

~~1627/890~~

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



540.898

Université 8 Mai 1945 Guelma  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie des Procédés



**Mémoire de Projet de l'in d'Etudes**  
*2<sup>ème</sup> Année Master*

---

---

***Contribution à la valorisation agricole des boues issues de la  
STEP de Guelma***

---

---

**Filière :** Génie des Procédés

**Spécialité:** Matériaux et traitements de surfaces

**Présenté par :**

**Kaddour Nardjis**

**Sous la direction de :**

**Dr A. R. NADJI**

**Juin 2014**



Dédicace



*Ma chère mère, à qui je souhaiterais une longue vie ;*

*Mon chère père, celui qui a été toujours à côté de moi toutes  
ces années ;*

*Mes chères frères : Abdel Halim, Nouar, Hamza, Abdel  
Djabbar*

*Mes chères sœurs : Souad, Nassira, Wassila et Ibtissem*

*Mes amis : Mouna, Abdel Aziz et Manel*

*A tous ceux qui m'ont connue.*

*Nardjis*

## Remerciement

*Au terme de ce travail, je tiens à exprimer mes remerciements et ma profonde gratitude, avant tout à Dieu le tout puissant qui m'a donné le courage et la force pour mener à bout ce modeste travail.*

*Comme je tiens à remercier toute personne ayant participé à l'élaboration de ce présent mémoire.*

*Ma première pensée va tout naturellement à mon encadreur Dr A.R Nudji qui a suivi fidèlement mon travail. Je tiens à la remercier pour son encadrement et son soutien, je la remercier pour la confiance qu'elle ma témoigné en me confiant ce travail. J'ai apprécié sa grande chaleur humaine.*

*J'adresse aussi mes sincères remerciements à tous les enseignants et les personnels du département de Génie des procédés.*

*Je remercie vivement ma sœur Souad.*

*Je remercie vivement aussi le chef de la STEP de la wilaya de Guelma Mr Boujdehem Faycel et Mr Darouich Farid, et en particulier Nabihha pour leur aide.*

*Mes remerciements vont également à :*

*Mr Namouchi Amar ingénieur du laboratoire de génie des procédés.*

*Je remercie vivement aussi madame Zohra, Taher, Sihem, Leïla et Sana*

# Sommaire

---

## Sommaire

Introduction générale.....	1
<b>La description de la Station d'épuration des eaux usées de la ville de Guelma</b>	
I. Localisation .....	3
II. Emplacement et accès .....	3
III. Nature du réseau .....	4
IV. Points de Rejet (destination).....	4
IV.1.L'eau épurée.....	4
IV.2.Les sous-produits issus de l'épuration .....	4
V. Objectif du Traitement / Objectif de la STEP.....	4
<b>Chapitre I : Généralités sur le traitement des eaux usées et des boues de stations d'épurations</b>	
I. Introduction.....	6
II. Définition d'une eau usée.....	6
III. Origine des eaux usées .....	7
III.1. Domestiques .....	7
III.2. Industrielles .....	7
III.3. Eaux Agricoles.....	7
III.4. Eaux pluviales .....	8
IV. Etapes de traitement d'épuration des eaux usées.....	8
IV.1. Prétraitement.....	8
IV.2. Traitement primaire.....	9
IV.3. traitement secondaire .....	10
IV.4. traitement tertiaire.....	12
V. Traitement des boues.....	14
<b>Chapitre II : filières de traitement des boues résiduares</b>	
I. Introduction.....	15
II. Origine des boues de stations d'épuration .....	15
III. Composition des boues résiduares.....	16
III.1. Matières organiques.....	16
III.2. Eléments fertilisants et amendements.....	17

## Sommaire

---

III.3. Contaminants chimiques inorganiques et organiques.....	17
III.4. Les micro-organismes pathogènes.....	17
IV. Types de boues.....	18
IV.1. Boues primaires.....	18
IV.2. Boues physicochimiques.....	18
IV.3. Boues biologiques.....	18
V. Catégories des boues traitées.....	19
V.1. Boues fraîches mixtes.....	19
V.2. Boues activées.....	19
V.3. Boues dirigées de boues primaires ou de boues fraîche.....	19
VI. Traitements des boues.....	19
VI.1. Stabilisation.....	20
VI.1.1. Procédés biologiques.....	20
VI.1.2. Procédés chimiques.....	24
VI.2. Réduction de la teneur en eau des boues.....	25
VI.2.1. Epaissement.....	26
VI.2.2. Déshydratation.....	26
VI.2.3. Séchage.....	26
VI.3. Hygiénisation.....	28
VI. Désignation des différents types de boues.....	29
VII. Conclusion.....	30

### **Chapitre III valorisation agricole des boues résiduaires**

I. Introduction.....	31
II. Les différentes filières de traitement des boues.....	31
II.1. La mise en décharge contrôlée.....	32
II.2. L'incinération.....	32
II.3. Utilisation agricole des boues.....	33
II.3.1. Epannage.....	33
II.3.2. Les processus d'épannage.....	33
II.3.3. Propriétés des résidus d'épuration propres à la valorisation.....	35
II.3.4. Epannage direct des boues résiduaires.....	41
II.3.5. utilisation des boues traitées.....	45

# Sommaire

---

III. Conclusion.....	49
<b>Chapitre VI : matériels et méthodes d'analyses</b>	
I. Introduction.....	51
II. Echantillonnage de la boue et caractérisation de la boue.....	51
III. Caractérisation physique de la boue.....	51
III.1. Détermination de la matière sèche et de la teneur en eau.....	51
III.1.1. Détermination de la Siccité.....	51
III.2. détermination de la densité.....	53
III.2.1. densité absolue.....	53
III.2.2. Densité apparente.....	54
III.3. Détermination de la granulométrie par tamisage .....	55
III.4. Mesure de la température.....	56
III.5. Mesure du pH.....	56
III.6. Mesure de la conductivité.....	57
IV. Caractérisation physique de la boue.....	59
IV.1. Détermination de la demande chimique en oxygène.....	59
V. Dosage des métaux lourds par la Spectroscopie d'absorption atomique.....	61
IV. conclusion.....	63
<b>Chapitre V : résultats et discussions</b>	
I. Introduction.....	64
II. Caractérisation physique de la boue.....	64
II.1. Détermination de la matière sèche et de la teneur en eau.....	64
II.2. Mesure de la température.....	65

# Sommaire

---

II.3. Mesure du pH.....	65
II.4. Détermination de la conductivité.....	66
II.5. Détermination de la densité.....	67
II.6. Détermination de la granulométrie par tamisage.....	67
III. Caractérisation chimique de la boue.....	68
III.1. Détermination de la demande chimique en oxygène, DCO.....	68
IV. Détermination de la teneur en éléments traces métalliques ETM.....	69
Conclusion générale.....	71

## Liste des tableaux

<b>Tableau I.1</b> : Vitesse de décantation des particules colloïdales en régime laminaire.....	10
<b>Tableau III.1</b> : Valeurs limites de concentration des métaux lourds dans les boues.....	43
<b>Tableau III.2</b> : Teneurs maximales des métaux lourds admissibles dans les sols.....	45
<b>Tableau IV.1</b> : La siccité dans différentes formes de la boue.....	53
<b>Tableau IV.2</b> : Constantes de la cellule de mesure de la conductivité.....	59
<b>Tableau V.1</b> : Résultats des taux de siccité et d'humidité.....	64
<b>Tableau V.2</b> : Valeurs des températures mesurées pour les deux boues.....	64
<b>Tableau V.3</b> : Valeurs du pH des deux boues.....	66
<b>Tableau V.4</b> : Valeurs des conductivités mesurées pour les deux boues.....	66
<b>Tableau V.5</b> : Valeurs des densités, absolue et apparente des deux boues.....	67
<b>Tableau V.6</b> : Répartition granulométrique des deux boues.....	67
<b>Tableau V.7</b> : Valeurs de la DCO déterminée pour les deux boues.....	68
<b>Tableau V.8</b> : Résultats d'analyses de recherches des ETM dans les deux boues et valeurs limites de leurs concentrations dans les boues destinées à l'utilisation en agriculture.....	69

## Liste des figures

<b>Figure II.1</b> : image d'un filtre à bande.....	26
<b>Figure II.2</b> : image d'un filtre presse.....	26
<b>Figure II.3</b> : image d'un Lit de séchage.....	27
<b>Figure IV.1</b> : protocole du la détermination de la siccité.....	52
<b>Figure IV.2</b> : Image d'un pII mètre.....	57
<b>Figure IV.3</b> : Image d'un conductimètre.....	58

## ***LISTE DES ABREVIATIONS***

CE : conductivité

CEC : capacité d'échange cationique

COT : carbone organique total

ETM : éléments traces métalliques

DCO : demande chimique en oxygène

EH : équivalent habitant

MO : matière organique

MS : matière sèche

NFU : norme françaises d'utilisation

PHA : poly- $\beta$ -alcanoates

ppm : partie par million

STEP : station d'épuration

MO : matière organique

DBO : demande biochimique en oxygène

## *Introduction générale*

Les eaux usées sont généralement formées de sous-produits d'utilisation humaine domestique et industrielle. Ces eaux sont altérées par les activités humaines à la suite d'un usage domestique, industriel, artisanal, agricole ou autre, elles sont considérées comme polluées et doivent de ce fait être traitées.

Elles peuvent être parfois qualifiées d'eaux grises, lorsqu'il s'agit d'eaux peu chargées en matières polluantes par exemple des eaux d'origine domestique résultant du lavage de la vaisselle, des mains, des bains ou des douches. On parle d'eaux noires lorsqu'elles contiennent des substances plus polluantes ou plus difficiles à éliminer tels que les matières fécales, les produits cosmétiques, ou tout type de sous-produits industriels mélangés à l'eau.

Dans la plupart des pays et en particulier dans les milieux urbanisés, les eaux usées sont collectées et acheminées par un réseau d'égouts (ou réseau d'assainissement), soit jusqu'à une station de traitement, soit jusqu'à un site autonome de traitement.

L'assainissement des eaux usées est devenu au cours de ces dernières années un enjeu considérable pour les sociétés; d'une part pour assurer un service de l'eau visant d'une part la collecte et l'épuration des eaux usées et d'autre part, la protection de l'eau en tant que patrimoine naturel. En parallèle s'est développé un problème tout aussi important, il s'agit de la gestion des boues d'épuration. En effet, le traitement des eaux usées génère un sous-produit appelé boues, issues des différentes étapes d'épuration qui fait l'objet de notre travail structuré en cinq chapitres :

Le premier chapitre, présente des généralités sur le traitement des eaux usées et des boues de stations d'épurations.

Le deuxième chapitre est entièrement consacré à la boue, son origine, sa composition, ses types et ses traitements.

Le troisième chapitre met l'accent sur la filière de valorisation de la boue.

Le quatrième chapitre présente le matériel et méthodes d'analyses utilisés dans notre travail.

Le cinquième chapitre, récapitule les résultats d'analyses réalisées.

# *La description de la Station d'épuration des eaux usées de la ville de Guelma*

## *I. Localisation*

La STEP Guelma est située sur la route nationale N°=21, pont Héliopolis près d'oued Seybouse. Elle est fonctionnelle depuis le 18 Février 2008 à raison de traiter d'environ : 32000 m<sup>3</sup>/jour au temps sec et 43000 m<sup>3</sup>/jour au temps pluie.

La station est implantée sur un terrain agricole de 7.8 Hectares avec une capacité 200 000 équivalent / habitant .elle utilise le procédé de culture libre « boue activée » comme procédé d'épuration.

## *II. Emplacement et accès*

La STEP Guelma est alimentée par 02 conduites de refoulement :

- **SR1** : alimentée par Oued El Maiz, elle ramène des effluents beaucoup plus chargé que SR2 car elle est raccordée par les effluents des usines qui se trouve dans la zone industrielle de la ville de Guelma, avec un débit de 1575m<sup>3</sup> /h.
- **SR2** : alimentée par Oued SKhoun, ces effluents de rejet des habitants, avec un débit de 1125m<sup>3</sup>/h. et l'emplacement de ces 02 postes étaient également pris en considération. (STEP Guelma, 2003).



**Figure 1** : Schéma de la STEP de Guelma.

---

### **III. Nature du réseau**

Les eaux Usées domestiques de la ville de Guelma sont collectées gravitairement sur 02 bassins versant par un ensemble de réseaux d'assainissement existant. Les 02 tronçons gravitaires rejoignent chacun le point bas (ou il y'a les 02 poste de refoulement).

Le réseau d'assainissement est du type unitaire (c'est-à-dire; englobe tout en même temps; les égouts, les rejets industriels, individuels... etc.).

### **IV. Points de Rejet (destination)**

#### **IV.1. L'eau épurée**

Le rejet est réalisé dans l'Oued SEYBOUSE situé en contrebas de la station d'épuration à 331 m de distance, les effluents sont acheminés jusqu'à l'Oued par une canalisation de rejet. (STEP Guelma, 2003)

#### **IV.2. Les sous-produits issus de l'épuration**

- **Boues:** Les boues sont épaissies puis hydratées sur lits de séchage avant leur envoi en décharge (ou autres ; utilisation Agricole).
- **Les produits de Dégrillage:** Les refus de dégrillage sont évacués par un tapis transporteur, ou une vis de convoyage dans une benne a ordure.
- **Graisses et Huiles:** Elles sont stockées dans une fosse à graisse avant enlèvement
- **Sables:** Ils sont extraits de l'ouvrage de prétraitement, séparés de leur eau par un classificateur, puis stockés dans une benne relevable. (STEP Guelma, 2003)

### **V. Objectif du Traitement / Objectif de la STEP:**

Le rôle principal de la station de traitement des eaux usées est de réduire la pollution « en nettoyant » les eaux usées domestiques de façon à rejeter à la rivière des eaux traitées compatibles avec la qualité souhaitée et dans les normes idéales.

Pour la station de la ville de GUELMA le rejet doit se conformer aux normes ci-après:

- ° DBO: inférieure à 35 mg/l sur 24h. Sans dépasser 40mg/l sur 02 heures.
- ° MES: inférieure à 35mg/l sur 24heures.

- 
- DCO: inférieure à 130mg/l sur 24h sans dépasser 120mg/l sur 02heures.

Ceci conduit aux rendements d'élimination moyens suivant:

- DBO: 91,12%
- MES:93,15%
- DCO: 82,00 %

# **chapitre I:**

## **généralités sur le traitement des eaux usées e des boues de stations d'épurations**

## ***I. Introduction***

Les eaux usées sont des milieux extrêmement complexes, altérées par les activités anthropiques à la suite d'un usage domestique, industriel, artisanal, agricole ou autre. Elles sont considérées comme polluées et doivent donc être traitées avant toute réutilisation ou injection dans les milieux naturels récepteurs. C'est pourquoi, dans un souci de respect de ces différents milieux naturels récepteurs, des traitements d'abattement ou d'élimination de ces polluants sont effectués sur tous les effluents urbains ou industriels. Ces traitements peuvent être réalisés de manière collective dans une station d'épuration ou de manière individuelle également par des procédés intensifs ou extensifs.

La dépollution des eaux usées urbaines nécessite une succession d'étapes faisant appel à des traitements physiques, physico-chimiques et biologiques. En dehors des plus gros déchets présents dans les eaux usées, l'épuration doit permettre, au minimum, d'éliminer la majeure partie de la pollution carbonée.

Le traitement des eaux usées est une alternative susceptible de résoudre les différents problèmes de pollution des milieux aquatiques récepteurs.

Il s'agit essentiellement de réaliser l'élimination de composés organiques biodégradables. Certains procédés permettent la co-élimination de l'azote et même du phosphore, une grande majorité de ces polluants est transférée de la phase liquide vers une phase concentrée boueuse.

## ***II. Définition d'une eau usée***

La pollution de l'eau s'entend comme, une modification défavorable ou nocive des propriétés physico-chimiques et biologiques, produite directement ou indirectement par les activités humaines, les rendant impropres à l'utilisation normale établie.

Les eaux usées sont toutes les eaux rejetées après les activités domestiques, agricoles et industrielles, elles sont chargées en substances toxiques qui parviennent dans les canalisations d'assainissement.

Les eaux usées englobent également les eaux de pluies et leur charge polluante, elles engendrent au milieu récepteur toutes sortes de pollution et de nuisance.

### ***III. Origine des eaux usées***

Suivant l'origine et la qualité des substances polluantes, on distingue quatre catégories d'eaux usées :

#### ***III.1. Domestiques***

Les eaux usées domestique proviennent des différents usages domestiques de l'eau. Elles sont constituées essentiellement d'excréments humains chargées de matières organiques azotées, phosphatées et de germes fécaux appelées eaux noires, des eaux ménagères de vaisselle chargées de détergents et de graisses appelées eaux grises.

