



L'Ecole National Polytechnique

Département Hydraulique



Mémoire de master

En vue de l'obtention du diplôme de master en Hydraulique

Réalisée par
M^{elle} MALEK Iman

Thème

Les métaux lourds : Un handicap pour la valorisation agricole des boues d'épuration de la STEP de Réghaia

Proposée par: M^r M.Nakib

Dirigée par: M^r M.Nakib & M^r A.Kettab

ملخص / Abstract / Résumé

RÉSUMÉ :

L'objectif de cette étude est d'examiner les boues de la station d'épuration de Réghaia en vue de leur valorisation agricole.

Après avoir procédé à la description de la zone d'étude (distribution des sols à travers la région, climat), nous avons examiné les boues sur le plan quantitatif et qualitatif.

Une étude comparative avec le compost urbain et le fumier de bovins a été réalisée, les paramètres agronomiques retenus sont la siccité (pourcentage de matière sèche), le pourcentage de matière organique, ainsi que les teneurs en azote total, phosphore, potassium, calcium et magnésium. Pour bénéficier au mieux de ces avantages agronomiques des boues, le calcul des apports sur le sol garantit le respect des « critères d'innocuité ».

La teneur moyenne en matière organique des sols de 1,3% et la valeur minimale de 0,2% confortent notre démarche à chercher une source extérieure de matière organique : les boues d'épuration.

MOTS - CLES : Valorisation, boues, matière organique, fertilisants, innocuité.

الموجز :

الهدف من هذه الدراسة هو فحص الحمأة الناتجة من محطة معالجة مياه الصرف الصحي لرعاية للاستخدام الزراعي، بعد إجراء وصف منطقة الدراسة (أنواع المحاصيل، وتوزيع التربة في جميع أنحاء المنطقة، والمناخ)، درسنا الحمأة كمياً ونوعياً. قمنا بإجراء دراسة مقارنة مع السماد والمواشي في المناطق الحضرية السماد، المعلمات الزراعية المستخدمة هي جفاف (النسبة المئوية للمادة الجافة)، فإن النسبة المئوية للمادة العضوية ومجموع مستويات النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم. لتجربة أفضل من الفوائد الزراعية من الحمأة، على احتساب الاشتراكات على ضمانات احترام الكلمة "معايير السلامة" متوسط محتوى المادة العضوية في التربة 1، 3٪ والحد الأدنى لقيمة 0، 2٪ تعزيز بمنافرة لدينا للحصول على مصدر خارجي للمواد العضوية: حمأة مياه الصرف الصحي.

كلمات مفتاحية: التقييم، والحمأة، والمواد العضوية، والأسمدة، والسلامة

SUMMARY :

The objective of this study is to examine the sludge from the wastewater treatment plant Réghaia for their agricultural use.

After having carried out the description of the study area (types of crops, soil distribution across the region, climate), we examined the sludge quantitatively and qualitatively. A comparative study with urban compost and cattle manure was performed, agronomic parameters used are dryness (percentage of dry matter), the percentage of organic matter and total nitrogen levels, phosphorus, potassium, calcium and magnesium. To experience the best of the agronomic benefits of sludge, the calculation of contributions on the floor guarantees respect for "safety criteria".

The average content of organic matter in soils 1,3% and the minimum value of 0,2% reinforce our démarche to seek an external source of organic matter: sewage sludge.

KEY - WORDS : Valuation, sludge, organic matter, fertilizers, safety

Table des matières

Liste des tableaux	
Liste des figures	
Chapitre I : Présentation de la station d'épuration de Réghaia	
Introduction générale :	1
I.1 Milieu d'étude :	3
I.2 Localisation de la STEP de Réghaia :	3
I.3 Présentation de la station d'épuration de Réghaia :	4
I.4 Caractéristiques de la station :	4
I.5 Traitement des boues dans la STEP de Réghaia :	4
Chapitre II : Généralité sur la valorisation des boues en agriculture	
II.1 Les potentiels de valorisation de la matière organique.....	5
II.1.1 Problématique générale de la dégradation des sols	5
II.1.2 Les besoins en matières organiques des sols	5
II.1.3 Intérêt de la valorisation des MO sur les sols	6
II.1.3.1 La matière organique du sol :	6
II.1.3.2 Effets de la matière organique sur la structure et sur les autres qualités du sol : ..	6
II.1.3.3 Effets de la matière organique sur l'activité biologique du sol	7
II.1.4 Rôle des apports des matières organiques dans le stockage de carbone dans le cadre des accords de Kyoto.....	8
II.2 Les traitements des boues	9
II.2.1 La stabilisation des boues	9
II.2.2 Conditionnement et réduction de la teneur en eau des boues	9
II.2.3 L'hygiénisation des boues	10
Chapitre III : Résultats et discussions	
III.1 Les sols	11
III.2 Valeur fertilisante des boues d'épuration.....	12
III.2.1 Apport de matière organique	12
III.2.2. La siccité	13
III.2.3. Le rapport C/N des boues	13
III.2.4. Les éléments fertilisants	14
III.3 Les métaux lourds	15
La contraction de Zinc :	16
Concentration de Cadmium :	17
Le cuivre :	18
Le Plomb :	18
Concentration de Chrome :	19
La concentration de Nickel :	20
Le Mercure :	20
La somme (Cr+Cu+Ni+Zn) :	21
Conclusions	25
Recommandations	25
Références bibliographique.....	

Liste des tableaux

Tableau 1 : statistiques descriptives des constituants minéraux et des densités des sols. (granulométrie) réalisée par le Département de Pédologie de l'Agence nationale des Ressources hydrauliques.

Tableau 2 : statistiques descriptives des paramètres chimiques et biologiques des sols.

Tableau 3 : caractéristiques des boues d'épuration, du fumier de bovins et du compost urbain.

Tableau 4 : comparaison du rapport C/N des boues étudiées à celui du fumier de ferme et du compost urbain.

Tableau 5 : quantités de MO et de fertilisants apportées par un épandage.

Tableau 6 : les Analyse des métaux lourds de la boue de la station de Réghaia pour l'année 2013.

Tableau 7 : comparaison des teneurs en en éléments traces métalliques de quelques engrais et du fumier de bovins à celles des boues d'épuration (mg/ kg MS).

Tableau 8 : quantités de boues produites et surfaces potentiellement épandables avec une dose de 10T/ha/an.

Tableau 9 : apports des métaux lourds en dépassement en comparaison avec la norme NFU44-051 et les doses limites de boue applicable au sol.

Liste des figures

Figure 1 : situation géographique des stations d'épuration

Figure 2 : représentation graphique de la concentration de zinc (Zn) des boues de la STEP de Réghaia

Figure 3 : évolution de la concentration de cadmium (Cd) dans les boues de la STEP de Réghaia

Figure 4 : évolution de la concentration de Cuivre (Cu) dans les boues de Réghaia.

Figure 5 : variation de la concentration de Plomb (Pb) dans les boues de la STEP de Réghaia

Figure 6 : évolution de Chrome (Cr) dans les boues de la STEP de Réghaia

Figure 7 : représentation graphique de la concentration de Nickel (Ni) dans les boues de la STEP de Réghaia.

Figure 8 : variation de concentration de Mercure (Hg) dans les boues la STEP de Réghaia

Figure 9 : somme (Cr+Cu+Ni + Zn) pour les boues de la STEP de Réghaia

Remerciements

Mes remerciements vont en premier lieu à mon directeur de thèse M. NAKIB, en qui j'ai trouvé un maître compréhensif, humain. Sa rigueur intellectuelle, et surtout ses corrections, ses conseils, ses critiques ont beaucoup apporté à mon travail. Tout ce travail n'aurait abouti sans ses encouragements et son soutien constants.

Je tiens aussi à remercier mon professeur Mr A. K. ETTAB pour ses conseils et son encouragement

Je tiens à remercier mes chères enseignantes d'avoir accepté de lire ce travail et de faire partie des membres du jury.

J'adresse mes remerciements à Dr S. BENMAMMAR pour l'aide précieuse qu'elle m'a apportée depuis mes années universitaires, pour sa confiance et pour ses encouragements.

J'adresse un merci affectueux à mes parents et à sœur pour leur amour profond et leur soutien inconditionnel.

À tous mes amis et mes proches qui ont toujours considéré ma réussite comme leur succès

À la mémoire de mes chères qui m'ont quitté et qui ne peuvent pas assister à mon premier pas vers la réussite.

Enfin, cordialement, je remercie l'ensemble de mes professeurs du département hydraulique à l'école nationale polytechnique.

Introduction générale

Actuellement, la durabilité de la production représente un défi majeur de l'activité agricole (**Machinet, G. E.2009**).

Cette condition est basée particulièrement sur la fertilité organique du sol. En Algérie, les réserves organiques des sols ont subi plusieurs transformations sous la contrainte l'utilisation intensive des ressources naturelles ; d'une restitution très faible de résidus de cultures et d'amendements organiques. Notamment, les pratiques agricoles comme le travail du sol, l'utilisation de diverses sortes de fertilisants minéraux et l'irrigation des terres ont contribué à augmenter la vitesse de minéralisation de la matière organique.

La gestion de la matière organique dans les sols revêt donc une importance capitale sur le plan agronomique et environnemental. En Algérie, le stockage du carbone dans le sol est une des alternatives avancées afin d'atténuer les émissions de gaz à effet de serre et d'améliorer la fertilité du sol.

La disparition progressive des fumures animales, due à la sécheresse du climat ainsi qu'aux méthodes modernes de stabulation du bétail ainsi qu'à la sécheresse du climat nous conduit à rechercher de nouvelles sources de matière organique dont les boues peuvent fournir une fraction appréciable.

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 déjà soumis à une dégradation intense.

Il est logique de valoriser ces déchets organiques par un retour aux sols dans la limite des capacités du sol à les stocker puis les dégrader pour les utiliser, c'est-à-dire valoriser au mieux les éléments utiles au sol et aux plantes, sans dénaturer les différentes fonctions du sol et sans devenir des sources nouvelles de contaminations diffuses difficile à contrôler.

Les stations d'épuration des eaux usées possèdent certes beaucoup de propriétés attractives pour l'agriculture, les boues d'épuration constituent un potentiel de matières organiques et d'éléments fertilisants, mais elles peuvent être également une source de pollution. Leur utilisation généralisée dans ce domaine repose sur la levée d'un certain nombre de restrictions et contraintes.

