

## QUALITES AGRONOMIQUE ET SANITAIRE DE BIOSOLIDES PRODUITS A PARTIR DE LITS SECHAGE PLANTES A FLUX VERTICAL

### AGRICULTURAL AND HEALTH QUALITIES OF BIOSOLIDS FROM VERTICAL FLOW PLANTED DRYING BEDS

El hadji Mamadou Sonko<sup>1,2</sup>, Cheikh Diop<sup>2\*</sup>, Mbaye Mbéguéré<sup>3</sup>, Seydou Niang<sup>4</sup>, Alasane Seck<sup>1,2</sup>, Amadou Gueye<sup>1,2</sup>, Linda Strande<sup>2</sup>

---

#### Résumé

Cette étude traite de la qualité sanitaire et agronomique de biosolides récoltés après la phase de maturation de 3 mois suivi de 9 mois d'évaluation des performances épuratoires de trois lits de séchage plantés. La qualité agronomique a été évaluée par la détermination des caractéristiques physiques et chimiques des biosolides. Quant à la qualité sanitaire, elle a été déterminée par la concentration en œufs d'*Ascaris*. Les rapports C/N de 9,30 et  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  de 0,37 sont comparables à ceux des compostes matures (respectivement 12 et inférieur à 1). Les valeurs de la matière organique de  $39,8 \pm 3,19$  % et du carbone organique de  $172,42 \pm 22,41$  g/kg montrent que les biosolides sont riches en éléments organiques. Ces biosolides présentent une grande valeur fertilisante avec les concentrations suivantes :  $\text{NO}_3^-$ :  $310,05 \pm 71,59$  mg/kg ; N :  $2,24 \pm 0,50$  ; Pt :  $10,47 \pm 0,87$  g/kg ; Phosphore assimilable :  $3,21 \pm 0,41$  g/kg ; Ca :  $1,76 \pm 0,15$  % ; Mg :  $0,094 \pm 0,002$  % ; Na :  $0,02 \pm 0,001$  % et K :  $0,018 \pm 0,006$  %). Les concentrations en métaux lourds sont largement inférieures aux valeurs limites de la Directive 86/278/EEC de l'Union Européenne relatives à l'utilisation des boues pour l'épandage agricole. Cependant, les concentrations en œufs d'*Ascaris* fertiles sont largement supérieures aux recommandations de l'OMS. Ainsi cette période de maturation de 3 mois est suffisante pour une bonne minéralisation et une maturation agronomique des biosolides. Cependant, elle n'est pas suffisante pour permettre l'hygiénisation des biosolides.

**Mots clés:** qualité sanitaire, biosolides, lits de séchage plantés, qualité agronomique, métaux lourds

#### Abstract

This study focuses on agricultural and sanitary quality of biosolids collected after three months of maturation phase following 9 months of purification performance study on three planted drying beds. Agricultural quality was assessed by determining the physical and chemical characteristics of biosolids. Sanitary quality was determined by the concentration of *Ascaris* eggs. The C/N and  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  ratios respectively 9.30 and 0.37 are comparable to those of mature composts (respectively 12 and less than 1). The values of  $39.8 \pm 3.19\%$  in organic matter and organic carbon of  $172.42 \pm 22.41$  g/kg showed that biosolids are rich in organic material. Thus these biosolids have a high fertilizer value ( $\text{NO}_3^-$ :  $310.05 \pm 71.59$  mg/kg, N:  $2.24 \pm 0.50$ , Pt:  $10.47 \pm 0.87$  g/kg, available Phosphorus  $3.21 \pm 0.41$  g/kg, Ca:  $1.76 \pm 0.15\%$ , Mg:  $0.094 \pm 0.002\%$ , Na:  $0.02 \pm 0.001\%$ , K:  $0.018 \pm 0.006\%$ ). The heavy metals concentrations are well below the threshold values of the Directive 86/278/EEC of the European Union relating to the use of sludge for agricultural application. Concentrations in fertile eggs of *Ascaris* are higher than the WHO recommendations. The maturation period of 3 months is sufficient for good mineralization and maturation of biosolids. However, this maturation phase is not sufficient for sanitizing the biosolids.

