



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la  
Recherche Scientifique



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE DE GENIE CIVIL ET D'ARCHITECTURE  
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

## **MEMOIRE DE MASTER**

Présenté par : **CHOUDAR Cherif**

**DOMAINE : Sciences et Techniques**

**FILIERE : Hydraulique**

**OPTION : Ressources Hydrauliques**

### **Thème**

---

**Etude de faisabilité du séchage des boues des stations  
d'épuration urbaines par filtre planté de macrophytes  
(LSPM) sur pilote semi-industriel**

**Application à la station d'épuration de Laghouat**

---

#### **Jury de soutenance :**

**Mr DJEHICHE Abdelkader**

**Pr**

**Président**

**Mr CHETTIH Mohamed**

**Pr**

**Examineur**

**Mr SEKKOUM Mohamed**

**MAA**

**Rapporteur**

**Mr BOUACHE Mohammed**

**MAA**

**Rapporteur**

**Année Universitaire: 2020/2021**

# Dédicace



*Je rends un grand hommage à travers ce modeste travail, en signe de respect et de reconnaissance à :*



*Mes Parents*

*Ma femme*

*Mes enfants*

*Mes Frères*

*Mes Sœurs*



*Pour tous leurs sacrifices et leurs soutiens moraux et matériel dont ils ont fait preuve pour que je réussisse.*



*Je le dédie également à :*

*Mes camarades pour l'ambiance agréable passée ensemble.*

*A tous les enseignements de département génie civil de l'université*



*Ammar Thelidji, pour leur assistance ,leurs encouragement et leurs conseils*



**CHOUDAR**  **CHERIF**



# Remerciement



*Au terme de cette modeste étude ;*



*Je tiens à remercier dignement, profondément et sincèrement mes promoteurs Mr **SEKKOUM Mohamed** et Mr **BOUACHE Mohammed** pour leurs aides, leurs patiences, leur compétence et leurs précieux conseils.*



*Je remercie également tous les enseignants département **Génie Civil**, option : **Ressources Hydrauliques** qui ont contribué à notre formation.*

*Je n'oublie pas non plus tous mes amis de la promotion **MASTER 2** pour aide, patience, compréhension et encouragement.*

*Aussi, je me permets d'exprimer tout mon respect aux membres de jury : Mr **DJEHICHE Abdelkader** et Mr **CHETTIH Mohamed** qui me feront l'honneur de jurer notre travail.*



