



International Journal of Natural Resources and Environment

Journal home page: <https://ijnre.univ-adrar.dz>

ISSN 2710-8724



I
J
N
R
E

L'épandage Agricole des Boues d'Épuration Urbaines est-il Bénéfique ou Nocif ?

(Cas : STEP de Khenchela, Algérie)

Bouzekri Abdeldjalil^{1,2*}, Houhamdi Moussa²

¹ Département SNV, Faculté ST, Université Ahmed Draïa-Adrar, Algérie

² Département des Sciences de la Nature et de la vie, Faculté SNV-STU, Laboratoire Biologie, Eau et Environnement (LBEE).

Université 8 Mai 1945, PB 214 24000 Guelma. Algérie

* Corresponding author: djalla_40@live.fr (A. Bouzekri)

Article details: Received: 25 May 2023, Revised: 03 July 2023, Accepted: 04 July 2023

Résumé:

Du point de vue environnemental, la dépollution des eaux usées dans les stations d'épuration constitue un moyen efficace pour la protection de notre environnement. Cependant, cette activité génère souvent d'autres sous-produits, les plus connus sont les boues qui une fois récupérées peuvent être utilisées en agriculture comme engrais, cette forme reste contestée puisque, à côté de leur richesse en éléments fertilisants, ces boues peuvent renfermer aussi des contaminants néfastes pour l'environnement et la santé humaine.

Dans ce but, notre travail a été réalisé pour faire un état des lieux sur la composition physico-chimique et microbiologique des boues récupérées au niveau d'une Station d'épuration des eaux usées (STEP) qui est seulement équipée d'un système de traitement secondaire par boues activées à faible charge (S.T.E.P de la ville de Khenchela-Algérie).

Ces boues sont traitées par déshydratation naturelle et analysées par des méthodes normalisées afin d'évaluer l'efficacité du traitement auxquels elle a été soumise dans la station. L'analyse a porté sur un kilogramme de matière sèche, dont plusieurs échantillons ont été considérés avec des dimensions comprises entre 250µm et 2mm.

Nos résultats mettent en évidence de façon systématique la pauvreté de ces boues en éléments fertilisants avec une faible charge en métaux lourds et une présence de bactéries fécales ayant acquis des caractères de résistance aux différents facteurs environnementaux.

Mots clés : Valorisation ; Boues ; STEP ; Pathogène ; Métaux lourds.

Abstract:

From the environmental point of view, the depollution of wastewaters in the sewage treatment plants constitutes an efficient way of protection for our environment. However, this activity often generates others sub-products, the most well-known which once the sludge recovered can be used in agriculture as manure, this form is still disputed as next to their richness in fertilizers elements, these sludge can also contain harmful contaminants for the environment and the human health. For this purpose, our work has been done to a State of play on the physicochemical and microbiological composition of sludge recovered to the level of a Station that is only equipped with a secondary treatment system by activated low load sludge (W.W.T.P the city of Khenchela -Algeria).

These sludge are treated with natural dehydration and analyzed by standardized methods to assess the effectiveness of the treatment to which it was subjected. The analysis included one kilogram of dry matter, several of which were considered with dimensions between 250µm and 2mm.

Our results highlight a systematic way, the poverty of these sludge in fertilizers elements with low loading in heavy metal and the presence of fecal bacteria have acquired resistance traits to the different environmental factors.

Keywords: Valorization; Sludge; STEP; Pathogenic; Heavy metals.

1. Introduction

L'assainissement des eaux usées est devenu au cours de ces dernières années un enjeu considérable pour les sociétés modernes (Anaelle, 2009). Quel que soit le système d'épuration adopté, le traitement des eaux usées s'accompagne d'une production de quantités assez importantes en éléments polluants et leurs produits de transformation se trouvent rassemblés, dans la majorité des cas, dans des suspensions, plus ou moins concentrées dénommées «boues». (Amir, 2005) et (Derouiche, 2012).

En Algérie, Le nombre de stations d'épuration des eaux usées (STEP) exploitées par l'Office National de l'Assainissement (ONA) est passé de 14 en 2003 à 171 STEP en 2019, celles-ci auraient produit plus de 250.000 tonnes de boue par an. (ONA., 2014 ; Akbi, 2017) et (BBFA., 2019).

Actuellement, plusieurs études dévoilent que la majorité des boues est valorisée en agriculture car elle permet d'accomplir le cycle de la matière organique (Grimault, 2000). D'autre part, les boues présentent des caractéristiques agronomiques intéressantes : elles représentent une source d'alimentation pour les cultures et permettent d'améliorer les caractéristiques du sol (Lgoud, 2000 ; Jamil, 2006) et (Ailincăi et *al.*, 2012). Elles sont constituées essentiellement d'eau, de sels minéraux et de matière organique et inorganique (Karoune, 2008 ; Usman, et *al.*, 2012).

