de traitement de boue de vidange.

2.2. Échantillonnage

Les déchets qu'on a utilisés dans cette expérience viennent des marchés de la capitale tandis que le digestat solide vient de la STBV Ampitatafika et STBV Ambatomaro (Site dirigé par une autre structure) et le digestat liquide vient de la STBV Ampitatafika. En arrivant dans la décharge, les déchets sont triés ensuite mélangés avec le digestat solide et/ou liquide puis composté en formant des andains.

Huit différents types de co-composts produits et échantillonnés durant l'étude. Les andains de co-composts diffèrent par leurs compositions en déchet et digestat. Le tableau 2 nous indique cette différence.



Figure 2 : La fabrication des andains.

Tableau 2 : caractéristiques des échantillons du co-compost.

Composition du co-compost				
Numéro échantillon	Déchet organique	Digestat solide	Digestat liquide	Volume andain
M-1	2m ³	1m ³	-	3m ³
M-2	3m ³	0,2m ³	-	3,2m ³
M-3	3m ³	0,1m ³	-	3,1m ³
M-4	3m ³	0,4m ³	-	3,4m ³
M-5	3m ³	1m ³	360 Litres	4m ³
M-6	3m ³	1 m ³	-	4m ³
M-7	4m ³	2 m ³	360 Litres	6m ³
M-8	4m ³	2 m ³	-	6m ³

2.3. Analyse par spectrométrie de fluorescence X [2]

La spectrométrie de fluorescence X est une technique d'analyse élémentaire globale permettant d'identifier et de déterminer la plupart des éléments chimiques qui composent un échantillon. Cette technique peut être utilisée pour des matériaux très variés : minéraux, céramiques, ciments, métaux, huiles, eau, verres... sous forme solide ou liquide. Elle permet l'analyse de tous les éléments chimiques du Béryllium (Be) à l'Uranium (U) dans des gammes de concentration allant de quelques ppm à 100%, avec des résultats précis et surtout reproductibles. L'échantillon à analyser est placé sous un faisceau de rayons X. sous l'effet de ces rayons X, les atomes constituant l'échantillon passent de leur état fondamental à un état excité. L'état excité est instable, les atomes tendent alors à revenir à l'état fondamental en libérant de l'énergie, sous forme de photons X notamment. Chaque atome, ayant une configuration électronique propre, va émettre des photons d'énergie et de longueur d'onde propres. C'est le phénomène de fluorescence X qui est une émission secondaire de rayons X, caractéristiques des atomes qui constituent l'échantillon. L'analyse de ce rayonnement X secondaire permet à la fois de connaître la nature des éléments chimiques présents dans un échantillon ainsi que leur concentration massique.

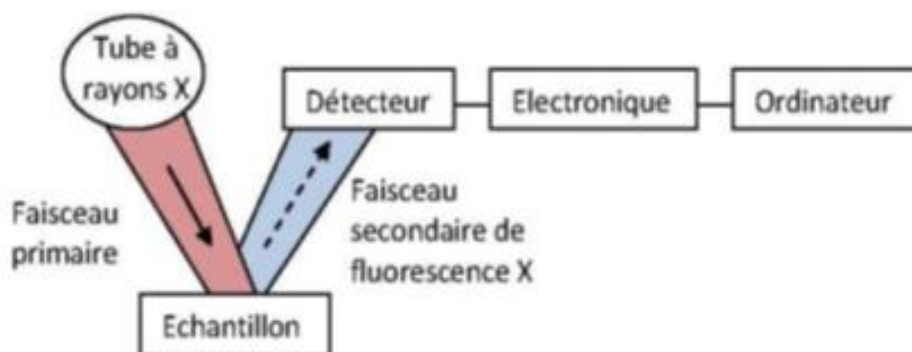


Figure 3 : Schéma du principe d'analyse par fluorescence X.

2.4. Mode opératoire

La figure suivante résume les étapes à suivre pour la production du co-compost.

