

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



École Nationale Polytechnique
Département Hydraulique



*Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du
Diplôme de Master en Hydraulique*

***Etude des boues d'épuration au niveau
de la station d'épuration
de Beni Messous***

Présenté par :
ALEM Samira Loubna

Sous la direction de Mr Maamar NAKIB

Composition du Jury :

Président	M. M. CHABACCA
Rapporteur/ Promoteur	M. Maamar NAKIB
	M. Ahmed KETTAB
Examineur	M. Salim BENZIADA

Promotion 2016

Remerciements :

*Cette thèse n'aurait jamais vu le jour sans l'aide de **DIEU**, le tout puissant, pour m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout et les moyens pour arriver à ce stade de connaissance.*

*Je souhaite exprimer mon plus profond remerciement à mon promoteur **M.Nakib**, pour son suivi au quotidien, pour ses conseils, sa disponibilité, son travail constructif et pour toute la confiance qu'il a su me témoigner à travers l'autonomie qu'il ma accordée durant cette étude, il a sans doute été un promoteur exemplaire.*

*J'exprime toute ma gratitude à Mr **Chabacca** qui m'a fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire.*

*Je remercie Mr **Salim Benziada** d'avoir accepté l'invitation à ma soutenance comme un membre de jury.*

Un immense remerciement est destiné à mes enseignants et enseignantes, ceux qui ont contribué à ma formation, depuis le cycle primaire jusqu'au cursus universitaire.

Je n'oublie pas bien sûr mes amis : Walid, Aicha, Kahina et Chakib et toute la promotion hydraulique 2016.

Samira

ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو فحص الحمأة الناتجة من محطة معالجة مياه الصرف الصحي بني مسوس للاستخدام الزراعي، قمنا بإجراء دراسة مقارنة مع السماد والمواشي في المناطق بعد إجراء وصف منطقة الدراسة، درسنا الحمأة كميًا ونوعيًا الحضريّة السماد، المعلمات الزراعيّة المستخدمة هي النسبة المئوية للمادة العضوية ومجموع مستويات النيتروجين لتجربة أفضل من الفوائد الزراعيّة من الحمأة، على احتساب الاشتراكات. والفوسفور والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم متوسط محتوى المادة العضوية في التربة 1، 3٪ والحد الأدنى لقيمة 0،2٪ "على ضمانات احترام الكلمة" معايير السلامة تعزيز بمنورة لدينا للحصول على مصدر خارجي للمواد العضوية: حمأة مياه الصرف الصحي
كلمات مفتاحية: التقييم، والحمأة، والمواد العضوية، والأسمدة، والسلامة

Abstract

The objective of this study is to examine the sludge from the wastewater treatment plant of Beni Messous for their agricultural use. After having carried out the description of the study area and the potentials valorization of the organic matter, we examined the sludge quantitatively and qualitatively. A comparative study with urban compost and cattle manure was performed; agronomic parameters used are 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 demarche to seek an external source of organic matter: sewage sludge.
KEY - WORDS : Valuation, sludge, organic matter, fertilizers.

Résumé

L'objectif de cette étude est d'examiner les boues de la station d'épuration de Beni Messous en vue de leur valorisation agricole. Après avoir procédé à la description de la zone d'étude et les potentiels de valorisation de la matière organique, 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 le pourcentage de matière organique et 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 demarche à chercher une source extérieure de matière organique : les boues d'épuration.
MOTS - CLES : Valorisation, boues, matière organique, fertilisants.

Table des matières :

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale.....	7
<i>Chapitre I Partie Bibliographique</i>	8
1. Introduction	9
2. Milieu d'étude	9
3. Utilisation de la matière organique à travers l'histoire :.....	9
4. Valorisation agricole et recyclage	10
5. Épandage	11
6. Les potentiels de valorisation de la matière organique	12
6.1. Problématique générale de la dégradation des sols	12
6.2. Les besoins en matières organiques des sols	13
6.3. Intérêt de la valorisation des MO sur les sols	13
6.3.1. La matière organique du sol	13
6.3.2. Effets de la matière organique sur la structure et sur les autres qualités du sol :.....	14
6.3.3. Effets de la matière organique sur l'activité biologique du sol	14
7. Rôle des apports des matières organiques dans le stockage de carbone dans le cadre des accords de Kyoto :.....	15
<i>Chapitre II Partie expérimentale</i>	17
1. Les sols.....	18
2. Valeur fertilisante des boues d'épuration.....	19
2.1. Apport de matière organique	19
2.2. Les éléments fertilisants	20
3. Les métaux lourds	21
3.1. Le Zinc Zn.....	21
3.2. Le Cadmium Cd	22
3.3. Le cuivre Cu.....	23
3.4. Le Plomb Pb.....	23
3.5. Le Chrome Cr	24
3.6. Le Nickel Ni.....	25
3.7. Le Mercure Hg	25
3.8. La Somme Cr+Cu+Ni+Zn	26
<i>Conclusions et Recommandations</i>	29
Conclusions	30
Recommandations	31
Références bibliographiques	33
Annexe	36

Liste des figures :

Figure 1 Représentation graphique de la concentration de zinc (Zn) des boues de la STEP de Beni Messous	21
Figure 2 Evolution de la concentration de cadmium (Cd) dans les boues de la STEP de Beni Messous	22
Figure 3 Evolution de la concentration de Cuivre (Cu) dans les boues de Beni Messous.....	23
Figure 4 Variation de la concentration de Plomb (Pb) dans les boues de la STEP de Beni Messous	23
Figure 5 Evolution de Chrome (Cr) dans les boues de la STEP de Beni Messous	24
Figure 6 Représentation graphique de la concentration de Nickel (Ni) dans les boues de la STEP de Beni Messous	25
Figure 7 Variation de concentration de Mercure (Hg) dans les boues la STEP de Beni Messous	25
Figure 8 Somme (Cr+Cu+Ni + Zn) pour les boues de la STEP de Beni Messous.....	26

Liste des tableaux

Tableau 1. Statistiques descriptives des constituants minéraux et des densités des sols	18
Tableau 2. Statistiques descriptives des paramètres chimiques et biologiques des sols.....	18
Tableau3 Caractéristiques des boues d'épuration, du fumier de bovins et du compost urbain	19
Tableau 4. Quantités de MO et de fertilisants apportées par un épandage de 10T/ha	20
Tableau 5. Les Analyse des métaux lourds de la boue de la station de Beni Messous.....	21
Tableau 6.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).	26
Tableau 7. Quantités de boues produites et surfaces potentiellement épandables avec une dose de 10T/ha/an.	27
Tableau 8. Apports des métaux lourds en dépassement en comparaison avec la norme NFU44-051 et les doses limites de boues applicables au sol.....	28

Introduction générale

En Algérie, les réserves organiques des sols ont subi plusieurs transformations sous la contrainte d'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.