**Key words:** sanitary quality, biosolids, planted drying beds, agricultural quality, heavy metals.

---

<sup>1</sup> Institut des Sciences de l'Environnement, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, B.P 5005, Dakar-Fann, Sénégal

<sup>2</sup> Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), Department of Water and Sanitation in Developing Countries (Sandec), Ueberlandstrasse 133, 8600 Dübendorf, Switzerland

<sup>3</sup>. Office National de l'Assainissement du Sénégal, Cité TP SOM, n° 4, Hann, BP 13428, Dakar, Sénégal.

<sup>4</sup> Laboratoire de Traitement des Eaux Usées, Institut Fondamental d'Afrique Noire, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, B.P 5005, Dakar-Fann, Sénégal, \*Correspondant : Pr. Cheikh Diop ; Tel : 77.501.42.61 ; Email : namorydiop@yahoo.fr

## 1. Introduction

Les lits de séchage plantés sont reconnus aujourd'hui comme une technologie fiable permettant de traiter les boues de vidange domestiques avec des performances élevées et de produire des biosolides ayant une grande valeur agronomique [1]. Ce système minéralise et/ou humifie les boues en séchage grâce aux microorganismes contenus naturellement dans les boues et aux macrophytes dans des conditions et un milieu particuliers. Les processus de dégradation de la matière organique les plus importants nécessitent des conditions aérobies. Sur les lits plantés, l'oxygène est soit apporté par les plantes à travers leurs racines par diffusion soit directement par convection lors de bâchées. L'apport d'oxygène par les racines des hélophytes n'est toutefois pas suffisant pour l'activité minéralisatrice des microorganismes. La plus grande partie de l'oxygène pénètre dans le système sous forme dissoute dans les eaux usées ou par l'intermédiaire de la surface par diffusion et convection [2, 3, 4, 5, 6] lors des bâchées. Par convection le volume d'eau passant à travers le filtre est remplacé à chaque fois par un volume équivalent d'air. Le fractionnement de la charge d'alimentation des lits peut alors augmenter le transfert d'oxygène. Après l'alimentation, la consommation d'oxygène du lit est compensée par le transfert d'oxygène avant la prochaine alimentation [4].

Par ailleurs, on a noté que lors du traitement, les filtres plantés retiennent l'essentiel des œufs d'helminthes à la surface des lits. Ainsi, les œufs sont concentrés dans les biosolides accumulés ce qui les rend dangereux lorsqu'ils sont utilisés sans traitement dans l'agriculture. Toutefois, les travaux de Kengne et al. [1] ont montré que le lit peut éliminer les œufs d'*Ascaris* jusqu'à des proportions compatibles avec les recommandations de l'OMS; ceci après six mois de maturation. Dans le cadre d'un dimensionnement d'un

tel système la période de maturation de 6 mois peut avoir des implications économiques importantes. En effet, la surface et/ou le nombre de lits nécessaires pour une station de traitement fonctionnant sur la base de six mois de maturation devraient être plus importants que dans le cadre d'une réduction du temps de maturation à trois mois. C'est pour ces raisons économiques que nous avons choisi de tester dans cette étude une période de maturation plus courte.

Le but de notre travail est de déterminer la qualité agronomique et sanitaire des biosolides accumulés à la surface des lits de séchage plantés après trois mois de maturation sous climat tropical sèche comme c'est le cas au Sénégal.

## 2. Matériel et méthode

### 2.1. Relevée des paramètres climatiques dans le site durant l'étude

Cette étude s'est déroulée au sein de la station de traitement des eaux usées de Cambérène (Dakar-Sénégal). La ville de Dakar est située dans la zone tropicale semi-aride. Elle est ainsi caractérisée par une saison sèche allant de Novembre à Juin et une saison pluvieuse qui s'étale de Juillet à Octobre. La figure 1 montre les moyennes de température maximale et de pluviométrie mesurées sur le site à l'aide d'une micro-station météorologique.

Les températures maximales moyennes varient entre 22 °C et 25 °C de Décembre à Avril et entre 27 °C et 32 °C de Mai à Novembre. La saison des pluies d'une durée d'environ trois mois est causée par la mousson venant de la zone de haute pression de Sainte Hélène. Dakar se situe entre les isohyètes 500 et 600 mm par an. Les plus fortes précipitations sont enregistrées entre Août et Septembre.