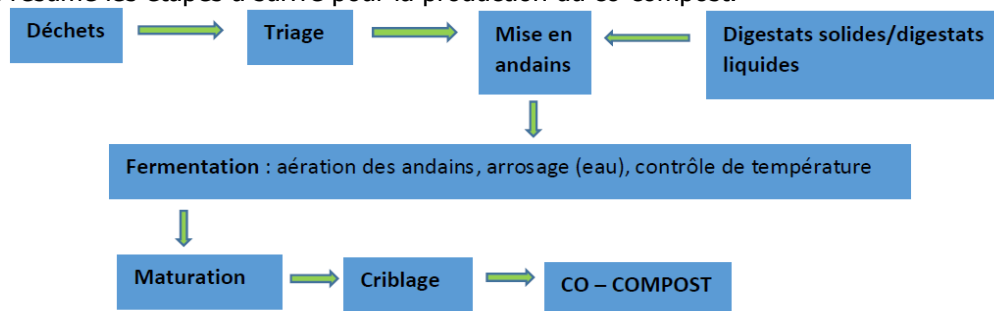


Figure 4: Étape de production du co-compost.

Chaque type de co-compost est ensuite échantillonné et mis dans un plastique avant de les transporter au laboratoire d'analyse où ils sont broyés, et compactés en pastille de 4 g de chaque.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Cette partie représente les résultats des analyses des oligoéléments qui sont des métaux lourds et éléments minéraux présents dans les co-composts. Ces résultats permettent aussi de comparer les concentrations des différents éléments de chaque échantillon suivant sa composition.

Tableau 3 : Résultats d'analyse du co-composts.

Élément	Concentration des éléments (mg/kg)								
	Fer(%)	Titane	Manganèse	Zinc	Strontium	Cuivre	Plomb	Cobalt	Rubidium
M – 1	2,7 ± 0,2	3291,0 ± 296,2	1113,0 ± 89	489,4 ± 39,2	218,5 ± 19,7	63,3 ± 4,4	70,4 ± 5,6	<3,0	62,4 ± 4,9
M – 2	2,8 ± 0,3	3478,0 ± 278,2	1223 ± 110,1	783,0 ± 62,6	276,2 ± 24,9	109,5 ± 7,7	65,4 ± 5,2	5,5 ± 0,4	64,9 ± 5,2
M – 3	2,9 ± 0,3	3534,0 ± 282,7	919,6 ± 82,7	911,3 ± 72,9	220,7 ± 17,6	108,1 ± 7,5	54,2 ± 3,9	<3,0	57,0 ± 3,9
M – 4	4,0 ± 0,3	3398,0 ± 271,8	1024,0 ± 92,1	1128,0 ± 101,5	232,9 ± 18,6	151,2 ± 12,1	58,4 ± 4,2	7,0 ± 0,6	56,3 ± 3,9
M – 5	2,8 ± 0,3	3965,0 ± 356,8	1030,0 ± 82,4	861,5 ± 77,5	227,3 ± 15,9	106,9 ± 8,5	62,6 ± 4,3	<3,0	65,8 ± 5,2
M – 6	2,7 ± 0,2	3761,0 ± 300,9	983,4 ± 88,6	813,3 ± 65,4	230,6 ± 16,1	100,2 ± 7,1	45,4 ± 3,2	<3,0	77,9 ± 6,2
M – 7	3,1 ± 0,2	3657,0 ± 329,1	943,0 ± 84,9	772,8 ± 61,8	232,9 ± 16,3	99,9 ± 7,9	51,8 ± 3,6	5,4 ± 0,4	73,2 ± 5,1
M – 8	4,2 ± 0,3	7971,0 ± 537,4	1082,0 ± 97,3	705,2 ± 56,4	222,2 ± 15,5	101,1 ± 8,1	53,6 ± 3,7	7,7 ± 0,5	67,3 ± 4,7

Le diagramme suivant nous montre la comparaison de la concentration du plomb dans chaque échantillon.

- D'un côté, M-1, M-7 et M-8 ont le même pourcentage en digestat, mais présentent des concentrations en plomb bien différentes. De l'autre côté, si on prend un exemple de deux échantillons différents en pourcentages en digestat, entre autres M-1 et M-2, on trouve leurs concentrations en plomb $C_{Pb(M-1)}=70,4\text{mg/kg}$ et $C_{Pb(M-2)}=65,4\text{mg/kg}$, des valeurs qui ne diffèrent pas trop. Ceci indique que le pourcentage en digestat n'affecte pas trop sur la quantité de plomb dans ce dernier. Autre exemple qui affirme ce dernier constat : Si on prend les trois échantillons qui diffèrent en pourcentages en digestat, entre autres M-3, M-8 et M-7, on trouve les concentrations en plomb $C_{Pb(M-3)}=54,2\text{mg/kg}$, $C_{Pb(M-8)}=53,6\text{mg/kg}$ et $C_{Pb(M-7)}=51,8\text{mg/kg}$. Ces valeurs ne diffèrent pas trop non plus.