Cette étude a pour objectif d'apprécier la qualité de ces sous-produits de l'épuration, de mettre en évidence leur impact sur les différentes composantes de l'environnement et de prévoir des conséquences de leur utilisation sur la santé de l'homme.

La cartographie pédologique à l'échelle du 1/20.000 de la Mitidja a permis de recenser cinq (5) classes de sols : sols peu évolués, sols calcimagnésiques, vertisols, sols à sesquioxyde de fer et les sols hydromorphes. Le développement de ces sols a été favorisé par un relief relativement plat, des textures fines à très fines et un système de drainage généralement défectueux ; ajouter à cela, l'action de l'homme par ses pratiques culturales a fortement influencé l'évolution de ces sols vers les processus d'oxydo-réduction.

L'hydromorphie est très marquée dans la plaine de la Mitidja et les processus d'oxydo-réduction apparaissent à différents niveaux du sol, se traduisant par l'apparition de taches d'oxydo-réduction et des teintes grises à verdâtres.

Le climat de la région est de type méditerranéen subhumide à deux saisons : une saison froide et humide, située, généralement entre Septembre et Mai, et une saison chaude et saiche qui va de juin à Aout.

Les précipitations sont variables, en comparant la moyenne des pluies de 10 ans de 1997 à 2007 où la moyenne est de 540 mm à celle de 1967 à 1977 où la moyenne des pluies est de 790 mm. En 2008 la moyenne est de 640,4 mm.

La vitesse du vent atteint les 3,3 m/s durant le mois de septembre. Cette zone est assez homogène sur le plan climatique. On ne note pas de grands écarts de température, seule la pluviométrie présente une certaine hétérogénéité dans sa répartition spatiale.

Chapitre I : Présentation de la station d'épuration de Réghaia

Chapitre I

Présentation de la station d'épuration de Réghaia

I.1 Milieu d'étude

La STEP de Réghaia se situe à 30 km à l'Est d'Alger. Les boues d'épuration, objet de notre étude proviennent des stations d'épuration biologique qui traitent les eaux usées urbaines de Réghaia, comprenant les eaux usées domestiques, les eaux industrielles et les eaux de ruissellement.

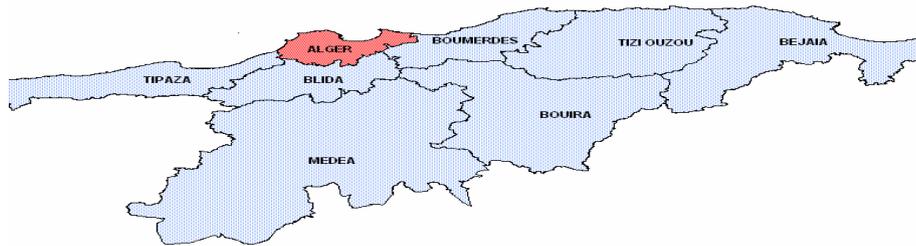


Figure 1 : situation géographique de la station d'épuration de Réghaia

Les valeurs analytiques des principaux paramètres agronomiques nous a permis de tirer une conclusion quant aux impacts attendus suite à l'utilisation de ces boues dans l'agriculture.

L'analyse granulométrique des sols de la région de Réghaia a été réalisée au niveau des laboratoires de l'agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH, 2008).

I.2 Localisation de la STEP de Réghaia

La station est située dans la wilaya d'Alger, à l'Est, non loin de la mer méditerranée. L'installation est construite sur la rive gauche du lac de Réghaia sur un terrain relativement plat. Le site choisi est largement suffisant pour la station projetée et une éventuelle extension dans le futur



Photo IV.1 : vue de dessus de la STEP

Chapitre I : Présentation de la station d'épuration de Réghaia

I.3 Présentation de la station d'épuration de Réghaia

La station d'épuration de Réghaia créée en 1997 est située dans la willaya d'Alger, à l'Est, non loin de la mer méditerranéenne, l'installation est construite sur la rive gauche du lac de Réghaia, avec une surface de 18 hectares sur un terrain relativement plat.

Elle est prévue pour traiter une partie des eaux usées de l'agglomération algéroise. Plus précisément des eaux résiduaires mixtes urbaines et industrielles. Pour cela elle se base sur le principe de l'épuration biologique.

La STEP de Réghaia a pour mission de réduire la charge polluante et de rejeter une eau bien épurée répondant à des normes précises et cela grâce à des procédés physico-chimique et biologique.

I.4 Caractéristiques de la station :

La STEP de Réghaia est de type boues activées fonctionnant en faible charge ($C_m=0,17$ kg DBO/kg MVS/Jour), associée à une dénitrification en tête et une déphosphatation simultanée par injection du chlorure ferrique avec une capacité nominale de 400 000 Equivalent habitants. Elle est dimensionnée pour recevoir une quantité d'eau estimée à 80 000 m³/j.

Les eaux usées reçues dans cette station d'épuration sont d'origines industrielles et urbaines. Elles proviennent des régions suivantes : Rouiba, Réghaia, Bordj EL Kiffan, Bordj EL Bahri, Ain-Taya, Heuraoua et EL Marsa.

I.5 Traitement des boues dans la STEP de Réghaia

La station d'épuration de Reghaia produit deux types de boues :

- Des boues primaires issues de la décantation primaire.
- Des boues biologiques issues de la décantation secondaire.

Les boues biologiques en excès sont acheminées vers les décanteurs primaires pour y être mélangées avec les boues primaires formant ainsi ce qu'on appelle des boues mixtes. Ces boues subissent trois traitements successifs :

- Un épaissement puis, un stockage dans une bache de stockage.
- Une déshydratation mécanique sur filtres à bandes presseurs.
- Une stabilisation chimique par ajout de chaux.

Chapitre II

Généralité sur la valorisation des boues en agriculture

II.1 Les potentiels de valorisation de la matière organique

II.1.1 Problématique générale de la dégradation des sols

Les activités agricoles en lien avec les techniques de travail du sol, l'usage des fertilisants et des produits phytosanitaires, peuvent conduire en cas d'excès à la dégradation des sols et à l'entraînement des nitrates, phosphates et phytosanitaires vers les milieux aquatiques. L'eau, l'air et les produits alimentaires peuvent être contaminés.

A côté des préjudices possibles en matière d'usage de l'eau, on souligne les incidences sur la qualité environnementale des milieux. Dans ce contexte le monde agricole est confronté à de nouvelles contraintes. Elles l'incitent à poser les bases d'une agriculture durable et à proposer de nouveaux modes d'intervention sur les agro-systèmes.

La dégradation de la qualité physique des sols est un problème couramment rencontré. L'altération de la structure du sol pose à la fois des problèmes d'ordre agronomique (circulation de l'eau et des gaz, levée des plantules, propagation des agents pathogènes) et environnementaux (érosion et ruissellement de surface).

Une méthode possible de remédiation et d'amélioration des situations dégradées est d'utiliser des produits organiques comme amendements. »

« L'effet de l'apport de produits organiques sur la stabilité structurale est d'autant plus important que les propriétés initiales du produit favorisent l'activité biologique ».

II.1.2 Les besoins en matières organiques des sols

L'apport de matières organiques représentait jadis la principale source d'éléments nutritifs dans les sols agricoles. Par suite la MO a progressivement laissé la place aux engrais minéraux, alors qu'elle remplit aussi d'autres fonctions essentielles (maintien de la structure du sol, rétention d'eau, effet anti-érosif...).

La diminution des teneurs en MO peut donc induire des effets potentiellement négatifs en termes de gestion durable de ces agro-écosystèmes. Les relations entre les paramètres sont souvent complexes et rarement linéaires.

Toutefois, (**Kemper et al. 1966**) ; Ont démontré qu'une teneur de 2 % en MO pouvait être considérée comme une valeur seuil en-dessous de laquelle les agrégats deviennent instables, augmentant ainsi les risques de dégradation (érosion, désertification...). Depuis lors, cette valeur seuil est utilisée comme valeur critique dans de nombreuses publications scientifiques (**Van Camp et al. 2004**).

Chapitre II : Généralité sur la valorisation des boues en agriculture

Il est donc clair que les faibles teneurs en matière organique ont un rapport avec la dégradation de la structure des sols, l'érosion, le tassement, la sensibilité à la sécheresse, la plus lente pénétration de l'eau, les besoins plus grands en engrais et pesticides, la sensibilité des cultures aux maladies sans insister sur la pollution des nappes souterraines par les nitrates, pesticides...

Tous ces inconvénients pourraient être réduits, voire neutralisés fortement par un réenrichissement des sols en matière organique à haut rapport C/N.

Même si la valorisation des MO existantes ne permet pas de couvrir les besoins des sols agricoles, il convient surtout de maintenir les niveaux de MO existants, tout en favorisant la séquestration du carbone dans les sols, à travers la formation d'humus stable.

Cependant, la solution, même si elle est envisageable, ne produira pas d'effets avant longtemps. Il est donc urgent d'envisager l'arrêt de la dégradation et mieux, d'entamer une reconstitution (malheureusement lente) du stock d'humus des sols.

II.1.3 Intérêt de la valorisation des MO sur les sols

II.1.3.1 La matière organique du sol

Il y a une grande variabilité dans la nature des matières organiques animales et/ou végétales incorporées dans le sol alors que l'humus est étonnamment semblable dans les différents sols. Les composés organiques facilement dégradés sont rapidement utilisés par les microorganismes ou les plantes et disparaissent s'ils ne sont pas renouvelés de temps en temps. Les composés plus résistants sont transformés par les microorganismes mais ils persistent plus longtemps en tant qu'élément de l'humus du sol. »

II.1.3.2 Effets de la matière organique sur la structure et sur les autres qualités du sol

Amélioration de la structure des sols par augmentation des agrégats et des espaces vides, avec pour conséquences directes :

Réduction importante de l'érosion ;

Meilleure porosité à l'air et à l'eau ;

Effet isolant de la matière organique si les sols sont bien drainés ;

Meilleure rétention de l'eau en limitant les remontées capillaires ce qui réduit les problèmes de sécheresse, tout en favorisant une meilleure percolation (rôle d'éponge) ;

Effets sur les caractéristiques chimiques et physico-chimiques :

Augmentation du pouvoir tampon autour de la neutralité ;

Augmentation de la capacité d'échange entraînant donc une meilleure régulation du stockage et de la fourniture des éléments nutritifs ;

Chapitre II : Généralité sur la valorisation des boues en agriculture

Effet isolant de la matière organique si les sols sont bien drainés.