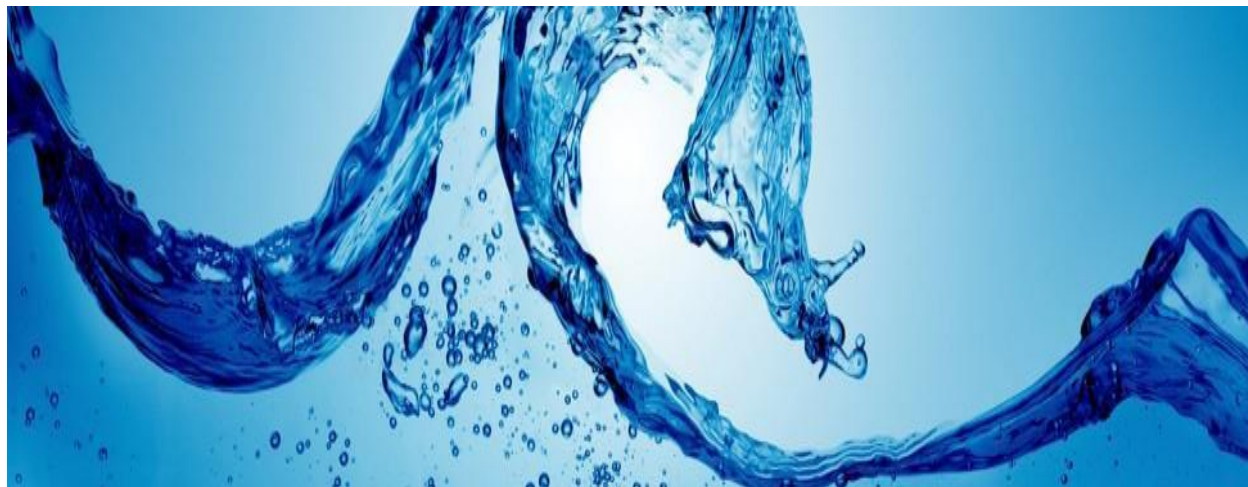
**CHOUAR CHERIF**

*« Rien n'est perdu, rien n'est créé, tout est transformé. »*

*Ce principe s'applique également à l'eau : source de vie,*

*Ressource précieuse mais difficile d'accès,*

*Qui peut également être source de mort si elle n'est pas bien gérée.*



# SOMMAIRE

Dédicace.....	I
Remerciements.....	II
Sommaire.....	III
Liste des Tableaux.....	VI
Liste des figures.....	VII
Abréviations.....	IX
Résumé.....	X
Introduction générale.....	XI

## **Chapitre I : Traitement et valorisation des boues des stations d’Epurat**

Introduction.....	1
1. sous produit .....	2
1.1. Déchets sableux .....	2
1.1.1 Traitement des déchets sableux.....	2
1. 2. Déchets gras	2
1.2. 1. Traitements des déchets gras .....	3
1. 3. Boues d’épuration .....	3
1.3.1 types de boues .....	3
2. caractéristiques des boues .....	3
2.1. Caractéristiques chimique .....	3
2.2 Caractéristiques physiques traitement des boues .....	4
2.3. Composition des boues .....	4
2.4 Traitement des boues d’épuration .....	5
2.4.1. L’épaississement .....	5
2.4.2 Stabilisation .....	6
2.4.3 Digestion aérobie .....	6
2.4.4 Digestion anaérobie .....	6
2.4.5 Déshydratation mécanique .....	6
3. Déshydratation (séchage) naturelle .....	9
3.1. Lagune de séchage .....	10
3.2. Lit planté des Macrophytes .....	10
3.3 Séchage thermique .....	11
3.3.1 Séchage direct .....	11
3.3.2 Séchage indirect .....	11
4. Incinération .....	11
4.1 Co-incinération avec les ordures.....	11
4.2 Incinération spécifique .....	11
5. Valorisation des boues .....	12
5.1 Valorisation Agronomique .....	12
5.1.1. Epandage .....	12

5.1.2 Compostage .....	12
5.1.3. Valorisation énergétique .....	13
5.1.4 Méthanisation.....	13
5.1.5 Pyrolyse .....	13
6. Séchage solaire des boues .....	13
6.1. Fonctionnement général d'une serre .....	13
6.2. Différents type de serres .....	15
6.2.1 Serre ouverte.....	15
6.2.2 Serre fermé.....	16
6.3. Dimensionnement de serres ouverte.....	18
6.3.1 Rappel du principe .....	18
6.3.2 Dimensionnement.....	18
6.3.3 Les principaux paramètre d'entrée dans le dimensionnement.....	19
Conclusion.....	20

## **Chapitre II : Séchage des boues par filtre planté de roseaux**

Introduction .....	21
1. Historique du développement des LSPR .....	22
1. 1. Intérêt des LSPR .....	23
2. Principe de fonctionnement des LSPR .....	24
2.1. Généralités .....	24
2.2. Filtration.....	26
2.3. Déshydratation .....	27
2.3.1. Drainage .....	28
2.3.2. Évapotranspiration .....	29
2.3.3. Minéralisation .....	30
2.3.4. L'aération des lits.....	30
2.3.5. Rôle des végétaux .....	32
2.3.6. Traitement des boues activées sur LSPR .....	33
3. Type des LSPR .....	34
3.1. Dimensionnement LSPR .....	36
3.2. La conception des lits de séchage plantés .....	36
3.3. Description de la technologie .....	37
3.4. Fonctionnement des LSPR .....	38
3.5. Phase de fonctionnement et gestion .....	39
4. Macrophytes utilisés .....	40
4.1. Sélection de l'Espèce .....	40
4.2. Rôle des Macrophytes .....	41
4.3. Le Colmatage .....	43
Conclusion .....	44