- Pour le fer, tous les pourcentages sont presque les mêmes (figure 5) pareils pour la concentration en titane (figure 6).

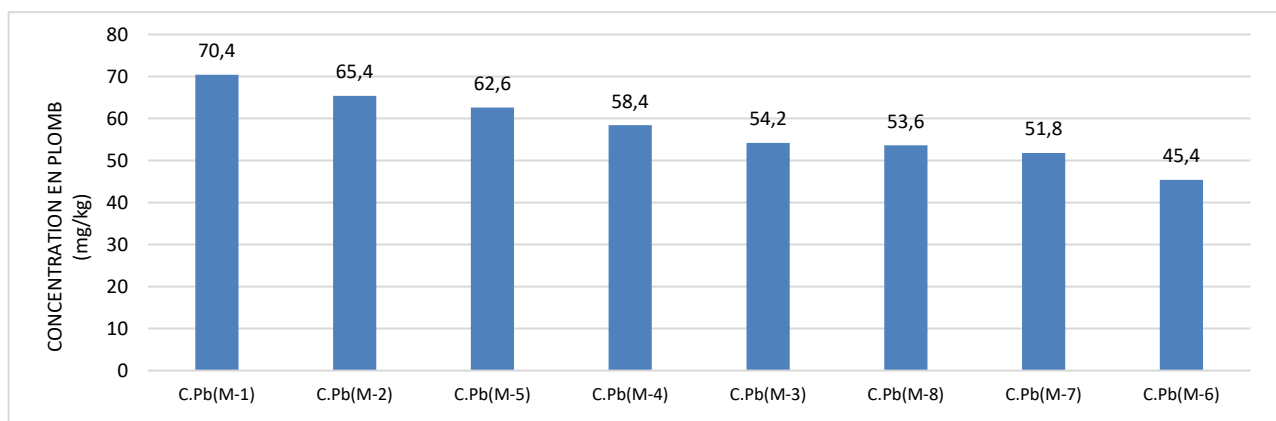


Figure 5 : concentration en plomb du co-compost.

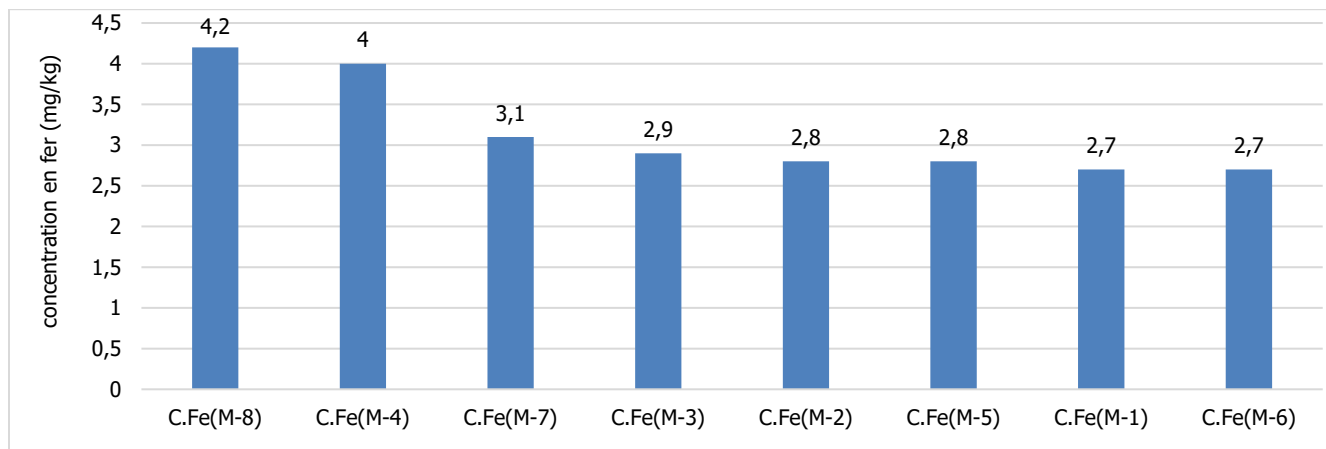


Figure 6 : La figure montre les concentrations en fer du co-compost.