#### ***III.2. Industrielles***

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus des matières organiques, azotées ou phosphorées, elles sont chargées en différentes substances chimiques organiques et métalliques. Selon leur origine industrielle, elles peuvent également contenir :

- des graisses (industries agroalimentaires, équarrissage),
- des hydrocarbures (raffineries),
- des métaux (traitements de surface, métallurgie),
- des acides, des bases et divers produits chimiques (industries chimiques diverses, tanneries),
- de l'eau chaude (circuit de refroidissement des centrales thermiques),
- des matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs).

Avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte, les eaux usées industrielles doivent faire l'objet d'un traitement. Elles ne sont mélangées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des stations d'épurations.

#### ***III.3. Eaux Agricoles***

L'agriculture est une source de pollution des eaux, non négligeable car elle apporte les engrais et les pesticides. C'est la cause essentielle des pollutions diffuses. Les eaux agricoles issues de terres cultivées chargées d'engrais nitrates et phosphatés, sous une forme ionique ou en quantité telle, qu'ils ne seraient pas finalement retenus par le sol et assimilés par les plantes,

conduisent par ruissellement à un enrichissement en matières azotées ou phosphatées des nappes les plus superficielles et des eaux des cours d'eau ou des retenues.

### ***III.4. Eaux pluviales***

Les eaux de pluie ruissellent dans les rues où sont accumulés polluants atmosphériques, poussières, débris, suies de combustion et hydrocarbures rejetés par les véhicules.

Les eaux de pluies, collectées normalement à la fois avec les eaux usées puis déversées dans la canalisation d'assainissement et acheminées vers une station d'épuration, sont souvent drainées directement dans les rivières entraînant ainsi une pollution intense du milieu aquatique.

## ***IV. Etapes du traitement d'épuration des eaux usées***

Le traitement des eaux usées est ainsi réalisé dans les stations d'épuration. D'un point de vue technique, une station d'épuration a pour principal travail, de dégrader et de séparer les polluants de l'eau (boues, particules et substances dissoutes) par des procédés chimiques, physiques et biologiques lesquels:

### ***IV.1. Prétraitement***

Les dispositifs de prétraitement sont présents dans toutes les stations d'épuration, quels que soient les procédés mis en œuvre à l'aval.

Le prétraitement comporte une succession d'opérations physiques ou mécaniques destinées à séparer les eaux usées des matières volumineuse, en suspension ou flottantes, qu'elles véhiculent, pour extraire le maximum de gêne ultérieurement. Ces opérations sont :

#### ***a) Le dégrillage***

Il consiste à faire passer les eaux usées au travers d'une grille dont les barreaux, plus ou moins espacés, retiennent les éléments les plus grossiers ; l'effluent passe entre les barreaux métalliques de la grille dont le nettoyage se fait soit automatiquement, soit manuellement, l'espacement des barreaux varie de 6 à 100 mm et sont placés verticalement ou inclinés de 60 à 80° sur l'horizontale.

Le nettoyage de la grille est généralement mécanique, il est réalisé par un râteau solidaire d'un chariot qui se déplace de bas en haut le long d'une crémaillère ou entraîné par deux câbles. Après nettoyage des grilles, les déchets sont évacués avec les ordures ménagères.

***b) Le dessablage***

Réalisé par décantation, le dessablage vise à éliminer les sables et les graviers. L'écoulement de l'eau à une vitesse réduite dans un bassin appelé « dessableur » entraîne leur dépôt au fond de l'ouvrage. Ces particules sont ensuite aspirées par une pompe. Les sables récupérés sont essorés, puis lavés avant d'être envoyés en décharge ou réutilisés, selon la qualité du lavage.

***c) Le dégraissage-déshuilage***

Les opérations dégraissage-déshuilage consistent à séparer de l'effluent brut, les huiles et les graisses par flottation. Ces derniers étant des produits de densité légèrement inférieure à l'eau. L'injection des micros bulles d'air permet d'accélérer la flottation des graisses.

Ces opérations sont souvent combinées dans un même ouvrage où la réduction de vitesse dépose les sables et laisse flotter les graisses. On enlève ainsi de l'eau, les éléments grossiers et les sables de dimension supérieure à 200 microns ainsi que 80 à 90 % des graisses et matières flottantes (soit 30 à 40 % des graisses totales).

***IV.2. Traitement primaire***

Après les prétraitements, il reste dans l'eau une charge polluante dissoute et des matières en suspension, que ce traitement va permettre d'éliminer en partie. La nature (organique ou minérale), les dimensions (particules grossières non piégées lors des étapes de prétraitements, finement dispersées ou à l'état colloïdal) et la densité de ces particules sont très variables. Le traitement primaire correspond à une étape gravitaire qui permet d'isoler par décantation les particules décantables.

Les eaux vont traverser les bassins décanteurs à faible vitesse pour que les matières en suspension puissent sédimenter. Les décanteurs primaires sont équipés d'un pont tournant qui concentre les matières décantées vers le centre du bassin. Elles sont alors prélevées par des pompes qui les refoulent jusqu'aux installations de traitement des boues.

### ***IV.3. Traitement secondaire***

La décantation permet l'élimination des particules de grandes tailles (supérieure à 50 microns). Par contre, la séparation des matières finement dispersées et des colloïdes, qui sont à l'origine de la coloration des eaux, ne peut se faire directement par décantation.

Les espèces colloïdales que l'on rencontre dans une eau brute ou une eau résiduaire comprennent de l'argile, de la silice, du fer et autres métaux lourds et des solides organiques tels que des débris d'organismes morts. Elles ont une taille inférieure à 1 micron. D'après la loi de Stokes, en régime laminaire leur vitesse de décantation est très faible.

**Tableau I.1 :** Vitesse de décantation des particules colloïdales en régime laminaire déduite de la loi de Stokes

<i>Diamètre du colloïde en <math>\mu\text{m}</math></i>	<i>Temps de décantation pour 1 m<sup>3</sup> d'eau à 20°C</i>
0,1	2 ans
0,01	20 ans
0,001	200 ans

Les colloïdes sont donc des particules impossibles à décanter naturellement. Il est alors nécessaire de faire appel à des traitements secondaires. Ceux-ci permettent d'éliminer les particules non décantables et les matières dissoutes. Ils font généralement appel à des procédés physico-chimiques ou biologiques.

#### ***IV.3.1. Traitement physico-chimique***

Le traitement physico-chimique va permettre d'agglomérer les particules (coagulation-floculation) par adjonction d'agents floculants (chlorure de fer ou poly-alumino-chlorure PAC). Ces amas de particules ainsi formés seront séparés de l'eau par décantation dans des clarificateurs (élimination des particules formées décantables de taille généralement supérieure à 50  $\mu\text{m}$ ). Ce traitement peut être effectué préalablement aux traitements biologiques et s'intègre dans ce cas dans les étapes du traitement primaire.

### ***IV.3.2. Traitement biologique***

Le traitement biologique se fait en mettant en contact l'eau à épurer en présence des microorganismes. Ceux-ci vont se nourrir des matières organiques présentes dans les eaux usées et vont transformer les polluants:

- 1) Par absorption des matières polluantes sur floc bactérien (agglomérat de microorganismes),
- 2) Par conversion en matière cellulaire,
- 3) Par oxydation en  $\text{CO}_2$  et  $\text{H}_2\text{O}$ , qui produit l'énergie nécessaire au fonctionnement et à la production du matériau cellulaire. Si la culture est en suspension dans un bassin aéré, il s'agit du procédé à boues activées. Dans le procédé de type lit bactérien par contre, la culture est fixée ou retenue sur un support solide. D'autres processus sont aussi utilisés (tel que les disques biologiques, ...), mais dans le présent mémoire nous nous limiterons à présenter les deux modes de traitements biologiques les plus fréquents.

#### ***IV.3.2.1. Traitement biologique par boues activées***

Ce type de traitement implique l'aération du bassin des eaux usées afin d'assurer les conditions adéquates ( $\text{O}_2$ ) pour le développement des micro-organismes qui s'agglomèrent et forment le floc bactérien. Les matières organiques polluantes assurant l'épuration des eaux usées dans le bassin, vont être captées par ces floccs et former des boues activées qui seront brassées. A l'aval de ce traitement, un clarificateur (ou décanteur secondaire) permettra l'isolation des boues. Pour conserver un stock constant et suffisant de bactéries dans le bassin de boues activées, une partie des boues extraites du clarificateur est renvoyée en tête de bassin, l'autre partie est évacuée du circuit et dirigée vers les unités de traitement des boues.

#### ***IV.3.2.2. Traitement biologique par lit bactérien***

Le principe du traitement par lit bactérien consiste à faire ruisseler l'eau à traiter, préalablement décantée (traitement primaire), sur un support poreux contenant les microorganismes épurateurs. L'eau à traiter est répartie uniformément à la surface du filtre (dispersion en pluie par une grille de répartition), après quoi, elle suivra une phase d'aération pour apporter dans toute la biomasse du lit, l'oxygène nécessaire au maintien des bonnes conditions pour la microflore ; l'objectif final n'étant pas de développer une biomasse, mais de restituer une eau purifiée. Une étape de séparation liquide-biomasse est assurée par un

dispositif de clarification. Comme pour les boues activées, une partie de ces boues sert à réensemencer les bassins biologiques tandis que le reste est transféré vers la filière boue.

#### ***IV.4. Le traitement tertiaire***

Ce traitement qui n'est pas systématique, est une opération d'affinage de l'effluent avant réintroduction de l'eau épurée dans le milieu naturel.

##### ***IV.4.1. Réduction des matières en suspension et de la pollution organique biodégradable***

Le traitement le plus utilisé afin de réduire les matières en suspension et la pollution organique biodégradable, est la filtration tertiaire qui, selon la nature du matériau utilisé, permet de réaliser une épuration essentiellement physique ou biologique.

##### ***IV.4.2. Réduction de la pollution organique non biodégradable***

Pour fixer les matières carbonées dissoutes non biodégradables (par exemple les détergents), le moyen le plus utilisé est l'adsorption sur charbon actif.

##### ***IV.4.3. Réduction de la pollution phosphorée (la déphosphatation)***

Le principal inconvénient de la forte teneur en phosphore dans les eaux, est de favoriser l'eutrophisation des cours d'eau, des lacs et des milieux marins.

- ***Eutrophisation:*** enrichissement excessif d'un milieu aquatique (notamment si les eaux sont stagnantes ou à circulation réduite) en éléments nutritifs ou en matières organiques, provoquant un développement surabondant de biomasse végétale dont la décomposition ultérieure consomme, en partie ou en totalité, l'oxygène dissous dans l'eau et réduit la biodiversité du milieu aquatique.

Ainsi, la réduction des apports phosphorés des eaux usées est en général considérée comme le facteur clé de la lutte contre l'eutrophisation des rivières et des lacs. Le phosphore présent dans les eaux peut avoir trois origines :

- Les apports diffus d'origine agricole (élevage, engrais...),
- Les apports industriels (industrie agro-alimentaire, industrie de pâte à papier...),
- Les apports domestiques.

Les techniques de déphosphatation qui sont généralement appliquées font appel à des réactions de précipitation (procédés physico-chimiques) ou à des micro-organismes épurateurs qui assurent une sur-élimination du phosphore (procédés biologiques).

**a) La déphosphatation chimique**, se fait grâce à l'utilisation de réactifs (tels que les sels de fer et d'aluminium ou la chaux) qui donnent naissance à des précipités ou complexes insolubles séparés de l'eau par des techniques de séparation solide-liquide.

**b) La déphosphatation biologique**, repose sur un transfert de phosphore de la phase liquide (eaux usées à épurer) vers la phase solide (boues) par stockage intracellulaire. Cette accumulation conduit à la formation de granules de polyphosphates (poly-P) et entraîne un enrichissement progressif de la boue en phosphore jusqu'à des teneurs très importantes. Il est alors aisé d'assurer l'élimination du phosphore de l'eau par simple soutirage des boues en excès après une étape de décantation.

#### ***IV.4.4. Élimination des germes pathogènes (la désinfection)***

Par définition, les eaux usées urbaines, parce qu'elles représentent les déchets de la vie individuelle et collective des agglomérations, contiennent des micro-organismes pathogènes susceptibles d'être à l'origine de maladies (bactéries, virus, parasites...). La désinfection a pour but de détruire les micro-organismes pathogènes. Les différents procédés de désinfection susceptibles d'être mis en œuvre utilisent :

- Le chlore (à l'état gazeux ou sous forme d'hypochlorite de sodium : eau de javel). Ce moyen de désinfection et de stérilisation est le plus utilisé et le mieux maîtrisé,
- Le bioxyde de chlore ( $\text{ClO}_2$ ) qui est un réactif très performant mais dont la mise en œuvre est délicate et nécessite une surveillance importante,
- L'ozone : il est très performant et très efficace pour l'élimination des virus mais il est encore actuellement peu utilisé en raison du coût élevé de sa mise en œuvre,
- Les rayons ultraviolets.

Parmi les différentes techniques de traitements tertiaires, la déphosphatation est celle qui est principalement utilisée dans la majorité des stations d'épuration.

## ***V. Traitement des boues***

Le traitement des boues est défini comme l'ensemble des opérations visant à modifier les caractéristiques des boues en excès afin de rendre leur destination finale fiable et sans nuisance.

On distingue trois grands types de traitement :

- a) Traitements de stabilisation, de type biologique, chimique ou thermique ; dont l'objectif est de réduire la fermentescibilité des boues pour atténuer ou supprimer les mauvaises odeurs.
- b) Traitements de réduction de la teneur en eau des boues, visant à diminuer la quantité de boues à stocker et à épandre, ou améliorer leurs caractéristiques physiques par.
  - ***L'épaississement***, qui vise à augmenter la siccité (teneur en matière sèche) des boues sans pour autant modifier le caractère liquide de la boue, qui peut se faire simplement par voie gravitaire dans un concentrateur ou par des moyens mécaniques (égouttage, flottation ou centrifugation).
  - ***La déshydratation***, qui correspond en fait à une augmentation forte de siccité, elle modifie l'état physique des boues, celles-ci passant de l'état liquide à l'état pâteux ou solide.
  - ***Le séchage***, qui élimine en grande partie ou en totalité l'eau par évaporation par voie naturelle (lits de séchage). Il se fait par l'introduction de la boue dans des bassins peu profonds contenant des graviers et du sable munis d'un système de drainage, la déshydratation des boues s'opère en fait de deux façons :
    - D'une part par infiltration de l'eau à travers le milieu filtrant et élimination par les drains.
    - D'autre part par évaporation.

La boue sèche ainsi obtenue peut être utilisée pour l'agriculture.

## **chapitre II:**

# **Filières de traitement des boues résiduaires**

## *I. Introduction*

Les boues produites par les stations d'épuration, sont essentiellement des particules solides non retenues par les prétraitements et les procédés de traitement de l'eau (dégradation et séparation des polluants de l'eau).

Il existe deux types de boues : les boues urbaines, résidus de l'épuration des eaux usées domestiques et les boues industrielles produites par les unités de traitement des eaux industrielles.

La composition des boues urbaines dépend du type de traitement des eaux usées de la station dont elles sont issues et de la présence éventuelle d'effluents industriels. Elles possèdent néanmoins des caractéristiques communes ; elles contiennent toutes de l'azote, du phosphore et de la matière organique. Elles peuvent aussi contenir des substances indésirables telles que des Eléments Traces Métalliques (ETM), des Composés Traces Organiques (CTO), des microorganismes pathogènes et des composés pharmaceutiques. Ces boues se composent de matières organiques non dégradées, de matières minérales, de microorganismes et d'eau (environ 99%). Il faut donc adapter le traitement des boues sur STEP en fonction de leurs caractéristiques (quantité, composition, pH, humidité) et du mode d'élimination ou de valorisation choisi.

### *✓ Les boues : déchet ou produit ?*

Dans la réglementation, les boues issues du traitement des eaux usées peuvent avoir le statut de déchet, mais aussi celui de produit. Dans le premier cas, elles relèvent du code de l'environnement et dans le second, du code rural. Mais, dans les deux cas, s'applique le même principe de protection des sols qui se traduit par le contrôle des retours en terre.

## *II. Origine des boues de stations d'épuration*

Les éléments polluants et leurs produits de transformation, retirés de l'eau usée au cours du traitement d'épuration, se trouvent rassemblés, dans la grande majorité des cas, dans des suspensions, plus ou moins concentrées, dénommées « boues ».

Le caractère commun à toutes ces boues est de constituer un déchet liquide, véritable « concentré » de pollution et plus particulièrement, de pollution organique. De ce fait, elles doivent être traitées avant d'être recyclées ou replacées dans le milieu naturel.