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 ainsi que les méthodes modernes de stabulation du bétail dues 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 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 boues, et de prévoir les conséquences de leur utilisation sur la santé de l'homme. L'étude doit estimer le pouvoir fertilisant ainsi que la richesse en MO des boues.

Nous avons caractérisé les boues d'épuration et estimé leur qualité en tant qu'amendement organique des sols, ainsi que leur pouvoir fertilisant des sols.

Notre but est également de fixer les doses restrictives de boues à ne pas dépasser à cause des concentrations en métaux lourds.

Chapitre I :

Partie

Bibliographique

1. Introduction

Longtemps considéré comme une opération annexe du traitement des eaux, le traitement des boues ne peut évidemment plus être défini « à la légère ».

On assiste à une prise de conscience au niveau mondial des risques environnementaux liés à la production de déchets issus des activités humaines, qu'il s'agisse de déchets urbains (ordures ménagères, sous-produits des usines d'épuration), agricoles (surtout liés à l'élevage intensif) ou industriels.

Le traitement des boues est une phase difficile de la lutte contre la pollution, un casse-tête pour l'épurateur surtout quand il s'agit des métaux lourds, mais le résultat sera un meilleur traitement du sol

2. Milieu d'étude

La STEP de Beni Messous mise en service en 2007 par la SEAAL est située à 50km à l'ouest de la wilaya d'Alger avec une capacité épuratoire de 250 000 Eq.Hab. Elle dessert 5 communes : Ain Benian, Beni Messous, Dely Brahim, Cheraga et Staouali. La station a été conçue pour traiter les pollutions organiques afin de protéger le littoral. [6]

Les boues d'épuration, objets de notre étude, sont issues du traitement biologique des eaux usées urbaines, comprenant les eaux usées domestiques, les eaux industrielles, ainsi que les eaux de ruissellement.

3. Utilisation de la matière organique à travers l'histoire :

La vache, depuis sa domestication, fait partie de la culture de l'homme.

La bouse de vache apparaît donc comme un élément clé en tant que restitution de la biomasse au sol, permettant ainsi le recyclage et la minéralisation de la matière organique.

Au cours des siècles, l'homme a remarqué que les sols riches en MO permettaient souvent les meilleurs rendements.

L'apport de fumier a toujours été considéré comme une pratique agricole de base, qui consiste à « engraisser » le sol.

Les sols fertiles étaient, pour les Grecs et les Romains, ceux qui sont riches en humus, on considérait alors que c'était la matière *organique* du sol qui nourrissait les plantes.

Les matières organiques furent pratiquement toujours considérées comme les premiers fertilisants.

La théorie de l'humus semble avoir été formulée pour la première fois en 1763, dans les travaux du suédois Wallerius.

A l'origine, Wallerius pensait que les éléments de l'humus étaient absorbés directement sans transformation.

Plus tard, sur la base d'analyses chimiques, des chimistes comme Hassenfratz ou Hermstädt ont soutenu que l'efficacité de l'humus résidait en sa capacité à produire du carbone.

Au même moment, Davy et Ingenhousz, ont décrit l'importance de l'humus comme source de carbone.

Albrecht Thaër, au 19^e siècle, affirme que l'humus est une « création » qui possède les éléments suivants : « carbone, hydrogène, azote, oxygène, et une petite quantité de phosphore, de soufre, un peu de terres importantes et différents sels ».

A partir des années 1880-1890, « les microorganismes prennent de plus en plus d'importance dans la recherche agronomique »

En Allemagne, Hermann Hellriegel, en 1888, démontre la fixation d'azote atmosphérique par les légumineuses, grâce à la présence de microorganismes dans les nodosités de leurs racines.

Entre ces années-là et la Première Guerre mondiale, la chimie agricole perdit sa position dominante dans les sciences agronomiques. C'est la biologie, avec la microbiologie des sols, puis avec la génétique que la science agronomique prend de l'expansion.

Au 20^e siècle, on assiste à l'agriculture biologique qui s'inscrit dans cette tradition universelle de la fertilisation organique.

Pfeiffer dira aussi que le sol est un « organisme vivant » et reconnaît que les « antiques procédés de culture », (fumier, compostage) « ont pu garder au sol sa fertilité d'origine » [1]

4. Valorisation agricole et recyclage

La réutilisation agricole des boues est une voie d'élimination intéressante qui doit être prioritaire chaque fois qu'elle est réglementairement, techniquement et économiquement possible. Elle est largement pratiquée pour les boues urbaines, mais aussi sur certaines boues industrielles (agroalimentaires, papeterie).

Le tableau 1 récapitule les éléments contenus dans les boues susceptibles de présenter de l'intérêt pour les cultures.

L'intérêt des divers composants est fortement dépendante des types de cultures et de la nature des sols.

On recherchera, dans certains cas, les éléments fertilisants (surtout azote et phosphore), dans d'autres plutôt la matière organique ou encore le calcium pour les terrains à tendance acide.

Par ailleurs, l'utilisation agricole des boues suppose la réalisation d'une bonne stabilisation biologique (par voie aérobie ou anaérobie) afin de supprimer les risques d'odeurs nauséabondes et d'éviter « l'effet dépressif » sur les cultures en diminuant le rapport carbone assimilable/ azote assimilable. [26]

Tableau 1 Critères agronomiques des boues (en % en masse de la matière sèche)

Critères	Eau résiduaire urbaine		
	Décantation primaire + épuration biologique		Épuration biologique en aération prolongée
	Boues fraîches mixte	Boues digérées	
Matières organiques	65 à 80	45 à 60	55 à 65
Azote N	3,5 à 4,5	2 à 4	3 à 5
Phosphore P	2 à 2,5	1 à 2	1,5 à 2
Potassium K	0,2 à 0,3	0,2 à 0,3	0,2 à 0,3
Calcium Ca	5 à 10	5 à 10	5 à 10

5. Épandage

Les boues peuvent être épandues soit sous forme liquide (après épaissement préliminaire), soit sous forme plus ou moins déshydratée à l'état pâteux ou solide.