## **Chapitre III : Présentation de la station d'épuration de Laghouat**

Introduction.....	45
1. Présentation géographique de la wilaya Laghouat .....	46
1.1. Description générale de la STEP de Laghouat .....	47
1.2. Données générales de la STEP .....	47
1.3. Données spécifiques de la station .....	48

1.4. Données spécifiques de la station .....	48
1.5. Organigramme de la STEP de Laghouat .....	49
2.Filière de traitement de la STEP .....	49
2.1. Prétraitement (traitement primaire) .....	50
2.1.1.Le dégrillage grossier .....	50
2.1.2.Le dégrillage fin .....	51
2.1.3.Déssablage –déshuilage .....	52
2.2. Traitement biologique .....	53
2.2.1. Les décanteurs .....	54
2.2.2. La désinfection.....	56
2.2.3. L'épaississeur .....	56
2.3. Lit de séchage .....	57
3.Vérification du dimensionnement .....	59
3.1. Traitement biologique (phase1) .....	59
3.2. Décanteurs secondaires (phase2) .....	63
3.3 Epaississeur de boues (phase 1+2).....	67
3.4. Lits de séchage .....	68
4. Extension de la STEP de Laghouat .....	69
Conclusion .....	70

## **Chapitre VI : Dimensionnement du pilote**

Introduction.....	71
1.Etude de faisabilité .....	72
1.1. Plan d'urbanisme .....	72
1.2. Etude topographique .....	73
1.3. Etude Géologique et climatique .....	74
1.3.1. Géologique .....	74
1.3.2. Climatique .....	75
2. Principe de l'étude filtre à sable .....	76
2.1. filtre à sable drainé .....	76
2.1.1. Matériau et massif filtrant .....	76
2.1.2. Conduite d'alimentation des lits .....	77
2.1.3. système drainage-aération .....	77
2.2. Filtre à sable non drainé .....	79
2.2.1.conditions d'installations .....	79
2.2.2. Mise en œuvre .....	79
Conclusion .....	81
Conclusion générale.....	XI
Références bibliographiques.....	XII
Annexe.....	XIII
Glossaire .....	XIV

# LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1:</b> Exemple de la Masse d'une tonne de MS suivant la siccité de la boue.....	18
<b>Tableau 2:</b> différents types de boue issues de l'assainissement collectif, selon la littérature .....	33
<b>Tableau 3:</b> Les bases de Dimensionnement.....	47
<b>Tableau 4:</b> Donnée de la station .....	48
<b>Tableau 5:</b> Le traitement retenu avec une qualité de rejet conforme aux normes .....	48
<b>Tableau 6:</b> Charge de l'influent de la STEP .....	59
<b>Tableau 7:</b> Dimension de la fosse de boues des décanteurs.....	65
<b>Tableau 8:</b> Les paramètres .....	67
<b>Tableau 9:</b> La pluviométrie moyenne mensuelle (entre 2004-2015) de la région de Laghouat .....	75
<b>Tableau 10:</b> Les max, min et température mensuelle moyenne de Laghouat (2004-2015).....	75

# LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1 :</b> Evolution des caractéristiques des en fonction de leur siccité .....	3
<b>Figure 2 :</b> Schéma simplifié d'un épaisseur statique (Degremont, 1989)..	6
<b>Figure 3 :</b> Principe de filtre presse .....	7
<b>Figure 4 :</b> Déshydratation mécanique par filtre à bandes (Joseph P.,2002).....	7
<b>Figure 5 :</b> filtre presse à plateaux pour les boues urbaine et industrielles .....	8
<b>Figure 6 :</b> déshydratation des boues par filtre à vis .....	8
<b>Figure 7 :</b> Séchage naturel des boues sous serre. ....	9
<b>Figure 8 :</b> Représenté la composition principale du lit de séchage .....	10
<b>Figure 9 :</b> Le compostage .....	12
<b>Figure 10 :</b> Schéma du fonctionnement général d'une serre. ....	14
<b>Figure 11 :</b> Schéma de circulation de l'air dans une serre ouverte .....	15
<b>Figure 12:</b> Serres ouvertes. ....	16
<b>Figure 13:</b> Serre fermée.....	17
<b>Figure 14:</b> STEP de Kolding (Danemark) traitant 2000 T/an de MS (125 000 EH).....	23
<b>Figure 15:</b> Représentation schématique d'un lit de séchage de boues planté .....	24
<b>Figure 16:</b> processus impliqués dans les LSPR (adapté de Molle, 2012).....	25
<b>Figure 17:</b> Evolution du ratio volume drainé en 24 heures/concentration en MES du percolat en fonction du coefficient d'uniformité ( $CU = d_{60}/d_{10}$ ) du matériau de filtration.....	27
<b>Figure 18:</b> Evolution du volume drainé en 24 heures en fonction de la charge hydraulique appliquée par bâchée dans le cas des boues activées.....	29
<b>Figure 19:</b> Présence de vers de compst au la couche de boues accumulées en surface d'un lit .....	30
<b>Figure 20:</b> Anneaux libres autour des tiges, conséquence majeure du rôle mécanique des roseaux. ....	32
<b>Figure 21:</b> Schéma de LSPR en déblais-remblais.....	34
<b>Figure 22:</b> LSPR Réalisés en Déblai/remblai.....	35
<b>Figure 23:</b> schéma de LSPR en Béton.....	35
<b>Figure 24:</b> Composition d'un lit de séchage planté de roseaux (type béton) .....	37
<b>Figure 25:</b> curage le lit de séchage par Roseaux.....	40
<b>Figure 26:</b> Les roseaux (Phragmites australis) .....	41
<b>Figure 27:</b> Anneau libre à la base des tiges de macrophyte.....	42
<b>Figure 28:</b> la STEP de Laghouat.....	45
<b>Figure 29:</b> Cartes de situation géographique de la wilaya de Laghouat. ....	46
<b>Figure 30:</b> la STEP de Laghouat.....	47
<b>Figure 31:</b> Filière de traitement de la STEP de Laghouat.....	50
<b>Figure 32:</b> le dégrillage (STEP de Laghouat). ....	52
<b>Figure 33:</b> le dessablage et déshuilage (STEP de Laghouat). ....	53
<b>Figure 34:</b> Schéma de bassin biologique de STEP de Laghouat.....	53
<b>Figure 35:</b> Bassin Biologique STEP de Laghouat.....	54
<b>Figure 36:</b> les pompes de La décantation STEP de Laghouat .....	55
<b>Figure 37:</b> La décantation STEP de Laghouat .....	55
<b>Figure 38:</b> la sortie de l'eau épuré STEP de Laghouat .....	56
<b>Figure 39:</b> stockage des boues STEP de Laghouat .....	58
<b>Figure 40:</b> Lit de Séchage non planté STEP de Laghouat .....	58
<b>Figure 41:</b> Catégorie de DCO .....	60

<b>Figure 42:</b> Plan d'aménagement de la STEP de Laghouat .....	72
<b>Figure 43:</b> Carte altitude de la STEP de Laghouat .....	73
<b>Figure 44:</b> Situation de la STEP de Laghouat .....	74
<b>Figure 45:</b> Schématisation de la disposition des fentes d'aération et de drainage.....	77
<b>Figure 46:</b> Schéma filtre à sable drainé .....	78
<b>Figure 47:</b> Schéma filtre à sable non drainé .....	80

