

ETUDE DU POTENTIEL FERTILISANT DES EAUX EPUREES ET DES BOUES DE LA STATION D'EPURATION DE KOLEA (ALGERIE)

NAKIB Maamar⁽¹⁾ & KETTAB Ahmed⁽¹⁾ & TEBBAL Sarah⁽¹⁾ & BOUANANI Hannane⁽¹⁾

Mail: mnakib@hotmail.fr, kettab@yahoo.fr

(1) Laboratory Research Sciences of Water - LRS-EAU
Polytechnic National School – Algiers - Algeria

E – Mail : kettab@yahoo.fr

RÉSUMÉ. L'objectif de cette étude est d'examiner les eaux épurées de la station d'épuration de Koléa en vue de leur valorisation agricole.

Le type d'approche qui a été suivie dans l'étude de la qualité des eaux d'irrigation concerne des problèmes entrant généralement dans les trois grandes catégories suivantes: salinité, perméabilité, toxicité liée au sodium. Les analyses physico-chimiques des eaux épurées révèlent une conformité de la majorité des paramètres par rapport aux normes de réutilisation de ces eaux en irrigation.

En tenant compte de la classification de Richards (1954) [25], nous avons pu dégager la présence de la classe C3S1 pour la station de KOLEA. La classe C3S1 désignent des eaux utilisables sans contrôle particulier pour l'irrigation de cultures moyennement tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés ou de bonne perméabilité. Ces eaux ont des valeurs moyennes de la CE de 1001 μ S/cm permettant leur utilisation de manière moins contraignante pour l'irrigation (Bremond et Vuichard, 1973) [7].

Une étude comparative avec le compost urbain et le fumier de bovins a été réalisée. Nous présentons dans ce cadre comment se situent les boues d'épuration vis-à-vis des principaux critères d'innocuité, en mentionnant les dépassements de la norme (AFNOR NF U 44-051) [3]. Enfin cette étude a permis de confirmer que ces eaux épurées, comme les boues d'épuration contiennent des quantités non négligeables en éléments fertilisants, contribuant à réduire les consommations d'engrais chimiques avec des conséquences bénéfiques pour l'environnement. (Kettab et al 2008) [17].

Mots-clés: traitement eaux usées, irrigation, boues, Koléa, Algérie

SUMMARY

The objective of this study is to examine the clean waters of the wastewater treatment plant Kolea for their agricultural use.

The type of approach that was followed in the study of the quality of irrigation water for problems generally under three broad categories: salinity, permeability, toxicity related to sodium. The physico-chemical analysis of treated water shows compliance of the majority of the parameters in the standards for reuse of this water for irrigation.

Taking into account the classification of Richards (1954) [25], we were able to identify the presence of the class C3S1 pour station KOLEA. The C3S1 class designates waters used without particular control for irrigation moderately salt tolerant crops, well-drained soil and good permeability. These waters have average values of EC 1001 μ S/cm allowing their use in a less restrictive for irrigation (and Vuichard Bremond.1973)[7]. A comparative study with urban compost and cattle manure was réalisée. Nous present in this context are how the treatment vis-à- vis major safety criteria sludge, indicating the exceedances (AFNOR NF U 44-051) [3]. Finally, this study has confirmed that the treated water, such as sewage sludge contain significant amounts of nutrients, helping to reduce the consumption of chemical fertilizer with beneficial consequences for the environment (Kettab et al 2008) [16].

Keywords: wastewater treatment, irrigation, sewage, Kolea, Algeria.

1. INTRODUCTION

L'objet de cette étude est l'examen des eaux épurées de la station d'épuration de Koléa en vue de leur utilisation dans l'agriculture. A la lumière des résultats obtenus, comparés aux normes édictées par l'OMS (89) [23], la FAO 2003[11] et ceux de la bibliographie, nous avons relevé qu'il est possible de recourir à ces eaux traitées. Les stations d'épuration des eaux usées possèdent certes beaucoup de propriétés attractives pour l'agriculture, mais leur utilisation généralisée dans ce domaine repose sur la levée d'un certain nombre de restrictions et contraintes. (**Salinité, perméabilité...**)

Les eaux de la station de Koléa contiennent des quantités non négligeables en éléments fertilisants. D'autre part, l'agriculture est un secteur **à forte consommation d'engrais chimiques**. Actuellement, le marché des engrais connaît une hausse de prix et l'utilisation d'une sources de nutriments moins couteuse, comme les eaux épurées, peut être vue comme une solution prometteuse avec un impact sur la rentabilité des agriculteurs. Autre conséquence bénéfique: la protection de l'environnement, en effet les eaux usées ne seront plus rejetées dans le milieu naturel, ce qui évite des dommages environnementaux et particulièrement la pollution des cours d'eau et des nappes phréatiques.