Ce sont les boues liquides qui permettent la meilleure valorisation agronomique, dans la mesure où l'on peut les épandre facilement avec des matériels bien connus du type citerne à vidange ou à lisier. De plus, elles permettent d'apporter au sol simultanément de la matière organique, de l'azote assez rapidement assimilable, du phosphore et des oligoéléments. Toutefois, l'épandage liquide requiert des équipements de stockage importants et appropriés, ainsi que des terrains proches du lieu de production pour réduire les frais de transport.

Par opposition, les boues pâteuses (issues de filtres à bande presseuse ou de centrifugeuses) posent quelques problèmes pratiques tant pour le stockage que pour l'épandage proprement dit, mais elles permettent de réduire les coûts de transport.

Les boues à l'état solide (lit de séchage, filtre-pressé) permettent un stockage en tas et sont épandables avec des épandeurs à fumier habituels.

Les boues doivent être épandues selon la bonne pratique agricole, car les quantités de boues à apporter dépendent essentiellement des besoins du sol et des cultures.

La limitation de l'épandage agricole peut provenir :

- du risque d'odeurs se dégageant de boues insuffisamment stabilisées ;
- des risques bactériologiques, qui ne doivent cependant pas être surestimés, car l'action microbienne du sol est importante ;

- de la contamination des boues par des métaux lourds (Zn, Cd, Cu, Pb, Ni, etc.). Ce risque n'est à craindre que pour les boues des zones fortement urbanisées (ruissellement) et industrialisées.

L'épandage agricole des boues est soumis à un certain nombre de contraintes, dont la première est le respect de la réglementation française, concrétisée par la norme NFU 44-041, qui fixe les teneurs en métaux lourds à ne pas dépasser dans les boues, pour un apport maximal de 30 tonnes de matières sèches par hectare en 10 ans.

Sans négliger complètement les possibles obstacles d'ordre psychologique, le plus souvent, le manque de débouchés des boues organiques s'explique par des raisons d'hygiène publique et de distribution en terrain agricole et par le manque d'intérêt des cultivateurs pour un produit moins facile à utiliser et de moindre valeur par rapport aux engrais chimiques à forte teneur en azote et phosphore.

Pour pouvoir susciter l'intérêt des utilisateurs, il est indispensable de mettre ces boues sous une forme plus appropriée qui facilite leur mise en place. [26]

6. Les potentiels de valorisation de la matière organique

6.1. Problématique générale de la dégradation des sols

Les activités agricoles en lien avec les techniques de travail du sol, l'usage des fertilisants et 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 agrosystèmes. [5]

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. [4]

« 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 ».

6.2. 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 la 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. [4]

Les relations entre 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. [16]

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. [8]

6.3. Intérêt de la valorisation des MO sur les sols

6.3.1. 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. »

6.3.2. 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). [14]
- ✓ 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;
 - 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). [14]
- ✓ 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...) [14]
- ✓ Augmentation de la MS des plantes:
Meilleur développement racinaire. [14]

6.3.3. 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, de 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). [20]

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.

7. 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 durant 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
- 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 de la chose vue 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) ; les effets des pratiques visant à accroître la séquestration du carbone : 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 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 climatique.

Chapitre II :
Partie
expérimentale

1. Les sols

Une analyse granulométrique du sol de la région de la Métidja a été réalisée dans les laboratoires de l'agence nationale des ressources hydrauliques

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

Tableau 2 Statistiques descriptives des constituants minéraux et des densités des sols (granulométrie) [2]

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 région 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 3 Statistiques descriptives des paramètres chimiques et biologiques des sols. [12]

Paramètres	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type
CaCO₃ (%)	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 (‰)	0,23	15,9	6,72	3,59
N (‰)	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⁺⁺ (cmoles/.kg de terre)	0,30	2,45	4,55	0,42
Na⁺ (cmoles/.kg de terre)	0,14	2,45	0,70	0,32
K⁺ (cmoles/.kg de terre)	0,17	11	0,57	2,16
CEC (cmoles/.kg de terre)	13,02	41,63	41,22	7,80

Bases échangeables en cmoles/kg de terre

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.

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.

2. Valeur fertilisante des boues d'épuration.

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.

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. [8]

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.

La teneur en matière organique est liée à la nature de l'effluent. Les boues concernant la STEP de Beni Messous présentent des concentrations faibles en matière organique, égale à 48% de la MS, traduisant une faible influence minérale des rejets industriels.

Tableau 4 Caractéristiques des boues d'épuration, du fumier de bovins et du compost urbain [27] [28]

	Beni Messous	Fumier bovins (Hainnaux)	Compost Matejka <i>et al.</i> , 2001
MO%MS	48	-	33
C%MS	29	-	15
N %MS	2,3	1,5	1,15
P₂O₅%MS	2,8	0,8	1,05
K₂O%MS	0,06	1,35	1,1
C/N	12,6	16,45	13,15

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

Le rapport C/N constitue un indice de la fraction d'azote organique facilement minéralisable des boues d'épuration et des fumiers de ferme. [14]

D'après le classement proposé par Chaussaud *et al.*, les boues des STEP de Beni Messous ont un rapport C/N de 12,6, qui est à relier à la charge massique moyenne de la STEP eu au type de stabilisation aérobie des boues. [7]

Les boues de la station de Beni Messous, carencées en azote (2,3 N %MS), avec un rapport C/N de **12,6** juste à la limite proposée par *Grimaud*, évoluent peut et risquent de prolonger l'immobilisation de l'azote du sol. [11]

2.2. Les 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. [18]

Les boues contiennent des quantités appréciables d'éléments fertilisants:

Tableau 5 Quantités de MO et de fertilisants apportées par un épandage de 10T/ha

10T/ha	Beni Messous	Fumier bovins	Compost Matejka et al., 2001
MO T/ha	4,8	-	3,3
Azote total kg/ha	230	150	115
Phosphore kg/ha	280	80	105
Potassium kg/ha	6	135	110

➤ Teneurs en matière organique :

La quantité de MO apportée pour une dose de 10T/ha de boue est de 4,8 T/ha. Les boues de la STEP de Beni Messous sont donc plus riches en MO que le compost et constituent un plus pour la vie du sol.

➤ L'azote :

L'azote est l'élément fertilisant qui influence le plus la productivité végétale. [14].

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

Un épandage de 10 T/ha de boues apporte donc 230 kg d'azote, dépassant largement celles apportées par le compost et le fumier de ferme.

L'intérêt de ce produit est donc, en plus de l'apport de MO, de fertiliser les cultures.