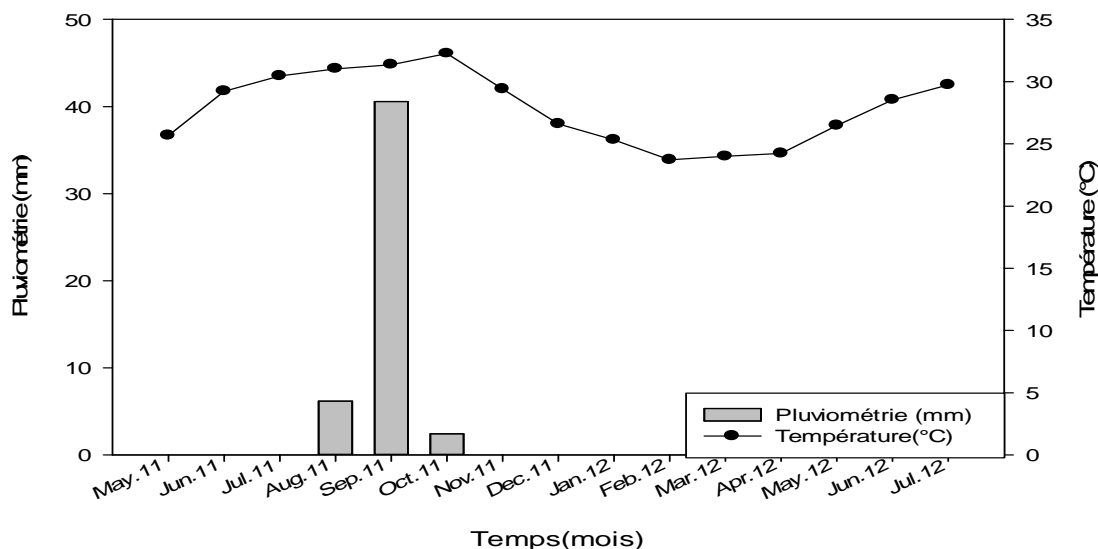


Figure 1 : Température et pluviométrie moyennes au niveau de la station expérimentale

## 2.2. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental (Figure 2) montre les détails de la constitution de chaque lit expérimental. Il est composé de trois fûts de 200 litres chacun. Chaque fût a une hauteur de 90 cm et un diamètre de 50 cm. La couche filtrante est composée de bas en haut d'une couche de gravier grossier de 10 cm d'épaisseur, d'une couche de 10 cm de gravier fin et de 15 cm de sable. La couche de sable est essentiellement constituée de sable de plage. Celui-ci a un  $d_{10}$  de 0,35mm, un  $d_{60}$  de 0,75mm et un coefficient d'uniformité (CU) de 2,14. A la base de cette couche filtrante, nous avons installé un dispositif de drainage constitué d'un tuyau en PVC perforé de diamètre 4 cm. C'est par ce tuyau que les lixiviats sont évacués vers les fûts de récupération situés à la base de chaque lit. Nous avons ensuite planté *Echinochloa pyramidalis* sur le sable à la surface des lits.

## 2.3. Protocole expérimental

Le cycle du travail expérimental a duré quinze mois dont trois mois pour la plantation, la repousse et l'acclimatation des plantes, neuf mois pour le suivi des performances épuratoires et 3 mois pour la maturation des biosolides accumulés à la

surface du lit. Tous les lits ont été plantés avec 9 boutures d'*Echinochloa pyramidalis* par  $m^2$ ; chaque bouture ayant au moins deux entre-nœuds. Tout de suite après la plantation, nous avons alimentés les lits avec de l'eau de robinet dans les fûts pendant quinze jours. Après cette opération, nous les avons pendant quinze autres jours alimentés avec le surnageant des boues issues des décanteurs de la station expérimentale de Cambèrène. Cette période constitue la phase d'acclimatation des plantes. Après cette étape, les charges en boues de vidange introduites ont été graduellement augmentées passant de 50 à 100 et à 150  $kg/m^2/an$ . Cette phase appelée phase de montée en charge a duré deux mois. Cette opération nous a permis d'adapter les plantes aux charges de plus en plus élevées tout en combinant la montée de la charge au développement des plantes. Après ces différentes phases de mise en place du protocole nous avons commencé notre étude avec une charge nominale de 200  $kg/m^2/an$ . Les lits étaient alimentés à la fréquence d'une application par semaine. A la fin du suivi des performances épuratoires, les lits sont laissés au repos pendant 3 mois permettant ainsi aux boues de sécher, c'est la phase de maturation.