Limitation des blocages et des rétrogradations des éléments nutritifs ;

Meilleure rétention de l'eau qui réduit les problèmes de sécheresse, tout en favorisant une meilleure percolation (rôle d'éponge).

– Effets sur la biologie des sols :

- Augmentation de l'activité des microorganismes ;
- Augmentation de l'activité de la rhizosphère et de ses effets positifs sur la nutrition des racines ;
- Meilleur développement racinaire ;
- Inhibition de nombreux phytopathogènes (= effets supprimeurs) ;
- Destruction plus rapide des molécules polluantes comme les pesticides, hydrocarbures et des molécules considérées comme très stables (PCB, HAP...).

– Augmentation de la MS des plantes :

Meilleur développement racinaire et, par conséquence, des plantes entières.HAP...;

II.1.3.3 Effets de la matière organique sur l'activité biologique du sol

La matière organique du sol sert de source d'énergie aux microorganismes du sol qui, en la transformant (c'est-à-dire en la décomposant), libèrent des éléments nutritifs et du CO₂ nécessaires à la croissance des plantes. Celles-ci retournent au sol la matière organique sous forme de résidus culturels, de feuilles, des racines mortes et le cycle est bouclé.

Le sol contient 2-3 kg/m² de biomasse. L'activité biologique de cette biomasse participe à des phénomènes tels que la structure du sol et sa porosité, la perméabilité du sol, la lutte contre le lessivage des éléments nutritifs ou l'érosion voire encore la disponibilité de certains éléments nutritifs comme le P ou le K. Le facteur limitant le plus souvent l'activité microbienne est la source d'énergie qui est la plupart du temps constituée de résidus animaux ou végétaux.

Les autres facteurs sont : l'aération, la disponibilité de l'eau du sol (1/2 à 2/3 des pores du sol remplis d'eau), la température (activité augmente quand température augmente jusqu'à un certain point (dessiccation), le pH (plutôt neutre à légèrement alcalin avec une bonne disponibilité de calcium).

Un rôle fondamental, connu depuis 30 ans mais mal exploré encore chez nous, est celui de l'inhibition des organismes phytopathogènes par une foule de mécanismes induits par la matière organique complexe et notamment par les composts (sols supprimeurs) qui favorisent des micro-organismes inhibiteurs de pathogènes et inducteurs de la croissance végétale.

Chapitre II : Généralité sur la valorisation des boues en agriculture

II.1.4 Rôle des apports des matières organiques dans le stockage de carbone dans le cadre des accords de Kyoto

Les émissions de N₂O et de CH₄, à effet de serre, beaucoup plus puissants que le CO₂, doivent être particulièrement maîtrisées, ce qui implique un sévère contrôle des matières organiques stockées.

Les réserves de carbone dans les sols agricoles ou non ont été épuisées avec le temps. Une large quantité du CO₂ présent dans l'atmosphère provient de la minéralisation de la matière organique des sols. Les facteurs responsables de cet état de fait sont notamment l'urbanisation, les changements d'affectation des terres, les pratiques agricoles classiques, les mines à ciel ouvert et d'autres activités qui dégradent les sols. Il en résulte qu'il a été émis, dans l'atmosphère, plus de carbone d'origine du sol que de carbone provenant de l'utilisation des combustibles fossiles pour la période 1860-1970.

L'augmentation des réserves en carbone du sol (séquestration du carbone) ou la diminution des pertes de carbone par émission peuvent être atteintes de différentes manières : augmentation de la teneur en matière organique dans les sols agricoles par l'application de boues d'épuration par exemple), restauration de la fertilité des sols dégradés, pratiques agricoles différentes, jusqu'à la restauration de l'écosystème primaire initial, reforestation. « L'utilisation de boues d'épuration pour augmenter les réserves en carbone du sol s'inscrit dans la logique des choses vu la teneur en carbone de ces produits.

Le stockage de carbone organique dans les sols étant beaucoup plus lent que son déstockage, il est essentiel de maintenir et de favoriser les usages et les pratiques qui permettent la formation d'humus stable et ce, bien avant d'envisager une augmentation systématique des teneurs en MO dans les sols. Il convient dès lors de renforcer les pratiques existantes qui vont dans ce sens. Cet objectif passe également par une gestion maîtrisée des épandages et la mise en place d'une politique de sensibilisation, d'information et de promotion des MO auprès des utilisateurs des sols.

Afin de réaliser un bilan environnemental global, il est nécessaire d'évaluer le devenir à moyen et à long terme du carbone dans les sols (en termes quantitatif et qualitatif), et les effets des pratiques visant à accroître la séquestration du carbone(22), sur la protection des sols (en particulier l'érosion) ; sur la qualité de l'air et de l'eau (nitrate).

Ainsi que sur la protection de la chaîne alimentaire (notamment dans le cas de la valorisation des boues et des déchets organiques, via une procédure de maîtrise des risques). Il conviendra également d'évaluer les effets des changements climatiques sur l'humification et la minéralisation de la matière organique du sol.

Environ 1 gigatonne de carbone est stockée dans la matière organique du sol chaque année au niveau mondial. Il s'agit d'une quantité non négligeable en comparaison des 8 gigatonnes

Chapitre II : Généralité sur la valorisation des boues en agriculture

de carbone anthropogénique émis dans l'atmosphère annuellement. Ceci souligne l'importance de la MO du sol dans le cadre de la lutte contre les changements climatiques.

II.2 Les traitements des boues

Les boues en excès ont une siccité (teneur en MS) en sortie du clarificateur de l'ordre de 6 à 8 g/l. Divers procédés sont mis en œuvre pour réduire la teneur en eau des boues afin de diminuer le volume de boues, faciliter leur transport et leur stockage. Par ailleurs, les boues sont fermentescibles. Elles peuvent dégager des gaz malodorants et inflammables ; de ce fait elles doivent subir des traitements de stabilisation.

Les principaux traitements des boues sont :

II.2.1 La stabilisation des boues

La stabilisation vise à réduire la teneur des boues biologiques en matières organiques fermentescibles. Les traitements utilisés sont de type biologique, chimique ou thermique. La stabilisation biologique aérobie des boues n'existe pas en tant que telle puisqu'elle est réalisée dans le bassin d'aération. Les boues stabilisées biologiquement en anaérobiose subissent des processus fermentaires.

L'adjonction d'une quantité importante de chaux (10 à 100% de la matière sèche) élevant le pH au-delà de 12 entraîne une stabilisation chimique. Le séchage thermique, stabilise la boue en le déshydratant fortement (environ 5% d'eau dans les boues séchées thermiquement).

II.2.2 Conditionnement et réduction de la teneur en eau des boues

La réduction de la teneur en eau fait appel à des traitements comprenant, par ordre croissant d'efficacité et de coût, l'épaississement, la déshydratation et le séchage. L'état physique des boues obtenues est variable selon leur siccité : moins de 10% pour les boues liquides, de 15 à 25% pour les boues pâteuses, plus de 30% pour les boues solides.

- ◆ L'épaississement donne des boues liquides. Il peut se faire par simple décantation statique (gravité), par égouttage ou par flottation c'est à dire par insufflation d'air.
- ◆ La déshydratation donne des boues pâteuses à solides. Les techniques mises en œuvre par ordre d'efficacité croissante sont : les filtres presse > les centrifugeuses > les filtres à bandes pressantes. Le chaulage massif et le compostage peuvent considérablement augmenter la siccité, mais augmentent le volume de boue.
- ◆ Le séchage élimine l'eau par évaporation. Le séchage thermique élimine la quasi-totalité de l'eau des boues par passage dans un réacteur haute température. Le séchage par voie naturelle, ou lit de séchage, se pratique à l'air libre sur des boues liquides.

Chapitre II : Généralité sur la valorisation des boues en agriculture

Le conditionnement consiste en l'addition dans les boues liquides de réactifs similaires à ceux utilisés pour la floculation des colloïdes lors du traitement physico-chimique des eaux usées.

II.2.3 L'hygiénisation des boues

Les boues hygiénisées sont des boues qui ont subi un traitement qui réduit à un niveau non détectable les agents pathogènes présents dans les boues ». Certains traitements détruisent les germes pathogènes contenus dans les boues : le chaulage en élevant le pH au-dessus de 12. Le compostage peut détruire les germes pathogènes par les températures élevées (jusqu'à 70°C) atteintes lors du compostage et la sélection de microorganismes saprophytes.

Chapitre III : Résultats et discussions

Chapitre III

Résultats et discussions

III.1 Les sols

Une analyse granulométrique a été réalisée dans les laboratoires de l'agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH).

Tous les échantillons analysés font état d'une texture argilo-limoneuse du sol de la Mitidja.

Tableau 1 : statistiques descriptives des constituants minéraux et des densités des sols. (granulométrie) réalisée par le Département de Pédologie de l'Agence nationale des Ressources hydrauliques (ANRH, 2008).

Paramètres	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type
A : argile (%)	24	64	49.3	6.54
LF : limons fins (%)	17	47	29.4	6.90
LG : limons grossiers (%)	3	14	6.5	2.86
SF : sables fins (%)	1	24	9.8	5.21
SG : sables grossiers (%)	0	17	3.5	3.01
Dr : densité réelle	2.30	2.80	2.50	0.047
Da : densité apparente	1.40	1.50	1.40	0.045

Les résultats de l'analyse granulométrique indiquent que les sols de la zone de Réghaia ont des teneurs élevées en argile (49, 3 % de moyenne), alors que les limons fins sont présents avec des taux appréciables (29, 4 % de moyenne). À l'inverse, les taux des limons grossiers et des sables sont bas (Tableau 1).

Tableau 2 : statistiques descriptives des paramètres chimiques et biologiques des sols.