➤ Le phosphore :

Les quantités de phosphore apportées par l'épandage de 10T/ha de boues d'épuration est 280kg/ha, dépassant largement celles apportées par le compost et le fumier.

➤ Le potassium :

Les valeurs sont faibles comparées à celles du compost urbain et du fumier de ferme. Un épandage de 10 T/ha de boues apporte une dose de 6 kg/ha de potassium qui reste 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. [5]

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. [29]

De nombreuses études montrent que la biomasse bactérienne d'un sol a tendance à diminuer suite à une contamination par un métal. [17] [22] [24]

D'ailleurs, Giller *et al.* 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. [10]

Tableau 6 Les Analyse des métaux lourds de la boue de la station de Beni Messous. [3]

Métaux lourds	Moyenne	val lim. NFU44-051 (mg/ kg MS)
Cd	7,0	3
Co	28,4	-
Cr	78,8	120
Cu	272,7	300
Fe	21713,7	-
Mn	394,1	-
Ni	87,5	60
Pb	211,7	180
Zn	812,9	600
Hg	1,3	10
Cr+Cu+Ni+Zn	1251,9	4000

3.1. Le Zinc Zn

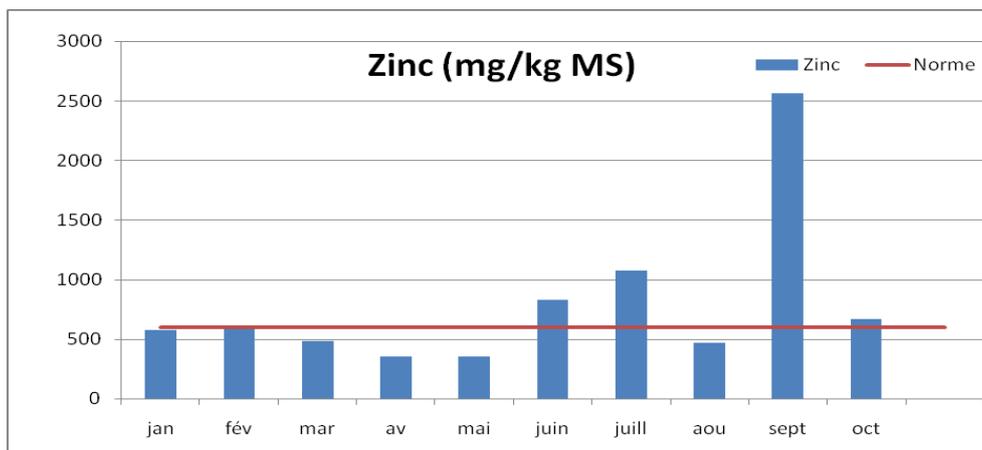


Figure 1 Représentation graphique de la concentration de zinc (Zn) des boues de la STEP de Beni Messous

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.

D'après le graphe on remarque des dépassements de la concentration de Zinc pour quelque mois.

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.

3.2. Le Cadmium Cd

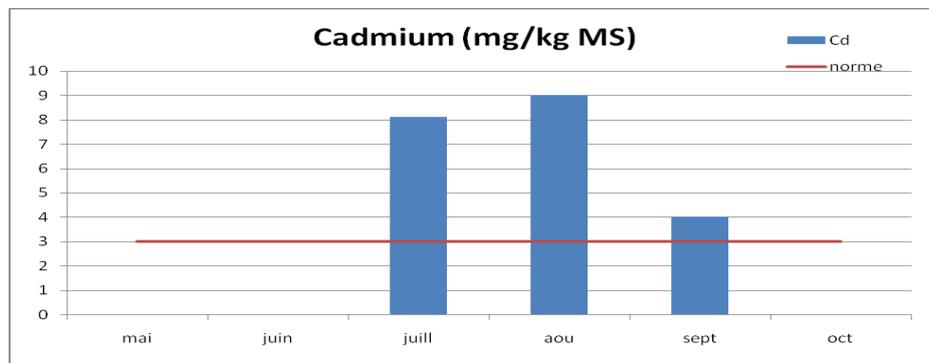


Figure 2 Evolution de la concentration de cadmium (Cd) dans les boues de la STEP de Beni Messous

Le cadmium est un élément toxique et écotoxique, considéré comme parmi les plus problématiques sur le plan de la santé environnementale. [27]

D'après le graphe on remarque que toutes les concentrations de cadmium sont supérieures à 3 mg/kg de MS, cette valeurs représente le seuil de la concentration de cadmium dans les boues.

3.3. Le cuivre Cu

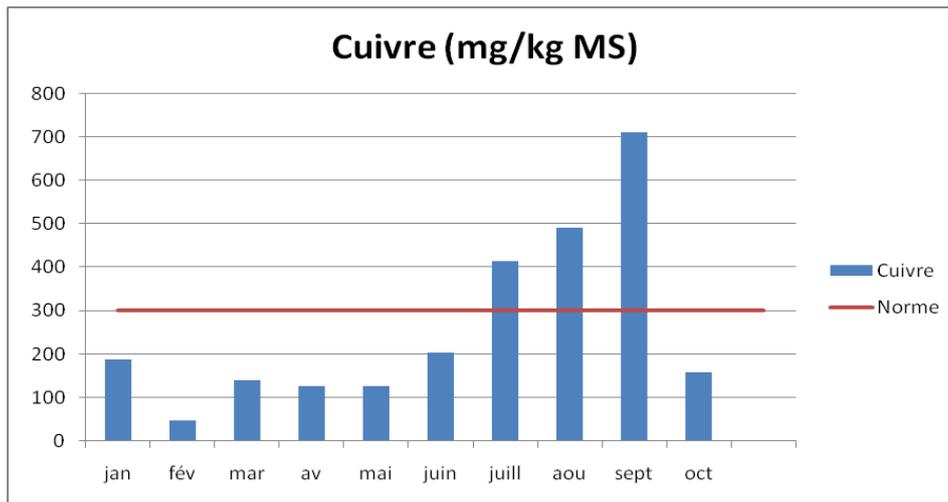


Figure 3 Evolution de la concentration de Cuivre (Cu) dans les boues de Beni Messous.

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 dépassent parfois la norme NFU44-051, ce qui nécessite un contrôle régulier afin d'identifier les sources de pollution.