La disparition progressive du fumier de ferme, due à la sécheresse du climat ainsi qu'aux méthodes modernes de stabulation du bétail, nous conduit à recherché de *nouvelles sources de matière organique*. L'utilisation des boues d'épuration sur le sol agricole serait très intéressante car elle permet en dehors de l'apport de fertilisants, de préserver la fragilité écologique des sols algériens soumis à une dégradation intense. Notre étude a permis de déterminer les quantités de MO et de fertilisants apportées par les boues ainsi que les surfaces potentielles pour l'épandage de ces dernières.

Les apports de métaux lourds, en dépassement de la norme AFNOR NFU44-051 [2006] [3] ont également été examinés en liaison avec les apports en fertilisants afin de fixer les dose de boues qui ne porteront pas préjudice à l'environnement.

2. METHODES

2.1. Milieu d'étude

La STEP de KOLEA est située en zone côtière à 30 Km à l'Ouest d'Alger.

2.2. Prélèvement et analyse des eaux usées

Les échantillons d'eau usée sont prélevés dans des flacons en polyéthylène de 1 litre. Les analyses ont lieu immédiatement après prélèvement. Une partie des analyses a été réalisée au niveau du laboratoire de la STEP, le reste a été effectué au laboratoire de recherche des Sciences de l'Eau de l'ENP. Les paramètres physicochimiques étudiés sont: le pH, la conductivité électrique, les nitrates l'ammonium, le magnésium, le calcium, le sodium, les ortho phosphates, la DCO, la DBO5, les MES.

3. RESULTATS

3.1 Filière eau

3.1.1 La température de l'eau

La température moyenne enregistrée est inférieure à 30 °C, considérée comme valeur limite de rejet direct dans le milieu récepteur (Jora, 1996) [16]. Ces valeurs sont inférieures à 35°C, considérée comme valeur limite indicative pour les eaux destinées à l'irrigation (MEM. 2002) [21].

Tableau 1: *Caractéristiques physico-chimiques et agronomiques des eaux épurées*

	pH	SAR	classe	Richards	Minéralisation (mg/l)	CE (µS/cm)	MES (mg/l)
--	----	-----	--------	----------	-----------------------	------------	------------

			(1954) [26]			
STEP KOLEA	7-7.5	2,75	C 3 S1	968	1001	14,8

Le pH des eaux est légèrement basique avec une valeur moyenne de 7,36, donc inférieur à la limite supérieure de l'OMS (89) [23].

3.1.2. Perméabilité

Les matières en suspension (MES) représentent l'ensemble des particules minérales et organiques insolubles, flottantes ou en suspension, contenus dans les eaux usées. Elles sont en majeure partie biodégradables (Faby, 2003) [9].

La teneur moyenne en MES rencontrées est de 14,8 mg/l. Elle est inférieure aux normes d'irrigation, éliminant ainsi tout risque de colmatage des sols et autorisant donc leur utilisation dans l'irrigation sans avoir recours à la filtration.

3.1.3. Salinité

D'une manière générale, la concentration en sels de l'eau usée excède celle de l'eau du réseau d'alimentation en eau potable (Faby et Brissaud, 1997) [8].

Lorsque les eaux usées sont valorisées en irrigation, d'autres paramètres entrent en considération, notamment le SAR (Ratio du Sodium Absorbable) qui exprime l'activité relative des ions de sodium dans les réactions d'échange dans les sols par rapport au calcium et au magnésium échangeables. Dans la présente étude, on a fait l'estimation des quelques paramètres de salinité en rapport avec l'usage agricole. L'analyse et l'interprétation des résultats obtenus, selon Richards (1954) [26], nous permettent de prévoir et d'évaluer les risques probables sur la nature des sols et de la végétation quant à la réutilisation de ces eaux usées.