Paramètres	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type
CaCO ₃ (%)	0.1	18.7	2.69	2.94
pH	5.82	9.30	7.03	0.85
CE. (ds/m)	0.11	2.5	0.94	0.045
C (% ₀)	0.23	15.9	6.72	3.59
N (% ₀)	0.035	2.90	0.87	0.42
MO(%)	0.20	3.67	1.30	0.62
C/N	1	11	7.9	2.16
Ca ⁺⁺	7.3	19	35.39	2.71
Mg ⁺⁺ (c moles/.kg de terre)	0.30	2.45	4.55	0.42
Na ⁺ (c moles/.kg de terre)	0.14	2.45	0.70	0.32
K ⁺ (c moles/.kg de terre)	0.17	11	0.57	2.16
CEC (c moles/.kg de terre)	13.02	41.63	41.22	7.80

Bases échangeables en c moles/kg de terre

Chapitre III : Résultats et discussions

Ces sols sont peu calcaires, globalement neutres mais avec cependant quelques échantillons basiques (un maximum de 9,3), conséquence de la prédominance du cation Ca^{++} dans le complexe adsorbant (35, 39 c moles⁺·kg⁻¹ de terre de moyenne). La mesure de la conductivité électrique (C.E) indique l'absence de salinité, tandis que le dosage du carbone laisse apparaître des taux de matière organique assez bas. La teneur moyenne en matière organique des sols est de 1, 3 % et la valeur minimale de 0,2% vient conforter notre démarche pour un apport de matière organique par une source extérieure : les boues d'épuration.

La capacité d'échange cationique (CEC), globalement élevée (une moyenne de 41, 22 c moles⁺·kg⁻¹ de terre), résulte des taux élevés d'argiles gonflantes, atteignant 64 % pour certains échantillons ; celles-ci impriment à ces sols leur caractère vertique. En effet, ces sols se caractérisent en été par la présence de larges fentes de retrait alors qu'en hiver, après des événements pluvieux, ils sont saturés d'eau durant de longues périodes. Ces deux situations extrêmes rendent leur exploitation difficile à optimiser (Tableau 2).

La réparation des sols par cultures place l'agriculture au premier rang, occupant 38(%) des terres, suivie des céréales avec une occupation du sol de 27%, arrivent ensuite l'arboriculture (17%), le maraichage (11%) et enfin la vigne (6%). Le facteur hydromorphie est pris en considération dans le choix des cultures et étudié dans le cadre des facteurs limitants liés à la morphologie générale (**Habidi.A, 2007, cité par Nakib et al**). Les terres hydromorphes sont généralement réservées pour le maraichage, orientées vers la production industrielle comme la tomate de conserve ou vers des espèces adaptées aux sols lourds comme les artichauts.

Pour les sols lourds à engorgement fréquent et absence de pente naturelle, les cultures proposées sont surtout le maraichage adapté aux sols lourds.

Pour les sols à faible hydromorphie, l'orientation proposée est l'agrumiculture.

III.2 Valeur fertilisante des boues d'épuration

III.2.1 Apport de matière organique

Les boues résiduaires sont bien hétérogènes en fonction de leurs origines, la nature de pollution initiale de l'eau et des procédés de traitements (**Laurant C. 1994**). L'apport de MO permet d'augmenter la perméabilité des sols, le bilan hydrique et joue un rôle prépondérant dans l'assemblage des agrégats du sol, (**Morel, 1977**) ; (**Dexter, A. R. 1997**). Il permet en outre de conserver une minéralisation importante en sol amendé (**Pekrun et al. 2003**), avec un enrichissement en éléments minéraux des premiers centimètres de sol ; (**Edwards et al. 1992**). Les sols tendent à avoir un pH neutre et s'enrichissent en phosphore et en matière organique (**Gomez et al. 1984**).

La teneur en matière organique est liée à la nature de l'effluent. Les boues concernant la STEP de Réghaia présentent des concentrations faibles en matière organique, respectivement

Chapitre III : Résultats et discussions

(34% de la MS), traduisent une influence minérale des rejets industriels n'ayant pas subi de traitement en sortie d'usine. Ces teneurs sont comparables à celle avancées par (**Robert et al ; 1994**) qui varient entre 30 % à 35 %.

Tableau 3. Caractéristiques des boues d'épuration, du fumier de bovins et du compost urbain

	Réghaia	Fumier bovins ORSTOM	Compost Matejka.et al. 2001
MO%MS	34	-	33
C%MS	21.6	-	15
N %MS	1.45	1,5	1,15
P2O5%MS	2.2	0,8	1,05
K2O%MS	0.05	1,35	1,1
C/N	14.89	16,45	13,15
Siccité%	35	-	-
pH	7,37	-	-
CaO%	-	1,1	5,75
MgO%	1,2	6,1	0,745

La quantité de MO apportée pour une dose de 10T/ha de boue reste comparable à ce celle du compost constituant donc un plus pour la vie du sol.

III.2.2. La siccité

La siccité renferme les éléments nutritifs des boues, valorisables en agriculture. La teneur des boues en éléments nutritifs est donc fonction de leur teneur en matière sèche. Les boues d'épuration montrent des pourcentages de siccité impliquant des taux d'humidité de 65%, selon la technologie de déshydratation utilisée. Ces dernières se révèlent solides avec une plus grande consistance et donc pelletables. En effet, les sols traités avec des boues gardent plus longtemps l'humidité et la végétation installée sur de tels sols un système racinaire plus développé comparativement aux sols non traités (**Tester et al. 1982**).

III.2.3. Le rapport C/N des boues

Tableau 4. Comparaison du rapport C/N des boues étudiées à celui du fumier de ferme et du compost urbain.

C/N Boues	C/N Fumier de Bovins (Hainnaux)	C/N Compost urbain (Matejka et al)	NF U44-051
14,89	16,45	13,5	13

Le rapport C/N constitue donc un indice de la fraction d'azote organique facilement minéralisable des boues d'épuration et des fumiers de ferme (**Hébert, 2005**). D'après le classement proposé par (**Chaussaud et al 1981**) les boues des STEP de Réghaia e ont un rapport C/N supérieur à 12 qui est susceptible de provoquer un blocage temporaire d'azote en

Chapitre III : Résultats et discussions

raison d'une stabilisation insuffisante, laissant un excès de carbone facilement fermentescible. Les boues de la station de Réghaia, carencées en azote (1.45 N % MS), avec un rapport C/N de 14, 89 juste à la limite proposée par (**Grimaud, 1996**) évoluent peut et risquent de prolonger l'immobilisation de l'N du sol.

III.2.4. Les éléments fertilisants

III.2.4.1. Apports des boues en éléments fertilisants

Les boues résiduaires sont bien hétérogènes en fonction de leurs origines, la nature de pollution initiale de l'eau et des procédés de traitements (**Laurant, 1994**). Les boues contiennent des quantités appréciables d'éléments fertilisants :

Tableau III. Quantités de MO et de fertilisants apportées par un épandage de 10T/ha

10T/ha	Réghaia 10T/ha	Fumier bovins ORSTOM 10T/ha	compost Matejka.et al. 2001 10T/ha
MO T/ha	3,436	-	3,3
Azote total kg/ha	145	150	115
Phosphore kg/ha	220	80	105
Potassium kg/ha	5	135	110
Calcium kg/ha	-	110	575
Magnésium kg/ha	120	6104	75

– Teneurs en matière organique

La quantité de MO apportée pour une dose de 10T/ha de boue reste comparable à ce celle du compost constituant donc un plus pour la vie du sol.

– L'azote.

L'azote est l'élément fertilisant qui influence le plus la productivité végétale (**Hébert et al. 2003**).

La dose est à caler en fonction des besoins de la culture en azote.

Un épandage de 10 T/ha de boues apportent donc 135 kg d'azote, dépassant largement celles apportées par le compost, mais plus faible de celle du fumier de ferme. L'intérêt de ce produit est donc bien avant tout de fertiliser les cultures en N et P.

– Le phosphore

Les quantités de phosphore apportées par l'épandage de boues dépassent de 2 à 3fois celles apportées par le compost et le fumier.

Chapitre III : Résultats et discussions

– Le potassium

Les apports de potassium par les boues résiduaires sont négligeables, ce dernier étant très solubles et donc éliminé des boues. (**Brame et Lefevre, 1977**).

Les valeurs sont faibles comparées à celles du compost urbain et du fumier de ferme

Un épandage de 10 T/ha de boues, apportent des quantités de potassium très inférieures à celles apportées par le fumier de ferme et le compost urbain dans des conditions similaires.

Ces valeurs sont en accord avec celles avancées par (**Brame et Lefevre, 1977**) qui souligne que les apports de potassium par les boues résiduaires sont négligeables, ce dernier étant très solubles et donc éliminé des boues. L'épandage de fortes doses de boues ne dispense donc pas l'agriculteur d'apporter un engrais minéral potassique.

- Le calcium

Les boues contiennent du calcium en quantité appréciable (**Anred, 1982**), et sont en accord avec (**Hurt, 1985**) qui avance qu'un apport de boue accroît la teneur de calcium dans le sol. Cet apport accroît la teneur de calcium dans le sol et permet de contrôler son acidité (**Hurt, 1985**).

- Le magnésium

Un épandage de 10T/ha de boue apporte 120 kg de magnésium. Par ailleurs ces teneurs ont tendance à être très inférieures à celles du fumier de ferme mais plus élevées que celle du compost urbain. (Tableau 5).

III.3 Les métaux lourds

Les métaux lourds sont réputés pour leur toxicité sur la plupart des microorganismes telluriques. Leurs effets de dénaturation des protéines ou de destruction de l'intégrité de la membrane cellulaire affectent la croissance, la morphologie et le métabolisme de ces microorganismes telluriques (**Leita et al. 1995**).

De nombreuses études montrent que la biomasse bactérienne d'un sol a tendance à diminuer suite à une contamination par un métal (**Konopka et al. 1999**) ; (**Kelly et al. 1999**) ; (**Ekelund et al. 2003**)

. D'ailleurs, (**Giller et al. 1998**) estiment que, même à long terme et pour des faibles teneurs en métaux lourds, les microorganismes ne sont pas capables de maintenir une biomasse équivalente à celle d'un sol non pollué.

Chapitre III : Résultats et discussions

Tableau 6 : les Analyse des métaux lourds de la boue de la station de Réghaia pour l'année 2013

	NFU44-051 (mg/ kg MS)	attaque janvier	attaque mai	attaque juin	Juillet	Aout	moyenne
Cd	3	<4	5,6	8,03	14,8	15,2	9,53
Co	/	<4	13,2	51,08	<4	<4	15,26
Cr	120	148	1221,2	1568,9	1532	1933,6	1280
Cu	300	104	78,8	119,73	112	110	105
Fe	/	18156	23116	26006,62	22704	18480	21693
Mn	/	184	200	334,07	232,8	200,4	230
Mo	/	/	56,8	33,63	64	48,8	50,80
Ni	60	16	22	7,41	23,6	20	17,80
Pb	180	172	332,4	254,36	271,8	238	254
Zn	600	816	3136,4	3670,15	3200,8	2630	2691

La contraction de Zinc :

Le zinc fait partie de la nature, la plupart des roches et de nombreux minéraux en contiennent dans des proportions diverses. Le zinc est également présent de façon naturelle dans l'air, l'eau et le sol.