3.4. Le Plomb Pb

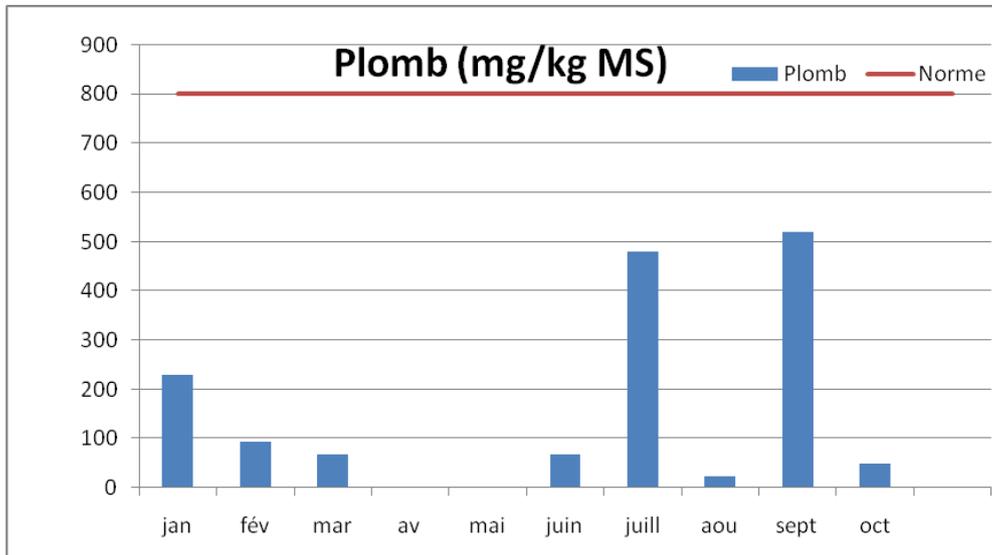


Figure 4 Variation de la concentration de Plomb (Pb) dans les boues de la STEP de Beni Messous

Le plomb compte avec le mercure et le cadmium parmi les 3 contaminants les plus toxiques et fréquents de notre environnement. Il n'est ni dégradable ni biodégradable.

Il est plus mobile et écotoxique dans les milieux naturellement acides ou touchés par l'acidification anthropique. On le trouve généralement dans l'industrie métallurgique et minière. [27]

La concentration de Plomb dans les boues de la STEP de Beni Messous est toujours inférieure à 800 mg/kg MS, valeur limite pour la valorisation agricole des boues.

3.5. Le Chrome Cr

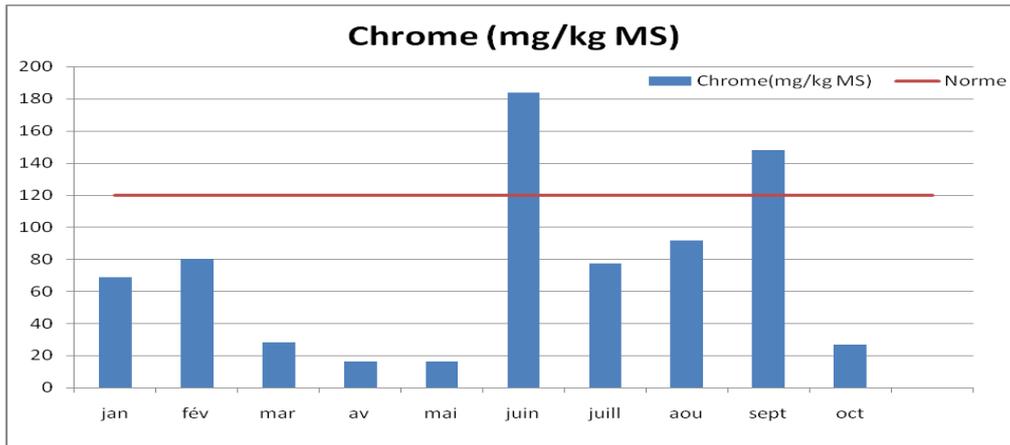


Figure 5 Evolution de Chrome (Cr) dans les boues de la STEP de Beni Messous

La toxicité du chrome varie fortement selon sa forme chimique. En revanche, le chromate Cr^{6+} est prouvé cancérigène. Il peut être bioaccumulé par divers organismes (dont végétaux alimentaires quand il est présent dans l'eau d'irrigation). Dans ces cas, il peut devenir l'un des contaminants alimentaires pouvant affecter la santé et sa toxicité varie en fonction de la température, du pH, de la dureté de l'eau ainsi que des espèces d'organismes aquatiques concernés. [27]

Dans les boues de station d'épuration de Beni Messous, les concentrations du chrome dépassent parfois la norme (NF U44-051) qui limite l'utilisation agricole des boues à 120 mg/kgMS.

3.6. Le Nickel Ni

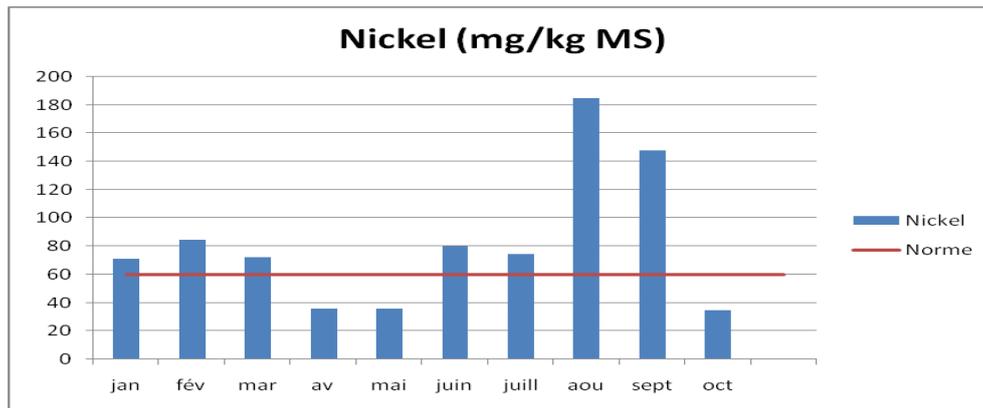


Figure 6 Représentation graphique de la concentration de Nickel (Ni) dans les boues de la STEP de Beni Messous

Le Centre international de recherche sur le cancer classe le nickel dans les substances possiblement cancérigènes pour l'homme. L'exposition chronique au nickel est un facteur de risque du cancer du poumon. [27]

On remarque que les valeurs du Nickel sont très variables, dépassant parfois 60 mg/kg MS, seuil fixé par la norme NF U44-051.