Les boues constituent des déchets volumineux puisqu'elles contiennent entre 95 et 99% d'eau et sont génératrices de nuisances dans la mesure où elles sont constituées par des matières fermentescibles. Elles peuvent renfermer des substances toxiques si des effluents industriels sont collectés par le réseau.

Longtemps considéré comme une annexe du traitement de l'eau, le traitement des boues en est devenu un corollaire inévitable qui nécessite des moyens techniques et financiers parfois supérieurs. Le problème le plus important, à l'heure actuelle, n'est pas le traitement des boues mais plutôt leur devenir. L'exploitation devra trouver un schéma de traitement pour s'en débarrasser dans des conditions économiques acceptables, en respectant les contraintes imposées pour leur rejet.

Le choix de la filière de traitement est fonction de la nature, de la composition et de la traitabilité des boues d'où la nécessité de les analyser. Cette analyse est d'autant plus importante qu'il serait simple de croire que les boues urbaines sont toutes de nature identique. Il faut, au contraire, prendre conscience de leur extrême diversité et de l'hétérogénéité de leur composition en fonction de leur origine. La composition d'une boue urbaine dépend à la fois de la nature de la pollution initiale de l'eau et des procédés de traitement auxquels elle a été soumise dans la station d'épuration. On pourra distinguer ainsi différents types de boues (boues chaulées, boues stabilisées... etc).

### ***III. Composition des boues résiduaires***

La composition exacte des boues, varie en fonction de l'origine des eaux usées, de la période de l'année et du type de traitement et de conditionnement pratiqué dans la station d'épuration. Les boues résiduaires représentent avant tout une matière première composée de différents éléments (matière organique, éléments fertilisants (N, P ...), d'éléments traces métalliques, d'éléments traces organiques et d'agents pathogènes).

#### ***III.1. Matières organiques***

La concentration en matières organiques peut varier de 30 à 80 %. La matière organique des boues est constituée de matières particulaires éliminées par gravité dans les boues primaires, de lipides (6 à 19 % de la matière organique), de polysaccharides, de protéines et d'acides aminés (jusqu'à 33 % de la matière organique), de la lignine, ainsi que des produits de

métabolisation et des corps microbiens résultant des traitements biologiques (digestion, stabilisation).

### ***III.2. Eléments fertilisants et amendements***

Selon la dose appliquée, les boues peuvent couvrir, en partie ou en totalité, les besoins des cultures en azote, en phosphore, en magnésie, calcium et en soufre ou peuvent aussi corriger des carences à l'exception de celle en potassium.

Les éléments en traces tels que le cuivre, le zinc, le chrome et le nickel présents dans les boues sont aussi indispensables au développement des végétaux et des animaux.

### ***III.3. Contaminants chimiques inorganiques et organiques***

Ces mêmes éléments traces métalliques (cuivre, zinc, chrome et nickel) indispensables au développement des végétaux et des animaux peuvent se révéler toxiques à trop fortes doses. D'autres, tels que le cadmium et plomb sont des toxiques potentiels. Ainsi, un polluant peut être défini comme un élément ou un composé chimique ordinaire dont la nocivité n'apparaît qu'à partir d'une certaine concentration. Aussi, dans les boues, une multitude de polluants organiques peut se trouver en concentrations en général de l'ordre de  $\mu\text{g}/\text{kg MS}$ .

La nature et la concentration en polluants organiques et inorganiques, des eaux usées sont très dépendantes des activités raccordées au réseau. L'essentiel des contaminations chimiques vient des rejets industriels et dans une moindre mesure des rejets domestiques (utilisation de solvants, déchets de bricolage...). Du fait de la décantation lors du traitement, ces contaminants chimiques se retrouvent dans les boues à de très grandes concentrations par rapport aux eaux usées.

### ***III.4. Les micro-organismes pathogènes***

Les boues contiennent des milliards de microorganismes vivants qui jouent un rôle essentiel dans les processus d'épuration. Seul une infime partie est pathogène (virus, bactéries, protozoaires, champignons, helminthes, etc.), elle provient en majorité des excréments humains ou animaux.

La concentration d'une eau usée en germes pathogènes dépend du secteur d'activité d'origine: les eaux provenant d'abattoirs ou de toute industrie traitant de produits d'animaux sont très largement contaminées. Ainsi, par mesure de précaution, et afin d'éviter de propager la

maladie de la vache folle, il est interdit d'utiliser les boues d'épuration provenant des eaux usées des abattoirs ou des équarrissages pour fabriquer de la fumure ou du compost. D'une façon générale, les boues doivent subir un prétraitement avant leur utilisation en agriculture.

#### ***IV. Types de boues***

##### ***IV.1. Boues primaires***

Elles proviennent d'une séparation physique des matières en suspension décantables, organiques et minérales, au niveau d'un décanteur situé en entrée de station.

Elles sont d'aspect grisâtre, d'odeur fétide, très fermentescible et très contaminées bactériologiquement.

##### ***IV.2. Boues physicochimiques***

Elles proviennent, comme les précédentes du décanteur placé en entrée de station d'épuration, mais avec un traitement chimique supplémentaire. Celui-ci permet d'éliminer, en plus de la pollution particulaire, la pollution colloïdale ainsi que, le cas échéant, la pollution phosphorée. Ces boues renferment également les réactifs chimiques ajoutés qui se trouvent sous forme d'hydroxydes métallique (de fer ou d'aluminium) ou de précipités minéraux (carbonates, phosphates...). La qualité de boues produites sera fonction de la concentration de l'effluent en substances polluantes et du dosage des réactifs de traitement.

##### ***IV.3. Boues biologiques***

Elles proviennent de la dégradation de la pollution biologique biodégradable, soluble et colloïdale, par une culture bactérienne libre (boues activées) ou fixée (lits bactérien ou biofiltre). Ces boues biologiques ont une composition différente en fonction de la nature de substrat dégradé, de la charge de fonctionnement du réacteur biologique et du traitement de stabilisation éventuellement pratiqué.

## *V. Catégories des boues traitées*

### *V.1. Boues fraîches mixtes*

Il s'agit d'un mélange de boues primaires et de boues activées d'une station fonctionnant à forte ou moyenne charge ou de boues provenant de lit bactérien ou de biofiltre. Ce sont des boues organiques et fermentescibles.

### *V.2. Boues activées issues d'un traitement en faible charge ou en aération prolongée*

Ces boues biologiques sont le siège d'une respiration endogène de la biomasse qui réduit la teneur organique et augmente leur minéralisation.

### *V.3. Boues dirigées de boues primaires ou de boues fraîches mixtes par voie anaérobie*

Ces boues fermentescibles subissent, afin de réduire leur teneur organique, un traitement biologique dans la filière de traitement des boues.

## *VI. Traitements des boues*

Généralement, le traitement des boues a deux objectifs :

❖ *Réduire la masse organique par :*

- **Stabilisation** pour empêcher ou réduire les problèmes de fermentation et d'éviter ainsi les nuisances olfactives. La stabilisation peut être biologique par voie aérobie (compostage) ou anaérobie (méthanisation) ou chimique (chaulage ou autres traitements). La stabilisation biologique présente l'avantage de limiter l'évolution ultérieure de la composition des boues.

❖ *Réduire le volume des boues par :*

- **Déshydratation** des boues qui a pour objectif de réduire leur volume (plus de 97 % d'eau) par épaissement et/ou par séchage pour faciliter par la suite leur transport et leur stockage. Un conditionnement est souvent utilisé en amont pour favoriser la séparation liquide-solide à l'aide de flocculants organiques de synthèse ou minéraux et autoclavage. Selon la puissance du procédé de séchage utilisé, épaissement,

déshydratation ou séchage thermique, on obtient des boues à différents pourcentages de siccité : boues liquides (4 à 10 %), boues pâteuses (10 à 25%), boues solides (25 à 50 %), boues granulées ou en poudre pour une siccité supérieure à 85 %.

### ***VI.1. Stabilisation***

Il existe quelques technologies utilisées pour la stabilisation des boues. La plupart des traitements font intervenir un procédé biologique qui permet une diminution appréciable de la demande biologique en oxygène (DBO).

Cependant, l'activité biologique dépend de plusieurs facteurs, tels que la biodégradabilité des polluants, la présence d'éléments nutritifs, du pH, de la température, etc., ce qui influe sur la composition des boues et, de ce fait, leur déshydratation.

D'autres procédés, comme les traitements chimiques, utilisent des quantités importantes de produits, causant ainsi une pollution secondaire par élévation de la salinité, ce qui augmente du même coup la quantité de boues à gérer. De plus, la manipulation de ces réactifs peut occasionner des risques d'accident au travail. Finalement, l'efficacité des traitements physiques, soit la déshydratation à l'aide de filtres à bandes peseuses, filtres presses, pressoirs rotatifs ou autres, dépend en partie du traitement effectué en amont.

#### ***VI.1.1. Procédés biologiques***

Ces procédés visent principalement la réduction de matières organiques solubles. Il existe différentes variantes de procédés biologiques, soit, la digestion aérobie, la digestion anaérobie et le compostage.

##### ***VI.1.1.1. Digestion aérobie***

La digestion aérobie est une technique de stabilisation des boues utilisée couramment dans les stations d'épuration des eaux usées municipales. Elle peut s'effectuer sur des boues secondaires ou mixtes. Au cours de la digestion aérobie, les bactéries aérobies impliquées dans le processus se multiplient en métabolisant la matière organique soluble en dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) et en eau ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Lorsque la matière organique est consommée, les cellules bactériennes meurent et libèrent ainsi des éléments nutritifs intracellulaires qui serviront de nourriture à d'autres microorganismes. Ce phénomène est appelé la respiration endogène.

La stabilisation aérobie s'effectue dans des bassins aérés. L'aération est assurée par des aérateurs de surface ou par insufflation d'air, et elle permet de maintenir une concentration d'oxygène dissout d'au moins 2 mg/l.

La stabilisation aérobie entraîne donc une consommation d'énergie importante, puisque le temps nécessaire, pour une stabilisation aérobie conventionnelle à 20°C, varie entre 15 et 20 jours. Cette période est cependant suffisante pour produire des boues biologiquement stables et sans odeur, présentant un taux de réduction des matières volatiles en suspension qui se situe entre 20 et 35%. Son efficacité s'avère toutefois aléatoire, particulièrement en hiver, où le temps de rétention des boues est insuffisant. Un temps de rétention de 80 jours est requis à 5°C pour une digestion suffisante des boues.

Une variante du procédé est la digestion aérobie des boues dans des conditions thermophiles. Les réactions d'oxydation de la matière organique étant exothermique, il est possible, en isolant les digesteurs, d'augmenter la température des boues jusqu'aux températures thermophiles soit, entre 45°C et 65°C.

- *Avantages de la digestion aérobie auto-thermique*

Il y a plusieurs avantages :

- La température des boues est indépendante de la température extérieure
- La hausse des cinétiques de digestion contribue à diminuer le temps de digestion (< 7 jours)
- Une destruction très performante des microorganismes pathogènes, etc.

### ***VI.1.1.2. Digestion anaérobie (méthanisation)***

La digestion anaérobie est également l'une des méthodes couramment employées pour la stabilisation des boues d'épuration. Elle consiste en une fermentation bactérienne complète de la matière organique, et ce, en l'absence d'oxygène.

- ❖ *1<sup>ère</sup> étape (acidogénèse)*

Dans cette étape les microorganismes transforment les composés organiques complexes en éléments solubles (acides gras volatils, alcools, etc.). Ensuite, il y a production de gaz par fermentation méthanique (méthanogénèse) ce qui élimine l'ensemble des produits organiques solubles sous forme de biogaz. L'ensemble de ces réactions s'effectue dans la plupart des cas dans un seul réacteur clos.

❖ *2<sup>ème</sup> étape*

C'est la seconde phase qui limite le temps de digestion. En effet, les bactéries méthanogènes ayant un taux de croissance relativement lent, les réactions métaboliques ne sont complétées qu'après une période prolongée (30 jours). De plus, ces dernières sont très sensibles face au changement du pH, de la température et à la présence de composés toxiques, ce qui nécessite une gestion très minutieuse du bioréacteur.

Cependant, en plus de la production de biogaz, la digestion anaérobique permet une réduction du taux de matières organiques de 15 à 45 yo, ainsi qu'une réduction de la masse totale de boue générée de 15 à 30%.

Ces deux techniques de digestion (aérobie et anaérobique) nécessitent l'installation de digesteurs de grandes dimensions entraînant ainsi des coûts d'infrastructure importants. De plus, ces traitements sont caractérisés par des temps de rétention longs, ce qui limite également l'implantation de ces technologies à l'échelle industrielle.

***VI.1.1.3. Compostage***

Il est possible par compostage de mettre en valeur une quantité appréciable de boues d'épuration.

***A. Définition***

Le compostage est la décomposition et la stabilisation, par voie biologique aérobie thermophile, de substrats organiques contenus dans des déchets solides. L'oxydation de la matière organique par divers microorganismes produit une augmentation de température pouvant atteindre 70°C, ce qui entraîne une destruction des germes pathogènes et une diminution de l'humidité dans les solides. Toutefois, tout comme la digestion aérobie, le procédé de compostage nécessite des temps de digestion relativement longs, ainsi que des espaces vastes.

***B. Paramètres du compostage***

Les conditions de bon développement des activités microbiologiques doivent être optimisées et leur suivi est indispensable pour évaluer la bonne conduite du compostage et l'obtention d'un produit final de bonne qualité. Ces paramètres majeurs interviennent en même temps au cours du compostage et non pas séparément.

➤ La composition chimique du substrat à composter doit avoir un équilibre trophique estimé généralement par le rapport carbone sur azote C/N en début de compostage qui se situe dans l'intervalle 20 à 30, l'optimum étant l'ordre de 30. Un rapport élevé lié à une teneur faible en azote (source nutritionnelle) conduit à un ralentissement de l'activité ou de la croissance des populations microbiennes. A l'inverse, un rapport C/N très bas lié à un excès d'azote conduit à une production d'azote ammoniacal caractérisé par une odeur nauséabonde.

➤ Le pH est un paramètre qui intervient essentiellement par son rôle sélectif sur la microflore responsable de la décomposition des déchets initiaux. Le pH optimal est de 5,5-8,0.

Au cours du compostage, le pH peut subir des modifications, soit une acidification par formation de certains acides organiques liés à la dégradation des sucres simples et la production de CO<sub>2</sub> en début de compostage, soit une alcalinisation par production du gaz ammoniac. Une déviation du pH vers des valeurs acides (cas d'anaérobiose) peut être corrigée par aération. L'ajout de chaux ou de magnésie peut contrôler l'acidité, alors que l'ajout de soufre peut corriger l'alcalinité.

➤ La présence d'oxygène à un seuil minimal de l'ordre de 5 % est indispensable au bon déroulement du compostage. Il est en effet consommé d'une part par les microorganismes au cours de leur respiration et d'autre part par les réactions d'oxydation.

Le taux d'oxygène est directement lié au pourcentage d'espaces lacunaires (porosité ou vides) dans les matières à composter, à la granulométrie des particules présentes et à l'humidité du compost. Si la granulométrie est trop fine, elle provoque un «étouffement», si elle est trop grossière elle provoque un dessèchement dû à des circulations d'air importantes.

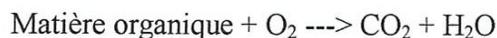
➤ Par ailleurs, la texture des matières premières et leur porosité conditionnent la capacité d'un mélange à se composter. Une bonne porosité garantit un processus aérobie, alors qu'une surface de contact maximale (particules fines) permet une attaque microbienne plus complète.

➤ La teneur en eau et la nature de sa liaison avec les constituants du compost conditionnent la capacité de démarrage du processus de compostage et la création d'un biotope favorable au déroulement des processus biologiques. Une teneur en eau trop faible limite

le développement microbien, et dans le cas d'une humidité trop élevée, l'eau sature les espaces lacunaires et étouffe les microorganismes dans le tas du mélange à composter.

En règle générale, l'humidité des déchets à composter doit être ajustée à une valeur comprise entre 50 et 70 % selon la nature des déchets.

L'évolution de l'humidité au cours du processus est variable. Elle peut augmenter suite à la production d'eau liée aux réactions d'oxydation de la matière organique :



Elle peut diminuer suite au dessèchement associé aux températures atteintes lors de la phase de stabilisation et suite à l'évaporation par aération forcée ou par retournement.

- Un compostage bien mené avec une température élevée située entre 40 et 70° C, sur tout le produit pendant un temps suffisant est létal pour la totalité des graines adventices et réduit la quasi-totalité des pathogènes.