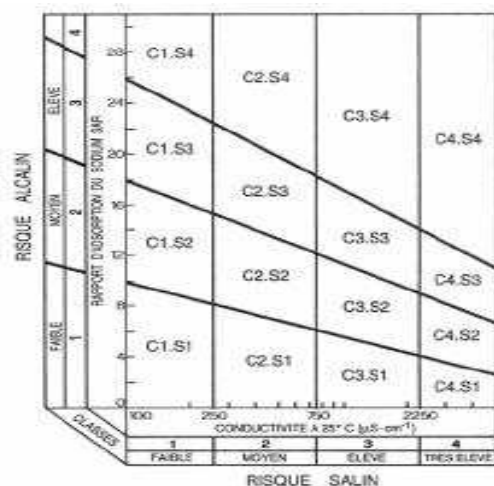


Figure 1- Diagramme de classification des eaux d'irrigation (Richards, 1954) [26].

En tenant compte de cette classification et après avoir reporté tous les points des différentes stations sur le diagramme de Richards (1954) [26] (fig. 1), selon la conductivité électrique (CE à 25 °C) et la valeur de SAR, on a pu dégager la présence de la classe C3S1 pour la station de KOLEA (Figure 1).

La classe C3S1 désigne des eaux utilisables sans contrôle particulier pour l'irrigation de cultures moyennement tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés ou de bonne perméabilité.

Ces eaux ont des valeurs moyennes de la CE de $2001\mu\text{S}/\text{cm}$. D'après Bremond et Vuichard (1973) [7], au-delà de $1500\mu\text{S}/\text{cm}$ l'eau est difficilement utilisable pour l'irrigation.

Selon la FAO (1985) [10], ces valeurs sont dans l'intervalle de restriction légère à modérée pour la qualité des eaux d'irrigation.

Toute fois la qualité d'une eau d'irrigation ne peut être établie qu'en fonction du sol qui la reçoit et la culture à pratiquer (Rodier et al, 2005) [28].

La valeur observée de la conductivité électrique et de la salinité est située dans la plage des valeurs limites recommandées par Ayers et Westcot (1994) [5] et la FAO (2003) [11].

Lorsque ces sols sont soumis à l'irrigation avec des eaux riches en sodium (Na) échangeable, ce dernier peut se substituer aux ions alcalino-terreux des argiles et défloculer ces dernières, entraînant leur imperméabilisation (Ayers and Westcot, 1994) [5] ; Maait, 1997) [18].

3.1.4. Quantités de fertilisants apportés par les eaux épurées

Les nutriments qui se trouvent dans l'eau épurée constituent un paramètre de qualité important pour la valorisation de ces eaux en agriculture et en gestion des paysages (Hamoda, 2004) [13].

Les éléments les plus fréquents dans ces eaux sont l'azote, le phosphore, le potassium... Ces éléments se trouvent en quantités appréciables, mais en proportions très variables.

Le tableau (2) présente les quantités de fertilisants apportés par une lame d'eau épurée de 100mm à l'hectare, soit un volume d'eau usée traitée et réutilisée de 1000 m^3 .

Ces valeurs enregistrées sont comparées à celles proposées par Faby et al. (1997) [8].

Tableau 2 : Quantités (en kg) de fertilisants apportés par une lame d'eau épurée de 100mm à l'hectare ($1000\text{ m}^3/\text{ha}$).

	Azote (NO3)	Azote (NH4)	K2O	P2O5	CaO	MgO	Na2O
KOLEA	5,95	2	16,38	8,69	44,7	150,8	114
Faby & al (1997). [8]	16-62 kg		2-69 kg	2-24 kg	18-208 kg	9-100 kg	27-182 kg

Nous pouvons adopter la dose d'irrigation de $5000\text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$ sur la base d'une estimation des besoins en eau des cultures pratiquées dans le périmètre en tenant compte de la demande climatique. Les agrumes et les arbres fruitiers cultivés dans la Wilaya de Tipaza ont des besoins théoriques en eau variant de 4 500 à 5500 $\text{m}^3/\text{ha}/\text{an}$ selon que l'année est humide ou sèche. Les cultures maraîchères, quant à elles, sont représentées essentiellement par le poivron, le piment, les aubergines, le fenouil et la salade ; leurs besoins théoriques en eau se situent entre 3 500 $\text{m}^3/\text{ha}/\text{an}$ (année humide) et 4 500 $\text{m}^3/\text{ha}/\text{an}$ (année sèche). Ammar Boudjellal et Bammoun, (2006) [4].