3.7. Le Mercure Hg

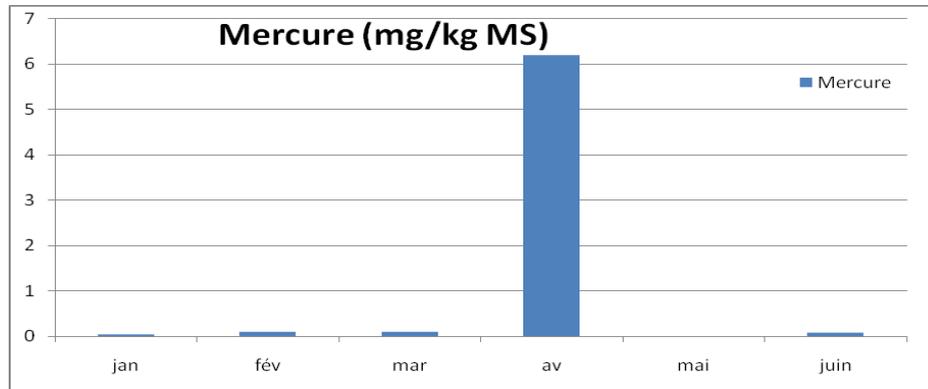


Figure 7 Variation de concentration de Mercure (Hg) dans les boues la STEP de Beni Messous

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.

On constate que les concentrations de Mercure (Hg) dans les boues de la station d'épuration de Beni Messous restent très faibles par rapport au seuil fixé par la norme NF U44-051.

3.8. La Somme Cr+Cu+Ni+Zn

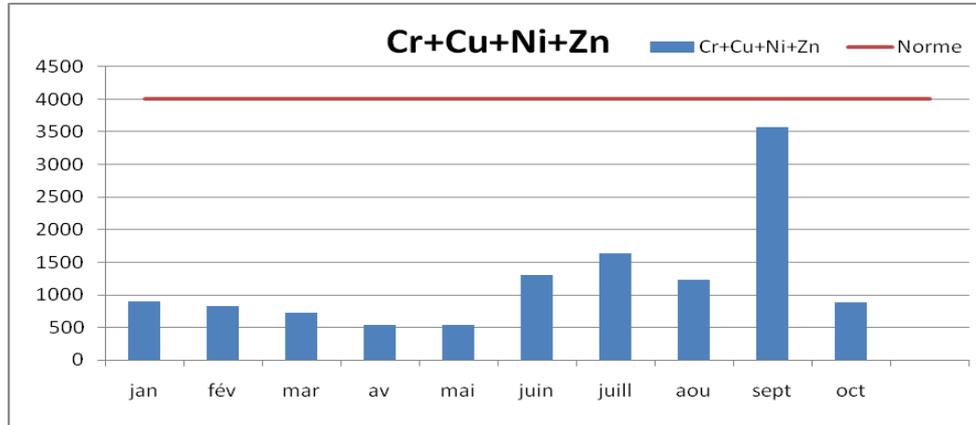


Figure 8 Somme (Cr+Cu+Ni + Zn) pour les boues de la STEP de Beni Messous

On remarque que la somme de ces quatre métaux lourds est très variable allant de 500 mg/kg MS à environ 33500 mg/kg MS mais ne dépasse pas 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). (Source ADEME, 2001)

	Cadmium	Chrome	Cuivre	Nickel	Plomb	Zinc	Cr+Cu+Ni + Zn
STEP Beni Messous	7,0	78,8	272,7	87,5	211,7	812,9	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

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. [30]

Le tableau 07 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, aucun de ces produits ne peut se prévaloir d'être exempt de traces d'éléments "indésirables" [9]

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 ont montré que le Pb et le Hg sont fortement retenus par la phase adsorbante et assez peu disponibles pour les végétaux, d'une manière générale, Zn et Ni étaient relativement solubles dans différents réactifs chimiques, mobiles dans les sols et facilement absorbés par les végétaux. [23]

Brahem et Lefevre, 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 composés hydroxydes du sol. [31]

Cette action propre du sol rend très difficile la fixation des seuils limites des métaux lourds.

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

	Volume m³/j.	Tonnes de boues/jour	Tonnes de boues/an	Surfaces potentielles pour l'épandage (ha)
Beni Messous	32980	3,298	1204	120

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. [32]

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) [3]

En moyenne, chaque habitant génère 150 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 stations d'épuration apporte globalement 1204 Tonnes de boues, permettant de répondre aux besoins en matière organique d'environ 120 ha 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 boues applicables au sol [3]

	Cadmium	Chrome	Cuivre	Nickel	Plomb	Zinc
STEP Beni Messous (mg/ kg MS)	7,0	78,8	272,7	87,5	211,7	812,9
STEP Beni Messous gr/T de MS	7,0	78,8	272,7	87,5	211,7	812,9
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	6,43	22,80	11	10,28	12,75	11,07
NFU44-051 gr/ha/10 ans	150	6000	10000	3000	9000	30000
Dose limite de boues T/ha.10ans	21,42	76,14	36,67	34,28	42,51	36,90

- Les teneurs en Cadmium des boues limitent l'utilisation de ces boues à 6,43 T/ha.an et à 21,42T/ha pour une fréquence de 10ans.
- Les teneurs en Chrome des boues limitent l'utilisation de ces boues à 22,80 T/ha.an et à 76,14T/ha pour une fréquence de 10ans.
- Les teneurs en Cuivre des boues limitent l'utilisation de ces boues à 11 T/ha.an et à 36,67T/ha pour une fréquence de 10ans.
- Les teneurs en Nickel des boues limitent l'utilisation de ces boues à 10,28 T/ha.an et à 34,28T/ha pour une fréquence de 10ans.
- Les teneurs en Plomb des boues limitent l'utilisation de ces boues à 12,75 T/ha.an et à 42,51T/ha pour une fréquence de 10ans.
- Les teneurs en Zinc des boues limitent l'utilisation de ces boues à 11,07 T/ha.an et à 36,90T/ha pour une fréquence de 10ans.

Pour les autres métaux lourds étudiés, l'utilisation d'une dose de boue de 10T/ha ne posera pas de problèmes de toxicité.

Le Cadmium seul est l'élément le plus restrictif puisqu'il limite l'utilisation de ces boues à **6,43T/ha.an**.

La dose restrictive concernant le cadmium pour l'épandage des boues ne représente donc que 60 % 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.

Il faudra donc chercher une autre source de matière organique pour combler ce déficit.