C'est à la fin de cette phase de séchage des boues que les caractéristiques physico-chimiques et biologiques ont été analysées.

#### 2.4. Suivi de la qualité des biosolides

Les biosolides sont prélevés à la fin de la phase de maturation, c'est à dire trois mois après l'arrêt des alimentations. Les échantillons sont prélevés à trois points différents de chaque lit sur toute l'épaisseur de la couche de boues accumulées à l'aide d'un carottier à main. Les échantillons prélevés dans chaque lit sont mélangés et séchés au laboratoire à la température ambiante. Les biosolides sont ensuite écrasés et tamisés à l'aide d'un tamis de 2 mm de maille, avant les analyses. Les paramètres suivants ont été évalués:  $\text{pH}_{\text{eau}}$  et le  $\text{pH}_{\text{KCl}}$ , la salinité, le potentiel d'oxydo-réduction, la perte au feu (matière organique), le carbone total, l'azote total, l'ammonium, les nitrates, le phosphore total, les orthophosphates, la capacité d'échange cationique, les bases échangeables, le rapport C/N, les métaux lourds et les œufs d'helminthes. Toutes les analyses à l'exception de celles des œufs d'*Ascaris* et des métaux lourds ont été faites au Laboratoire des Moyens Analytiques de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) de Dakar (Sénégal).

##### 2.4.1. Détermination de caractéristiques physicochimiques des biosolides

Le  $\text{pH}_{\text{eau}}$  et le  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  des échantillons de boues séchées ont été mesurés directement à l'aide d'un pH-mètre CG 818 Schott Geräte. Le  $\text{pH}_{\text{eau}}$  a été déterminé sur une suspension 1/2,5 (Masse/Volume) après un contact d'une heure de boues séchées et d'eau désionisée tandis que le  $\text{pH}_{\text{KCl}}$ , a été mesuré dans une suspension 1/2,5 (Masse/Volume) après un contact d'une heure de boues séchées et de KCl (1 M). L'acidité résiduelle est obtenue en soustrayant la valeur du  $\text{pH}_{\text{eau}}$  à celle du  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  d'un échantillon donné selon Stolner [7]. Selon cet auteur, si la différence entre ces deux pH pour une matière organique donnée est inférieure à 0,5, l'acidité

résiduelle est faible; si la différence est comprise entre 0,5 et 1, l'acidité résiduelle est moyenne et, si elle est supérieure à 1, l'acidité résiduelle est considérée comme élevée. Dans ce dernier cas, il existe un risque réel d'acidification des sols amendés par une telle matière organique.

La conductivité (exprimée en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) et la salinité (exprimée en ‰) sont mesurées directement à l'aide d'un conductimètre Hach CO150 dans une suspension 1/5 (Masse/Volume) après un contact d'une heure de boues séchées et d'eau désionisée.

La capacité d'échange cationique et les cations échangeables ont été déterminés par extraction à l'acétate d'ammonium (1 N) à un pH égal à 7. Le dosage de la capacité d'échange a été fait par colorimétrie de l'ammonium fixé alors que celui des cations d'échange a été déterminé par spectrophotométrie d'absorption atomique.

Le carbone organique a été dosé par la méthode Walkley Black [8] tandis que la matière organique assimilable a été déterminée par la perte au feu par calcination des échantillons de boues séchées à 550°C [9]. L'azote minéral a été déterminé par colorimétrie après extraction à l'aide d'une solution de KCl (1 N). Le rapport C/N a été mesuré à l'aide d'un auto analyseur élémentaire en chromatographie en phase gazeuse après une combustion de l'échantillon et une réduction des gaz de combustion. Le phosphore total (P total) a été dosé par colorimétrie après attaque à chaud par l'eau régale. Quant au phosphore assimilable ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) il a été extrait par la méthode Olson/Dabin à l'aide d'une solution de bicarbonate de sodium et du fluorure de sodium et dosé par colorimétrie.

##### 2.4.2. Détermination des métaux lourds et des éléments en traces métalliques

Cette analyse a été faite au Centre d'Analyse Minérale (CAM) de l'Université de Lausanne (Suisse) par Spectrométrie d'Émission Atomique à Plasma à Couplage Inductif (ICP-AES: *Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry*).