# LISTE DES ABRÉVIATIONS

CTO :	les Composés Traces Organiques
CET :	Centre d'Enfouissement Technique
Cu	Coefficient d'uniformité
DBO :	La demande biochimique en oxygène
D10	Diamètre des grains (en mm) correspondant à 10 % de passant
D30	Diamètre des grains (en mm) correspondant à 30 % de passant
D60	Diamètre des grains (en mm) correspondant à 60 % de passant
ET0	Evapotranspiration de Référence
ETM :	Eléments-Trace Métalliques
ETM	Eléments traces métalliques
E.H :	Equivalent d'Habitat
ERU :	Les Eaux Résiduaires Urbaines
Ks	Coefficient de stress hydrique
Kc	Coefficient Cultural
LSPR	Lit de séchage par Roseaux
LSPM	Lit de Séchage par Macrophytes
MES :	Matière En Suspension
MVS	Matières volatiles en suspension
MS	Matières sèches
MV	Matières volatiles
MO	Matières organiques
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Ammonium
NH <sub>2</sub> -	Nitrite
NH <sub>3</sub> -	Nitrate
NTK	Azote total de Kjeldahl
NGL	Azote global
ONA	Office National de l'Assainissement
PH :	le potentiel Hydrogène
STEP	STATION D'EPURATION
Vs :	Volume des particules solides
Vt :	Volume total de la suspension.
Φ s	La fraction volumique solide
Φ c	Fraction volumique solide critique

## ملخص

يؤدي التجفيف الطبيعي للحمأة من محطات معالجة مياه الصرف الصحي الحضرية باستخدام أحواض التجفيف غير المزروعة إلى العديد من المشاكل، وأهمها وقت التجفيف باعتمادها على الظروف المناخية، والحاجة إلى تفريغ الحمأة عند تجفيفها ولذلك لتجنب امتلاء أماكن التخزين وكذا لاستعمالها لأغراض أخرى (إعادة استعمالها، التسميد، الحرق، وضعها في مركز النفايات).

تهدف الدراسة التي أجريت إلى تحسين عملية تجفيف الحمأة من خلال زراعة القصب في الأحواض، حيث تعمل شبكة السيقان و الجذور التي طورها النبات داخل الحمأة على تحسين تصريف و تهوية الرواسب الطينية. موضوع البحث جديد في الجزائر مع توفر الظروف المناخية المناسبة كمناطق الهضاب العليا و الصحراوية الملائمة و المثير للاهتمام للقيام بدراسة لإمكانية وضع سريير التجفيف من النبات نوع ماكروفييت (س.ت.ن.م)، لدراسة الجدوى و مدا الفعالية على النموذج شبه صناعي، من أجل فهم أفضل للظواهر و تقييم النجاعة من خلال مردوبيته في التجفيف.

**الكلمات المفتاحية:** نزع المياه ، الحمأة ، التجفيف ، التسميد ، ماكروفييت ، (س.ت.ن.م).

## Résumé

La déshydratation naturelle des boues des stations d'épuration urbaines, utilisant les lits de séchage non plantés génèrent, plusieurs problèmes dont les principaux sont un temps de séchage dépendant des conditions climatiques, la nécessité de l'évacuation des boues entre chaque apport afin d'éviter le colmatage, le stockage et le transport vers les lieux de destination (valorisation, compostage, incinération, mise en décharge)

L'étude réalisée a pour objectif d'amélioration des performances de séchage des boues et consiste à planter des roseaux dans les lits. Le réseau de tiges, rhizomes et racines développés par le végétal au sein de la boue, améliore le drainage et l'aération du dépôt de boue.

Le sujet étant nouveau en Algérie avec des conditions climatiques favorables surtout dans sa partie des hauts plateaux et saharienne ; il parait intéressant, dans une première phase, d'étudier la possibilité d'implantation par un lit de séchage plantes des Macrophytes (LSPM), étudier la faisabilité sur un pilote semi-industriel, dans le but de mieux comprendre les phénomènes et évaluer l'efficacité de la filière du point de vue Rendements.

**Mots clés :** Déshydratation , boues , séchage , valorisation , macrophytes , LSPM.

## ABSTRACT

The natural dehydration of sludge from urban wastewater treatment plants using unplanted drying beds generates several problems, the main ones being a drying time depending on climatic conditions the need for sludge evacuation between each input to avoid clogging storage and transport to places of destination (recovery, composting, incineration, landfill).

The study carried out aims to improve sludge drying performance and consists of planting reeds in the beds. The network of stems, rhizomes and roots developed by the plant within the mud improves drainage and aeration of the mud deposit.