Au niveau national, l'épandage agricole des boues présente la deuxième voie pour la destination finale de ces sous-produits par un taux de 25 %, pour le stockage ce taux atteint 70 % et 15 % pour la mise en décharge (Anne, 1945). Cependant, les analyses des boues résiduelles qui sont déjà réalisées montrent la présence d'autres éléments issus des activités humaines et industrielles tels que les microorganismes pathogènes, éléments-traces métalliques (ETM), micropolluants organiques (MPO) et les produits pharmaceutiques (Unken, 1987) (Benckiser, et Simarmata, 1994) (Dai, J. Y. et *al.*, 2006) et (Ailincăi, et *al.*, 2012), ces contaminants peuvent présenter un risque pour l'environnement ou la santé des populations humaines et animales (ONA., 2014).

Par ailleurs, l'analyse est d'autant plus importante qu'il serait simpliste de croire que les boues urbaines sont toutes de nature identique. Il faut, au contraire prendre conscience de leur extrême diversité et de l'hétérogénéité de leur composition en fonction de leur origine et des procédés de traitements auxquels elle a été soumise dans la station d'épuration (Lgoud, 2000 ; Frank, 2002).

Toutes ces informations sont limitées et peu abondantes plus précisément chez les agriculteurs pour cela notre étude vise la valorisation physico-chimique, et microbiologique des boues rejetées par la station d'épuration de la ville de Khenchela (Wilaya de Khenchela-Algérie).

2. Matériels et Méthodes

2.1. Prélèvement et Prétraitement

Les boues utilisées lors de cette étude sont issues de lit de séchage (boue séchée pendant six mois **B₆**) et de terrain de chargement (boue séchée pendant une année **B₁₂**). Le prélèvement a été effectué selon la norme NF EN ISO 5667-15 et le prétraitement des échantillons a été réalisé selon la NF U 44-110 (octobre 1982). (Grimault, 2000 ; Ailincăi, et *al.*, 2012).

2.2. Analyse des Boues (B₆ et B₁₂)

2.2.1. Analyse physico-chimique

Ces analyses ont été réalisées au niveau de laboratoire de l'institut national de sol, de l'irrigation et du drainage (INSID, Oum El-bouaghi-Algérie), laboratoire central d'ARCILOR MITTAL (El-hadjar à Annaba-Algérie) et le laboratoire d'Analyse Environnementales et d'Essais Chimiques sur les Matériaux (LACIP groupe-Ain M'Lila-Algérie). (Tableaux 1A et 1B).

Tableau 1A. Méthodes de mesure de différents paramètres traités.

Paramètre	Principe et Norme	Expression de résultat	Référence
CE μs/cm	Induction ISO 11265	Lecture directe sur l'écran digital du conductimètre	(CWEA., 2014)
pH à 25°C	Potentiomètre	Lecture directe sur l'écran digital du pH-mètre.	Thirion, F. et Chabot, F., 2003).
*Siccité (%)	Evaporation	$(P_2 - P_0 / P_1 - P_0) * 100$ P ₀ : Poids d'une coupelle de porcelaine, propre et sèche en g. P ₁ : Poids d'une coupelle de porcelaine et la noix de la boue à analyser en g. P ₁ - P ₀ : Poids totale de la boue analysée en g. (10g). P ₂ : Poids d'une coupelle de porcelaine et le reste du volume de la boue après évaporation et le refroidissement en g.	(Frank, 2002)
*C%	Méthode d'Anne	$C\% = (y-x) 0.61/p.$ Y : la quantité de sel de Mhor qui a oxyde tous les bichromates dans l'essai. X : la quantité de sel de Mhor qui a oxyde tous les bichromates dans l'échantillon. P : Poids a prise d'essai.	(Dabin,1965 ; Anne, 1945).
*MO%	/	$MO (\%) = 1.72 \times C (\%).$	(Dabin,1965 ; Anne, 1945).
*NTK %	NF EN 13342	$N\% = 14. (N_1/P) * (V_1 - V_0).$ (V ₁ - V ₀) = volume d'acide nécessaire à la neutralisation. N ₁ = normalité de l'acide (0.1) P = Poids a prise d'essai.	(El-Nahhal et al., 2014)
NO ₃ mg/L	Colorimétrie (nitration de l'acide salicylique)	Lire l'absorption correspondante la longueur d'onde de 410 nm.	(Bettioli et Ghini, 2011 ; El-Nahhal et al., 2014)
NH ₄ mg/L	Distillation et titrage	$N\% = 14. (N_1/P) * (V_1 - V_0).$	(El-Nahhal et al., 2014)
*P ₂ O ₅	Méthode TRUOG	Lire l'absorption correspondante la longueur d'onde de 600 nm.	Thirion, F. et Chabot, F., 2003).
Mg ⁺² mg/L	Digestion par micro-onde NF EN 16173	Effectuer les lectures à la longueur d'onde de 285,2 nm par SAAF	(Unken, 1987)
Ca ⁺² mg/L	NF EN 16173	Effectuer les lectures à la longueur d'onde de 422,7 nm par SAAF	(Unken, 1987)