Les apports de fertilisants pour une irrigation de $5000\text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$ sont reportés dans le tableau (3).

Tableau 3 .Quantités (en kg) de fertilisants apportés par une irrigation de $5000\text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$.

	Azote (NO3)	Azote (NH4)	K2O	P2O5	CaO	MgO	Na2O
KOLEA	29,75	10	82	43	223	750	570
Faby & al (1997).	16-62 kg		2-69 kg	2-24 kg	18-208 kg	9-100 kg	27-182 kg

L'exemple suivant montre bien comment une gestion intégrée des ressources en eau en y incluant le volet recyclage, peut être bénéfique économiquement, socialement et sur le plan environnemental.

Tableau 4 : Surfaces potentiellement irrigables par les effluents traités de la station de Koléa.

	Volume (eaux épurées) m ³ /j	Volume (eaux épurées) m ³ /an	Surfaces irriguées d'après (Pescod, 1992) [24] (ha)
Koléa	11.000	3960000	792

Ces eaux épurées permettent d'irriguer au total environ 792 ha à raison de 5000 m³/ha par an. (Pescod, 1992) [24].

Dans un sol agricole, l'assimilation de l'azote par les plantes peut atteindre 300 kg/ha/an, selon le type de culture et la région (Geng, 1988, cité par Tamrabet (2011) [30]. Selon Ratel *et al.* (1986) [25], les besoins des plantes en phosphore varient, en général, de 30 à 80 kg/ha/an.

« Soing, P, (1999) » [29] avance que les besoins en K₂O pour les espèces fruitières varient de 55 à 150 kg/ha.

Ces eaux épurées enrichissent le sol par des apports moyens annuels de 40 kg/ha d'azote, de 43 kg/ha de phosphate et 82 kg/ha de potasse, dépassant largement les besoins des cultures sensibles.

Elles apportent donc des quantités non négligeables en azote. L'apport en phosphore et en potassium peut même couvrir la totalité des besoins des plantes dans certains cas, se traduisant par une meilleure productivité et des gains économiques conséquents.

3.2. Filière boue.

3.2.1 Evaluation des caractéristiques des boues d'épuration de la station de KOLEA.

Tableau 5: Caractéristiques des boues d'épuration, du fumier de bovins et du compost urbain

	Koléa	Fumier bovins [Hainnaux, et al 1980] [12]	Compost [Matejka <i>et al.</i> 2001] [20]	NFU 44-095 AFNOR(2002), [2]
MO%MS	52	-	33	>5
N %MS	2.43	1.5	1.15	>0.25
P ₂ O ₅ %MS	6	0.8	1.05	-
K ₂ O%MS	0.043	1.35	1.1	>1
C/N	12.8	16.45	13.15	<20
CaO%	6.2	1.1	5.75	-
MgO%	0.56	6.1	0.745	-

3.2.1.1 Apport de matière organique et d'éléments fertilisants

La teneur en matière organique est de 52% de la MS, dépassant ainsi celle avancée par [Robert *et al.* 1994] [27] qui varie en moyenne de 30 à 35 % de la matière sèche.

Les quantités de boues produites avec une dose de 4 T/ha/an sont regroupées dans le tableau (6).

Tableau 6. Surfaces potentielles pour l'épandage de 4 T/ha/an de boue

	Eq/hab	Volume (eau) m ³ /j	Volume (eau) m ³ /an	Tonnes de boues/an	Surfaces potentielles pour l'épandage (ha)
Koléa	60.000	11.000	4015000	300	75

En moyenne, chaque habitant génère 200 litres d'eau usée par jour qui une fois traités donnent 5 litres de boues brutes contenant elles-mêmes près de 15 g de matières sèches (MS).

Potentiellement, la station d'épuration apporte globalement 300 Tonnes de boues, permettant de répondre aux besoins en matière organique d'environ 75 ha avec une dose de 4 T/ha /an.