Aujourd'hui Le zinc, utilisé dans les procédés de revêtement de l'acier, assure la protection contre la corrosion ; le zinc est également utilisé :

- Dans le laiton et autres alliages ;
- Dans les équipements automobiles, appareils électroménagers, installations, outils, jouets, etc ;
- Dans le bâtiment et la construction ;
- Dans les produits pharmaceutiques, les équipements médicaux et les produits cosmétiques ;
- Dans les pneumatiques et tous les produits à base de caoutchouc ;
- Dans les engrais et la nourriture pour animaux.

Le zinc est, enfin, un élément essentiel et indispensable pour la santé de l'être humain et pour l'ensemble des organismes vivants, d'où l'interaction relativement complexe entre cet élément et l'environnement.

Le graphe suivant représente l'évolution de la concentration de zinc dans les boues de la station d'épuration de Réghaia ;

Chapitre III : Résultats et discussions

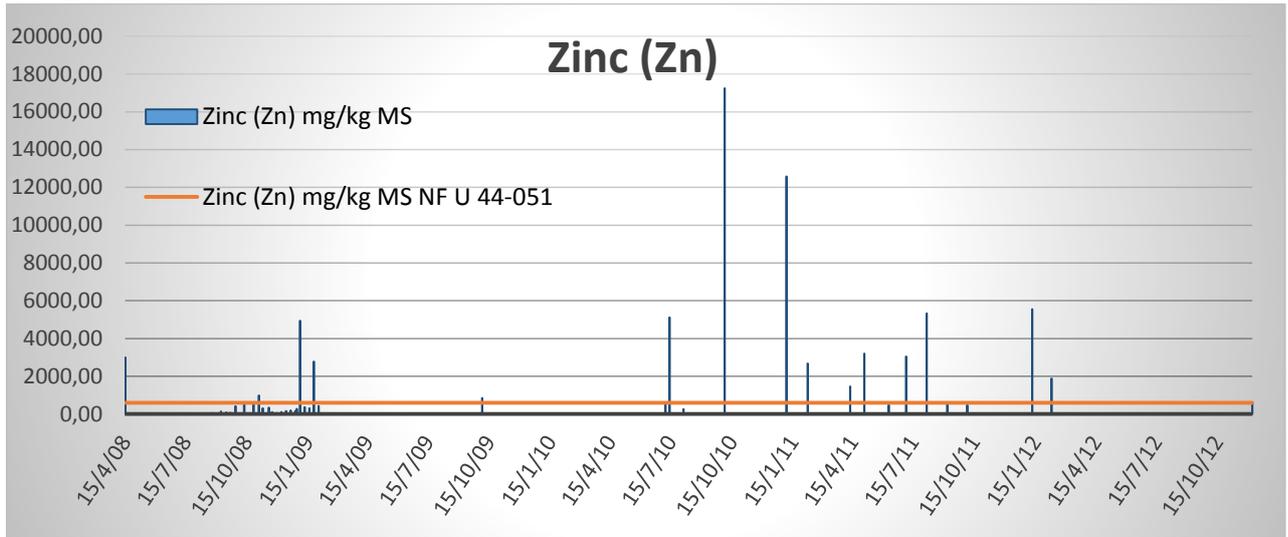


Figure 2 : représentation graphique de la concentration de zinc (Zn) des boues de la STEP de Réghaia

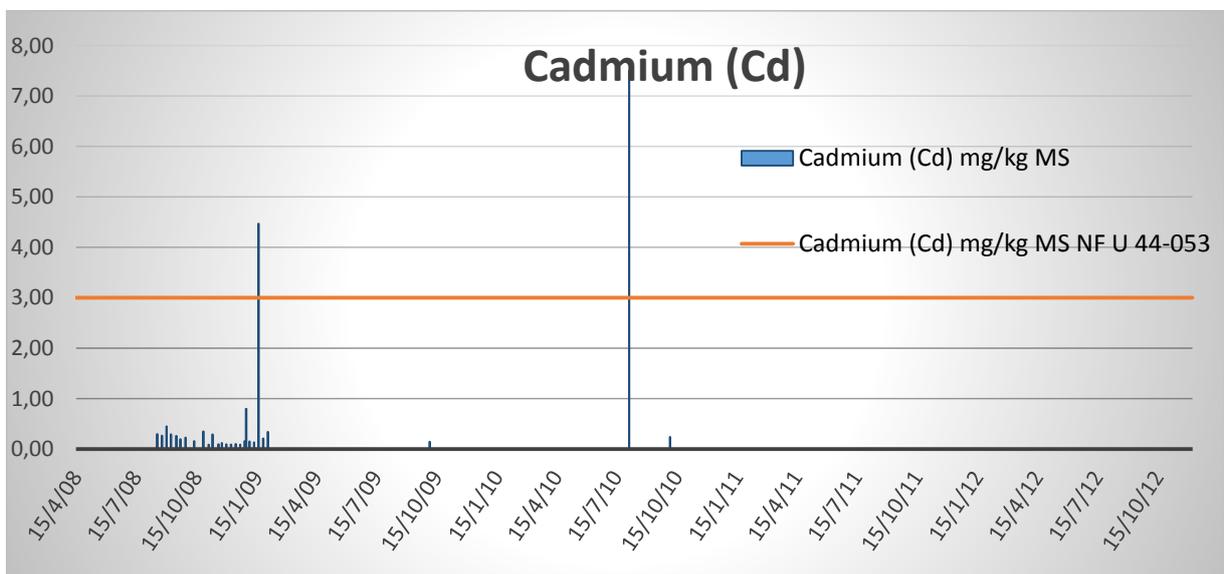
D'après le graphe on remarque des dépassements de la concentration de Zinc pour quelque mois, un pic est enregistré le 4 oct. 2010 avec une valeur de 17250 g/t MS.

De nombreux autres facteurs comme la température, la dureté de l'eau, le pH et la teneur en carbone organique dissous déterminent la biodisponibilité du Zinc dans l'eau.

Une quantité importante du zinc présent dans les eaux de surface se retrouve finalement dans les sédiments des rivières, des estuaires et des zones côtières où elle se lie à des matériaux inorganiques et organiques, réduisant ainsi sa biodisponibilité.

Les dépassements enregistrés sont toxiques, que ce soit pour l'être humain ou pour l'environnement.

Concentration de Cadmium :



Chapitre III : Résultats et discussions

Figure 3 : évolution de la concentration de cadmium (Cd) dans les boues de la STEP de Réghaia

D'après le graphe on remarque que toutes les concentrations de cadmium sont inférieures à 3 mg /kg de MS à l'exception des pics survenus le 17 janvier 2009 et le 3 aout 2010, (cette valeurs représente le seuil de la concentration de cadmium dans les boues).

Le cuivre :

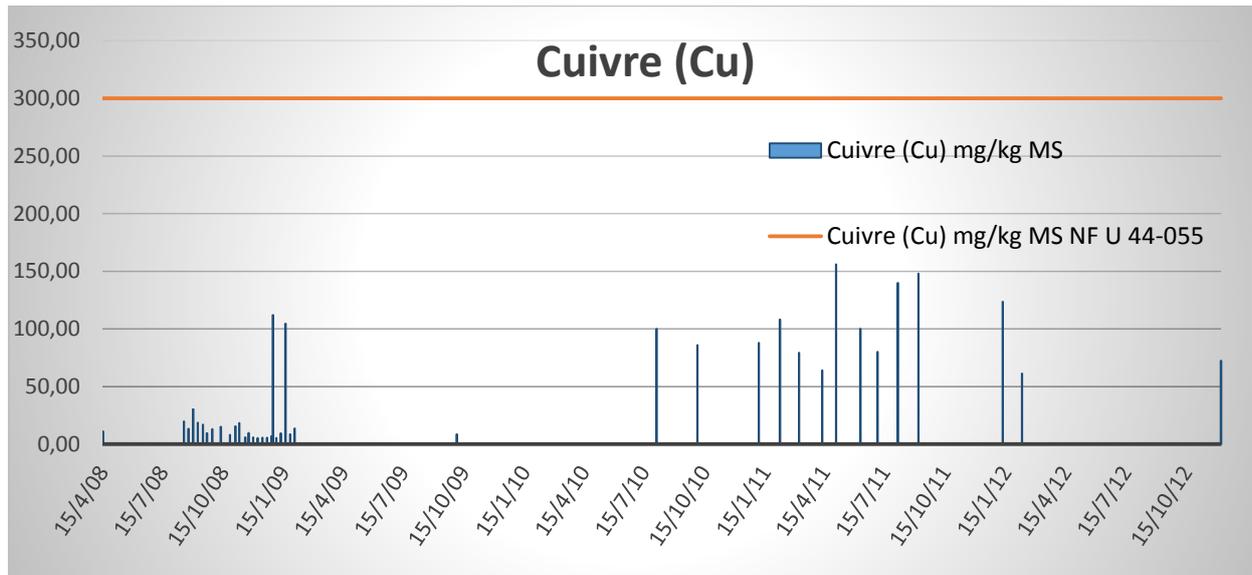


Figure 4 : l'évolution de la concentration de Cuivre (Cu) dans les boues de Réghaia.

Le Cuivre est un élément indispensable, à faible concentration, aux processus vitaux animaux et végétaux. Cet oligoélément peut être prescrit sur des sols carencés, ce qui tend à relativiser son impact sanitaire. On remarque que les concentrations de Cuivre sont largement inférieures à la **Norme NFU44-051** ; et ils ne présentent donc aucun danger pour la valorisation de ces boues dans l'agriculture.

Le Plomb :

L'industrie métallurgique et minière est la principale source d'émission humaine, le plomb étant présent dans les déchets d'exploitation.