K⁺ mg/L	NF EN 16173	Effectuer les lectures à la longueur d'onde de 766,5 nm par SAAF	(Unken, 1987)
Cl⁻ mg/L	Méthode de Mohr	V × 10 × 3,55. V le nombre de millilitres de nitrate d'argent 0,1 N utilisés	(El-Nahhal et al., 2014 ; Unken, 1987)
PO⁻³₄ mg/L	Méthode d'acide ascorbique	La mesure d'absorbance se fait à 700 nm.	(El-Nahhal et al., 2014 ; Frank, 2002)
SO⁻²₄ mg/L	méthode de turbidité	Effectuer les lectures à la longueur d'onde de 420 nm par spectrophotomètre.	(El-Nahhal et al., 2014)

* : ces paramètres ont été faits à l'I.N.S.I.D et le reste ont été faits au niveau de laboratoire centrale d'ARCILOR MITTAL.

❖ *Le dosage des Eléments en Trace Métallique (ETM : Cu, Ni, Zn, Cd, et Cr)*

Les concentrations des ETM sont déterminées par les méthodes spectrométriques d'absorption atomique (SAA) (Marie, 2014).

Tableau 1B . Les concentrations des standards de chaque métal. (LACIP groupe).

	ETM	Concentration en ppm			Volume prélevée en µL		
Cuivre (Cu)	324,7 nm	1.5	4.5	10	75	230	500
Nickel (Ni)	232,0 nm	1	2	4	100	300	600
Zinc (Zn)	213,86 nm	1	3	6	50	150	300
Cadmium(Cd)	228,8nm	0.6	1.8	3.6	300	900	1800
Chrome(Cr)	357,94 nm	3	9	18	200	425	950

2.2.2. Analyse microbiologique

L'objectif de l'analyse microbiologique est de rechercher soit les espèces qui sont indicatrices de contamination fécales, soit celles qui sont susceptibles d'être pathogènes.

Les conditions d'asepsie sont assurées par la stérilisation du tout matériel au four pasteur (à 180°C/1H) et les milieux de cultures par l'autoclave (à 120°C/20min).

L'analyse quantitative de la concentration bactérienne des boues se fait par dilution et comptage de nombre de bactéries (Tableau 2).

L'indentification de certaines souches bactériennes se fait selon plusieurs étapes :

- ✓ L'ensemencement de l'échantillon à analyser sur des milieux de cultures non sélectifs (gélose nutritive) ;
- ✓ Coloration de Gram (l'identification au microscope) ;
- ✓ Ré-isolements sur des milieux sélectifs (gélose nutritive, l'Hektoen, Chapman, Cetrinide, KingA et King B) ;
- ✓ L'utilisation des galeries miniaturisées (système API) et du logiciel d'identification (API Excel).

Tableau 2. Méthodes et milieux utilisés pour la recherche des indicateurs de la pollution.

Indicateur de la pollution	Principe de la méthode (DR-12-SCA-02)	Milieu de culture et Incubation	Limite de quantification	Expression des résultats
BHAA	Incorporation à la gélose [CEAE, 2011].	gélose R2A 35°C pendant 48h	entre 30 et 300 colonies	UFC/ml = Nombre de colonies BHAA Volume d'échantillon analysé
CT	Filtration sur membrane (0,45 µm) [CEAE, 2011].	milieu m-Endo 35°C pendant 24h	[20 - 80]	UFC/g (poids humide) = Nombre de colonies CT Poids d'échantillon analysé
CF	Filtration sur membrane (0,45 µm) [CEAE, 2014].	gélose m-FC 44.5°C pendant 24h	[20 - 60]	UFC/g (poids humide) = Nombre de colonies CF Poids d'échantillon analysé
EF	Filtration sur membrane (0,45 µm) [CEAE, 2014].	m- <i>Enterococcus</i> 35°C pendant 48h	[20 - 100]	UFC/g (poids humide) = Nombre de colonies EF Poids d'échantillon analysé

Le poids de l'échantillon analysé correspond à la relation suivante :

*La filtration de 10 ml de la dilution de 10 grammes d'échantillon dans 90 ml d'eau tampon correspond à 1 g d'échantillon analysé.