Cette «hygiénisation» du compost est le résultat du contrôle des différentes conditions : retournement, aérobioc, durée suffisante et humidité.

Il est recommandé de réaliser le compost avec une aération par retournement à une température de 55°C pendant au minimum 15 jours.

Généralement, le compostage se déroule en deux phases : une phase de stabilisation dominée par une intense activité microbiologique qui s'accompagne d'une élévation de température (phase thermophile) dès les premiers jours, par la suite la température baisse progressivement pour se stabiliser à des températures inférieures à 40°C, indiquant l'épuisement du milieu en molécules simples et dominé par les processus d'humification (phase de maturation) et pouvant durer des mois.

### ***VI.1.2. Procédés chimiques***

Alors que la stabilisation des boues par voie biologique nécessite des ouvrages et des investissements importants, il est possible de réduire temporairement le potentiel fermentescible à peu de frais, par ajout d'agents chimiques. L'utilisation d'une dose bactériostatique permet d'inactiver la fermentation ainsi que les germes pathogènes. Cependant, les procédés de stabilisation chimique ne réduisent pas la quantité de matières

organiques biodégradables contenue dans les boues. Il est donc envisageable qu'une réactivation de la fermentation des boues ait lieu si les conditions évoluent en ce sens.

#### ***VI.1.2.1. Traitements alcalins (chaulage)***

Le traitement alcalin consiste, dans la majorité des cas, en un apport de chaux ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) afin d'amener les boues à une valeur de pH se situant entre 10 et 14. Le coût réduit de la chaux, son alcalinité, ainsi que son effet favorable sur la structure des boues en fait le réactif le plus utilisé.

Le chaulage peut être effectué sur des boues liquides ou sur des boues déshydratées. Afin d'obtenir une désinfection adéquate, les boues doivent être maintenues à  $\text{pH} \approx 12$  pendant au moins 2h et de préférence pendant 24 h. Le chaulage des boues liquides ne permet pas leur stockage à long terme, seule une nouvelle application de chaux permet de stopper la reprise de la fermentation. Sur les boues déshydratées la stabilisation est plus durable. Un stockage prolongé est donc possible.

La stabilisation des boues par ajout de chaux est certes moins coûteuse, mais elle requiert des quantités importantes de réactifs, ce qui entraîne une augmentation du volume de boues à gérer. Il est également important de noter que l'application de boues chaulées sur des sols déjà alcalins peut provoquer la dégradation du sol.

#### ***VI.1.2.2. Traitements par oxydation chimique***

Des procédés de stabilisation en milieu acide ( $\text{pH} 2,0$  ou  $3,0$ ) ont également été élaborés. Différentes variantes sont possibles, soit l'ajout d'agents oxydants ou par un apport de chaleur. Ces traitements visent une oxydation des matières organiques malodorantes et la neutralisation des microorganismes pathogènes, également responsables de la dégradation des matières organiques.

### ***VI.2. Réduction de la teneur en eau des boues (déshydratation)***

Pour réduire les volumes à manipuler, différents procédés sont mis en œuvre comprenant par ordre croissant d'efficacité et de coût, l'épaississement, la déshydratation et le séchage.

En amont de ces procédés, des traitements dits de conditionnement sont souvent utilisés pour favoriser la séparation liquide/solide. Ils utilisent des flocculants organiques de synthèse (polyélectrolytes) ou minéraux (chaux, sels de fer ou d'aluminium).

### VI.2.1. Épaississement

L'épaississement, vise à augmenter la siccité (teneur en matières sèches – MS) sans changer sa caractéristique liquide ; il est obtenu par voie gravitaire dans un concentrateur ou par des moyens mécaniques (égouttage, flottation ...) ce qui amène la siccité à 5 à 6%. Ce procédé est fréquent en zone rurale et concerne les petites stations d'épuration (2000 à 5000 EH – équivalent habitant).

### VI.2.2. Déshydratation

Ce traitement vise à augmenter significativement la siccité en faisant passer la structure des boues de l'état liquide à un état pâteux ou solide. Les filtres à bandes et les centrifugeuses donnent des boues plutôt pâteuses avec une siccité de 18 à 25%. Les filtres presse produisent des boues de structure solide (30 à 35% de siccité). Ce matériel est réservé aux installations importantes car plus coûteux et contraignantes d'emploi que les filtres à bandes et les centrifugeuses.

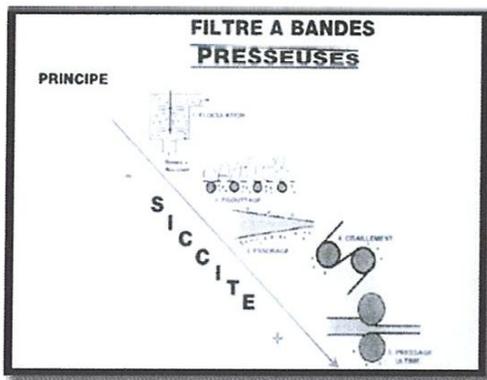


Figure II.1 : Image d'un filtre à bande.

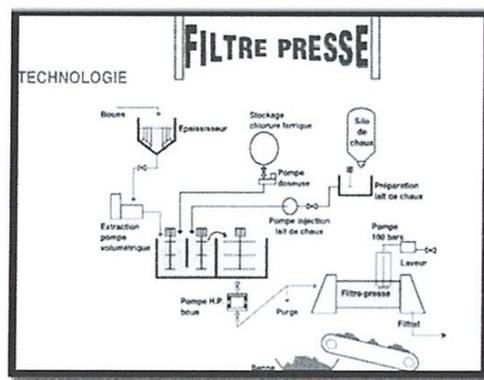


Figure II.2 : Image d'un filtre presse.

### VI.2.3. Séchage

Le séchage, élimine en grande partie ou en totalité l'eau par évaporation, soit par voie naturelle (lits de séchage) soit par voie thermique.

#### ➤ Lit de séchage

La technique des lits de séchage se pratique à l'air libre sur des boues liquides et combine, évaporation naturelle et drainage de l'eau libre à travers une couche filtrante de sable et de

graviers. Ce système qui suppose une emprise au sol de  $1 \text{ m}^2$  pour 4-5 habitants, amène à une siccité des boues de 35-40%.

Le procédé ne nécessite pas un conditionnement chimique au préalable. C'est une filtration et évaporation naturelles de la boue sur une aire de séchage composée de :

- Une couche supérieure de sable de 5 à 10 cm d'épaisseur (calibre 0,5 à 15 mm).
- Une couche intermédiaire de gravier fin de 10 cm d'épaisseur (calibre 5 à 15 mm).
- Une couche inférieure de gros graviers de 20 cm d'épaisseur (calibre 10 à 40 mm).
- Les matériaux reposant sur un sol imperméabilisé et nivelé.
- Des drains en ciment ou en plastique sont disposés avec une légère pente sur la couche de base.

La boue passe par deux étapes :

- Filtration naturelle à travers le lit : perte jusqu'à 80% de la teneur en eau.
- Évaporation naturelle (séchage atmosphérique).

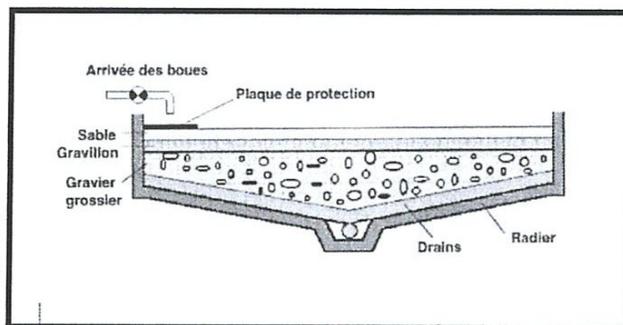


Figure II.3 : Image d'un Lit de séchage.

### ➤ *Séchage thermique*

Ce type de séchage repose sur deux méthodes :

- **Le séchage direct**, dans ce cas les boues sont au contact de la source chaude et que l'air est injecté directement pour permettre leur combustion. Il nécessite ensuite un traitement spécifique de cet air, chargé en polluants de toutes sortes. Les sècheurs directs ne peuvent généralement pas produire des boues de siccité supérieure à 70 % à cause de risques d'inflammation ou d'explosion.

- *Le séchage indirect*, est un séchage total. Les boues sont chauffées par un fluide caloporteur circulant dans des tuyaux parfaitement isolés. Les sècheurs indirects peuvent former, sans aucun danger, des boues de siccité supérieure à 90 % et parfois même à 95 %.

Tous les types de sècheurs nécessitent, néanmoins, une surveillance attentive et continue par un personnel qualifié, du fait du risque d'endommagement des installations, causé par le durcissement des boues de siccité supérieure à 60 %.

Dans tous les cas, ces systèmes sont très consommateurs d'énergie : la consommation électrique est d'environ de 30-70 KW/h par tonne d'eau évaporée et la consommation en énergie thermique est comprise entre 3000 et 4000 kJ/kg d'eau évaporée soit une consommation de 80 litres de fioul/tonne d'eau évaporée. Il est donc quasiment obligatoire, pour le séchage thermique, d'utiliser une source d'énergie économique si l'on veut obtenir au final un bilan intéressant. Il semble alors très intéressant de valoriser le biogaz produit par la station d'épuration comme source d'énergie du sécheur.

Il est fortement recommandé d'effectuer une étude préalable, la plus complète possible des différentes étapes déjà subies par les boues et de leur devenir pour pouvoir évaluer la pertinence d'un séchage thermique final.

### ***VI.3. Hygiénisation***

Les boues d'épuration contiennent des microorganismes vivants en provenance des eaux usées et des processus de traitement. Seule une infime partie d'entre eux présente un danger infectieux du fait de leur pathogénicité. Ces micro-organismes appartiennent à 5 catégories différentes (bactéries, virus, protozoaires, champignons et helminthes ou vers parasites).

L'hygiénisation se définit comme un traitement devant conduire à la présence de germes pathogènes à des niveaux très bas (à la limite de leur détection).

Les traitements consistent en des digestions thermophiles en anaérobiose ou en aérobie, par chaulage fort ou par compostage et exceptionnellement par pasteurisation. Il ne doit cependant pas être perdu de vue que notre environnement présente une charge importante en microorganismes. Le sol, par exemple, présente autant de bactéries que les boues (de l'ordre de 10<sup>8</sup> – 10<sup>9</sup>/g). Seule une très faible fraction de ceux-ci est pathogène.

### *VII. Désignation des différents types de boues*

L'appellation des différents types de boues intègre un certain nombre de critères ayant trait notamment à la nature des traitements mis en œuvre ; on retient pour caractériser les boues :

- La nature des effluents qui peuvent être domestiques, artisanaux, commerciaux ou industriels ne faisant pas l'objet de traitement spécifique ;
- Les caractéristiques du traitement des eaux (primaire, physico-chimique, biologique) ;
- Le procédé de stabilisation (aérobie, anaérobie, chaulage, compostage...) ;
- L'état physique des boues (liquide, pâteux, solide, pulvérulent, granulé) ;
- Le type de matériel de déshydratation (filtre-presse, centrifugeuse, table d'égouttage).

L'ensemble des combinaisons possibles montre qu'il existe en théorie un grand nombre de types de boues. En résumant les situations les plus fréquemment rencontrées, les principales boues produites sont les suivantes :

- Boues liquides issues des traitements aérobies ;
- Boues pâteuses issues des traitements aérobies et anaérobies ;
- Boues chaulées, pâteuses ou solides ;
- Boues physico-chimiques. Ces boues proviennent de stations drainant les eaux d'agglomération à nombre variable d'habitants, notamment en raison des activités touristiques.
- boues de lits de séchage ;
- boues de lagunage (catégorie particulière de boues liquides, le traitement de ces boues se fait de façon extensive, selon un mode anaérobie, au fond des bassins) ;
- boues compostées.

### *VIII. Conclusion*

Le traitement des eaux usées dans les stations d'épuration s'accompagne d'une production importante de boues résiduaires. Ces boues renferment des matières organiques et des éléments minéraux qui sont susceptibles de constituer un apport intéressant pour les sols de culture.

L'utilisation directe de ces résidus présente de nombreux risques et contraintes liés à leur manipulation et à leur emploi, en raison d'une présence éventuelle des agents pathogènes.

Ces résidus doivent donc être conditionnés chimiquement et/ou biologiquement avant toute utilisation en agriculture.

## **chapitre III:**

# **Valorisation des boues résiduaires**

## ***I. Introduction***

Bien que les boues d'épuration soient aujourd'hui considérées comme des déchets par la nouvelle réglementation, elles présentent un intérêt agronomique réel du fait de la présence de matière organique, d'azote, phosphore et d'un rapport carbone/azote favorable. Mais pour valoriser des boues, il faut à la fois respecter l'environnement, et chercher la solution technique la plus satisfaisante.

Les boues représentent un apport de matière fertilisante très bon marché en comparaison avec les engrais chimiques. En Algérie les boues sont généralement cédées gratuitement. Ce faible côté constitue un atout majeur de cette pratique.

Par leur composition, les boues une fois épandues contribuent au rendement des cultures. Elles contiennent des nutriments pour les cultures et servent d'amendement organique et calcique pour améliorer les propriétés physiques et chimiques du sol, surtout si elles sont chaulées ou compostées.

Les micro-organismes présents dans le sol dégradent en partie les matières organiques apportées par les boues et les transforment en éléments minéraux disponibles pour la plante. Une autre partie des matières organiques est incorporée au sol et contribue à l'entretien d'une structure favorable au développement des racines. Les quantités épandues doivent rester compatibles avec les besoins des cultures en éléments minéraux.

La valorisation agricole des boues résiduaires peut être considérée comme le mode de recyclage le plus adapté pour rééquilibrer les cycles biogéochimique (C, N, P..), pour la protection de l'environnement et d'un très grand intérêt économique. Elle vise à ménager les ressources naturelles et à éviter tout gaspillage de matière organique dû à l'incinération ou à l'enfouissement dans les décharges. Les boues résiduaires peuvent ainsi remplacer ou réduire l'utilisation excessive d'engrais coûteux.

## ***II. Les différentes filières de traitement des boues***

Les boues résiduaires se présentent sous une forme liquide et avec une forte charge en matière organique hautement fermentescible. Ces deux caractéristiques sont gênantes et posent beaucoup de problèmes techniques pour leur évacuation «quelle que soit la destination », parmi lesquels, leur transport et leur stockage qui conduisent souvent à des problèmes de

manipulation et des nuisances olfactives. Ceci impose le choix d'une filière de traitement dès l'installation de la STEP.

### ***II.1. La mise en décharge contrôlée***

La mise en décharge contrôlée consiste en un enfouissement des boues (souvent mélangées avec les ordures ménagères) en tenant en compte de certaines conditions : compactage des résidus, site étanche, récupération et traitement des jus de décharges (lixiviats), équipement et gestion du site. Les boues doivent être préalablement stabilisées et déshydratées (humidité maximale de 70 %).

Cette solution a perdu progressivement de son intérêt et se retrouve actuellement interdite pour des raisons financières (procédure de fermeture ...) et pour des problèmes environnementaux tels que les odeurs nauséabondes, pullulation de moustiques, entraînement d'éléments fertilisants (nitrates, phosphates) et de produits toxiques par les eaux superficielles et contamination des nappes d'eaux souterraines.

Les décharges ne doivent plus accepter que des déchets qui ne peuvent plus être raisonnablement valorisés ou à caractère non dépolluables ou dangereux appelés aussi déchets ultimes.

### ***II.2. L'incinération***

Elle réalise la destruction de la matière organique des déchets par combustion à haute température (+ de 500 °C) produisant des fumées et des matières minérales résiduelles nommées cendres. Dans l'objectif d'une valorisation énergétique des déchets, la chaleur produite est récupérée sous forme de vapeur ou d'électricité pour le fonctionnement du four lui-même, pour le chauffage urbain ou industriel. Les résidus de l'incinération (mâchefer) sont utilisables pour les travaux publics.

Cependant, malgré l'intérêt de ce procédé pour une réduction importante des volumes de déchets, il présente des contraintes principalement liées à un investissement très coûteux. Les boues seules ne sont pas auto-combustibles, elles nécessitent des fours spéciaux et un mélange avec d'autres déchets tels les déchets ménagers. L'élimination des cendres et des mâchefers exigent une décharge contrôlée de classe 1. Cette technique reste aussi néfaste du point de vue écologique et environnemental puisqu'elle contribue en plus du gaspillage de matières organiques utiles pour le sol, à la diffusion de gaz très toxiques (NO, NO<sub>2</sub>, CO, SO, dioxine, etc.) qui ont fait l'objet de réglementations spécifiques. Depuis, les incinérateurs sont

modernisés ou fermés, entraînant un coût supplémentaire d'une dizaine d'euros par tonne de déchets incinérés.