Les analyses ont été faites sur les échantillons des 3 lits. Ainsi, 40 à 70 mg de l'échantillon de biosolides sont mis en suspension dans 2 mL de HNO<sub>3</sub> à 65% et 1 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> à 30%. Quatre échantillons (y compris le blanc) ont été ensuite digérés simultanément dans un four MLS 1200 MEGA délivrant une puissance maximale de 650W. Le programme de digestion se compose de trois étapes: 5 min à 300 W, puis 2 min au repos, et 5 min à 500 W. Après 15 minutes de refroidissement, chaque solution a été transférée dans un flacon de 50 mL calibré. Ces flacons sont ensuite complétés avec de l'eau bidistillée jusqu'au trait de volume.

### 2.4.3. Qualité hygiénique des boues

Le suivi de la qualité hygiénique des biosolides a été fait par la détermination de la concentration en œufs d'*Ascaris* des échantillons collectés à la fin de la phase de maturation. Le choix des œufs d'*Ascaris* comme indicateur du risque sanitaire est lié au simple fait que l'*Ascaris* a une grande résistance et survit à divers traitements comme l'on montrés plusieurs auteurs [10, 11]. De plus, ces nématodes ont une prévalence extrêmement importante dans les pays en développement [12]. Les œufs d'*Ascaris* ont été déterminés sur un échantillon prélevé sur toute l'épaisseur de la couche de boues accumulés. L'analyse des œufs de parasites viables et non viables s'est faite selon la technique originale de récupération d'œufs développée par Buckley et al. [13] et modifiée pour tenir compte de l'analyse des nombreux échantillons [14].

### 2.5. Caractéristiques des boues de vidange brutes

Les caractéristiques des boues de vidange brutes utilisées dans cette étude sont consignées dans le tableau I.

Le tableau I montre que les boues utilisées sont très variables. En effet, les écart-types sont assez élevés pour chaque paramètre. Cette forte variabilité des boues peut être un

gros problème pour le traitement. En effet, le fonctionnement des lits plantés n'est généralement basé que sur des expériences empiriques comme l'utilisation de la concentration en MS des boues de vidanges pour calculer la charge à appliquer plutôt que les caractéristiques des boues [15]. Les paramètres qui influent sur la qualité des boues sont le stockage, la température, l'intrusion des eaux souterraines dans les fosses septiques, les performances des fosses septiques, et les technologies et engins de vidange [16].

**Tableau I : Caractéristiques moyennes des boues de vidange brutes utilisées**

Paramètres	Unités	Moyenne	Ecart-type
MS	(mg/L)	8180,91	4491,57
MVS	% MS	54,92	4,07
MES	(mg/L)	7141,05	4548,09
DCO	(mg/L)	8776,77	5631,61
NTK	(mg/L)	339,65	241,75
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	(mg/L)	150,91	111,29
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	(mg/L)	167,24	107,72
PT	(mg/L)	72,24	50,63
pH	-	7,67	0,24
Conductivité	(mS/cm)	2,61	0,68
Potentiel redox	(mV)	-50,15	14,17
Œufs d' <i>Ascaris</i>	(nombre/L)	3652,08	2577,92

## 3. Résultats et discussion

### 3.1. Caractéristiques physico-chimiques et teneur en métaux lourds des biosolides

#### 3.1.1. Caractéristiques physico-chimiques des biosolides

Les biosolides collectés ont les caractéristiques mentionnées dans le tableau II.

Tableau II : Caractéristiques physico-chimiques des biosolides recueillis.

Paramètres	Unités	Biosolides de lits plantés de Dakar	Biosolides de lits plantés du Cameroun*	FCH**
pH <sub>eau</sub>		6,58±0,14	6,01±0,26	6,84
pH <sub>KCl</sub>		6,34±0,13	5,28±0,22	
Conductivité	µS/cm	743,3±35,1	259±112	
Salinité	‰	0,37±0,05	0,10±0,06	
N(NO3)	mg/kg	310,05±71,59		
N(NH4)	mg/kg	109,98±3,39		
N(NH4)/N(NO3)		0,37±0,08		
Azote total	%	2,24±0,50	2,00±0,20	0,593
Matière organique	%	39,80±3,19		
C. total	%	20,80±4,40	22,6±3,2	11,23
C/N		9,30±0,09	11	18,93
C organique	g/kg	172,42±22,41		
P. total	g/kg	10,47±0,87	2,3±0,6	4,43
P. assimilable	g/kg	3,21±0,41		
Ca	%	1,76±0,15	1,04±0,22	4,16
Mg	%	0,094±0,002	0,14±0,04	1,27
Na	%	0,02±0,001	0,09±0,03	
K	%	0,018±0,006	0,03±0,01	
CEC	meq/100g	46,19±9,12		