Les dilutions sériées effectuées par la suite correspondent à 0,1g, 0,01g d'échantillon analysé.

3. Résultats et Discussion

2.3. Caractéristiques physico-chimiques

Les boues ont été caractérisées selon le protocole d'analyse proposé par Lacey et le Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer (MEEDDM., 2009).

Les propriétés physico-chimiques sont résumées dans les tableaux n° 03a et 03b pour les teneurs en ETM.

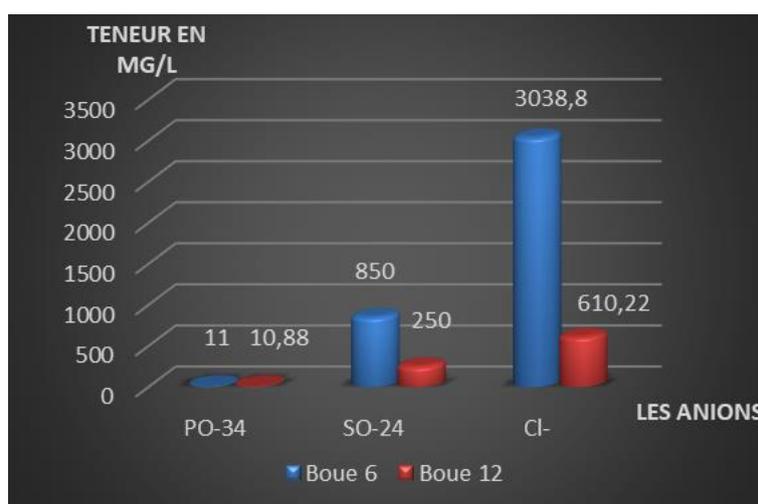
Tableau 3a : Propriétés physico-chimiques des Boues déshydratées (B₆, B₁₂).

Paramètre mesuré	B ₆		B ₁₂		Norme A.F.N.O. R	Paramètre	B ₆		B ₁₂		Norme A.F.N.O. R
CE $\mu\text{s/cm}$ à 25°C.	9250		1880		/	*P ₂ O ₅ et P	11	5	14	6	0.4
pH à 25°C	7.87		7.99		/		6.76	1	4.27	3	3%
*Siccité (%)	36.444		50.703		/	*NTK %	0.2880		0.2192		2
*C% et Mo%	12.	22.	7.	13	4	NO ₃ ⁻	21.5		56		/
	81	03	87	.52	0	mg/L	6.76		2.87		/
Cl ⁻ mg/L	3038.8		610.22		/	NH ⁴⁺	200.86		60.23		/
PO ⁻³ ₄ mg/L	11		10.88		/	mg/L	156.8		100.36		/
SO ⁻² ₄ mg/L	850.00		250.00		/	Ca ⁺²	100		140		0.16%
						mg/L			(0.014%)		
						K ⁺ mg/L					

D'après les standards de l'Agence Française de Normalisation (AFNOR) et les valeurs de caractère agronomique obtenues (**MO%**, **C%**, **S**, **P** et le **N**), il s'avère que la différence est notable, par conséquent on peut citer que la boue issue de la STEP Khenchela n'est pas riche en matières fertilisantes. Ceci est dû à la nature d'effluent initial à traiter, au type du traitement de la station (boues activée), à la filière du traitement des boues et à la minéralisation durant la période de déshydratation.

De manière générale, les conditions différentes de température ont eu peu d'effets sur les caractéristiques des boues après la période de stockage de 6 mois et d'un an.

Aussi, on remarque que le teneur des anions (**Fig.1.**) est plus élevé par rapport au celui des cations (**Fig.2.**) cet écart est dû à la différence entre le pouvoir d'adsorption de ces derniers (Frank, 2002 ; Rodier, 2009).