### ***II.3. Utilisation agricole des boues***

La valorisation agricole des boues résiduaire peut être considérée comme le mode de recyclage le plus adapté pour rééquilibrer les cycles biogéochimique (C, N, P..), pour la protection de l'environnement et d'un très grand intérêt économique. Elle vise à ménager les ressources naturelles et à éviter tout gaspillage de matière organique dû à l'incinération ou à l'enfouissement dans les décharges. Les boues résiduaire peuvent ainsi remplacer ou réduire l'utilisation excessive d'engrais coûteux.

#### ***II.3.1. Epandage***

L'épandage des boues de stations d'épuration est la solution la plus pertinente. C'est la moins coûteuse (jusqu'à 2,5 fois moins chère que l'incinération). L'épandage permet de recycler les boues et de profiter de leurs propriétés fertilisantes. Cette pratique permet ainsi de « boucler » le cycle de la matière organique rendue à la terre.

L'épandage est strictement encadré du point de vue sanitaire et environnemental. Il faut en effet s'assurer de l'aptitude des sols et des cultures à remplir cette fonction de recyclage. De même, il faut vérifier l'innocuité des boues vis-à-vis des sols, de la chaîne alimentaire et des autres compartiments de l'environnement, en particulier des eaux.

Les boues de fosses septiques traitées peuvent être épandues comme engrais ou amendements de sols. Ce qui rend ces deux types de résidus propices à la valorisation par épandage et leur contenu en éléments nutritifs et en matière organique, qui favorise l'établissement et la croissance des végétaux et améliore la structure du sol.

#### ***II.3.2. Les processus d'épandage***

##### ***a. Conception***

La conception de l'organisation des épandages débute par une étude préalable qui permet de définir les principes de l'organisation, de choisir et de valider le périmètre d'épandage retenu, de nommer les intervenants, de fixer le choix du matériel et des équipements pour le stockage, le transport et l'épandage. Enfin, elle doit fournir des analyses de la boue destinée à être épandue et du sol récepteur.

**b. Exploitation**

Un programme prévisionnel est établi chaque année pour préciser les périodes d'épandage et les parcelles agricoles retenues en lien avec les agriculteurs, et pour désigner les personnes ou entreprises responsables des opérations de transport et d'épandage. Puis les responsables retenus déclenchent les opérations d'épandage à la date choisie. Celles-ci assurent aussi les relations entre opérateurs et agriculteurs, et la circulation des données (parcelles épandues, quantité de boues apportées, analyse des boues et des sols avant épandage, etc...).

**c. Rendre compte**

Un bilan agronomique annuel est obligatoirement rédigé par le producteur de boues à destination du préfet. Les agriculteurs et les administrations concernées obtiennent alors une synthèse du registre des épandages.

La réglementation prévoit deux grandes périodes d'épandages : le printemps, de mars à avril, et à la fin de l'été, de août à octobre. L'épandage est interdit en dehors de ces périodes, mais les boues continuent d'être produites et il faut donc les stocker durant 6 à 9 mois. Les boues liquides sont stockées dans des silos à la façon des lisiers, avec un agitateur pour homogénéiser les boues avant l'épandage.

Les boues pâteuses sont conservées dans des fosses ou autres dispositifs étanches. Les boues solides sont stockées à même le sol sur des dalles imperméables, il convient de les couvrir (bâches, hangars).

Les boues séchées thermiquement se présentent de la même manière que des engrais minéraux granulés et requièrent le même type d'installation, de manutention et de stockage. Le stockage temporaire des boues à même le sol est déconseillé. Si les boues ne sont pas stabilisées, ce stockage ne peut excéder 48 heures.

Afin de limiter les nuisances (bruit, odeurs), les chantiers doivent épandre un maximum de boues en un minimum de temps sous de bonnes conditions météorologiques. Pour cela, les chantiers sont bien organisés et les matériels choisis selon la consistance physique des boues à épandre.

Pour les boues liquides, l'épandage se fait avec des tonnes à lisier (si possible avec des rampes d'épandage) ou avec des rampes d'aspersion basse pression qui évitent les brouillards fins. Pour les boues pâteuses ou solides, le matériel est spécialisé avec des épandeurs à plateaux.

Pour la circulation dans les champs, l'épandeur doit utiliser des équipements qui limitent les dégradations (pneumatiques basse pression, double ou triple essieu...). De même, les zones de chargement sont prévues pour détériorer le moins possible les parcelles.

### ***II.3.3. Propriétés des résidus d'épuration propres à la valorisation***

Les résidus d'épuration peuvent être utilisés de diverses façons, selon les objectifs de gestion poursuivis et la qualité des résidus. Voici quelques-uns des avantages associés à l'épandage :

- Accélération de l'établissement et de la croissance des végétaux
- Amélioration de la qualité, de la richesse et de la structure du sol
- Valorisation des ressources, particulièrement des éléments nutritifs qui circulent dans l'écosystème agricole.

En plus de procurer un apport d'éléments nutritifs et de matière organique, l'épandage de biosolides municipaux et de boues de fosses septiques traitées, offre beaucoup d'autres avantages :

- Protection contre l'érosion grâce à l'amélioration de la qualité du sol et de la réponse correspondante des végétaux
- Amélioration du cycle des éléments nutritifs
- Création d'habitats grâce à l'établissement de végétation
- Amélioration de la qualité visuelle grâce à la restauration ou à la végétalisation des zones dégradées.

Pour profiter des avantages de l'épandage, une bonne gestion des biosolides municipaux et des boues de fosses septiques traitées est nécessaire. Une bonne gestion exige la prise en compte de la qualité des résidus d'épuration, des taux de minéralisation, des doses d'épandage ainsi que de la période et du lieu d'épandage. Pour obtenir de plus amples renseignements et connaître les facteurs de gestion à considérer lors de l'élaboration d'un programme d'épandage. Une gestion inappropriée risquerait de causer des effets néfastes sur l'environnement (notamment la lixiviation d'éléments nutritifs suite à l'épandage d'une quantité d'éléments nutritifs supérieure aux besoins nutritionnels des cultures) et d'autres effets imprévus.

*a. Éléments nutritifs*

Les biosolides municipaux et les boues de fosses septiques traitées contiennent des éléments nutritifs majeurs et mineurs essentiels à la croissance des plantes et utiles à la fertilisation du sol. La matière organique qu'ils contiennent peut servir à atténuer les effets de la lixiviation de certains éléments nutritifs tout en favorisant la minéralisation des éléments nutritifs avec le temps.

La minéralisation est la conversion, à l'intérieur du sol, de composés organiques en substances ioniques inorganiques (minérales) qui sont plus facilement assimilables par les plantes dans la solution du sol. La minéralisation est un important procédé, car elle libère de l'azote, du phosphore, du soufre et d'autres éléments nutritifs sous une forme que peuvent absorber les plantes. Parmi les facteurs qui influencent le taux de minéralisation, on peut mentionner le pH, l'humidité, l'aération et la température.

La libération d'éléments nutritifs biodisponibles par les résidus d'épuration dépend des facteurs suivants :

- Les conditions environnementales locales
- La concentration d'éléments nutritifs dans les résidus d'épuration
- Les propriétés des éléments nutritifs (forme organique ou inorganique)
- Le degré de stabilisation des résidus d'épuration ou s'ils sont sous une forme liquide ou déshydratée.

Pendant le traitement, les biosolides municipaux et les boues de fosses septiques font l'objet d'une stabilisation qui favorise le développement de complexes nutritifs organiques par ingestion, ce qui entraîne la formation de biomasse. Ce phénomène se traduit par la libération graduelle de divers éléments nutritifs, dont la durée dépend des taux de minéralisation des éléments nutritifs organiques, et par une meilleure rétention d'eau comparativement à ce qu'on observe avec l'épandage de fumier non traité ou d'engrais minéraux classiques. Par exemple, le taux de minéralisation de l'azote (libération d'azote biodisponible) varie en proportion inverse avec la stabilité des résidus : les fumiers présentent le taux de minéralisation le plus élevé, suivis des biosolides municipaux et des composts.

L'épandage de biosolides municipaux et de boues de fosses septiques traitées fournit de l'azote et du phosphore au sol et en améliore la structure. Il fournit également des éléments nutritifs mineurs utiles aux végétaux, mais ces éléments ne sont pas nécessairement présents dans les proportions requises ou sous des formes biodisponibles. Les concentrations d'azote et de phosphore présentes dans les biosolides municipaux et les boues de fosses septiques traitées dépendent de la qualité de l'affluent et du niveau de traitement.

Diverses études ont comparé les résultats de l'épandage de biosolides municipaux et de l'épandage de fumier brut ou de compost de fumier. Les comparaisons entre les biosolides municipaux et divers types de fumiers montrent généralement que ces substances contiennent des gammes étendues de concentrations d'azote (de 1 à 10,8 %, base sèche) et de phosphate (de 0,7 à 7,5 %, base sèche), ainsi que de la matière organique et la plupart des éléments traces. Les biosolides municipaux se distinguent principalement des fumiers par leur teneur en microorganismes (les fumiers bruts présentent des niveaux de E.coli et de Salmonella supérieurs de plusieurs ordres de grandeur à ceux des biosolides municipaux traités) et par leur masse volumique (les biosolides municipaux sont en général plus denses que les fumiers à cause des procédés de déshydratation dont ils ont fait l'objet). L'épandage de ces deux types de substances procure des avantages sur le plan de la teneur en matière organique et de l'amendement des sols.

Toutefois, les biosolides municipaux et le fumier du bovin se distinguent par le taux de minéralisation de la fraction organique : les données disponibles portent à conclure que ce taux est plus élevé dans les fumiers que dans les biosolides municipaux.

#### *a.1. Azote*

La concentration et la disponibilité de l'azote présent dans les résidus d'épuration peuvent varier énormément selon la source des résidus d'épuration et le procédé de traitement. Cet azote peut être présent sous diverses formes, y compris sous forme d'azote organique (par exemple lié dans des molécules organiques comme les protéines), de nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ), de nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) et d'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ). À l'exception des biosolides municipaux et des boues municipales issues de procédés de digestion aérobie, la plupart des résidus d'épuration contiennent des concentrations de nitrates et de nitrites négligeables; l'azote organique y prédomine, en particulier dans les résidus d'épuration secs. Il est donc important de pouvoir déterminer les taux de minéralisation de l'azote organique contenu dans les résidus d'épuration afin d'estimer la biodisponibilité de l'azote pour les plantes.

L'azote inorganique (par exemple  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_3$  et  $\text{NH}_4$ ) contenu dans les biosolides municipaux et les boues de fosses septiques traitées peut être assimilé par les plantes. La portion disponible de cet azote correspond à la quantité d'azote inorganique totale, moins les pertes subies par volatilisation, immobilisation ou lixiviation aux autres stades du cycle de l'azote.

L'azote organique contenu dans les biosolides municipaux et les boues de fosses septiques traitées n'est pas directement assimilable par les plantes. Une fraction de cet azote subit une minéralisation (transformation en formes inorganiques biodisponibles par les microorganismes du sol) au cours de l'année qui suit l'épandage. La quantité d'azote biodisponible au cours de la première année correspond à la somme de l'azote inorganique et de l'azote organique minéralisé.

Les taux de minéralisation sont à prendre en considération lors de la préparation d'un plan de gestion des éléments nutritifs (aussi appelé « plan agroenvironnemental de fertilisation ») propre à un site donné. Au moment de la préparation d'un tel plan, il convient de prendre en considération les facteurs suivants :

- Le taux de minéralisation des biosolides municipaux,
- La vitesse de volatilisation de l'ammonium,
- La concentration de nitrate et d'ammonium dans les biosolides municipaux,
- Le type de culture,
- Le niveau de fertilité du sol.

Ces facteurs aideront à déterminer la dose d'épandage à administrer pour combler les besoins nutritionnels des cultures.

Les transformations de l'azote sont importantes puisqu'elles influent sur la croissance et la vigueur des plantes ainsi que sur l'activité microbienne. Ces transformations dépendent de l'humidité du sol, de sa température, de sa porosité, ainsi que de l'activité microbienne et de l'aération du sol.

L'azote est un des éléments nutritifs les plus importants pour la croissance des plantes. L'amendement des sols par l'épandage de biosolides municipaux ou de boues de fosses septiques traitées peut procurer une source complémentaire d'azote et ainsi contribuer à réduire l'utilisation d'engrais azotés classiques.

Les doses d'épandage de biosolides municipaux et de boues de fosses septiques traitées sont souvent basées sur la teneur en azote. Les doses d'épandage sont établies en tenant compte des facteurs suivants :

- Des besoins agronomiques en azote du type de culture visé,
- De la teneur en azote des biosolides municipaux ou des boues de fosses septiques traitées,
- Du taux de minéralisation de l'azote (taux qui peut être calculé, estimé à partir de la littérature ou basé sur une mesure approximative prudente),
- De la perte d'azote survenant avant l'absorption par les plantes (par exemple à cause de la méthode d'épandage utilisée),
- De l'azote provenant d'autres sources (par exemple engrais minéraux).

La dose agronomique doit être calculée de manière à réduire au minimum les risques d'effets environnementaux indésirables dus à la lixiviation de l'azote. Il convient par ailleurs d'éviter un apport trop élevé de phosphore ou d'autres éléments qui risquent de nuire aux écosystèmes sensibles.

### *a.2. Phosphore*

Le phosphore est un élément nutritif majeur présent dans les résidus d'épuration sous deux formes : organique et inorganique (phosphate). Le phosphore inorganique est souvent la forme dominante dans les résidus d'épuration. Le phosphore organique doit subir une minéralisation dans le sol avant de devenir assimilable par les végétaux.

Le traitement biologique des eaux usées n'a souvent aucune incidence sur la « disponibilité » du phosphore. La proportion du phosphore total disponible pour les plantes au cours de la première année qui suit l'épandage varie d'environ 50 à 80 %.

À la différence du traitement biologique, le traitement chimique qui consiste à ajouter de l'alun ou du chlorure ferrique aux eaux usées afin de précipiter le phosphore dissous ou soluble, réduit la « disponibilité » du phosphore comparativement à sa « disponibilité » en eaux usées brutes. De façon générale, la disponibilité du phosphore dans les biosolides municipaux varie selon le procédé de traitement comme suit : enlèvement du phosphore par des procédés biologiques > traitements sans ajout d'aluminium, de sels de fer ou de chaux

(c-à-d principalement du calcium) > traitements avec ajout d'aluminium, de sels de fer ou de chaux ou biosolides séchés à la chaleur. Le phosphore lié dans ces complexes d'aluminium ou de fer n'est pas facilement assimilable par les plantes (< 25 % comparativement au superphosphate triple).

Le phosphore contenu dans les engrais agricoles traditionnels est extrait du phosphate naturel. On estime que les réserves existantes de phosphate naturel pourraient être épuisées d'ici 50 à 100 ans, ce qui provoquerait une pénurie mondiale de phosphore.

L'épandage de résidus d'épuration, qui contiennent du phosphore, pourrait réduire la consommation d'engrais phosphatés traditionnels, ce qui présente un intérêt dans le contexte actuel d'épuisement graduel des sources de phosphore.

### *a.3. Calcium*

La plupart des résidus d'épuration contiennent des concentrations considérables de calcium, soit entre 2,1 et 3,9 % environ, ce qui est comparable aux concentrations mesurées dans les engrais d'origine animale. Si de la chaux est ajoutée aux résidus d'épuration pendant le procédé de stabilisation, par exemple 30 % de chaux à la matière sèche, la teneur en calcium des résidus augmente. L'épandage de résidus d'épuration à des doses agronomiques basées sur la teneur en azote pourrait fournir une importante quantité de calcium propre à combler les carences en calcium ou à améliorer le pH du sol, s'il y a lieu.

### *a.4. Soufre*

La plupart des résidus d'épuration contiennent des concentrations considérables de soufre, un élément qui stimule la croissance des végétaux et la formation des grains. Dans les résidus d'épuration, le soufre se présente sous forme biodisponible (oxydation des sulfures) ou à libération lente (décomposition de la matière organique).

L'épandage de résidus d'épuration à des doses agronomiques basées sur la teneur en azote répond d'ordinaire aux besoins en soufre des cultures.

### *b. Matière organique*

La matière organique est dérivée des plantes et des animaux. Les résidus d'épuration utilisés en épandage contiennent généralement des concentrations importantes de matière organique. L'épandage de biosolides municipaux et de boues de fosses septiques traitées, augmente la

teneur du sol en matière organique, en améliore les propriétés physiques, chimiques et biologiques notamment sa capacité de rétention d'eau et sa capacité d'échange cationique (CEC) et favorise le maintien de la faune microbienne du sol.