Conclusions
et
Recommandations

Conclusions

La composition des boues activées présente une grande hétérogénéité et une variabilité importante vis-à-vis des teneurs et disponibilité en éléments fertilisants, en matière organique et en substances indésirables. 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 fournira la plupart des nutriments à la plante, excepté le potassium, quand elle est appliquée de façon à apporter les besoins en azote de la culture. Cependant, il est peu probable que cette boue d'épuration soit employée pour fournir tous les besoins nutritifs de la culture en raison des grandes quantités qui devraient être appliquées. La boue fera donc l'objet de maintien du niveau de la matière organique existante

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

Le cadmium limite l'utilisation de ces boues à 6,43T/ha.an. La dose restrictive pour l'épandage des boues ne représente donc que et ne représente que 60 % 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.

On peut dire que ces boues peuvent être utilisés mais en tenant compte du déficit à combler avec une autre source de matière organique.

Recommandations

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

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 oeuvre des épandages, pour mieux prendre les mesures de gestion, de suivi et de veille adaptées à une meilleure maîtrise des risques environnementaux.

- 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.

- 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 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. [25]

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.

Références bibliographiques

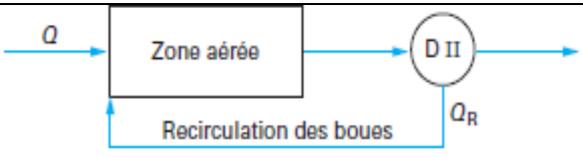
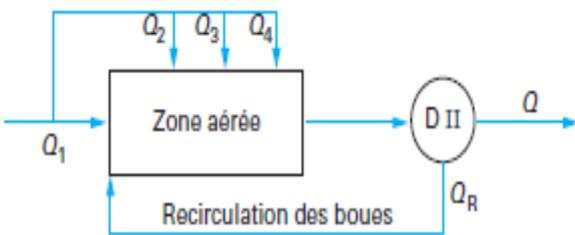
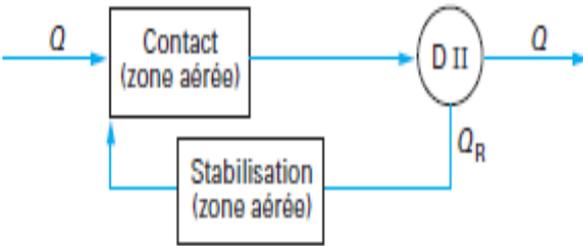
- [1] ADEME, 2001. « Les boues d'épuration municipal et leurs utilisation en agriculture ». Dossier documentaire, Ademe, Angers
- [2] Agence Nationale des Ressources Hydrauliques ANRH Alger, 2008
- [3] Agence Française de Normalisation AFNOR 2006 (NFU 440-051). « Limite des teneurs en ETM, CTO, agents pathogènes, inertes et impuretés ».
- [4] ANRED., 1982- « La valorisation agricole des boues de la station d'épuration .Cahier technique », 63p.
- [5] BRAME V; LEFEVRE G., 1977-Aspects qualitatifs de l'utilisation agronomique des boues résiduaires des stations d'épurations. Bull.d'AFES n°3, pp : 125-140
- [6] SEAAL Société des Eaux et d'Assainissement d'Alger
- [7] CHAUSSAUD R. GREMON J. CATROUX G. 1981. Essai de détermination au laboratoire de l'aptitude à la minéralisation de l'azote des boues résiduaires urbaines: Acad Agric fr. 67(9). 762-771
- [8] DEXTER, A.R. 1997, "Physical properties of tilled soils". Soil and tillage research.43, 41.
- [9] WERTHER J; OGADA T., 1999- Sewage sludge combustion .Progress in Energy and Combustion Science, 25:55-116
- [10] GILLER.E; WITTER.K, ERNST. and McGRATH, P.S. (1998). Toxicity of heavy metals to microorganisms and microbial processes in agricultural soils. Soil. Biol. Biochem. 30, 1389-1414
- [11] GRIMAUD L. 1996 .La valeur azotée des boues d'épuration. Ademe .Eau et environnement DEP.Univ Amiens. 84p.
- [12] HABIDI.A: Analyse diagnostique de la mise en œuvre du plan nationale du développement agricole et son effet sur le développement de l'irrigation dans le périmètre irrigué de la Mitidja ouest, tranche 1. Mémoire de fin d'études d'Ingénieur, INA, 2007, 124p.
- [13] EDWARDS,J.H;WOOD,C.W;THURLOW,D.L & RUF,M.E., 1992.Tillage and crop rotation effects on fertility sattu of hapludut soil.soil science society of America Journal.56,1577-1582
- [14] HÉBERT, M. (2005). « Épandage automnal des MRF – risques environnementaux et mesures préventives ». *Agrosol*, 16 (1), p. 61-78

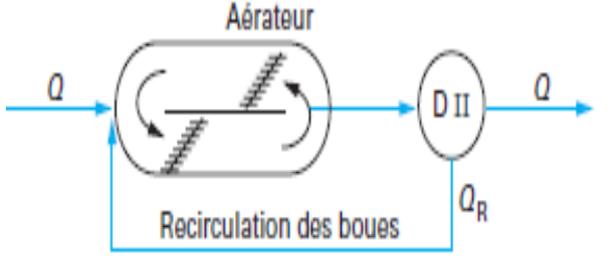
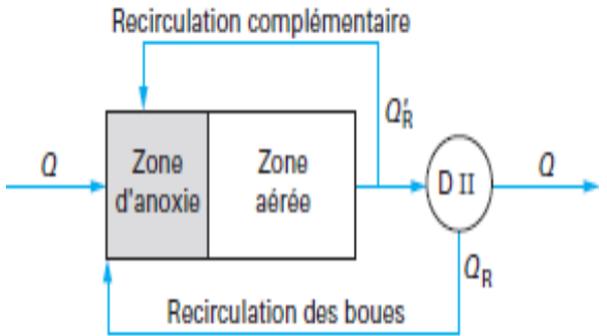
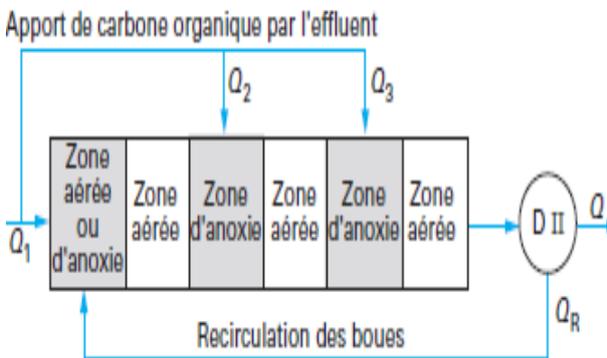
- [15] M.NAKIB, A. KETTAB, A.BERREKSI, L.MANDI “Study of the prospects for agricultural utilization of sludge produced from WWTPS in North Central Algeria Desalination and Water Treatment”. 8 May 2014
- [16] KEMPER and KOCH (1966). Aggregate stability of soils from Western US and Canada. *USDA Tech. Bull.* 1355. US Gov. Print Office, Washington DC.)
- [17] 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.
- [18] LAURANT C. 1994 .L’assainissement des agglomérations, techniques d’épuration actuelles, évolution documentaire réalisée par les agences de l’eau et le ministère de l’environnement 143p
- [19] 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
- [20] ROBERT M. Gambier P. Christan J. (1994) Conditions de l’utilisation des boues en agriculture.
- [21] Egis Bceom International : Etude pour l’identification des problèmes, des besoins et des stratégies existantes dans le bassin côtier algérois 02a Rapport final – Janvier 2010
- [22] 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
- [23] GOMEZ,A., LINERES,M., TANZIN,J. & SOLDA P. 1984. Etude de l’incidence des apports de boues résiduaire à des sols sableux, sur l’évolution quantitative et qualitative de la matière organique. *CR. Acad. Sc. Fr* 516-524.
- [24] 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.
- [25] DERENNE & 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.
- [26] J-C BOEGLIN « Traitements et destinations finales des boues résiduaire » Ingénieur chimiste, Docteur en sciences, Président d’honneur de l’Institut de recherches hydrologiques (IRH) environnement, Nancy.