**Fig.1.** Teneur des Anions des boues déshydratées (B₆ et B₁₂).

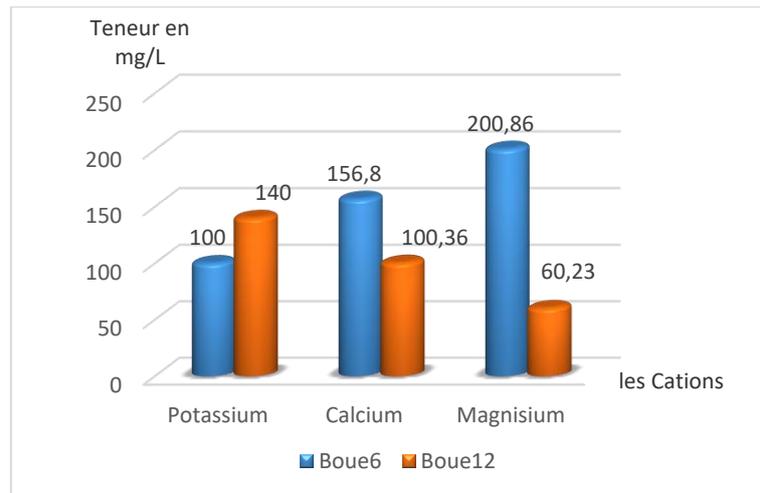


Fig.2. Teneur des cations des boues déshydratées (**B₆** et **B₁₂**).

Par contre la variation du potentiel Hydrogène (pH) entre les deux campagnes n'est pas notable, elle ne dépasse pas en général une unité du pH. Ces valeurs sont légèrement neutres à alcalin donc elles sont adéquates pour une bonne activité microbienne et sans provocation des risques pour le sol et pour les plantes (Ayed et *al.*, 2005).

Ainsi, les résultats obtenus par Tremblay, J. ont montré que les boues traitées par les procédés acides (Stabiox et Metix-AC) avant un long stockage avaient un pH près de neutralité. Ceci permet une meilleure biodégradation de la matière organique et la génération de boues moins odorantes.

À cet égard, il existe plusieurs études récentes comme celle de Gaurav et *al.*, (2021) qui a démontré l'efficacité et l'importance des procédés physico-chimiques pour le traitement des eaux usées et des boues avant leur stockage à long terme.

❖ Concentration en ETM

La caractérisation et l'origine des boues permettent de les considérer comme des substrats toxiques, par exemple l'étude réalisée par Bettiol et Ghini en 2011 montre qu'il est nécessaire de réduire les concentrations des ETM des boues pour éviter la contamination des sols.

Par contre l'analyse qui a été effectuée par El-Nahhal et *al.*, (2014) prouve la légalité d'épandage agricole de ces boues.

Les résultats obtenus sont présentés dans la figure suivante (**Fig.3.**)

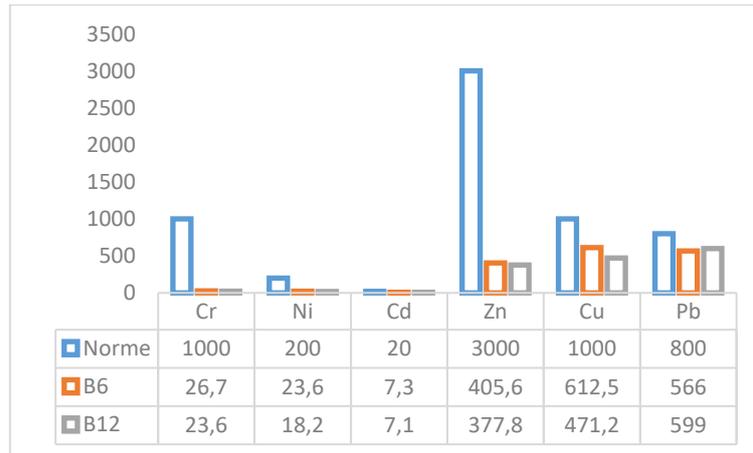


Fig.3. Concentration en ETM des boues déshydratées (**B₆** et **B₁₂**).

Selon nos résultats et ceux mentionnés par El-Nahhal et al., (2014), les métaux lourds sont présents sans excéder les normes citées par Lacce (1985) et MEEDDM, (2009) et qui préconisées dans le cas de la valorisation agricole des boues, mais, selon Baize (1997), beaucoup de gens se servent des valeurs de référence de la norme A.F.N.O.R en les considérant comme des valeurs normales dans les sols. Il s'agit d'un virage sémantique important.

Par exemple, des valeurs de 85 mg/kg de plomb ou de 1.7 mg/kg du cadmium sont considérées comme inférieures aux valeurs de la norme (respectivement 100 et 2 ppm) et ne posent aucun problème. Ce raisonnement est carrément erroné, donc il faut aussi respecter les normes relatives aux sols qui sont susceptibles de les accueillir.

2.4. Caractéristiques microbiologiques

L'analyse microbiologique a été effectuée au niveau de laboratoire central d'ARCILOR MITAL (Annaba).