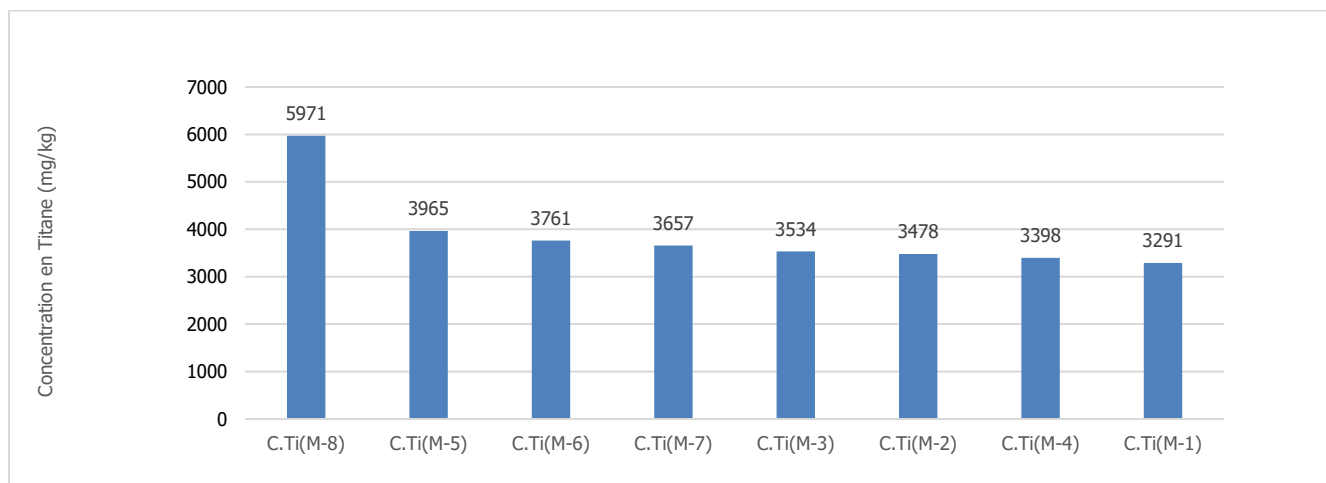


Figure 7 : La figure montre les concentrations du titane dans les co-composts.

Dans les figures 5, 6 et 7, on observe que l'échantillon M – 8 a la concentration la plus élevée en fer, titane et en cobalt tandis que l'échantillon M – 1 a la concentration la moins élevée en titane et en fer et inférieure à la limite de détection pour le cobalt.

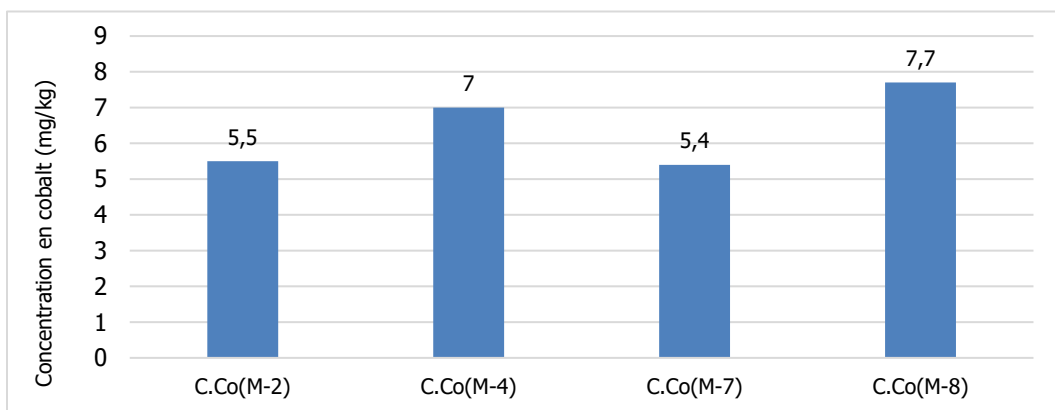


Figure 8 : diagramme de concentration en cobalt du co-compost.

3.1 Comparaison des co-composts avec la norme NFU.44-051

La norme NFU.44-051 est une norme française homologuée qui a pris effet depuis le 5 avril 2006. C'est une norme relative à la mise sur le marché des amendements organiques avec et sans engrais. Elle fixe les dénominations, les définitions et spécifications, le marquage, les teneurs à déclarer et les doses limites d'emploi des amendements organiques avec et sans engrais [3].