The subject being new in Algeria with favorable climatic conditions especially in its parts of the highlands an Saharan; it seems interesting, in a first phase, to study the possibility of implantation by drying bed planted with Macrophytes (DBPM), to study the feasibility on a semi-industrial pilot, in order to better understand the phenomena and evaluate the efficiency of the sector from the point of view of yields .

**Keywords:** Dehydration, sludge, drying, recovery, macrophytes, DBPM.

# INTRODUCTION GENERALE

Ces dernières Années, l'Algérie, est fournis des efforts sensibles pour développer leurs infrastructures d'assainissement.

Cependant des efforts supplémentaires sont encore nécessaires pour développer des dispositifs d'assainissement adaptés, c'est-à-dire intégrant le contexte socio-économique et climatique local, ainsi que les contraintes écologiques, urbanistiques ou technologiques, voire culturelles spécifiques.

D'une manière générale, les technologies utilisées de manière dominantes relèvent du domaine de l'assainissement mis en place, même dans les grandes agglomérations.

Cependant, dans les zones urbaines, de nombreuses STEP qui traite les eaux usées pour la protection de l'environnement. Les boues produites dans les stations d'épuration résultent de la mise en œuvre de techniques d'assainissement visant à réduire les quantités de matières solides et de contaminants dans les eaux urbaines résiduaire avant leur déversement dans les cours d'eau. Leur gestion passe par la valorisation de leur potentiel agronomique ou énergétique en veillant à l'absence d'effets néfastes sur l'environnement et la santé.

Dans ce contexte, il existe donc un besoin réel de développement ou d'adaptation de procédés de traitement des boues, ces derniers devant être à la fois rustiques, économes et efficaces, tout en intégrant les contraintes climatiques locales, ainsi que des critères d'acceptabilité socio-économique et un objectif de valorisation des sous-produits et/ou de réutilisation de l'eau.

Parmi les différentes technologies de traitement des boues existantes, les lits de séchage par plante (LSP).

Cette technologies, bien que robustes et efficaces, nécessitent une conception précise et bien adaptée à des conditions variables selon la zone géographique, notamment en ce qui concerne les caractéristiques des boues à traiter et le climat.

La technologie des lits de séchage plantés connaît une montée en puissance internationale pour le traitement des boues d'assainissement. Par rapport aux lits de séchage classiques, elle permet une réduction des surfaces et une diminution du coût d'exploitation car les boues peuvent être accumulées pendant des durées plus longues (plusieurs années) dans les mêmes lits sans extraction. L'avantage réside aussi dans une meilleure désinfection et une meilleure transformation des matières organiques. Le traitement des boues par lits de séchage plantés est particulièrement adapté pour des collectivités au niveau desquelles les procédés d'assainissement sont dominants, et plus spécifiquement dans le monde.

Ce système a déjà été testé avec succès pour le traitement des boues pour des climats tempérés et cette technique en œuvre en Allemagne, au Danemark et aux Etats-Unis dans les années 80, a connu un développement accru dans les pays méditerranéens (Espagne, Italie, France) aux conditions climatiques favorables.

Les plantes constituent l'un des éléments les plus importants pour le fonctionnement et les performances d'un tel système. Le plus souvent il convient d'utiliser des plantes locales, mieux adaptées aux conditions climatiques spécifiques. Par ailleurs, le type de plantes utilisées étant en général des roseaux, il convient de maintenir dans les massifs un degré d'humidité suffisant pour la survie des plantes sélectionnées.

Dans ce contexte la maîtrise des phases de démarrage, ainsi que de la sélection de plantes résistantes aux différents types de stress auxquels celles-ci seront soumises (stress hydrique, charge en matière carbonées, en nutriment, en produits toxiques, etc...) seront des éléments fondamentaux de par leur criticité pour la viabilité du procédé.

La maîtrise des taux d'humidité et de siccité des massifs en fonctions du temps et des conditions climatiques sera également un élément clef de la mise en œuvre d'un système de ce type en Algérie (zone saharienne).