La CEC désigne l'aptitude du sol à retenir les éléments cationiques (chargés positivement). L'apport en matière organique augmente cette capacité et peut ainsi favoriser la rétention des éléments nutritifs cationiques utiles aux végétaux apportés au sol. L'ajout d'éléments nutritifs joue un rôle plus important en agriculture intensive, où il permet de remplacer la matière organique dégradée par les cultures annuelles du pacage. La perte de matière organique et d'éléments nutritifs des sols productifs préoccupe le secteur agricole puisqu'elle a atteint des proportions importantes au cours des 20 dernières années.

L'ajout de matière organique stimule également l'activité microbienne dans le sol puisqu'il constitue une source d'éléments nutritifs à court et à long terme pour les microorganismes du sol.

### *c. Structure du sol*

L'épandage de biosolides municipaux et de boues de fosses septiques traitées, améliore la structure du sol grâce à son apport en matière organique. L'ajout de matière organique à la structure du sol présente un certain nombre d'avantages :

- Agrégation des particules du sol,
- Réduction de la densité apparente du sol.

### **II.3.4. Epandage direct des boues résiduaires**

L'épandage de boues ne peut être pratiqué que si celles-ci respectent le principe "d'intérêt agronomique" et soient exemptes de grandes teneurs en polluants inorganiques ou organiques. L'application des boues doit suivre des règles d'épandage. Des distances minimales sont imposées :

- D'épandage vis-à-vis des berges, des sources, des puits, des habitations en évitant une percolation rapide vers les eaux superficielles ou souterraines ou tout ruissellement.
- D'isolement d'au moins 3 mètres vis-à-vis des routes et fossés.

L'épandage est interdit :

- Sur des sols gelés, de forte pente

- Pendant les périodes de forte pluviosité et doit être en dehors des terres régulièrement travaillées (maraîchages).
- Il définit des délais minimaux avant la remise à l'herbe des animaux, et de cultures maraîchères.
- La durée du dépôt (inférieure à 48 heures), et seules sont entreposées les quantités de boues nécessaires à la période d'épandage considérée.

Cependant, des problèmes et des obstacles économiques ou techniques à l'application des règles d'épandage surgissent, ceux-ci comprennent les possibilités de stockage et de transport, l'insuffisance ou l'inadéquation des techniques de stabilisation et de déshydratation. D'autre part, du point de vue hygiénisation, la capacité d'épuration des sols est limitée dans certaines conditions. Ainsi, l'utilisation des boues sans hygiénisation préalable constitue en quelque sorte un retour à la pratique ancestrale de l'épandage des eaux usées brutes.

#### ***a. Intérêt d'une utilisation agricole des boues***

Trois raisons principales justifient l'utilisation des boues en agriculture :

- Apport de fertilisants qui permettent de couvrir, en partie ou totalement en fonction des doses d'apport les besoins des cultures en N et P et éventuellement en Mg, Ca et S, ou bien de corriger rapidement des carences en Zn, Mg, ...
- Apport de composés organiques qui contribuent au maintien du stock humique des sols et à l'activation de la vie biologique des sols.
- Un mode d'élimination relativement économique et qui est généralement bien accepté par les populations, car cette filière relève d'une logique de recyclage.

#### ***b. Cadre législatif et réglementaire***

L'épandage de boues d'épuration dans les sols agricoles n'est envisageable qu'à condition que les boues d'épuration ne dépassent pas un certain seuil en composés traces. Ainsi, pour définir les meilleures conditions d'innocuité pour l'homme et son environnement une législation doit être mise en place (norme NF U44-041(1985), suivie par la directive européenne du 12 juin 1986 et la loi sur l'eau du 3 janvier 1992. Le décret du 8/12/1997 et l'arrêté du 8/1/1998) pour renforcer la réglementation sur l'épandage agricole.

Les points principaux de cette réglementation sont :

- Les producteurs de boues sont responsables des boues jusqu'à leur élimination.
- Les boues doivent avoir fait l'objet d'un traitement de manière à réduire leur pouvoir fermentescible et les risques sanitaires liés à leur utilisation.
- L'épandage des boues ne peut être pratiqué que si celles-ci présentent un intérêt pour les sols ou la nutrition des cultures ou des plantations.
- Les boues doivent être épandues dans les conditions d'une bonne pratique agricole (plan d'épandage, suivi agronomique des épandages, etc.).

*c. Teneurs-limites en éléments-traces dans les boues et les sols*

Les contraintes liées à l'utilisation des boues pour une valorisation agricole découlent principalement de la présence de micropolluants. La réglementation fixe des seuils d'épandage des boues sur les sols, à des fins agricoles, en fonction de la teneur en micropolluants métalliques de la boue et du sol.

*d. Teneurs-limites en micro-polluants métalliques dans les boues*

**Tableau III.1** : Valeurs limites de concentration des métaux lourds dans les boues (mg/kg de matière sèche) autorisées pour leur valorisation en agriculture.

Espèces chimiques	Directive C.E.E	Norme française	
		Limites	Références
<b>Arsenic</b>	-	40	20
<b>Cadmium</b>	20 – 40	2000	1000
<b>Chrome</b>	1000 – 1750	2000	1000
<b>Cuivre</b>	1000 – 1750	20	10
<b>Mercure</b>	16 – 25	-	-
<b>Molybdène</b>	-	400	200
<b>Nickel</b>	300 – 400	1600	800
<b>Plomb</b>	750 – 1200	200	100
<b>Sélénium</b>	-	6000	3000
<b>Zinc</b>	2500 – 4000	800	4000

En cas de dépassement de la teneur limite en un ou plusieurs éléments cités dans le tableau ci-dessus, les boues doivent obtenir une autorisation provisoire de vente précisant les conditions de leur utilisation afin de pouvoir être épandues.

En France, les apports de boues sont calculés sur une période de 10 ans. Ces apports sont limités dès que la teneur en un ou plusieurs des éléments métalliques est comprise entre les valeurs de référence et les valeurs plafonds. En effet, les valeurs de référence correspondent à la moitié des teneurs maximales autorisées. Ces valeurs ont été obtenues en tenant compte des teneurs des sols en éléments métalliques et la quantité totale de boues que peut recevoir une parcelle considérée comme soumise à une bonne pratique agricole, à savoir 3 tonnes /ha/an sur une période de 50 ans (soit 150 tonnes/ha sur 50 ans). Ainsi les valeurs de référence sont celles d'une boue dont l'apport équivaut soit à :

- Doubler la teneur moyenne en éléments métalliques habituellement rencontrée dans les sols,
- Augmenter la teneur-limite fixée par la norme dans les sols d'un pourcentage ne dépassant pas 50%. Dans ce cas, les doses apportées sur une période de 10 ans seront comprises entre 15 et 30 tonnes de MS/ha.

*e. Teneurs-limites en éléments-traces dans les sols*

L'épandage de boues est interdit quand la teneur du sol en un ou plusieurs éléments est, avant l'apport, supérieur ou égal à l'une des valeurs limites fixées.

**Tableau III.2** : Teneurs maximales des métaux lourds admissibles dans les sols pour une valorisation agricole des boues.

Métal	Teneurs maximales autorisées dans le sol (mg kg <sup>-1</sup> MS)	
	Normes NFU 44-041	Directive C.E.E
<b>Cadmium</b>	2	3
<b>Chrome</b>	150	200
<b>Cuivre</b>	100	140
<b>Mercure</b>	1	1.5
<b>Nickel</b>	50	75
<b>Plomb</b>	100	300
<b>Sélénium</b>	10	-
<b>Zinc</b>	300	300

Pour limiter le transfert sol-plante, l'apport de boues est interdit si le pH du sol est inférieur à 6 après l'épandage. En effet, la mobilité des éléments métalliques est considérablement augmentée lorsque le pH diminue. Ceci justifie l'interdiction de l'épandage sur les sols à pH inférieur à 5 et l'exigence de chauler les boues dans le cas des sols ayant un pH compris entre 5 et 6 avant épandage afin de limiter la mobilisation des éléments métalliques.

### ***II.3.5. Utilisation des boues traitées***

La réduction du pouvoir fermentescible des boues et leur hygénisation des germes pathogènes dépend des performances des procédés de stabilisation.

Les techniques de stabilisation chimique par chaulage ou autres telles que le traitement aux nitrites à pH acide, se basent sur un blocage de l'activité biologique. La stabilisation par chaulage a connu un développement soutenu depuis plusieurs années en raison de son efficacité vis-à-vis de la maîtrise des nuisances olfactives et de l'intérêt calcique des boues chaulées pour les sols acides. Cependant, la consommation en réactifs chimiques de ce procédé peut le rendre rédhibitoire par ce coût, ainsi que par la nécessité de prendre des précautions en termes d'hygiène et de sécurité.

Les procédés de stabilisation biologique sont des techniques relativement peu onéreuses dans leur mise en œuvre. Le principe général des traitements biologiques est d'exploiter certaines activités microbiennes en les stimulants de manière contrôlée afin de réduire les nuisances

potentielles des déchets (odeurs, caractère polluant au sens large du terme) et de les valoriser sous forme énergétique ou sous forme de matériau.

La méthanisation ou digestion anaérobie poursuit le double objectif de valorisation énergétique par récupération de méthane ( $\text{CH}_4$ ) et de stabilisation des déchets organiques. Cependant, la valorisation agricole directe du digestat est rarement pratiquée car elle rencontre bon nombre de problèmes. D'une part, la recherche d'une productivité élevée en méthane, privilège une réduction du temps de séjour au détriment du rendement d'épuration. La matière organique du digestat ne possède pas de bonnes propriétés agronomiques, car il ne s'agit pas d'une matière humidifiée. De plus, un certain nombre de risques sanitaires peuvent exister (présence potentielle de germes pathogènes), car l'effet thermique d'hygiénisation (comme dans le cas du compostage) n'a pas lieu en anaérobiose.

Le compostage permet de poursuivre plusieurs objectifs en même temps : stabilisation du déchet pour réduire les pollutions ou nuisances associées à son évolution biologique, diminution du volume des boues due à la dégradation des composés organiques et au séchage induit par la nature exothermique du procédé et production en fin d'un compost riche en substances humiques valorisable comme amendement organique des sols.

#### ***II.3.5.1. Les conditions d'utilisation des boues autorisées pour l'épandage***

Mettre en place une organisation d'épandage qui commence chez le producteur de boues par un contrôle du bon fonctionnement des procédés d'épuration. Chaque épandage fait l'objet d'un plan d'épandage.

- ❖ Porter des vêtements spécifiques lors de l'épandage, utiliser des gants de travail et des masques pour se protéger des aérosols. Laver le matériel d'épandage en fin de journée.
- ❖ Utiliser des dispositifs étanches pour tout stockage de boues pour assurer leur transport. Les aires de soutirage ou de chargement doivent être faciles à nettoyer. Un stockage, en tête de parcelle et de courte durée (maximum 4 semaines pour les boues pâteuses), est autorisé si des précautions ont été prises pour éviter les écoulements de boues ou de lixiviats dans le milieu naturel. Les distances minimales avec les ressources en eau sont à respecter. Pour les boues non hygiénisées, la localisation des stockages temporaires doit respecter une distance de 100 mètres avec les habitations.

### ***II.3.5.2. Les recommandations générales en vue de la protection des ressources en eau***

Un diagnostic hydrogéologique et pédologique est obligatoirement inclus dans l'étude de mise en place du plan d'épandage afin de déterminer l'aptitude des sols à l'épandage.

#### ***a. L'épandage est interdit :***

- Au moins de 35 mètres des points d'eau apparents ou souterrains destinés à l'alimentation humaine ou à l'arrosage des cultures maraichères.
- Au moins de 200m des lieux de baignade en dehors des terres régulièrement exploitées Pendant les périodes de gel ou d'enneigement.
- Lorsque le sol est saturé d'eau
  - Si la pente du terrain est  $> 7\%$ ,
  - Si la nappe phréatique est à une profondeur  $< 1$  mètre.
- Interdiction d'épandre des boues liquides sur terrains situés au moins de 200 mètres des cours d'eau, des puits et des forages.

### ***II.3.5.3. Réglementation***

L'épandage est strictement encadré par la réglementation : il n'est autorisé que si le producteur des boues a préalablement réalisé un plan d'épandage complet comprenant notamment :

- ***Des analyses régulières de boues*** : valeur agronomique, éléments traces métalliques, micropolluants organiques. Les valeurs en métaux et micropolluants organiques ne doivent pas dépasser certaines valeurs.
- ***L'analyse de l'aptitude à l'épandage*** des terrains mis à disposition par les agriculteurs (exclusion des zones en forte pente, des abords des habitations, des cours d'eau, des puits et forages...).
- ***L'identification précise des parcelles*** susceptibles de recevoir des boues.
- ***La détermination d'une dose d'apport*** qui respecte les besoins des cultures en azote et en phosphore.
- ***Des bilans de fertilisation*** sur chaque exploitation : les exploitations acceptant les boues doivent avoir suffisamment de capacités d'accueil en azote et phosphore (c'est-

à-dire que leurs effluents d'élevage ne suffisent pas à satisfaire les besoins de leurs cultures).

- **Des analyses des sols des parcelles** mises à disposition par les agriculteurs : valeur agronomique, éléments traces métalliques (certaines valeurs limites ne doivent pas être dépassées).
- **Un contrat signé** entre le producteur de boues (la commune, la laiterie...) et chaque agriculteur prenant des boues qui détermine précisément les engagements de chacun.

Ce plan d'épandage doit être déposé en préfecture puis validé (récépissé de déclaration ou arrêté d'autorisation en fonction de la quantité de boues épandues). Des risques de pénalités sont encourus par le producteur de boues et/ou l'agriculteur recevant des boues (réduction des aides PAC au titre du domaine " environnement ") si :

- Le producteur de boues ne dispose pas d'un tel plan d'épandage complet et validé assorti d'une convention signée avec les agriculteurs recevant des boues.
- L'agriculteur recevant des boues est amené à épandre sur des terrains absents de ce plan d'épandage.

De plus, les stations les plus importantes (> 2000 équivalents habitants) se doivent de mettre en place un suivi agronomique annuel des épandages de boues sous la forme de :

- **Un programme prévisionnel d'épandage**, définissant les parcelles proposées à l'épandage et la dose prévue et récapitulant les résultats d'analyses de boues prises en compte.
- **Un bilan agronomique**, synthétisant les parcelles ayant réellement reçu des boues, les doses réellement épandues, les conseils de fertilisation complémentaire à apporter sur les parcelles épandues en boues et les analyses de sols et de boues réalisées dans l'année.

#### **b. Risques liés à l'épandage**

Les réglementations sur l'épandage fixent des teneurs limites en métaux lourds ou plutôt en certains métaux lourds, ainsi que des contrôles physiosanitaires. Mais il y a, évidemment, toujours une part d'inconnu. Le platine, par exemple, est exclu de la liste, et n'est donc pas contrôlé.

Une partie des éléments métalliques est transférée par la voie biologique (plantes et animaux) dans la chaîne alimentaire. "Le végétal est une source non négligeable de contamination de l'homme par le cadmium qui est le cumulatif de tous les éléments-traces envisagés : nous naissons avec environ 1  $\mu\text{g}$  de Cd dans notre organisme et, à l'âge adulte, nous en avons stocké 30 à 40 mg principalement dans notre rein qui est, de ce fait, l'organe cible de ce métal".

A travers la réglementation, la valorisation des boues en agriculture prend en compte ces risques pour assurer l'innocuité de l'épandage. Ainsi, le risque sanitaire est réduit dans le cas de respect des conditions d'épandage.

**chapitre IV:**

# **Matériels et méthodes d'analyses**

## ***I. Introduction***

Ce chapitre énumère les différentes techniques d'analyse, utilisées dans cette étude, des différents prélèvements de boue résiduaire.

## ***II. Echantillonnage de la boue et caractérisation de la boue***

La boue concernée par cette étude a été récupérée de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Guelma située dans la commune d'Héliopolis. Selon l'âge de la boue, deux échantillons ont été prélevés du site de stockage des boues, tels que :

**B1** : boue 2010

**B2** : boue produite en 2013

Les boues d'épurations sont les résidus du traitement des effluents liquides dans les stations d'épuration. Ces boues sont constituées de matières organiques et de matières minérales.

Les boues d'épuration sont caractérisées par leur taux de matières sèche et organique.

Ces deux paramètres dépendent du mode de traitement des effluents.