- ❖ Dénombrement des indicateurs de pollution

La fig. 4 montre les résultats de dénombrement des indicateurs de pollution.



Fig.4. Le nombre des indicateurs microorganismes des boues déshydratées (**B₆** et **B₁₂**).

Quantitativement, on retrouve beaucoup moins de microorganismes dans la boue déshydratée pendant un an que dans la boue déshydratée pendant six mois.

La présence faible des entérocoques peut s'expliquer par le fait que ces bactéries sont beaucoup résistantes dans l'environnement et on peut de confirmer à partir de ces résultats l'efficacité de réduction des pathogènes (Frank, 2002).

Il est très probable que cette diminution progressive du nombre des microorganismes d'origine fécale est en relation direct avec les processus de dilution, la durée de la déshydratation des boues et les processus physiologiques (adaptation de ces bactéries face aux conditions environnementales) qui peuvent aussi agir sur la présence de ces microorganismes dans les boues des STEP.

Les tests biochimiques classiques et les galeries API (20E, 20NE et STAPH) nous ont permis, à l'aide du logiciel API Excel, d'identifier ces espèces dans les deux échantillons.

Pour la **B₆** sont :

Escherichia coli, *Staphylococcus epidermidis*, *Staphylococcus aureus*, *Klebseilla oxytoca*, *Pseudomonas auruginosa*, *Pseudomonas fluorescense*, *Proteus vulgaris*, *Morganella morgani* et *Providencia sp*

Et pour la **B₁₂** sont :

Escherichia coli, *Staphylococcus aureus*, *Klebseilla oxytoca*, *Klebseilla pneumoniae*, *Pseudomonas auruginosa*, *Pseudomonas fluorescense*, *Proteus mirabilis*, *Morganella morgani* et *Hydrogenomonas sp*.

L'interprétation de ces résultats reste limitée, compte tenu de la variabilité naturelle des boues, les techniques d'analyse, l'échantillonnage utilisé et le type du traitement.

Le long stockage peut contribuer à la réduction des pathogènes de la boue, mais, on ne peut toutefois considérer un stockage comme un traitement fiable car les boues liquides sont rarement gérées en lots ; en effet, les stockages sous forme liquides sont souvent dans des ouvrages uniques.

Ainsi, l'influence du stockage sur l'inactivation des agents pathogènes est liée à la fois à la nature des boues stockés et aux conditions environnementales (température, durée du stockage) (Atlan, 2003).

Selon l'étude de Tremblay, J., qui a été modifiée par le Centre Eau Terre Environnement en Mai, 2023, on trouve que l'entreposage hivernal ralentit le rythme des réactions métaboliques et, par conséquent, les modifications physico-chimiques des boues.

3. Conclusion

Afin d'évaluer les paramètres de pollution des boues récupérées au niveau de la S.T.E.P de Khenchela, en comparaison aux normes qui concernent «l'épandage de boues d'épuration urbaines sur des terres agricoles». Les résultats obtenus ont révélé que ces boues présentent des caractéristiques physico-chimiques globales inférieures aux valeurs réglementées par l'arrêté de Janvier 1998 (en France). Concernant les contaminants microbiologiques, nos résultats montrent que les boues d'épuration peuvent contenir une charge en bactéries fécales quand elles ne sont pas efficacement déshydratées.

La portée de ces résultats doit toutefois être complétée par d'autres échantillonnages prospectant le même site et d'autres sites judicieusement choisis.

Ainsi dans nos perspectives d'avenir il nous semble intéressant de compléter utilement cette approche par :

- La réalisation de nouveaux prélèvements complémentaires sur ce site et d'autres sites de la wilaya de Khenchela, de taille et d'activités différentes pour valider nos premiers résultats.
- Effectuer une comparaison du profil microbiologique obtenu entre ces différents sites et surtout du profil de résistance des germes transitant dans des collecteurs communaux.
- Etendre notre travail à l'étude des risques potentiels engendrés par ces sous-produits d'une part sur l'homme par le risque infectieux lié à l'existence des microorganismes pathogènes et d'autre part évaluer ces risques sur l'environnement et la probabilité de sa contamination, afin d'aider à l'adaptation d'une stratégie de traitement des boues visant à améliorer sa qualité selon les normes requises.
- Effectuer une campagne de prévention pour les habitants de la wilaya et particulièrement ceux résidants de part et d'autre de Oued Baghai et qui utilisent ces boues dans leurs cultures maraichères.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier le laboratoire de l'institut national de sol, de l'irrigation et du drainage (INSID) (Oum El-bouaghi-Algérie), laboratoire central d'ARCILOR MITTAL (El-hadjar à Annaba-Algérie) et le laboratoire d'Analyse Environnementales et d'Essais Chimiques sur les Matériaux (LACIP groupe-Ain M'Lila-Algérie), pour fournir des produits chimiques et des matériaux et en aidant à la réalisation de ces analyses.