---

# Chapitre I :

---

## Traitement et valorisation des Boues des stations d'Épuration

## **Introduction**

Il n'existe pas de traitement d'épuration d'eau qui n'aboutisse pas à la production des résidus concentrés contenant les matières de pollution et les produits de transformation insolubles. De ce fait, il est convenable de les traiter d'une manière rationnelle et économique.

La notion de déchet est subjective. Un déchet est un résidu que les hommes jugent inutile dans un contexte donné. Les déchets organiques sont des éléments du cycle de la vie, parmi on trouve les boues.

La diversification des techniques de traitement des boues amène parfois à des choix complexes. Chaque mode de traitement présente des avantages et des inconvénients et il n'existe pas de panacée. Il faut déterminer le mode de traitement le plus adapté au contexte socio – économique local. L'acceptabilité sociale des installations de traitement des boues est médiocre. Leur proximité est considérée comme une atteinte importante à la qualité de la vie. L'accumulation de boues provoque des inquiétudes pour la santé et l'environnement.

## **1. Sous-produits**

### **1.1. Déchets sableux**

Le terme sable correspond à un ensemble hétéroclite d'une multitude de composées tels que des noyaux et des pépins de fruits, des matières en plastique ou encore des produits issus de la dégradation des chaussées ou des chantiers, d'une siccité moyenne de 10% à 70%.

#### **1.1.1. Traitement des déchets sableux**

Les sables sont retenus dans des ouvrages appelés dessableurs dont le principe repose sur la sédimentation des matières lourdes. Le dimensionnement des ouvrages équipant les stations d'épuration doit permettre de retenir 80 % des sables de diamètre supérieur à 200 µm. Souvent, ils sont combinés avec les dégraisseurs. Le sable stocké au fond de l'ouvrage ou transféré dans des chambres à sables (ouvrages rectangulaires en béton), le tamisage participe aussi à l'élimination des ces déchets.

### **1.2. Déchets graisseux**

Ce sont des matières présentant les propriétés suivantes : insolubilité et densité inférieure à 1et de 34% de la DCO qui les rend difficilement biodégradables, d'une siccité très variable de 5%à 80%, permettant de les séparer de l'eau par flottation. En trop grande quantité dans les eaux usées, elles induisent des problèmes d'exploitation des réseaux d'assainissement (bouchages) et des stations d'épuration (baisse des capacités d'aération, développement des bactéries filamenteuses, etc.).

#### **1.2.1. Traitements des déchets graisseux**

Dans la majorité des cas, les stations d'épuration sont équipées d'un ouvrage combiné qui permet simultanément le dessablage et le dégraissage : grâce à une insufflation d'air, les graisses sont récupérées par un écrémage de surface. Le stockage se fait dans une cuve où il est possible de récupérer les eaux claires afin de concentrer les boues. Un traitement biologique aérobie complémentaire peut être mis en place afin de les éliminer in situ. Les systèmes sont composés d'un réacteur biologique aéré et brassé selon les cas. Des apports de nutriments (azote et phosphore) sont nécessaires. L'ajout de chaux est préconisé pour maintenir un pH constant. D'autres procédés basés sur l'ajout d'additifs spécifiques (enzymes principalement) existent.

1.3. Boues d'épuration

1. 3.1 Types de boues

On distingue trois types de boues :

- **boues primaires**

Elles sont issues du traitement primaires sont produites par simple décantation, sont très hétérogènes, sont des boues sont fraîches, c'est-à-dire non stabilisées (forte teneur en matière organique) et fortement fermentescibles ; sont constituées de 70% de MES. Leur teneur en eau est de 90 à 95%,

- **boues secondaires**

Ce sont des boues stabilisées, résultat du traitement secondaire ou biologique, composées d'agrégats et de floccs bactériens présentent une teneur en matière organique (MO) de 75% et une teneur en eau de 99%. Ce type de boues à une teneur en MO dépendant fortement du traitement utilisé. Il est évident qu'un traitement à faible charge conduit à des taux organiques bien inférieurs à ceux d'un traitement à forte charge,

- **boues mixtes**

Le mélange de boues primaires et secondaires produites sont très fermentescibles, Il subit ensuite un traitement de stabilisation (*Degremont, 1989*).