Un certain nombre de paramètres doivent être déterminés pour la caractérisation physique puis chimique de la boue. Les protocoles expérimentaux de la détermination des paramètres de la boue sont les suivant :

## ***III. Caractérisation physique de la boue***

### ***III.1. Détermination de la matière sèche et de la teneur en eau***

Afin de déterminer le teneur en matière sèche de la boue, une masse  $m$  a été mise dans l'étuve à 105°C pendant 24 h, la boue a été ensuite pesée à la sortir de l'étuve (on remarque une augmentation progressive de la masse de la boue au fur et à mesure que le temps s'allonge à la sortie de l'étuve, dû à l'absorption de l'humidité de l'air). La masse ainsi pesée sera notée  $m_1$  :

Le pourcentage d'eau dans la boue appelé taux d'humidité est calculé comme suit :

$$T_h = ((m - m_1)/m).100 \quad (IV.1)$$

#### ***III.1.1. Détermination de la Siccité***

Elle se réalise sur des boues solides dont on ne peut pas mesurer le volume.

**a. Mode opératoire**

Peser une coupelle de porcelaine, propre et sèche : poids  $P_0$  en g.

-Déposer dans cette coupelle l'équivalent d'une noix de boue à analyser, peser à nouveau la coupelle au poids  $P_1$  en g.

Afin d'améliorer la précision de l'analyse, le poids de boue pesé doit être important, de l'ordre de 50 g environs.

La différence  $P_1 - P_0$  correspond au poids total de la boue analysée.

-Placer au four à  $105^\circ\text{C}$  jusqu'à évaporation totale de l'eau contenue dans la boue. Cette étape nécessite une nuit (12 h environs).

-Peser la coupelle, après refroidissement, dans un dessiccateur : poids  $P_2$  en g.

**b. Expression des résultats**

La siccité qui est le rapport en % des MS (matières sèches) par rapport au poids totale de la boue sera donnée par l'expression suivante :

$$\text{Siccité} = 100 * [(P_2 - P_0)/(P_1 - P_0)] \quad (\text{IV.2})$$

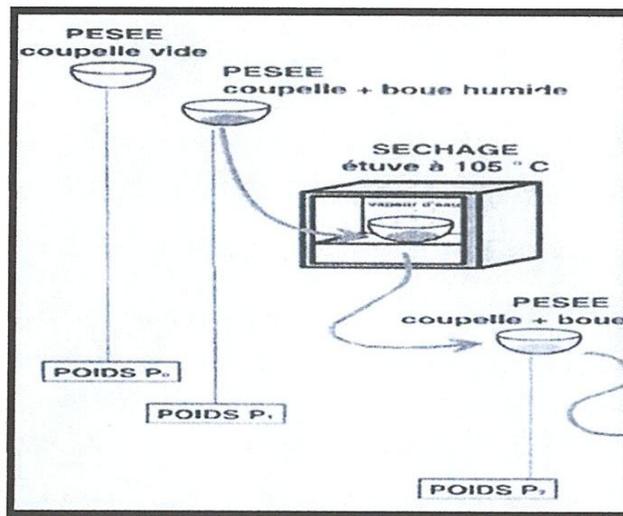


Figure IV.1 : Protocole du la détermination de la siccité.

Tableau IV.1 : La siccité dans différentes formes de la boue :

<i>Boue</i>	<i>Siccité (%)</i>
<i>Liquide</i>	$\leq 10$
<i>Pâteuse</i>	12 à 25
<i>Solide</i>	25 à 85
<i>Sèche</i>	$> 85$

$$\text{Boue} = \text{Eau} + \text{Matières sèches}$$

$$100\% = \text{Humidité (\%)} + \text{Siccité (\%)}$$

### III.2. détermination de la densité

Il existe deux types de densités :

- La densité (masse volumique) absolue ou vraie qui est le rapport entre la masse absolue de l'échantillon et le volume absolue (sans pores) de la matière proprement dite.
- La densité (masse volumique) apparente c'est le rapport entre la masse du produit sec mesuré en gramme et son volume apparent qui est le volume total de la matière, des pores entre les grains et les pores à l'intérieur des grains.

#### III.2.1. densité absolue

##### a. Mode opératoire

Prendre un pycnomètre vide, le peser vide, mettre quelque grammes (15-20 g) de la poudre obtenue par broyage et le tamisage de l'échantillon au tamis de (0,1-0,25 mm) on le repese, ajoute une quantité d'eau distillé jusqu'à la moitié du flacon et le laisse bouillir pendant 15 min pour permettre l'échappement des gaz. Remplir le pycnomètre d'eau jusqu'au bouchon le peser, en fin le vider, le remplir d'eau distillé et prendre la pesée une autre fois.

**b. Expression des résultats**

La densité vraie est calculée d'après l'expression suivante :

$$D_v = [(g_1 - g_0) / (g_1 - g_0) - (g_2 - g_3)] * \rho \quad (IV.3)$$

Avec

$D_v$  : densité vraie en (g/cm<sup>3</sup>)

$g_0$  : poids du pycnomètre vide avec son bouchon(g)

$g_1$  : poids du pycnomètre vide avec son bouchon + la matière (g)

$g_2$  : poids du pycnomètre vide avec son bouchon + la matière + eau distillée (g)

$g_3$  : poids de pycnomètre vide avec son bouchon + eau distillée (g)

$\rho$  : masse volumique de l'eau égale à 1g/ cm<sup>3</sup>.

**III.2.2. Densité apparente**

**a. Mode opératoire**

Un récipient cylindrique a d'abord été pesé à vide, sa masse est notée M. Puis, à l'aide d'un entonnoir placé au-dessus du centre du récipient, la boue est versée dans le récipient jusqu'à débordement. Le surplus de la boue est ensuite arasé avec une règle.

A la fin, le récipient plein est pesé et cette masse sera notée M', le volume du récipient étant calculé.

**b. Expression des résultats**

La densité apparente de la boue sera déterminée en utilisant l'équation ci-dessous :

$$\text{Densité apparente} = (M' - M) / \pi r^2 L \quad (IV.4)$$

Avec :

$r$  : rayon du récipient.

$L$  : hauteur du récipient.

### **III.3. Détermination de la granulométrie par tamisage**

#### **a. Principe**

L'analyse granulométrique permet de déterminer et d'observer les différents diamètres de grains qui constituent un granulat. Pour cela l'analyse consiste à séparer et classer à l'aide de tamis, ces grains selon leur diamètre. Les grains ainsi isolés peuvent être pesés pour déterminer la proportion de chacun dans le granulat. La représentation graphique de l'analyse permet d'observer et d'exploiter ces informations très simplement.

Le refus désigne la partie des grains retenue dans un tamis. Le refus cumulé représente tous les grains bloqué jusqu'au tamis considéré (les grains du tamis considéré plus les grains bloqués dans les tamis de mailles supérieure). Le tamisat ou passant, désigne la partie qui traverse le tamis.

Les masses cumulées des différents refus sont exprimées en pourcentage par rapport à la masse initiale de l'échantillon de granulat. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités soit numériquement soit graphiquement. Cela permet d'observer la proportion de refus cumulé ou de tamisat jusqu'à diamètre de grain par rapport au granulat (la présentation graphique est plus explicite).

#### **b. Mode opératoire**

##### **➤ Préparation de l'échantillon pour l'essai**

La première question qui se pose est de choisir une masse d'échantillon à tamiser. Ce choix de masse doit vérifier plusieurs contraintes. En effet, il faut que l'échantillon analysé soit en quantité suffisante pour être mesurable et pas trop important pour éviter de saturer les tamis ou de les faire déborder. Cet échantillon doit être séché ; sa masse sèche notée  $M_1$  est relevée.

##### **➤ Exécution de l'essai**

L'analyse granulométrique doit permettre de séparer les grains ; d'un granulat et de les classer par diamètre. Le diamètre des mailles des tamis définit ces classes. La vibration fait descendre au travers les tamis les grains, jusqu'à ce qu'ils soient bloqués par le tamis de la maille correspondante au diamètre voulu.

### ➤ *Tamissage*

Cette partie décrit les opérations de tamissage par vibration. Il fixe également les conditions à vérifier lors de ces opérations.

Le matériau séché est versé dans la colonne de tamis. Cette colonne est constituée par l'emboîtement des tamis, en les classant de haut en bas dans l'ordre de mailles décroissantes. Le choix des tamis nécessaires à l'analyse, se fait à l'œil nu, qui est un bon indicateur pour classer approximativement un granulat.

Agiter manuellement ou mécaniquement cette colonne, puis reprendre un à un les tamis commençant par celui qui a la plus grande ouverture en adaptant un fond et un couvercle. On agite chaque tamis en donnant au grain des coups réguliers sur la monture. D'une manière générale, on peut considérer qu'un tamissage est terminé lorsque le refus sur un tamis ne se modifie pas de plus de 1% en une minute de tamissage. Cette condition fixée par la norme pour savoir quand stopper le tamissage par vibration, est largement vérifiée au bout de 10 minutes de vibration.

### ➤ *Pesée*

Un récipient pour recueillir les granulats, est posé sur la balance, est tarée. Le plus grand tamis est vidé dans le récipient. Sans vider ce dernier, le tamis suivant est à son tour vidé dans le récipient. La balance indique le cumul des masses des granulats refusés dans chaque tamis. Cette opération est reproduite ainsi de suite jusqu'au dernier tamis.

## ***III.4. Mesure de la température***

La température est exprimée à l'aide d'un appareil de mesure multi paramètres. L'eau à analyser est introduite dans un bécher qui a été plusieurs fois lavé avec de l'eau de robinet puis avec de l'eau distillée, la sonde de mesure de température est ensuite immergée dans le bécher.

## ***III.5. Mesure du pH***

Le pH représente la concentration des ions hydrogènes dans une solution. Cette mesure est importante, car le pH régit un grand nombre d'équilibres physicochimiques. Pour la détermination du pH, on suit les étapes ci-dessous :

- Homogénéisation de l'échantillon non séché avec une spatule afin d'obtenir un échantillon représentatif,
- Un poids d'échantillon (environ 10 g) est mis en contact avec 100 g d'eau,
- Agitation pendant 5 min à la température ambiante avec un agitateur mécanique,
- Mesure du pH sur la portion liquide uniquement après la décantation.

On fait cette mesure généralement par un appareil à électrode (pH-mètre).

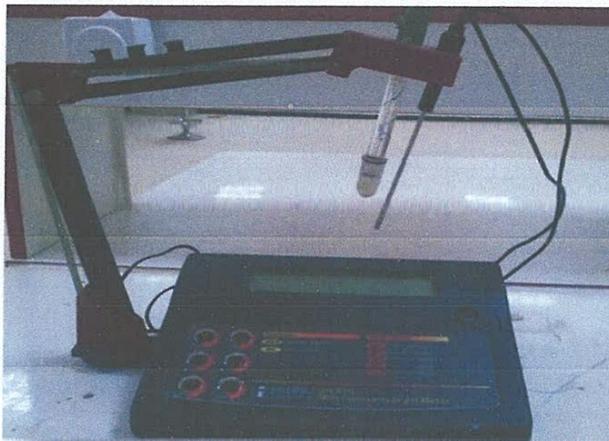


Figure IV.2 : Image d'un pH mètre.

### ***III.6. Mesure de la conductivité***

#### ***a. Principe***

La conductivité d'une solution est la mesure de la capacité des ions à transporter le courant électrique. Ce passage du courant électrique s'effectue par la migration des ions dans un champ électrique produit par un courant alternatif.

Un courant alternatif est utilisé afin d'atténuer la perturbation due à la polarisation des électrodes résultant du passage d'un courant électrique. Les électrolytes peuvent être considérés comme des conducteurs métalliques, et ils obéissent à la Loi de Ohm. En appliquant une force électromotrice constante entre les électrodes, la variation de l'intensité de courant est inversement proportionnelle à la résistance de la solution.

La conductivité d'une solution dépend de la concentration des ions présents et de leur vitesse de migration sous l'influence de la force électromotrice appliquée. Plus l'électrolyte est diluée, plus la conductivité diminue, car il y a moins d'ions par volume de solution pour assurer le transport du courant.

La conductivité d'une solution est définie comme l'inverse de la résistance d'un volume de  $1,0 \text{ cm}^3$  de solution. Sa mesure s'effectue par l'utilisation d'une cellule de conductivité couplée à un conductimètre et la conductivité s'exprime en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .



Figure IV.3 : Image d'un conductimètre.

### *b. Expression des résultats*

La conductivité s'exprime en siemens par mètre, c'est l'inverse de la résistivité qui s'exprime en ohm par mètre et peut être calculée par l'équation suivante :

$$\text{Conductivité} = 1/R * L/S \quad (\text{IV.5})$$

$R$  : est la résistance de la colonne d'eau en ohms

$S$  : sa section en  $\text{cm}^2$

$L$  : sa longueur en cm

$1/R$  : conductance  $G$  exprimée en siemens.

Le rapport  $L/S$  ou  $K$ , représente la constante de la cellule de l'élément de mesure, exprimée en cm. Généralement un élément de constante égale à  $1 \text{ cm}^{-1}$  sera constitué de deux électrodes de 1cm espacées de 1 cm. Les constantes de la cellule de mesure peuvent être choisies pour chaque gamme de mesure comme indiqué dans le tableau ci-dessous:

Tableau IV.2 : Constantes de la cellule de mesure

Gamme de conductivité mesurée en $\mu S/m^{-1}$	Constante recommandée en $m^{-1}$
< 2	1
0,1 à 20	10
1 à 200	100
10 à $2 \cdot 10^{-3}$	1000
100 à $20 \cdot 10^{-3}$	5000

#### IV. Caractérisation chimique de la boue

##### IV.1. Détermination de la demande chimique en oxygène

###### a. Principe

La Demande Chimique en Oxygène (DCO) est la mesure de la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation chimique de toute la matière organique biodégradable ou non contenue dans les eaux à l'aide du bichromate de potassium à 150°C. Elle est exprimée en mg O<sub>2</sub>/l. La valeur du rapport DCO/DBO indique le coefficient de biodégradabilité d'un effluent, il permet aussi de définir son origine.

Généralement la valeur de la DCO est :

DCO = 1.5 à 2 fois DBO Pour les eaux usées urbaines ;

DCO = 1 à 10 fois DBO Pour tout l'ensemble des eaux résiduaires ;

DCO > 2.5 fois DBO Pour les eaux usées industrielles.

La relation empirique de la matière organique (MO) en fonction de la DBO<sub>5</sub> et la DCO est donnée par l'équation suivante :

$$MO = (2 DBO_5 + DCO)/3 \quad (IV.10)$$

La DCO est particulièrement indiquée pour mesurer la pollution d'un industriel.

La détermination comprend deux étapes :

**1<sup>ère</sup> étape :** oxydation des matières réductrices contenues dans l'eau, par excès de dichromate de potassium.

Cette oxydation se réalise en milieu sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), en présence de sulfate d'argent ( $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ ) à ébullition à reflux pendant 2 h dans un ballon ou dans un tube muni dans un réfrigérant.

Les conditions d'oxydation et en milieu sulfurique permettent également d'oxyder de nombreux constituants organiques et elle permet aussi l'oxydation de constituants minéraux réduits comme les sulfures, les sulfates, les chlorures, etc.

Dans le cas de chlorures :



*2<sup>ème</sup> étape* : dosage de l'excès de dichromate de potassium par le sel de Mohr après refroidissement.

La fin du dosage est détectée par le ferroïne indicateur redox. Sa forme oxydée est de couleur bleu-vert en présence de l'oxydant et la première goutte de sel de Mohr en excès entraîne un changement de coloration de la ferroïne qui devient rouge brique (forme réduite) selon la réaction suivante :



### ***b. Matériels***

Les différents matériels dont on aura besoin sont :

- Réacteur DCO
- Flacon DCO + réfrigérant
- Pipettes de 5 ml, 10 ml
- Poire.

### ***c. Mode opératoire***

Dans un ballon de 500 ml de DCO, introduire :

- 10 ml d'eau à analyser ;
- 10 ml d'eau distillée ;
- 0.2g de sulfate de mercure cristallisé.
- 1 ml d'acide sulfurique –sulfate d'argent catalyseur agité jusqu'à dilution.

- 5 ml de solution dichromate de potassium oxydant.

Ajouter quelques granules régulateurs d'ébullition et homogénéiser et agiter soigneusement.

Ajouter lentement et avec précaution 14 ml d'acide sulfurique –sulfate d'argent et raccorder immédiatement la fiole au réfrigérant.

Mettre le réfrigérant et porter à ébullition pendant 2 heures avec reflux dans un chauffant. Refroidir la fiole immédiatement dans l'eau froide à environ 60°C. Enlever le réfrigérant et la refroidir à la température ambiante.

Titre l'excès de  $K_2Cr_2O_7$  par la solution de sel de Mohr 0.25 N (sulfate de fer sulfate d'Ammonium) en présence de 1 à 2 gouttes de ferroïne (virage bleu-vert au rouge).