On peut citer également la présence de plomb dans les batteries automobiles

La figure ci-dessous représente la fluctuation de la concentration de plomb dans les boues de la STEP de Réghaia :

Chapitre III : Résultats et discussions

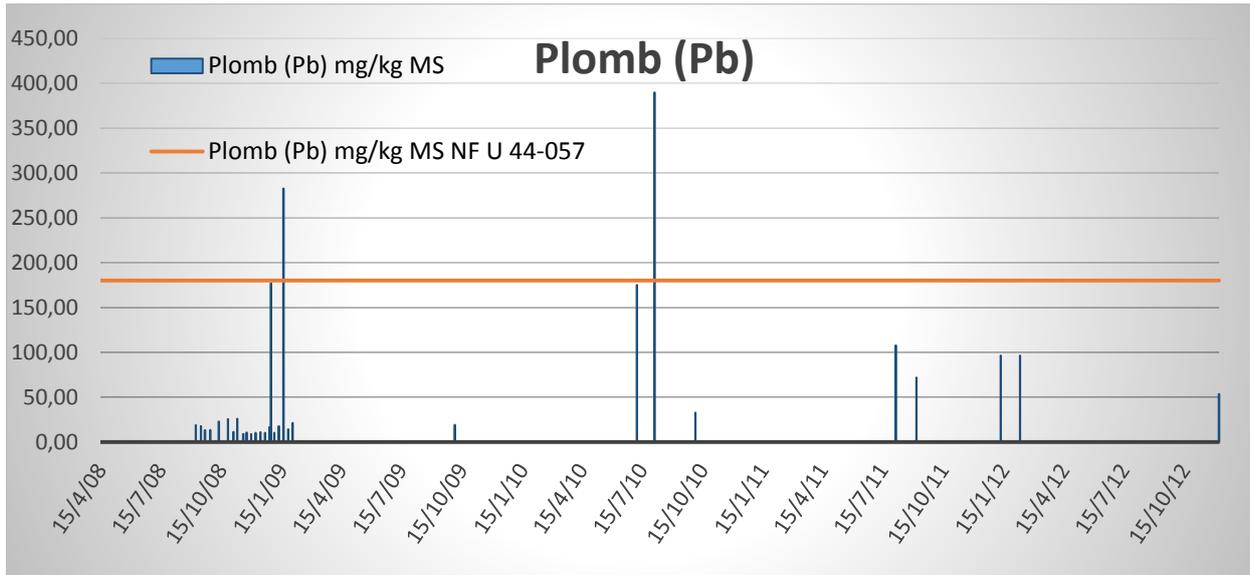


Figure 5 : variation de la concentration de Plomb (Pb) dans les boues de la STEP de Réghaia

La concentration de Plomb dans les boues de la STEP de Réghaia oscillant entre 0.05 et 332,4 et toutes les valeurs sont inférieure 800 valeur limite pour la valorisation agricole des boues

Entre janvier et aout 2013 il y a un dépassement de 140% de la norme NF U44-051 à 5 reprises, avec une moyenne de 254 mg/kg MS.

Concentration de Chrome :

Dans les milieux aquatiques, la toxicité des dérivés solubles du chrome varie en fonction de la température, du pH, de la dureté de l'eau ainsi que des espèces d'organismes aquatiques concernés.

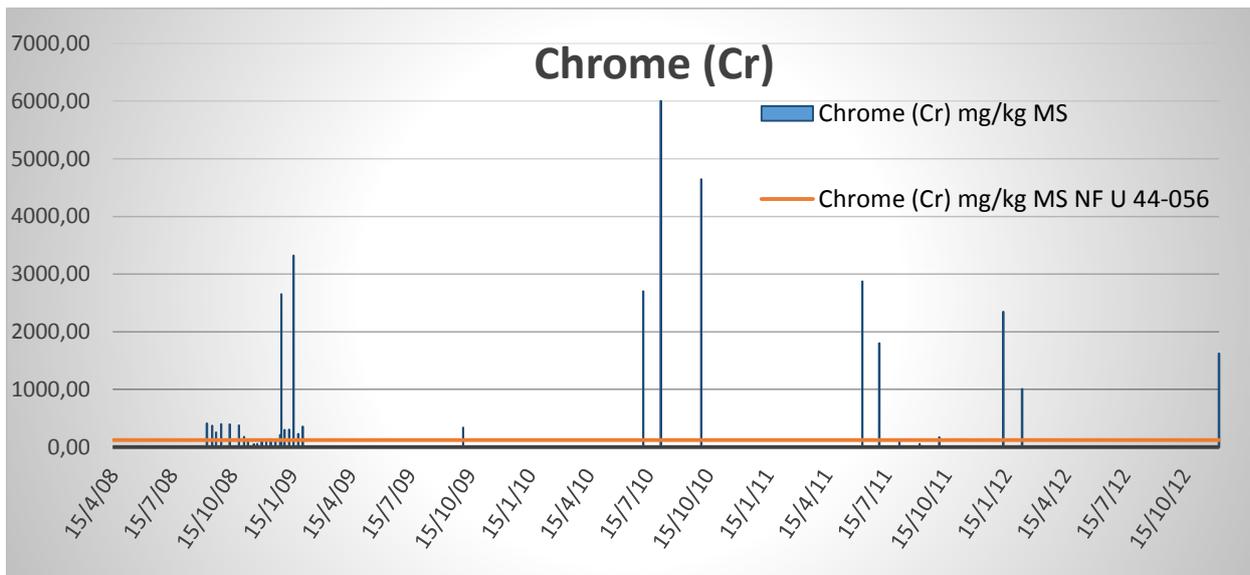


Figure 6 : évolution de Chrome (Cr) dans les boues de la STEP de Réghaia

Chapitre III : Résultats et discussions

Dans les boues de station d'épuration de Réghaia les concentrations de chrome varient entre 51 et 6000 mg/Kg de MS. Cette valeur est 50 fois plus élevée que la valeur limite pour la valorisation agricole des boues **NF U44-051**.

On enregistre, en moyenne, pour la période de janvier à août 2013, des valeurs dépassant 10 fois la norme **NF U44-051**.

La concentration de Nickel :

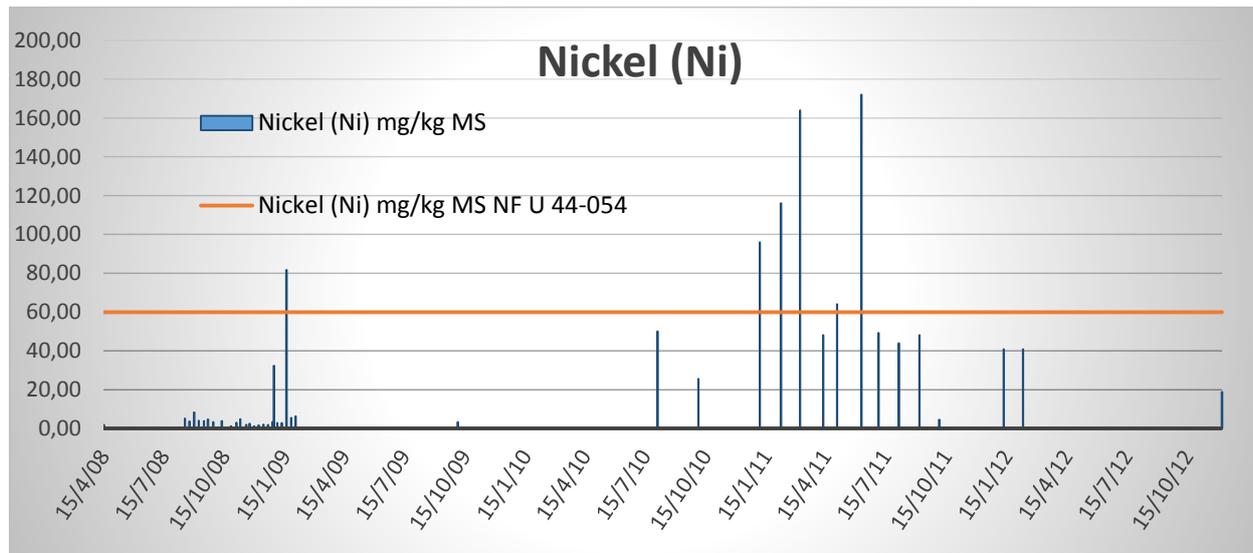


Figure 7 : représentation graphique de la concentration de Nickel (Ni) dans les boues de la STEP de Réghaia.

On remarque des dépassements de concentration de nickel dans les boues de la station d'épuration de Réghaia par rapport au seuil fixé par la norme **NF U44-051** de 60 mg/kg MS, avec une valeur maximale de 172 mg/Kg MS enregistrée le 8 juin 2011.

Le Mercure :

La plupart du mercure issu des activités humaines est rejeté dans l'air, lors de la combustion de combustibles fossiles, de l'exploitation minière, la fonderie, et la combustion des déchets solides. Certaines activités rejettent du mercure directement dans le sol ou dans l'eau, par exemple l'application de fertilisants agricoles et les rejets d'eaux usées industrielles. Tout le mercure rejeté dans l'environnement aboutit finalement dans les sols ou les eaux de surface.

Les eaux de surface acides peuvent contenir une quantité significative de mercure. Lorsque le pH se situe entre 5 et 7 les concentrations en mercure de l'eau augmentent.

Chapitre III : Résultats et discussions

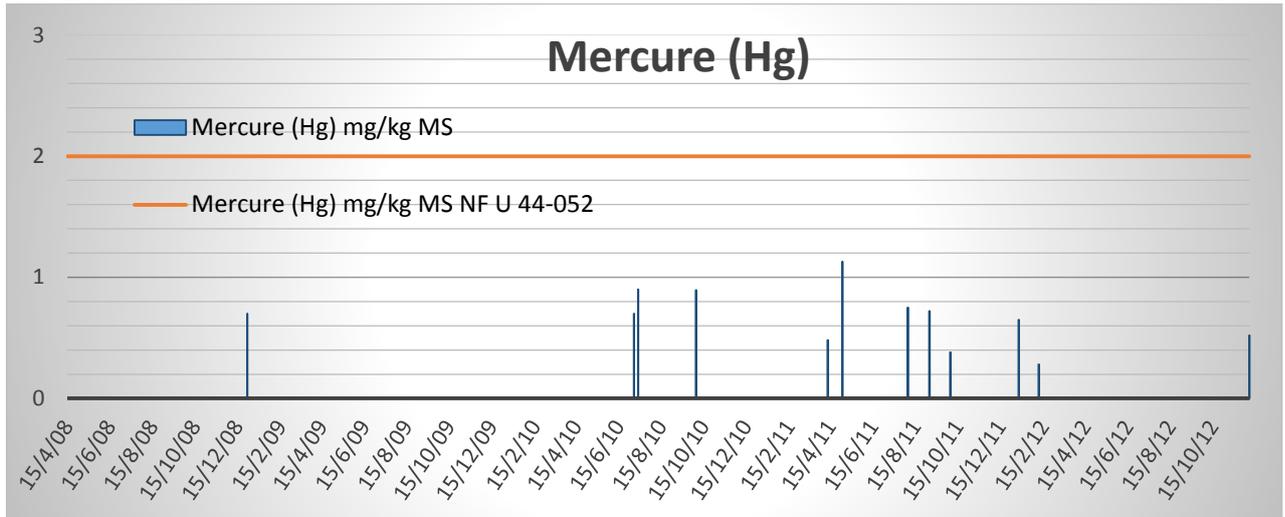


Figure 8 : variation de concentration de Mercure (Hg) dans les boues la STEP de Réghaia

On constate que les concentrations de Mercure (Hg) dans les boues de la station d’épuration de Réghaia varient de 0,38 à 1,13 mg/kg MS et restent très faibles par rapport au seuil fixé par la norme **NF U44-051**.