Tableau 7. Quantités de MO et de fertilisants apportées par un épandage de 4T/ha de boue, comparées à celles du fumier et du compost.

	Koléa	Fumier bovins Hainnaux.et al [1980] [12]	Compost Matejka et al [2001] [20]
MO (T/ha)	2.08	-	1.32
Azote total (kg/ha)	97.2	60	46
P ₂ O ₅ (kg/ha)	240	32	42
K ₂ O(kg/ha)	1.72	54	44
CaO (kg/ha)	248	44	230
Magnésium (kg/ha)	26	244	30

Matière organique

Les quantités de matière organique (MO) apportées pour une dose de 4 T/ha de boue dépassent largement celles apportées par le compost urbain.

Azote

Un épandage de 4 T/ha de boues apporte donc 97,2 kg /ha d'azote, dépassant largement celles apportées par le fumier de ferme et le compost. Ceci peut être expliqué par le fait que le compost et le fumier de ferme séjournent longtemps après maturation et sont susceptibles de subir plus de pertes en azote, notamment par les phénomènes de nitrification/dénitrification et de solubilisation.

Phosphore

Les quantités de phosphore apportées par l'épandage de 4 T/ha dépassent celles apportées par le compost et le fumier. Dans les boues de la station de KOLEA l'apport en phosphore est de 240 kg/ha, dépassant de 7 fois celui du fumier de ferme et du compost urbain, ce qui limite leur intérêt en sol riche et en cultures légumières peu consommatrices de phosphore. Toutefois elle garde une très grande pertinence dans les sols un peu carencés en P₂O₅ surtout à la dose de 4 T/ha de boue apportée. [Mouton *et al.* 2004]. [19].

Potassium

Un épandage de 4 T/ha de boues apporte des quantités de potassium très inférieures à celles apportées par le fumier de ferme et le compost urbain (de l'ordre de 3 à 4%). Ces valeurs sont en accord avec celles avancées par Brame et Lefèvre [1977] [6], qui soulignent que les apports de potassium par les boues résiduelles sont négligeables, car ce dernier étant très soluble et donc éliminé des boues. L'épandage de fortes doses de boues ne dispense donc pas l'agriculteur d'apporter un engrais minéral potassique.

Calcium

Les teneurs en calcium dépassent largement celles du fumier de ferme, elles restent comparables à celle du compost urbain. Ceci peut s'expliquer en partie par le phénomène de concentration de cet élément qui résulte de la diminution de la masse des boues d'épuration à la suite de l'oxydation de la matière organique qu'elles contiennent. L'effet apport de CaO est très important à cette dose de 4 T/ha, pouvant atteindre 248 kg/ha, ce qui permet de contrôler ainsi l'acidité du sol [Hurt, 1985] [14].

Magnésium

Les concentrations en magnésium dans les boues restent comparables à celles proposées par Impens et Avril [1992] [15] qui indiquent que les sels de magnésium sont très solubles et donc éliminés des boues.

Par ailleurs, ces teneurs ont tendance à être très inférieures à celles du fumier de ferme mais restent comparables à celle du compost urbain (Tableau 1).

L'effet apport de magnésium est faible à cette dose de 4 T/ha, avec une valeur de 26 kg/ha.

3.2.1.2 Les éléments trace métalliques (ETM).

Le tableau (8) donne les teneurs moyennes en éléments traces métalliques contenues dans les boues d'épuration de la station de KOLEA, le fumier de bovins et les engrais minéraux, comparées aux valeurs limites réglementaires (mg/kg de MS) [AFNOR NFU 44-051, 2006] [3].

Tableau 8 : Teneurs en éléments traces métalliques (ETM) de quelques engrais et du fumier de bovins et des boues d'épuration (mg/ kg MS)

	Cadmium	Chrome	Cuivre	Nickel	Plomb	Zinc	Mercur	Cr+Cu+Ni + Zn
Koléa	1.6	40.26	157	27.4	20	967	0.21	1191
Engrais azotés *	0-10	6-10	5-10	1-10	0.5-10	2-10	0-1	40
Engrais phosphatés *	9-100	90-1500	10-60	5-70	0.5-40	50-600	0-0.2	2230
Engrais potassique *	0.1-2	0.1-15	0.1-10	0.1-3	5-15	1.15	0-0.2	43
Fumier de bovins *	0.3-1.5	5-60	5-40	6-40	5-90	75-500	0.1-0.6	640
[NFU 44-051 AFNOR, 2006](mg/ kg MS)	3	120	300	60	180	600	2	1080

* Source Adler. E [2001] [1].