Références

- A. Akbi, M. Sabre, M. Aziza**, « Un aperçu du potentiel bioénergétique durable en Algérie ». *Revue des énergies renouvelables et durables*, vol. 72, p. 240-245. 2017.
- B. Ayed, A. Hassen, N. Jedidi, N. Salai, O. Bouzaiane, F. Murano**, « Caractérisation des paramètres physico-chimiques et microbiologiques au cours d'un cycle de compostage d'ordures ménagères ». *Déchets sciences & techniques*, vol. 40, n° 4. 2005.
- BBFA.**, Bureau Business France d'Alger. Algérie - Projets d'assainissement : une enveloppe de 84 Mds DZD dégagée In : Site Business france [en ligne]. Disponible sur <https://www.businessfrance.fr/algerie-projets-d-assainissement-une-enveloppe-de-84-mds-dzd-degagee>. 2019.
- B. Dabin**, « Application des dosages automatiques à l'analyse des sols. Cah. Orstom. Ser. Pedofil, vol. 3, Pp. 335-366. 1965.
- C. Ailincăi, G. Jităreanu, D. Bucur, D. Ailincăi**, "Soil Quality and Crop Yields, After Utilization of Sewage Sludge on Agricultural Land, in the Moldavian Plain, Romania. Cercetari Agronomice in Moldova, 45(1), 5-18. <http://dx.doi.org/10.2478/v10298-012-0001-1Ambily>
- Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec.** Recherche et dénombrement des bactéries hétérotrophes aérobies et anaérobies facultatives : méthode par incorporation à la gélose, MA.

700 – BHA35 1.0, Rév. 3, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 15 p. 2011.

Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, Recherche et dénombrement des coliformes totaux : méthode par filtration sur membrane. MA. 700 – Col 1.0, Rév. 3, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 20 p. 2011

Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, Recherche et dénombrement des coliformes thermotolérants (fécaux) et confirmation à l'espèce *Escherichia coli* : méthode par filtration sur membrane. MA. 700 – Fec.Ec 1.0, Rév. 5, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec, 20 p. 2014

Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, Recherche et dénombrement des entérocoques : méthode par filtration sur membrane, MA. 700 – Ent 1.0, Rév. 5 Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec, 23 p. 2014.

C. Lacey, « Analyse des Boues », A.F.E.E., Tome 1, 135 p., Tome 2, 127 p., 1985.

CWEA., Compendium Wallon des méthodes d'Echantillonnage et d'Analyse. S-II-7V3 – Détermination de la conductivité électrique spécifique. ISSeP. 3p. 2014.

CREPA., Centre régional pour l'eau potable et l'assainissement. Contrôle et suivi de la qualité des eaux usées. Protocole de détermination des paramètres physico-chimique et bactériologique. 52p. 2007.

D.A. Cataldo, M. Maroon, LESchrader, V.L. Youngs, "Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid Communications in Soil Science & Plant Analysis, vol.6, n°1, Pp. 71-80. 1975. <http://dx.doi.org/10.1080/00103627509366547>

D. Baize, « Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols (France) ». Editions Quae. 1997.

F. Azam, M. Ashraf, A. Lodhi, A. Gulnaz, "Utilization of sewage sludge for enhancing agricultural productivity". *Pak. J. Biol. Sci.*, vol. 2, Pp. 370-377. 1999. <http://dx.doi.org/10.3923/pjbs.1999.370.377>.

F. Derouiche, « Contribution à l'étude des boues résiduares comme amendement organiques pour les cultures maraichères,p1. 2012. <http://www.univ.oran1.dz/theses/document/TH3616.pdf>.

F Thirion, F Chabot, « Épandage de boues résiduares et effluents organiques : matériels et pratiques ». Editions Quae. 2003.

G. Atlan, « Les boues d'épuration et leurs perspectives de gestion en Île-de-France. Agriculture, environnement, ruralité (CESR), 14. 2003.

G. Benckiser, T. Simarmata, "Environmental impact of fertilizing soils by using sewage and animal wastes". *Fertilizer Research*, vol. 37, n°1, Pp. 1-22. 1994.

G.K. Gaurav, T. Mehmood, M. Kumar, L. Cheng, K. Sathishkumar, A. Kumar, D. Yadav, "Review on polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) migration from wastewater". *Journal of Contaminant Hydrology*, 236, 103715. 2021.