Les tableaux suivants montrent la limite de concentration des Éléments en Traces métalliques (E.T.M) à respecter suivant cette norme pour les amendements.

Tableau 4 : limites E.T.M hors cuivre et zinc [3].

E.T.M	Valeurs limites en E.T.M Mg/kg Ms
As	18
Cd	3
Cr	120
Hg	2
Ni	60
Pb	180
Se	12

E.T.M : Éléments en Traces métalliques.

Tableau 5 : limite de cuivre et zinc [3].

E.T.M	Valeurs limites en E.T.M	
	Mg/kg Ms	Mg/kg MO
Cu	300	600
Zn	600	1200

E.T.M : Éléments en Traces métalliques.

En se référant au tableau 4, on constate que tous les co-composts ont des concentrations en plomb inférieures par rapport à la norme. C'est aussi le cas de la concentration en cuivre et en zinc, dans le tableau 5. Cependant, la norme NF U44-051 stipule que « Le fabricant devra s'assurer que les préconisations de dose d'utilisation de son produit ne dépassent pas les flux limites » (Tableau 6).

Tableau 6 : Flux limites pour les amendements organiques [3].

E.T.M	Flux maximal sur 10 ans	Flux maximal sur 10 ans
AS	900	270
Cd	150	45
Cr	6000	1800
Cu	10000	3000
Hg	100	30
Ni	3000	900
Pb	9000	2700
Se	600	180
Zn	30000	6000

E.T.M : Éléments en Traces métalliques.

Pour répondre à ces conditions de flux limites, des calculs ont été faits dans le but d'établir un petit document de recommandation d'utilisation du présent produit de co-compost (tableau 7).

Sur les E.T.M présents dans les co-composts, les trois valeurs maximales sur les valeurs prescrites par la norme NFU.44-051 sont ceux du cuivre, du plomb et du zinc (tableau 6). Basant sur ce fait, des croisements de calculs ont été faits et ont conduit à la conclusion de considérer le flux maximal pour le Zn qui est de 6000g/Ha/an. On a ensuite calculé les masses de chaque échantillon contenant 6000g de Zn et pour chacune de ces échantillons, les concentrations en Cu et en Pb ont été calculées et on a constaté que ces dernières ont toutes été dans les normes, ce qui nous conduit au tableau 7 suivant. Ce tableau nous montre la masse annuelle de co-compost à respecter par l'utilisateur par unité de surface à cultiver.

Tableau 7 : Masse maximale à respecter pour chaque co-compost.

Code du co-compost	Masse maximale du co-compost (kg/ha/an)	Masse maximale du co-compost (kg/m ² /an)
M-4	5319	0,53
M-3	6584	0,66
M-5	6965	0,7
M-6	7377	0,74
M-9	7452	0,75
M-2	7663	0,77
M-7	7764	0,78
M-8	8508	0,85
M-1	12260	1,23

4. CONCLUSION

Le pourcentage en digestat n'a pas beaucoup d'influence sur la concentration en plomb et en d'autres éléments dans le co-compost. Tous les amendements ont des concentrations en plomb inférieur à la limite maximale et de même pour le cuivre et le zinc. Il existe quand même un flux maximal (masse par unité de surface par an) à respecter, pour chaque co-compost pour éviter la surépandage des éléments dans le sol qui pourrait affecter à la santé publique. En perspective, une étude de transfert des éléments sur différents types de plantes sera dans notre prochain programme.

5. RÉFÉRENCES

- [1] : Brik Abdelmalik, Id Boualim Aissa ; *Toxicité des Métaux Lourds*.
- [2] : Valérie Thirion-Merle ; *Spectrométrie de fluorescence X*.
- [3] : norme française NF U44-051 Avril 2006 page 9 – page 10.



Cite this article: Hobinirina Andrianantenaina Anthonio Randriatsimihory, Fabbie Razafindrabe, Edmond Randrianarivony et A.J. Franck Ratovonjanahary. ANALYSE DES MÉTAUX LOURDS ET ÉLÉMENTS MINÉRAUX DANS LES CO – COMPOSTS PAR UTILISATION DE SPECTROMÉTRIE DE FLUORESCENCE. *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences*. 2022; 15(6): 240-246.

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Noncommercial (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/>