- [27] Hainnaux.G., Gouzy. M (1980). Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-mer. Centre d'Adiopodume (laboratoire d'Agronomie).France.
- [28] Matejka.et al. 2001. Composting of urban refuse in Labé (Guinea): process optimization and agricultural value; Cagliari (Sardinia) Eighth International Waste Management and Landfill Symposium (CISA): Environ. Sanitary Engineering Centre 1-5 oct. 2001.
- [29] 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
- [30] Terce M., 2001- Les impacts du recyclage des boues de station d'épuration, INRA-ME&S-75338.Paris
- [31] 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
- [32] 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.

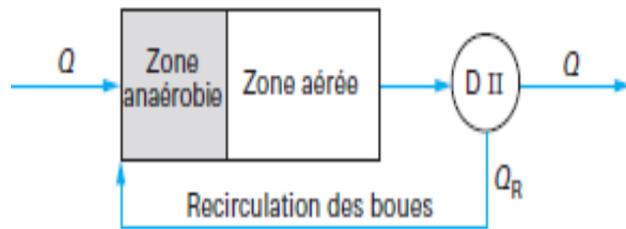
Annexe

Tableau1 Boues activées : schémas des différents procédés

Élimination de la pollution carbonée	
	<p>Flux piston : l'eau à traiter de débit Q entre à l'extrémité du bassin d'aération en poussant la liqueur aérée vers le décanteur secondaire D II.</p>
	<p>Alimentation étagée : l'eau à traiter est répartie sur la longueur du bassin d'aération. L'avantage du procédé est qu'il fonctionne avec des concentrations en boues variables dans le bassin d'aération (proches de la concentration des boues de retour en début de cuve, de concentration $\frac{QR}{Q+QR}$ x concentrations des boues de retour en fin de cuve) et, qu'en conséquence, un fonctionnement à charge massique donnée peut se faire à charge volumique plus élevée.</p>
	<p>Contact-stabilisation : le principe du contact-stabilisation est de faire un traitement à forte charge avec la totalité du flux polluant à traiter dans la cuve dite « contact » à l'amont du clarificateur final, puis de ramener, après décantation, les boues de retour dans une cuve dite de « stabilisation » où les boues séjournent en aérobiose et en absence de pollution un temps suffisant pour leur permettre d'éliminer leurs réserves nutritives. Ce procédé permet de réduire les espèces filamenteuses dans les boues.</p>
Élimination de la pollution carbonée et azotée	
	<p>Chenal d'oxydation : le bassin de boues activées, dit à boucle fermée, assure un long circuit à l'eau à traiter en ménageant des zones d'anoxie entre les aérateurs, ce qui permet l'élimination des nitrates (formés à proximité des zones d'aération). En effet, il</p>

	<p>se crée, naturellement, un recyclage important interne à la cuve par mise en mouvement de la liqueur par les brosses d'aération recyclant, dans les zones mal aérées, les nitrates formés dans les zones bien aérées, permettant ainsi une dénitrification efficace.</p>
	<p>Procédé en deux cuves (anoxie + aérobie) : le bassin de boues activées, comprend deux zones: une première zone d'anoxie (sans aération), suivie d'une zone aérée. La position de la zone d'anoxie, placée en tête, permet d'utiliser la totalité des eaux usées comme source de carbone et d'assurer, au stade suivant aérobie, la nitrification et l'élimination de la pollution carbonée. Par les recirculations des boues de retour et complémentaire, une fraction importante des nitrates sortant de la zone aérobie est renvoyée en tête d'installation pour être dénitrifiée dans des conditions très favorables en ce qui concerne le rapport pollution carbonée-nitrates.</p>
	<p>Procédé à alternance de zones et à alimentation échelonnée : le bassin de boues activées est formé d'une succession de zones anoxiques et de zones aérées. L'alimentation en eau à traiter est répartie sur les zones anoxiques. Le processus de nitrification-dénitrification se fait progressivement au fil de l'eau. Le flux d'azote réduit amené par la fraction de débit Q_1 est oxydé en nitrate dans la première zone aérobie aval, puis dénitrifié dans la zone anoxique suivante grâce au carbone apporté par la fraction de débit Q_2 et ainsi de suite. Le flux de NO_3 en sortie de la dernière zone aérobie est réparti en deux, une partie sortant avec l'eau épurée, une partie étant recyclée par les boues de retour.</p>

Élimination de la pollution phosphorée



Procédé A/O (anaérobie/oxydation) : le bassin de boues activées est composé de deux zones : une zone anaérobie (non aérée et sans présence de forme oxydée de l'azote), suivie d'une zone aérée où se réalise l'élimination de la pollution carbonée. Dans la zone anaérobie, en présence du carbone organique apporté par l'eau à traiter, se produit le relargage du phosphore ; dans la zone aérée, les réactions de surassimilation s'effectuent.