La somme (Cr+Cu+Ni+Zn) :

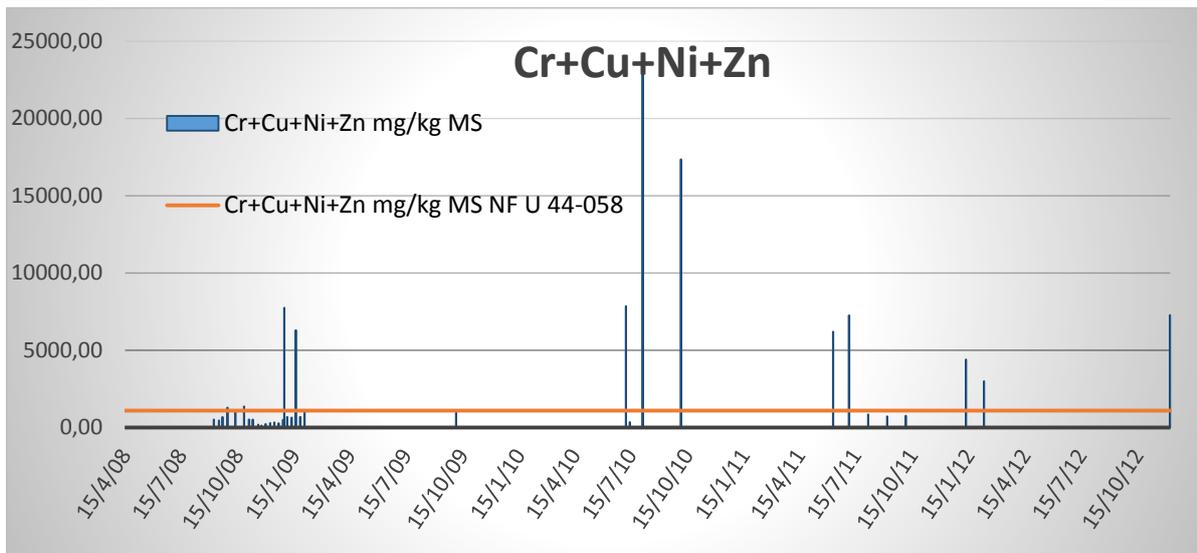


Figure 9 : somme (Cr+Cu+Ni + Zn) pour les boues de la STEP de Réghaia

Entre janvier 2009 et janvier 2012 nous constatons 9 dépassements.

Pour l’année 2013, la somme (Cr+Cu+Ni + Zn), enregistrée lors de 5 dépassements, est de 4094 (mg/ kg MS), dépassant environ de 4 fois la norme **NF U44-051**.

Tableau 7 : comparaison des teneurs en éléments traces métalliques de quelques engrais et du fumier de bovins à celles des boues d’épuration (mg/ kg MS).

Chapitre III : Résultats et discussions

	Cadmium	Chrome	Cuivre	Nickel	Plomb	Zinc	Cr+Cu+Ni + Zn
Réghaia (2013)	9,53	1280	105	17,80	254	2691	4094
Engrais azotés *	0-10	6-10	5-10	1-10	0,5-10	2-10	40
Engrais phosphatés*	9-100	90-1500	10-60	5-70	0,5-40	50-600	2230
Engrais potassique *	0,1-2	0,1-15	0,1-10	0,1-3	5-15	1,15	43
Fumier de bovins*	0,3-1,5	5-60	5-40	6-40	5-90	75-500	640
NFU44-051 (mg/ kg MS)	3	120	300	60	180	600	1080

*ADEME (2001)

La présence des métaux lourds dans les boues de station d'épuration constitue à ce jour le frein principal à l'utilisation de ce type de sous-produit en agriculture.

Les boues concentrent entre 70 et 90% des quantités d'ETM des eaux usées entrantes dans la station d'épuration (**Terce, 2001**).

Le tableau 7 donne à titre indicatif, les résultats de mesures réalisées sur un certain nombre de produits utilisés en agriculture. Même si les teneurs en ETM peuvent varier selon leur origine, les types de produits et leur fabrication (**Werther et Ogada, 1999**), aucun de ces produits ne peut se prévaloir d'être exempt de traces d'éléments "indésirables".

Sur le plan pratique, Ces informations indiquent en tout cas que l'évaluation des flux d'éléments traces métalliques apportés au sol doit, pour être rigoureuse, tenir en compte toutes les sources possibles d'apports.

Dans l'ensemble les concentrations de ces ETM dans les boues sont variables et 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.

Certaines des études entreprises dans ce sens (**Gomez et al. 1992**) ont montré que Le Pb et le Hg sont fortement retenu par la phase adsorbant et assez peu disponible pour les végétaux, d'une manière générale, Zn et Ni étaient relativement solubles dans différents réactifs chimiques, mobile dans les sols et facilement absorbés par les végétaux. (**Brahem et Lefevre 1977**), rapportent que cette toxicité se manifeste d'autant plus que le sol est acide mais le pH plutôt basique de boues tant à maintenir les métaux lourds adsorbés sur l'argile, complexés par la matière organique et les composées hydroxydes du sol. Cette action propre du sol rend très difficile la fixation des seuils limites des métaux lourds.

Chapitre III : Résultats et discussions

Tableau 8 : quantités de boues produites et surfaces potentiellement épandables avec une dose de 10 T/ha/an.

	Eq/hab.	Volume m3/j.	M3/an	Tonnes de boues/an	Surfaces potentielles pour l'épandage (ha)
Réghaia	263.000	80.000	29200000	2190	219

Certaines expérimentations ont montré qu'une amélioration de la perméabilité et de la stabilité structurale serait obtenue après un apport de 10 t/Ha de matière sèche de boue et ceci pendant plusieurs années (**Kofoed, AD 1984**).

En occultant les doses limites imposées par la norme **NF U44-051**, concernant les concentrations en métaux lourds présents dans les boues, nous calculons les surfaces maximales épandables /ha.an

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

Potentiellement, la station d'épuration apporte globalement 2190 Tonnes de boues, permettant de répondre aux besoins en matière organique d'environ 219 ha avec une dose de 10T/ha /an. Cela représente 23% de la superficie irriguée de zone de Réghaia (945 ha). (Egis **Bceom International, 2010**).

Tableau 9 : apports des métaux lourds en dépassement en comparaison avec la norme **NFU44-051** et les doses limites de boue applicable au sol :

	Cadmium	Chrome	Cuivre	Nickel	Plomb	Zinc
Réghaia (2013) (mg/ kg MS)	9,53	1280	105	17,80	254	2691
NFU44-051 (mg/ kg MS)	3	120	300	60	180	600
NFU44-051 gr/ha /épandage	45	1800	3000	900	2700	9000
Dose limite de boues T/ha.an	4,72	1,4	28,6	50,6	10,6	3,34
NFU44-051 gr/ha/10 ans	150	6000	10000	3000	9000	30000
Dose limite de boues T/ha.10ans	15,74	6,68	95,24	168,54	35,43	11,15

- Les teneurs en cadmium des boues limitent l'utilisation de ces boues à 4,72 T/ha.an et à 15,74T/ha pour une fréquence de 10ans.
- Les teneurs en chrome des boues limitent l'utilisation de ces boues à 1, 4 T/ha.an et à 6,68T/ha pour une fréquence de 10ans.
- Les teneurs en cuivre des boues limitent l'utilisation de ces boues à 28,6 T/ha.an et à 95,24T/ha pour une fréquence de 10ans.
- Les teneurs en nickel des boues limitent l'utilisation de ces boues à 50,6 T/ha.an et à 168,54T/ha pour une fréquence de 10ans.

Chapitre III : Résultats et discussions

- Les teneurs en plomb des boues limitent l'utilisation de ces boues à 10,6 T/ha.an et à 35,43T/ha pour une fréquence de 10ans.
- Les teneurs en zinc des boues limitent l'utilisation de ces boues à 3,34 T/ha.an et à 11,15T/ha pour une fréquence de 10ans.

Le chrome est donc l'élément le plus restrictif puisqu'il limite l'utilisation de ces boues à 1,4T/ha.an, sans dépasser 6,68T/ha pour une utilisation sur 10ans.

La dose restrictive concernant le chrome pour l'épandage des boues ne représente donc que 14% de la quantité nécessaire pour améliorer la perméabilité et la stabilité structurale du sol qui serait obtenue après un apport de 10 t/Ha de matière sèche de boue et ceci pendant plusieurs années (**Kofoed, AD ; 1984**).

Ces boues ne sont donc pas utilisables dans l'agriculture.

Conclusions et Recommandations

Conclusions

Les boues présentent, en effet, une grande hétérogénéité et une variabilité importante dans leur composition. Les teneurs et disponibilité en éléments fertilisants, en matière organique et en substances indésirables sont très variables. Il importe donc de fonder les recommandations agronomiques sur une analyse précise, plutôt que sur les teneurs moyennes en éléments fertilisants des boues générées par les STEP.

La boue appliquée de façon à apporter les besoins en azote de la culture, fournira la plupart des nutriments à la plante, excepté le potassium. Cependant, il est peu probable que la boue d'épuration soit employée pour fournir tous les besoins nutritifs de la culture en raison des grandes quantités qui devraient être appliquées.