Même si les teneurs en ETM peuvent varier selon leur origine, les types de produits et leur fabrication [Werther et Ogada, 1999] [31], aucun de ces produits ne peut se prévaloir d'être exempt de traces d'éléments "indésirables". Sur le plan pratique, ces informations indiquent que l'évaluation des flux d'éléments traces métalliques apportés au sol doit, pour être rigoureuse, tenir compte de toutes les sources possibles d'apports. Dans l'ensemble, les concentrations de ces ETM dans les boues sont faibles, et très inférieures lorsqu'on rapproche la valeur de chaque élément trace métallique (ETM) à la valeur limite réglementée [AFNOR NFU44-051, 2006] [3], mais il est primordial de savoir à partir de quelle quantité de métal apporté dans le sol avec les boues il y a risque de contamination.

Tableau 9. Apports de métaux lourds, en dépassement de la norme AFNOR NFU44-051 [2006] [3].

	Cadmium	Chrome	Cuivre	Nickel	Plomb	Zinc
Koléa (gr/ha)	-	-	-	-	-	3868
AFNOR NFU44-051 (mg/kg MS)	3	120	300	60	180	600
AFNOR NFU44-051(gr/ha/épannage)	45	1800	3000	900	2700	9000
AFNOR NFU44-051(gr/ha/10 ans)	150	6000	10000	3000	9000	30000

L'étude des métaux lourds en dépassement par rapport à la norme AFNOR NF U44-051 [2006] [3] nous a permis de fixer la dose d'épandage de boue à ne pas dépasser.

Un épandage de 4T de boue/ha apporte 3868 g/ha de zinc, soit 43% de la valeur limite NFU44-051 [2006] [3]. Dans ce cas le seuil toléré est de **9.3** T/ha de boue par épandage et par an, limitant sur 10 ans, un apport maximum de 3. Le tableau (10) montre les quantités de matière organique et de fertilisants apportées par les boues en se limitant à la dose restrictive de 9,3 t/ha/ épandage et celles apportées par les eaux épurées de la station de KOLEA à raison de 5000 m³/ha/an.

Tableau10. Apports de MO et fertilisants, liés aux valeurs restrictives en éléments traces métalliques (9,3t/ha/épandage), avec 5000 m3/ha/épandage.

	Facteur limitant	Apport de MO et fertilisants (kg/ha)			
		MO	Azote total	P ₂ O ₅	K ₂ O
Boues (9,3 t/ha/an)	zinc	4836	226	558	3.40
Eau (5000 m3/ha/an)		-	39,75	43	82

Ce tableau montre que les boues apportent 5 fois plus d'azote et 13 fois plus de phosphore que les eaux épurées. Par contre les apports de potassium par les boues ne représentent que 4% de ceux de ces dernières.

4. CONCLUSION

Nos recherches, même si elles n'ont été que partielles ont apporté des précisions analytiques sur la nature des eaux épurées et des boues d'épuration.

L'utilisation des eaux épurées dans l'irrigation des cultures contribue à augmenter les réserves d'eau destinées à l'agriculture permettant ainsi d'augmenter le rendement. Les analyses physico-chimiques des eaux épurées révèlent une conformité de la majorité des paramètres physico-chimiques aux normes de réutilisation de ces eaux en irrigation.

Elles apportent des quantités non négligeables en azote. L'apport en phosphore et en potassium peut même couvrir la totalité des besoins des plantes dans certains cas, se traduisant par une meilleure productivité et des gains économiques conséquents.

La présente étude montre comment la réutilisation des eaux usées d'un centre urbain permet la mise en valeur agricole d'une superficie importante, qui actuellement concurrence ce même centre pour l'eau potable ou les besoins industriels. Elle permet à l'agriculture de disposer en plus de l'eau, des fertilisants contenus dans les eaux épurées, particulièrement l'azote, le phosphore et le potassium (NPK) qui améliorent les rendements des cultures sans pour autant augmenter les coûts de production.