\* : Kengne et al. (2009) [1]

\*\* : compost de cheval de la zone de maraîchage de Pikine (Dakar-Sénégal) [17]

Ces biosolides sont légèrement acides (pH  $\approx$  6), avec un potentiel d'acidité faible (la différence pH/eau-pH/KCl est inférieure à 0,5). Des valeurs de pH similaires ont été trouvées par Kengne et al. [1] sur des biosolides de lits de séchage plantés à Yaoundé au Cameroun et par Daouk [17] sur du fumier de cheval à Dakar (Sénégal). La conductivité des biosolides est cependant légèrement plus élevée par rapport aux études de Kengne et al. [1]. Ceci est sans doute lié à la salinité certes faible mais relativement plus élevée (0,37±0,05 ‰) dans cette étude.

Les concentrations en azote, en ammonium, en matière organique, en carbone organique, en carbone total et en phosphore total montrent qu'il y'a une bonne minéralisation. En effet, une bonne minéralisation de la matière organique est généralement consécutive à une diminution significative de l'ammonium, de l'azote total, de la matière organique, du carbone

total, du carbone organique et du phosphore total [18, 19, 20, 21].

Par ailleurs, les biosolides récoltés trois mois après l'arrêt des apports en boues de vidange brutes ont les caractéristiques des compostes matures. Le rapport C/N est de l'ordre de 9, valeur proche de celle obtenue à Yaoundé au Cameroun par Kengne et al. [1] qui ont obtenu un rapport C/N de 11,3. Ce rapport inférieur à 12 montre que les biosolides obtenus sont matures [18]. De plus, le rapport  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  d'environ 0,3 semble confirmer ce niveau de maturité des biosolides. En effet, quoique légèrement supérieures à la valeur seuil (< 0,16) décrite par Bernal et al. [18] pour un compost mature, les valeurs obtenues sont non seulement proches de celle définie par ces auteurs mais, ce rapport est, par ailleurs, inférieur à 1 ; valeur seuil défini par Ko et al. [20] comme étant une preuve de maturité du compost.

### 3.1.2. Composition et teneurs en métaux lourds

Les métaux lourds constituent un des grands problèmes de la réutilisation des sous-produits de l'assainissement. Les concentrations de ces polluants dans les biosolides collectés et présentés dans le tableau III sont des moyennes des 3 lits ayant servi à l'expérimentation.

serait dû au fait que les boues de vidange traitées à Cambérène sont essentiellement d'origine domestique. Dans les concessions, l'essentiel des rejets liquides provient des activités ménagères et des eaux de bain et de toilette

### 3.2. Qualité sanitaire des biosolides

Les biosolides prélevés trois mois après l'arrêt de l'apport en boues de vidange brutes présentent les concentrations en œufs d'*Ascaris* mentionnées dans le tableau IV. Les biosolides avaient une température moyenne de 30 °C et une siccité est de 85,6 % MS.

**Tableau III: Concentrations en métaux lourds des biosolides accumulés à la surface des lits**

Paramètres	Unités	Biosolides des lits plantés de Dakar	Biosolides de lits plantés du Cameroun*	Normes européennes* *
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ppm	28900	9579	
MnO	ppm	592,5	186	
Cr	ppm	225	26	100
Co	ppm	39,6		
Ni	ppm	17,6	14	300-400
Cu	ppm	197,7	575	1000-1750
Zn	ppm	784,8	703	2500-4000
Br	ppm	15,14		
Rb	ppm	12,7		
Sr	ppm	181,7		
Ba	ppm	370,5		
Pb	ppm	32,8	63	750-1200

\*Kengne et al. [1] ; \*\* Directive 86/278/EEC [22]