Notre étude montre que le chrome constitue les facteurs limitants les plus restrictifs pour l'utilisation des boues d'épuration dans l'agriculture.

Le chrome limite l'utilisation de ces boues à 1,4T/ha.an, sans dépasser 6,68T/ha pour une utilisation sur 10ans.

La dose restrictive concernant le chrome pour l'épandage des boues ne représente donc que 14 % de la quantité nécessaire pour améliorer la perméabilité et la stabilité structurale du sol qui serait obtenue après un apport de 10 t/Ha de matière sèche de boue.

Ces boues ne sont donc pas utilisables dans l'agriculture.

Recommandations

Les teneurs en métaux lourds des boues d'épuration de la station d'épuration de Réghaia sont très élevées et dépassent souvent la norme **NF U44-051**.

Cette pollution prend sa source au niveau de la zone industrielle de Rouiba-Réghaia, notamment le chrome hexavalent, émanant de l'unité industrielle SNVI, dont l'une des activités est le traitement de surface des pièces mécaniques. L'application de la réglementation dans ce domaine avec le principe "Pollueur-Payeur" devra contribuer à limiter cette pollution.

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 en compte toutes les sources possibles d'apports.

Puisque l'on passe de déchets concentrés et stockés à une dispersion moins maîtrisée sur les sols, il faut être conscient des dangers inhérents à la mise en œuvre des épandages, pour mieux prendre les mesures de gestion, de suivi et de veille adaptées à une meilleure maîtrise des risques environnementaux.

Conclusions et Recommandations

- Les contraintes à l'épandage sont le plus souvent liées à l'acidité trop élevée du sol ou à sa faible épaisseur, qui accentuent les possibilités de fuites d'éléments potentiellement toxiques vers les eaux souterraines. Le pH à tendance basique des boues a l'avantage de limiter les risques de toxicité dus à la remise en solution des éléments traces métalliques. Les sols de la région de Réghaia sont peu calcaires, globalement neutres.

- Comme la quantité de boues produite n'est pas suffisante, vis à vis des restrictions imposées par la norme **NF U44-051**, pour combler les besoins des sols en matière organique, l'utilisation d'une autre source d'amendement organique est indispensable. L'utilisation du compost de déchets urbains est une solution très avantageuse. En effet, la composition des déchets urbains au niveau de la région de Réghaia est très favorable à ce genre de pratique.

(Teneur en eau élevée, teneur en matière organique élevée, PCI (pouvoir calorifique faible).

Les boues d'épuration sont des cadavres microbiens, elles sont riches en éléments fertilisants mais ne contiennent ni cellulose, ni lignine. Ces produits, d'origine végétale, sont indispensables à la formation de l'humus. (**Derenne et Largeau, 2001**). Pour compenser ce déficit, nous recommandons d'utiliser les boues en mélange avec du compost urbain ou du fumier de ferme. Les proportions seront calculées en fonction de la composition de chaque produit, en tenant compte des critères de maîtrise de la pollution du milieu ainsi que des besoins des sols et des plantes en matière organique et en éléments fertilisants.

Cela nous permettra d'aboutir sur une formule plus équilibrée et mieux adaptée dans le cadre de l'amendement organique où l'humus joue un rôle incontournable dans la fertilité des sols dans une perspective de respect de l'environnement.

Enfin pour éviter tout enrichissement en éléments traces métalliques des sols soumis aux épandages de boues de STEP, l'Algérie doit se doter d'un dispositif réglementaire, qui indique que les boues de STEP doivent être considérées comme des déchets, mais également comme une matière fertilisante. Ces textes fixeront les précautions d'usage vis-à-vis de la qualité des boues et des propriétés des sols. Ils définissent en outre des distances d'isolement où l'épandage n'est pas autorisé, indépendamment de la nature des sols.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

ADEME, (2001).Les boues d'épuration municipal et leurs utilisation en agriculture. Dossier documentaire, 3(1) Ademe, Angers

ANRH Alger, (2008) (données climatiques)

Anred., 1982- La valorisation agricole des boues de la station d'épuration .Cahier technique.63p.

Brame V ; Lefevre G., (1977)-Aspects qualitatifs de l'utilisation agronomique des boues résiduelles des stations d'épurations. Bull.d'AFES n°3, pp : 125-140

Chaussod R. Gremon J. Catroux G. (1981). Essai de détermination au laboratoire de l'aptitude à l'azotification de l'azote des boues résiduelles urbaines : Acad Agric fr. 67(9). 762-771

Derenne & Largeau, (2001) Derenne, S. and C. Largeau. 2001. A review of some Important families of refractory macromolecules: composition, origin, and fate in soils and sediments. Soil Sci., 166, 11:833-847.

Dexter, A. R. (1997). Physical proprieties of tilled soils .Soil and tillage research.43, 41-63. Références bibliographiques.

Edwards, J.H ; Wood, C.W ; Thurlow, D.L &Ruf, M.E., (1992).Tillage and crop rotation effects on fertility sattuus of hapludut soil.soil science society of America Journal.56, 1577-1582

Egis Bceom International (2010) : Etude pour l'identification des problèmes, des besoins et des stratégies existantes dans le bassin côtier algérois 02a Rapport final.

Ekelund, F., Olsson, S., and Johansen, A. (2003) . Changes in the succession and diversity of protozoan and microbial populations in soil spiked with a range of copper concentrations. Soil Biol. Biochem., 35, 1507-1516

Giller, E., K., Witter, Ernst and Mcgrath, P.S. (1998). Toxicity of heavy metals to microorganisms and microbial processes in agricultural soils. Soil. Biol. Biochem. 30, 1389-1414

Gomez A., Lineres, M., Tanzin, J. & Solda P. 1984. Etude de l'incidence des apports de boues résiduelles à des sols sableux, sur l'évolution quantitative et qualitative de la matière organique. CR. Acad. Sc. Fr 516-524.

Gomez, A. ; Solda P. ; Lambort C ;Wilbert J ;Juste C.,(1992). Bilan des éléments trace métalliques transféré dans les sol sableux après 16 années d'apports continus et connus de boues de station d'épuration et de fumier de ferme en monoculture irriguée de maïs Conv,Min. Env/INRA n°89.,pp :256-257

Grimaud, L., (1996). La valeur azotée des boues d'épuration. Ademe .Eau et environnement DEP.Univ Amiens. 84p.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

Habidi.A. (2007) : Analyse diagnostique de la mise en œuvre du plan nationale du developpement agricole et son effet sur le developpement de l'irrigation dans le périmetre irrigué de la Mitidja ouest, tranche 1. Mémoire de fin d'études d'Ingenieur, INA, 124p.

**STAGE SIRMA (2006) « thématique analyse des effets du PNDA dans la Mitidja ouest »
www.eau.sirma.net**

Hainnaux.G., Gouzy. M (1980). Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-mer. Centre d'Adiopodume (laboratoire d'Agronomie).France.

Hébert, M. (2005). « Épandage automnal des MRF – risques environnementaux et mesures préventives ». Agrosol, 16 (1), p. 61-78

Kemper et Koch (1966). Aggregate stability of soils from Western US and Canada.USDA Tech. Bull. 1355. US Gov. Print Office, Washington DC.)

Kelly, J.J., Tate, R.L. (1998). Effects of heavy metal contamination and remediation on soil microbial communities in the vicinity of a zinc smelter. J. Environ. Qual. 27, 609-617.

Kofoed, AD ; 1984. Optimun use of sludge in agriculture in Berglund S, Davis, RD.L'hermite P, eds. Commission of European communities : utilization of sewage sludge on land rate of application and long term. Effect of metals .Dordrecht.D Reidel publication 1984.229P.

Konopka, A., Zakharova, T., Bischoff, M., Olivier, L., Nakatsu, C., Turco, R.F. (1999). Microbial biomass and activity in lead-contaminated soil. Appl. Envir. Microbiol. 65, 2256-2259.

Laurant, C., (1994) .L'assainissement des agglomerations, techniques d'épuration actuelles, évolution documentarie réalisée par les agences de l'eau et le ministère de l'environnement 143p Références bibliographiques

Leita, L., De Nobili, M., Muhlbachova, G., Mondini, C., Marchiol, L., and Zerbi, G. (1995). Bioavailability and effects of heavy metals on soil microbial biomass survival during laboratory incubation. Biol. Fertil. Soils. 19, 103-108

Nakib,M. ; Kettab,A. Berreksi,A Mandi,A (2014). Study of the prospects for agricultural utilization of sludge produced from WWTPS in North Central Algeria Desalination and Water Treatment. Received 25 November 2013 ; Accepted 8 May 2014

Machinet, G. E., (2009). Utilisation de la variabilité génétique du maïs pour évaluer le rôle de la qualité chimique des racines sur le processus de décomposition dans les sols. Thèse de doctorat, Université de Reins Champagne Ardenne, France, 207

Morel, J.I.; Guckert, A., (1977) Influence of limited sludge on soil organic matter and soil Physical propertier. Reidel publishing company. Vol : 25-42.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

NFU 440-051. AFNOR (2006) Limite des teneurs en ETM, CTO, agents pathogènes, inertes et impuretés.

Office Parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. Rapport 261 (2000-2001)

Robert M. Gambier P.; Christan, J., (1994) . Conditions de l'utilisation des boues en agriculture. Cah d'agriculture 3(5). 279-342

Terce M., (2001)- Les impacts du recyclage des boues de station d'épuration, INRA-ME&S-75338.Paris

Tester, CF., Sikora LJ., Taylor JM. & Parr JF. (1982) .N Utilization by tall fescue from sewage sludge, compost amended soils. Agro. J. 74:1013-1018

Pekrun, L ; Kaul, H-P & Claupein, W.(2003). Soil tillage for sustainable nutrient management in ELTiri, A (ed.) soil tillage in Agroecosystems, CRC Press NewYork (USA), pp83-113

Hurt, F ; (1985) .Valorisation agricole des compostes d'origine urbaines extrait du N°262 De la revue. Horticole : dossier technique de la SCL. Agro. 336 .pp . 1-7 Belgique

Van -Camp, L., Bujarrabal, B., Gentile, A-R., Jones, R.J.A., Montanarella, L., Olazabal, C. & Saradjou, S-K. (2004). Reports of the Technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for Soil Protection. EUR 21319 EN/3, 872 pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg

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