Les quantités de MO apportées pour une dose de 4 T/ha de boue dépassent largement celles apportées par le compost urbain.

La production annuelle globale est d'environ 300 Tonnes de boues, qui pourraient répondre avec une dose de 4 T/ha/an de boues aux besoins en matière organique d'environ 75 ha de terres.

Utilisées seules, les boues sont une source d'éléments fertilisants intéressante, mais le manque de lignine et de cellulose limite leur effet structurant. Pour compenser ce déficit, nous recommandons d'utiliser les boues en mélange avec du compost urbain ou du fumier de ferme. Ces produits, d'origine végétale, sont indispensables à la formation de l'humus [Reid, 1995] [21]. Ce mélange, en relevant le rapport C/N, permet de réduire le lessivage d'azote.

L'effet apport de CaO est très important à cette dose de 4 T/ha, pouvant atteindre 202 kg/ha pour les boues de Boumerdes. Cet apport permet de contrôler son acidité [Hurt, 1985] [12] .

Les concentrations en magnésium dans les boues sont faibles à cette dose de 4 T/ha, car les sels de magnésium sont très solubles et donc éliminés des boues. L'effet apport de magnésium reste faible à cette dose de 4 T/ha.

Cette étude a permis de fixer la dose maximale de boues à épandre en fonction du facteur limitant le plus restrictif (zinc). C'est ainsi que la dose maximale de boues à apporter par ha et par épandage est de 9,3 T/ha.

L'étude comparative des boues avec d'autres produits fertilisants indique qu'aucun de ces produits ne peut se prévaloir d'être exempt de traces d'éléments "indésirables" et que l'évaluation des flux d'éléments traces métalliques apportés au sol doit, pour être rigoureuse, tenir compte de toutes les sources possibles d'apports.

Enfin nos travaux montrent que les boues d'épuration apportent beaucoup plus d'azote et de phosphore que les eaux épurées, par contre ces dernières sont très pauvres en potassium.

5. REMERCIEMENTS

Ce travail a été effectué au Laboratoire de recherche des sciences de l'eau à l'Institut National Polytechnique d'Alger, en collaboration avec le laboratoire de l'Office national de l'assainissement. Les auteurs tiennent à remercier et à souligner l'appui de l'ONA pour accueillir une partie de la recherche et en soutenant certains échantillonnages et les analyses dans ce projet.

6. REFERENCES

- [1] Adler, E. (2001). Boues d'épuration et métaux lourds : éléments d'information. Hexagone Environnement n°36, avril/mai 2001, p 27 à 29.
- [2] AFNOR NFU 44-095 (2002). Association française de normalisation, NFU 44-095 (2002). *Amendement organique. Composts contenant des matières d'intérêt agronomique*. Issus du traitement des eaux.
- [3] [AFNOR NFU44-051, 2006] . Association française de normalisation, NFU 44-051 (2006). *Limites des teneurs en ETM, CTO, agents pathogènes, inertes et impuretés*.
- [4] Ammar. B. A. et Bammoun. R., 2006. Détermination des besoins en eau des cultures irriguées de la wilaya de Tipaza à l'aide du logiciel Cropwat 4.3. Cas de périmètre de la Mitidja ouest, mémoire d'ingénieur, Institut national agronomique, Alger, 98 p.
- [5] Ayers, R.S. et Westcot, D.W. (1994). Water quality for agriculture. FAO. Irrigation and drainage paper. N° 29 Rev. 1 FAO, Rome. 174 p.
- [6] Brame, V., Lefevre, G. (1977). -Aspects qualitatifs de l'utilisation agronomique des boues résiduaires des stations d'épurations. *Bull. d'AFES*, **3** : 125-140.
- [7] Bremond et Vuichard, 1973) Bremond, R. et Vuichard, R. (1973) Paramètres de la qualité des eaux. Ministère de la protection de la nature et de l'environnement. SPEPE, Paris. 179 p.
- [8] Faby JA, Brisaud F.(1997). *L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation*. Office International de l'eau. 76pages
- [9] Faby, J.A. (2003) L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Doc. Tech. FNDAE, Hors-série n°11, 30 p.
- [10] FAO. (1985) Water quality for agriculture. FAO irrigation and drainage paper 29, Rev. 1, FAO, Rome (Italie).
- [11] FAO (2003), L'irrigation avec des eaux usées traitées: Manuel d'utilisation. pp 73.
- [12] Hainnaux.G et Gouzy.M. (Mars 1980), ORSTOM: Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer.Centre d'Adiopodoumé.(laboratoire d'Agronomie).