Ces résultats du Tableau III montrent que les biosolides provenant des lits de séchage plantés peuvent être utilisés sans danger comme amendement agricole. En effet, les concentrations en Pb, Ni, Cu, Zn, Cr respectivement de 32,8 ; 17,6 ; 197,7 ; 784,8 et 225 ppm sont conformes aux limites de la Directive 86/278/EEC de l'Union Européenne relatives à l'utilisation des boues pour l'épandage agricole [22]. Des oligo-éléments comme le fer le magnésium et le zinc présents en quantités plus ou moins importantes dans ces boues sont essentiels pour renforcer la résistance des plantes aux maladies et aux parasites. La faiblesse des teneurs en métaux lourds

**Tableau IV : Concentration en œufs d'*Ascaris* dans les biosolides.**

Paramètres	Nombre d'œufs d' <i>Ascaris</i> (œufs/g MS)		
	Fertile	Non fertile	Total
Biosolides des lits plantés de Dakar	13,3	66,2	79,5
Biosolides des lits plantés du Cameroun (1 mois de stockage) [1]	116,5	58,1	174,6
Biosolides des lits plantés du Cameroun (6 mois de stockage) [1]	4,03	32,76	60,4

Ces résultats du Tableau IV montrent que les concentrations en œufs d'*Ascaris* sont très élevées. Ces concentrations élevées peuvent être liées à la filtration. Dans les lits de séchage, les œufs d'helminthes se trouvent concentrés dans les biosolides, car à l'issue de la filtration, tous les œufs sont retenus par le filtre. En outre, la concentration en *Ascaris* dépend de la prévalence de l'infestation par ce parasite des populations ayant produit ces déchets liquides [23]. Le Tableau IV montre que les biosolides recueillis à la fin de la phase de maturation ont des concentrations en œufs d'*Ascaris* supérieures aux recommandations de l'OMS (moins d'un œuf viable de nématode par gramme de matière sèche) [12]. Ainsi, ces biosolides présenteraient un réel danger sanitaire en cas de réutilisation comme amendements agricoles. Pourtant, l'on constate une bonne élimination des œufs d'*Ascaris* de l'ordre de 80 %. Toutefois, les travaux de Kengne et al. [1] ont montré une élimination des œufs d'helminthes jusqu'à des niveaux respectant les recommandations de l'OMS (< un œuf viable/g MS) [12] ; ceci après 6 mois de maturation des biosolides. Ces résultats montrent que, dans le cadre cette étude, la période de stockage de 3 mois est insuffisante pour hygiéniser les biosolides sur les lits plantés.

#### 4. Conclusion

Les résultats de notre étude montrent que les biosolides récoltés sont de qualité agronomique comparable à celle des autres études sur les lits de séchage ou les systèmes de compostage. Ces biosolides sont matures mais ils contiennent encore de grandes quantités de matière organiques. Ils sont par ailleurs faiblement concentrés en métaux lourds et de ce fait peuvent être utilisés sans danger comme amendement agricole. Cependant, ils restent trop chargés en œufs de parasites. Ainsi la période de 3 mois ne nous paraît pas suffisante pour une bonne hygiénisation de ces biosolides. Il est donc nécessaire d'allonger la période de maturation ; ce qui non seulement pourrait

être un avantage pour l'élimination des œufs de parasites mais aussi pour la dégradation de la partie résiduelle de la matière organique issue des racines des macrophytes.

#### 5. Références

- [1] Kengne I.M., Akoa A., Koné D. Recovery of biosolids from constructed wetlands used for faecal sludge dewatering in tropical regions. *Environmental Science and Technology*, 2009, **43**(17), 6816-6821.
- [2] Platzer C., Mauch K. Soil clogging in vertical flow reed beds - Mechanisms, parameters, consequences and.....solutions? *Water Science and Technology* 1997, **35**(5), 175-181.
- [3] Langergraber G., Habert R., Laber J., Lressl A.. Evaluation of substrate clogging process in vertical flow constructed wetlands. *Water Science and Technology*, 2003, **48**(5), 25-34.
- [4] Kayser K. and Kunst S. Processes in vertical-flow reed beds: Nitrification, oxygen transfer and soil clogging. *Water Science and Technology* 2005, **51**(9), 177-184.
- [5] Molle P., Lienard A., Grasmick A., Iwema A. Effect of reeds and feeding operations on hydraulic behaviour of vertical flow constructed wetlands under hydraulic overloads. *Water Research*, 2006, **40**, 606-612.
- [6] Petitjean A., Forquet N., Wanko A., Lanrent J., Molle P., Mosé R., Sadowski A. Modelling aerobic biodegradation in vertical flow sand filters: Impact of operational considerations on oxygen transfer and bacterial activity. *Water Research*, 2012, **46**, 2270-2280.