- J. Pétard**, « Les méthodes d'analyse » : tome 1. Analyse de sols. Nouméa : ORSTOM. Septembre 1993. 192 p. 1993.
- J Tremblay**, « Stockage et stabilité à long terme de boues d'épuration municipales décontaminées et stabilisées par voie chimique ou biologique », Doctoral dissertation, Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique. 2006. <https://espace.inrs.ca/id/eprint/436/>.
- J.Y. Dai, C.H.E.N. Ling, J.F. Zhao, M.A. Na**, "Characteristics of sewage sludge and distribution of heavy metal in plants with amendment of sewage sludge". *Journal of Environmental Sciences*, vol.18, n°6, 1094-1100. 2006. [http://dx.doi.org/10.1016/S1001-0742\(06\)60045-4](http://dx.doi.org/10.1016/S1001-0742(06)60045-4)
- I.Y. El-Nahhal, H. Al-Najar, Y. El-Nahhal**, "Cations and Anions in Sewage Sludge from Gaza Waste Water Treatment Plant". *American Journal of Analytical Chemistry*, 2014. <http://dx.doi.org/10.4236/ajac.2014.510073>
- J. Rodier, B. Legube**, « L'analyse de l'eau ». Dunod. 2009.
- K. Usman, S. Khan, S. Ghulam, M.U. Khan, N. Khan, M.A. Khan, S.K. Khalil**. "Sewage sludge: an important biological resource for sustainable agriculture and its environmental implications". 2012.
- L Grimault**, « Etude de faisabilité : Application de la démarche HACCP au compostage des boues d'épuration », p1. 2000.
- MEEDDM.**, « Ministère d'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer. Recueil de textes sur l'assainissement ». Textes techniques relatifs à l'épandage des boues d'épuration résultant du traitement des eaux usées domestiques. 2009.
- M. Jamil, M. Qacim, M. "Umar**, Utilization of sewage sludge as organic fertilizer in sustainable agriculture". *Journal of Applied Science*, vol. 6, n°3, Pp. 531-535. 2006. <http://dx.doi.org/10.3923/jas.2006.531.535>
- ONA.**, « Office National de l'Assainissement ». Perspectives de valorisation agricole et énergétique des boues issues des STEP en Algérie. 2014. http://www.ona.dz/IMG/pdf/Perspectives_de_valorisation_agricole_et_energetique_des_boues_issues_des_STEP_en_Algerie-2.pdf.
- P. Anaëlle**, « Estimation de performances épuratoires : Caractérisation de boues de station d'épuration », 49p. 2009.
- P. Anne**, « Sur le dosage rapide du carbone organique des sols ». *Ann. agron*, vol. 2, n°1, Pp.161-172. 1945.
- P.S. Jisha MS** "Biodegradation of anionic surfactant, sodium dodecyl sulphate by *Pseudomonas aeruginosa*" MTCC 10311. 2012. <http://imsear.li.mahidol.ac.th/bitstream/123456789/148418/1/jeb2012v33i4p717.pdf>.
- P.S. Marie**, « Méthodes officielles pour l'analyse des boues d'épuration »-Rapport AQUAREF 2012, 69 p. 2014
- R. Frank**, « Analyse des eaux. Aspects réglementaires et techniques ». SCEREN –CRDP Aquitaine. Biologie technique - environnement. Bordeaux. Réf : 3309B 147. ISBN : 2-86617-420-8. 360p. 2002.

- R. Unken**, Nahr- "und Schadstoffgehalte in Klar- und Flusschlamm, Muil and Mullcomposten-Dattensammlung und Bewertung – VDLUFA-Project 1985. VDLUFA-Schriftenreihe 22: 95. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00750669>. 1987.
- S. AMIR**, « Contribution à la valorisation de boues de stations d'épuration par compostage : Devenir des micropolluants métalliques et organiques et bilan humique du compost ». N° d'ordre : 2207, p1. 2005.
- S. Karoune**, « Effets des boues résiduairees sur le développement des semis du chêne liège (*Quercus suber* L.), 244p. **2008**. <http://bu.umc.edu.dz/theses/biologie/KAR5107.pdf>.
- S. Lgoud**, « Valorisation des boues résiduairees issues des stations d'épuration urbaines par leur épandage dans les plantations forestières ». *Rev. Energ. Ren.: Production et Valorisation-Biomasse*, Pp. 69-74. **2001**.
- W. Bettiol, R. Ghini**, "Impacts of sewage sludge in tropical soil: a case study in Brazil. *Applied and Environmental Soil Science* », 2011. <http://dx.doi.org/10.1155/2011/212807>