#### *d. Expressions des résultats*

La demande chimique en oxygène, DCO, exprimée en milligrammes d'oxygène par litre, est donnée par

$$DCO = -(8000.C_{Fe}(V_T - V_e)/PE) \quad (IV.11)$$

$C_{Fe}$ ; Est la concentration, exprimée en moles par litre, de la solution de sel de Mohr déterminée par étalonnage.

$PE$  ; Volume de prise d'essai en ml.

$V_e$ ; Volume de solution de sel de Mohr nécessaire au dosage (ml)

$V_T$ ; Volume de solution de sel de Mohr nécessaire à blanc (ml).

### *V. Dosage des métaux lourds par la Spectroscopie d'absorption atomique*

#### *1. Principe*

Le principe consiste à aspirer l'échantillon sous forme liquide dans une flamme à une température de l'ordre de 1700 à 2550 °C, de sorte qu'il se forme une vapeur atomique (atomes neutres, libres et à l'état fondamental). On irradie cette vapeur avec une lampe spectrale à cathode creuse. Ces lampes émettent des raies de transition des atomes recherchés.

Seuls les atomes recherchés absorbent la radiation excitatrice. Ce qui nous permet de lier l'absorption lumineuse à la concentration des atomes étudiées. Cependant il y a toujours une absorption non spécifique si minime soit-elle. Cette dernière est significativement diminuée par l'emploi d'une lampe au Deutérium (correcteur de bruit de fond). En plus de la simple dilution ou de la minéralisation par voie humide souvent décrite, on préconise l'utilisation d'une solution de modificateur de matrice qui permet de transformer l'élément à doser en ses formes les plus stable thermiquement : composés oxydes, formes réduites ou phosphates, .... La formation des atomes neutres est réalisée par la vaporisation et l'atomisation dans une flamme air-acétylène.

## 2. Appareillage et réactifs

- Solution standard à 1,000 g/l de chaque élément à doser (Cd, Fe, Pb, Zn, Mn, Cu).
- Solution d'acide nitrique 65% pour l'analyse des traces.
- Solution acide nitrique > 69% pour l'analyse par four.
- Solution d'acide chlorhydrique 37%.
- Solution minéralisée.
- Eau pure.
- Eau ultra pure (conductivité égale à 0,0054 $\mu$ S/Cm).
- Nitrate d'Ammonium ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ).
- Chlorure de Palladium ( $\text{PdCl}_2$ ).
- Chlorure Stanneux ( $\text{SnCl}_2$ ) ( $M = 225,63 \text{ g.mol}^{-1}$ ).
- Micropipettes réglable, de capacité 1 ml.
- Fioles jaugées classe A.
- Le spectrophotomètre programmé par un ordinateur et comprend :

Une source d'émission primaire : une tourelle qui peut contenir six lampes pour un dosage successif ;

Une source d'atomisation constituant la cellule d'absorption (aspirateur d'échantillon, nébuliseur, une flamme) ;

- Un sélecteur de radiations : monochromateur ;
- Un four à graphite à injection et dilution intelligente avec correcteur

### ***3. Etalonnage***

Pour chaque élément à doser on prépare une gamme d'étalons à différentes concentrations (en fonction du type de métal), à partir d'une solution mère de 1000 ppm, dans des tubes de 50 ml en complétant le volume avec la solution de dilution 1% d'acide nitrique.

### ***VI. Conclusion***

Dans ce chapitre, on a regroupé les différents méthodes et protocoles d'analyses pour la caractérisation de la composition des boues issues de la STEP. E toutes ces méthodes opératoires suivies on été issues des sources établies et les protocoles faits ont été suivis avec rigueur.

**chapitre V:**

# **Résultats et discussion**

**Tableau V.3** : Valeurs du pH des deux boues.

<i>test</i>	<i>boue</i>	<i>B1</i>	<i>B2</i>
<i>pH</i>		7,4	7,5

Les deux boues affichent des valeurs de pH assez proches de la neutralité, qui cadrent bien dans les normes requises, ce qui devrait normalement convenir à un épandage sans risque sur le sol.

#### **II.4. Détermination de la conductivité**

Cette mesure peut être plus intéressante dans le domaine de l'eau potable que dans celui des eaux usées. Par contre, la variation de ce paramètre, permet de conclure sur une variation de charge polluante. Tout rejet polluant s'accompagne d'un accroissement de la conductivité, il peut même exister des relations DCO – conductivité pour tous types d'eaux résiduaires. Il faut noter également que les traitements physiques ou biologiques n'ont qu'une faible incidence sur ce paramètre et que sa valeur varie peu entre l'eau brute et l'eau traitée. La réglementation sur les rejets des stations d'épuration ne prévoit pas de limites sur ce paramètre.

**Tableau V.4** : Valeurs des conductivités mesurées pour les deux boues.

<i>test</i>	<i>boue</i>	<i>B1</i>	<i>B2</i>
<i>Conductivité (mS/cm)</i>		195,7	121,4

#### **Discussion :**

La variation de la conductivité (195,7 – 121,4 mS/cm) indique une minéralisation et confirme la présence d'anions et de cations, les principaux constituants des eaux usées urbaines. D'autre part, comme il a été dit plus haut, la diminution de la conductivité est témoin de l'absence de rejet polluant dans le réseau de la STEP.

## II.5. Détermination de la densité

Tableau V.5 : Valeurs des densités, absolue et apparente des deux boues.

<i>test</i> \ <i>boue</i>	<i>B1</i>	<i>B2</i>
<i>Densité apparente</i>	0,15	0,16
<i>Densité absolue</i>	1,7	1,95

### Discussion :

Les valeurs de densité apparente des deux boues, n'ont changées que très peu ce qui explique les taux de siccité très voisins. On remarque aussi que les valeurs des deux densités, absolue et apparente pour les deux boues sont proches, ce qui signifie que les boues sont de porosités équivalentes.

## II.6. Détermination de la granulométrie par tamisage

La granulométrie des deux boues a été faite d'après la méthode expliquée dans le chapitre précédent.

Tableau V.6 : Répartition granulométrique des deux boues.

<i>Les boues</i> \ <i>Diamètres</i>	<i>B1</i>	<i>B2</i>
<b>0,5 mm</b>	8,52 %	21,73 %
<b>0,4 mm</b>	6,56 %	17,04 %
<b>0,355 mm</b>	5,9 %	15,18 %
<b>0,25 mm</b>	4,04 %	9,5 %
<b>0,18 mm</b>	2,84 %	6,45 %
<b>0,1 mm</b>	1,42 %	2,3 %
<b>0,05 mm</b>	0,24 %	0,77 %
<b>0,02 mm</b>	0,22 %	0,03 %

### Discussion :

La granulométrie est directement liée à l'humidité, à la porosité et au taux d'oxygène. En se référant aux taux d'humidité précédemment déterminés (tableau V.1) et en examinant les

résultats de la granulométrie, qui montrent un équilibre entre la proportion fine et grossière des deux boues. On peut dire, que les boues étudiées ne présentent pas les inconvénients d'une granulométrie trop fine (étouffement), ni ceux de la granulométrie trop grossière (dessèchement dû à des circulations d'air importantes).

### *III. Caractérisation chimique de la boue*

Une étude récente (2013) réalisée par Sidibé, a porté entre autre sur la caractérisation chimique détaillée des boues (2009, début et fin janvier 2013) issues de la STEP de Guelma. L'étude a révélé des informations précieuses quant à la teneur en Fe, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, NO<sup>3-</sup>...

Les résultats d'analyses trouvés sont en accord avec ceux de la littérature et sont sans risque pour l'environnement. Elles présentent un avantage certain quant à l'apport en éléments fertilisants.

Sur la base des résultats de cette étude, nous avons axé notre étude sur l'évaluation des paramètres physiques et surtout sur la détermination de la teneur en éléments traces métalliques pour décider l'éventuelle utilisation des boues analysées dans la valorisation agricole.

#### *III.1. Détermination de la demande chimique en oxygène, DCO*

La DCO, représente le phénomène d'oxydation chimique des molécules oxydables d'une eau, et ne peut être comparée à la biodégradabilité d'un effluent (déterminée par la DBO<sub>5</sub>). Elle ne permet donc pas de prédire l'effet de la matière organique dans le milieu récepteur. Néanmoins, l'intérêt de cette technique vient de l'oxydation puissante réalisée qui permet de prendre en compte la quasi-totalité des matières organiques d'une eau. Elle permet donc d'estimer de manière assez satisfaisante la quantité totale de matières organiques contenue dans une eau. L'arrête du 22 décembre 1994 fixe, comme valeur limite au niveau des rejets de stations d'épuration, une DCO de 125 mg O<sub>2</sub>/L.

**Tableau V.7 :** Valeurs de la DCO déterminée pour les deux boues.

<i>Boues</i>	<i>B1</i>	<i>B2</i>
<i>DCO (mg d'O<sub>2</sub>/l)</i>	46,8	56,16

en fonctionnement le 18 Février 2008. Les boues sont exclusivement récupérées du traitement des eaux usées domestiques. Les boues sur lesquelles nous avons réalisé notre étude, ont évoluées dans les mêmes conditions mis à part, le réchauffement climatique qui se fait sentir d'année en année.

L'examen des résultats d'analyse, montre globalement que les valeurs des concentrations en ETM dans les boues étudiées, sont dans les normes. Par ailleurs, on constate que les concentrations du Cd, et du Cr de la boue B2, ont augmentées par rapport à celles de la B1, à l'exception du Cu qui a diminué de 133,73 à 102 mg/Kg et du Ni qui n'a que très peu augmenté (de 0,62 mg/Kg). On remarque aussi que la concentration en Zn qui a diminué de plus de la moitié.

Il ne nous a pas été possible de faire le dosage du Pb et du Hg pour la boue B1, pour des raisons qui nous dépassent ; nous pouvons quand même par comparaison avec les résultats de la B2, sachant que malgré que ces métaux lourds s'accumulent avec le temps, le Pb est présent dans la boue de 2013 sous forme de traces infinitésimales (0,018%) de même que le mercure qui y est présent à une concentration inférieure à 0,05 µg/L, ces résultats laissent entrevoir que les teneurs en Pb et en Hg dans la boue B1 (2010) étaient probablement nettement inférieures aux valeurs qu'on vient de voir.

D'après la définition conventionnelle des ETM, qui stipule que ce sont des métaux dont la concentration naturelle moyenne dans la croûte continentale supérieure, est inférieure à 1000 mg/kg. Nous pouvons dire, que tous les résultats d'analyses sur les ETM, sont nettement inférieures aux valeurs permises ; ce qui en fait des boues B1 et B2 de très bonnes candidates pour l'utilisation dans le cadre de la valorisation agricole.

## Conclusion générale et recommandations

La valorisation agricole reste pour l'instant, la voie privilégiée de recyclage des boues. En effet, celles-ci agissent comme un catalyseur de la biologie du sol et seulement comme un engrais au sens strict du terme. C'est surtout en raison de leur richesse en carbone organique, en azote et en phosphore, que les boues sont potentiellement intéressantes pour améliorer les propriétés des sols.

Les amendements en matière organique vont donc améliorer l'ensemble des propriétés d'un sol, ainsi que sa fertilité, en induisant une diminution des besoins en engrais commerciaux. Même si la matière organique ne représente généralement que 5% du sol, c'est un constituant fondamental qui va y jouer différents rôles.

Dans le même contexte, la présente étude s'inscrit dans la valorisation agricole éventuelle des boues issues de la station d'épuration de la wilaya de Guelma. Nous avons à cet effet réalisé une caractérisation physique, et quantifié la teneur de ces boues en éléments traces métalliques, par ailleurs, nous avons utilisés comme référence les résultats d'une étude récente qui a porté entre autres sur la détermination de la teneur en éléments fertilisants de boues issues de la même STEP.

Les résultats de notre étude sont prometteurs ; les teneurs de nos deux boues en ETM, se sont avérées toutes inférieures aux normes, et comme il a été prouvé précédemment que les boues de la même STEP, étaient riches en éléments fertilisants, il ne reste plus qu'à lancer la valorisation agricole de ces boues, régie par une réglementation stricte.

A cet effet, nous proposons quelques recommandations pour assurer une organisation réussie et durable de l'utilisation agricole des boues d'épuration.

- Une large information pour que les épandages soient clairement acceptés par tous.
- Une organisation à l'échelle d'un territoire pour une harmonieuse répartition des épandages.
- Un contrôle analytique bien organisé pour garantir la connaissance des boues épandues et des sols récepteur.
- Un bon raisonnement de l'épandage pour valoriser au mieux les propriétés fertilisantes des boues.

## *Références bibliographiques*

- [1] [www.safewater.org/PDFS/resourcesknowthefacts/traitement+eaux+usees.pdf](http://www.safewater.org/PDFS/resourcesknowthefacts/traitement+eaux+usees.pdf). Consultation 14 Mars 2014.
- [2] [www.ademe.fr/partenaires/boues/Documents/MondeDesBoues.pdf](http://www.ademe.fr/partenaires/boues/Documents/MondeDesBoues.pdf). Consultation 14 Mars 2014.
- [3] [www.ceser-iledefrance.fr/documents/rapport\\_pdf/rapport/02\\_agri\\_boues/rapport-boues-epuration-ile-france-perspectives-gestion.pdf](http://www.ceser-iledefrance.fr/documents/rapport_pdf/rapport/02_agri_boues/rapport-boues-epuration-ile-france-perspectives-gestion.pdf). Consultation 17 Mars 2014
- [4] [www.eau-loire-bretagne.fr/les\\_rendez-vous\\_de\\_leau/les\\_rencontres/Rencontres\\_2012/Biblio\\_RE\\_boues.pdf](http://www.eau-loire-bretagne.fr/les_rendez-vous_de_leau/les_rencontres/Rencontres_2012/Biblio_RE_boues.pdf). Consultation 25 Mars 2014.
- [5] [www.ccme.ca/assets/pdf/pn\\_1474\\_biosolids\\_guidance\\_fr\\_1.0.pdf](http://www.ccme.ca/assets/pdf/pn_1474_biosolids_guidance_fr_1.0.pdf). Consultation 2 Avril 2014.
- [6] [ethesis.inp-toulouse.fr/archive/00000074/01/amir.pdf](http://ethesis.inp-toulouse.fr/archive/00000074/01/amir.pdf). Consultation 10 Avril 2014.
- [7] [www.eau-loire-bretagne.fr](http://www.eau-loire-bretagne.fr). Consultation 10 Avril 2014.
- [8] [www.amorce.asso.fr/IMG/pdf/dt51\\_houes\\_de\\_step\\_\\_traitement\\_valorisation\\_e\\_limination.pdf](http://www.amorce.asso.fr/IMG/pdf/dt51_houes_de_step__traitement_valorisation_e_limination.pdf). Consultation 15 Avril 2014.
- [9] [Www.pseau.org/outils/ouvrages/inrs\\_le\\_traitement\\_des\\_eaux\\_usees\\_2004.pdf](http://www.pseau.org/outils/ouvrages/inrs_le_traitement_des_eaux_usees_2004.pdf). Consultation 15 Avril 2014.
- [10] [Www.environnement.ens.fr/IMG/Traitement.pdf](http://www.environnement.ens.fr/IMG/Traitement.pdf). Consultation 25 Avril 2014.
- [11] [Www.ummt0.dz/IMG/pdf/These\\_de\\_DOCTORAT\\_META\\_HRI\\_MS\\_en\\_PDF.pdf](http://www.ummt0.dz/IMG/pdf/These_de_DOCTORAT_META_HRI_MS_en_PDF.pdf). Consultation 3 Mai 2014.
- [12] A.GOUASMIA. Extraction du chrome et d'autres cations métalliques de la boue issues des procédés d'électrodéposition, Master Génie chimique, 2012.
- [13] J.RODIER, C.BAZIN, J.P.BROUTIN, P.CHAMPON, HCHAMPSAUR. L.RODI, L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer, 7<sup>ème</sup> édition Dunod, Paris, France, 1996.
- [14] [Fulltext.bdsp.ehesp.fr/Ensp/memoires/2005/igs/coftier.pdf](http://Fulltext.bdsp.ehesp.fr/Ensp/memoires/2005/igs/coftier.pdf). Consultation 8 Mai 2014.
- [15] [www7.inra.fr/dpenv/pdf/BaizeC53.pdf](http://www7.inra.fr/dpenv/pdf/BaizeC53.pdf). Consultation 10 Mai 2014.
- [16] [www.ademe.fr/partenaires/boues/Documents/MondeDesBoues.pdf](http://www.ademe.fr/partenaires/boues/Documents/MondeDesBoues.pdf). Consultation 3 Mai 2014.