- [13] Hamoda, 2004 Hamoda M.F. (2004), Water strategies and potential of water reuse in the south Mediterranean countries. *Desalination* 165, 31-41.
- [14] Hurt, F. (1985). -Valorisation agricole des compostes d'origine urbaines. *Extrait N°262 De la Revue Horticole: dossier technique de la SCL. Agro.* 336: 1-7.
- [15] Impens, R., Avril, C. (1992). -*Code de bonnes pratiques pour l'utilisation en agriculture de fertilisants et amendements riches en cadmium*. Note de synthèse, Unité d'enseignement et de recherche de biologie végétale, Faculté des Sciences Agronomique de Gembloux, Belgique, 76 pages.
- [16] JORA (1996). Journal Officiel de la République Algérienne: Normes de rejets dans le milieu récepteur, 46
- [17] Kettab A., Mitiche R., Bennacar N.: « De l'eau pour un développement durable : enjeux et stratégies ». *Science de l'Eau*, 2008, vol. 21, N° 2, p 247-256.
- [18] Maait, J. (1997). La réutilisation des eaux usées en irrigation. Synthèse bibliographique. ENGREF de Montpellier.
- [19] Mouton, R., Dureau, R., Ruiz N. (2004). -*Intérêt de l'apport de matières organiques en gestion pastorale de pare-feux en zone de garrigue*. Retour au sol des matières organiques, 27 et 28 avril, Paris: 173-191.
- [20] Matejka, G., Barbier, J., De Las Heras, F., Klein, A., Paquetteau, F., Kebe, A., 2001. Composting of urban refuse in Labé (Guinea): process optimization and agricultural value; Cagliari (Sardinia) Eighth International Waste Management and Landfill. Symposium (CISA).
- [21] (MEM.2002). : Ministère de l'environnement du Maroc. « Normes marocaines, Bulletin officiel du Maroc », N°5062 du 30 Ramadan 1423. Rabat, 2002.
- [22] Mouton R., Dureau R., Ruiz N., 2004. Intérêt de l'apport de matières organiques en gestion pastorale de pare-feux en zone de garrigue. retour au sol des matières organiques, 27 et 28 avril 2004, Paris, pages 173-191.
- [23] OMS. (1989) L'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture : recommandations avisées sanitaires. Organisation Mondiale de la Santé. Série de rapports techniques n° 778. OMS. Genève.
- [24] Pescod, M.B. 1992. *Wastewater treatment and use in agriculture*. FAO Irrigation and Drainage Paper 47, Rome: FAO. 125 p.
- [25] Ratel C., Nejjar, A. et Bentaleb, M. (1986) La réutilisation des eaux usées pour l'irrigation au Maroc: Cas de la ville de Marrakech. Séminaire sur les technologies appropriées pour l'eau et l'assainissement en zones arides, Rabat (Maroc), 24-28 Novembre. pp. 31-44.
- [26] Richards L. A. 1954 Diagnosis and improvement of saline and alkali *Soils. Agric. Handbook 60, USDA, Washington D.C, p160.*
- [27] Robert M. Gambier P. Christan J. (1994) Conditions de l'utilisation des boues en agriculture. Cahier d'agriculture 3(5). 279-342.
- [28] Rodier J. 2005. L'analyse de l'eau. Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 8^e édition. Ed. : Dunod. 1382 pages.
- [29] Soing, P., 1999. Fertilisation des vergers: environnement et qualité, Paris, CTIFL, 86 p.
- [30] Tamrabet. L (2011) Contribution à l'étude de la valorisation des eaux usées en maraichage. Thèse de Doctorat en sciences. Université Hadj Lakhdar -Batna (Algérie). Institut de Génie Civil, d'Hydraulique et d'Architecture

- [31] Werther, J., Ogada, T. (1999). -Sewage sludge combustion. *Progress in Energy and Combustion Science*, 25: 55-116.