- [7] Soltner D. Les Bases De La Production Végétale. Sainte-Gemmes-sur-Loire. 1980. 455p.
- [8] Walkley A. and Black C.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposal modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 1934, **37**, 29-38.
- [9] Eaton A.D., Clesceri L.S., Rice E.W., Greenberg A.E. Standards methods for the examination of water and wastewater, 21st Edition. American Public Health Association / American Water Works Association/water Environment Federation., Washington DC, USA. 2005
- [10] Feachman R. D., Bradley D. J., Garelick H. and Mara D. D. Sanitation and Disease : Health Aspects of Excreta and Wastewater Management, World Bank Report N° 11616. John Willey & Sons. New York, USA. 1983.
- [11] Reimers R.S., Leftwich D.B., Englande A.J., Little M.D., Bowman D.D., Wilkinson R.F. Fate of Parasites in Sewage Sludge Sludge Characteristics and Behavior. NATO ASI Series Volume 66, 1983, 294-331
- [12] WHO. Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater, Vol. 4. W. H. Organization. Geneva. 2006. 182p.
- [13] Buckley C.A., Foxon K.M., Hawksworth D.J., Archer C., Pillay S, Appleton C., Smith M., Rodda N. Water Research Commission Report No. TT 356/08. Research into UD/VIDP (urine diversion ventilated improved double pit) toilets: prevalence and die-off of *Ascaris ova* in urine diversion waste. Durban, South Africa: Pollution Research Group, University of KwaZulu-Natal. 2008.
- [14] Moodley, P., Archer, A., Hawksworth, D. Standard Methods for the Recovery and Enumeration of Helminth Ova in Wastewater, Sludge, Compost and Urine-Diversion Waste in South Africa. Report to the Water Research Commission (WRC), WRC Report No. TT322/08, (2008) South Africa. 33p.
- [15] Christensen M. L. and Keiding K. Numerical model of gravity drainage of compressible organic slurries. *Powder Technology*, 2012, **217**, 189-198.
- [16] Sanguinetti G.S., Tortul C., Garcia M.C., Ferrer V., Montangero A., Strauss M. Investigating helminth eggs and *Salmonella* sp. in stabilization ponds treating septage *Water Sci. Technol.*, 2005, **51**(12), 239-247.
- [17] Daouk S. Caractérisation de la Matière Organique de différents amendements et évaluation de leurs impacts sur la matière organique d'un sol agricole de Pikine : Dakar, Sénégal. , Vol. Master Thesis, UNIL, Lausanne, 2008. 161p.
- [18] Bernal M.P., Paredes C., Sánchez-Monedero M.A., Cegarra J. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. *Bioresource Technology*, 1998 **63**(1), 91-99.
- [19] Hachicha S., Sallemi F., Medhioub K., Hachicha R., Ammar E. Quality assessment of composts prepared with olive mill wastewater and

- agricultural wastes. Waste Management, 2008 **28**(12), 2593-2603.
- [20] Ko H.J., Kim K.Y., Kim H.T., Kim C.N., Umeda M. Evaluation of maturity parameters and heavy metal contents in composts made from animal manure. Waste Management, 2008, **28**, 813-820.
- [21] Cofie O., Kone D., Rothenberger S., Moser D., Zurbrugg C. Co-composting of faecal sludge and organic solid waste for agriculture: Process dynamics. Water Research, 2009, **43**(18), 4665-4675.
- [22] E.U.C. Council Directive 86/278/EEC of 12 June 1986 on the protection of the environment, and in particular of soil, when sewage sludge is used in agriculture. 1986.
- [23] Koné D., Cofie O., Zurbrugg C., Katharina G., Daya M., Silke D., Strauss M. Helminth eggs inactivation efficiency by faecal sludge dewatering and co-composting in tropical climates. Water Research, 2007, **41**, 4397-4402.