2. Caractéristiques des boues

Elles sont caractérisées par divers paramètres dépendant de leur origine et nature

2.1 Caractéristique chimiques

- **Siccité**

Elle définit la concentration en matière sèche d'une boue, et s'exprime en g/l ou en pourcentage%.

- **boues liquides** : siccité de 0 à 10 %
- **boues pâteuses** : siccité de 10 à 25%
- **boues solides** : siccité de 25 à 80%

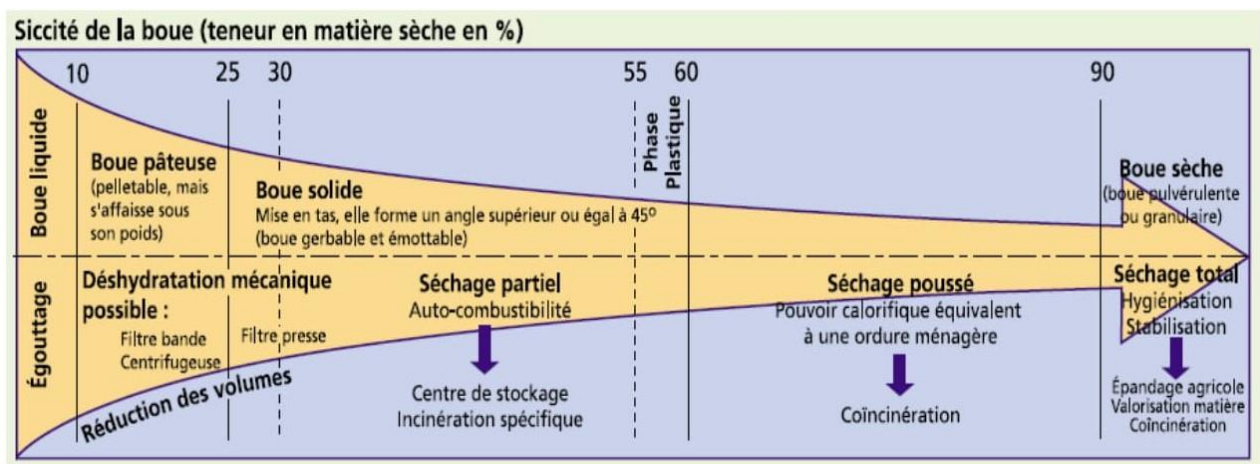


Figure1 : Evolution des caractéristiques des en fonction de leur siccité

- **Matières volatiles sèches**

La matière sèche est constituée de matières minérales et organiques appelées matières volatiles sèches (MVS). Elle permet de connaître la stabilité d'une boue :

plus le taux de MVS est faible, plus la boue est facile à épaissir ou à déshydrater, mais plus son incinération est difficile.

### **2.2 Caractéristiques physiques**

Les caractéristiques physiques des boues d'épuration dépendent de leur teneur en eau, si elle dépasse 90%, elles se comportent comme un liquide. En dessous de cette teneur d'eau, elles se comportent comme un liquide non-newtonien avec un flux plutôt plastique que visqueux.

### **2.3 Composition des boues**

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

- **Éléments fertilisants**

Selon la dose appliquée, les boues peuvent couvrir, en partie ou en totalité, les besoins des cultures en azote, en phosphore, en magnésium, calcium et en soufre. Elles 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.

- **Éléments indésirables**

Les éléments indésirables contenus dans les boues peuvent avoir différentes natures et compositions. Parmi ces éléments on y trouve :

- **Des éléments traces métalliques**

Constitués en majorité par des métaux, certains de ces éléments occupent une place essentielle à faibles concentrations dans l'organisme, mais deviennent généralement toxiques au-delà d'un certain seuil (OTV, 1997),

- **Des micro-organismes pathogènes**

tels que les virus, bactéries, protozoaires, parasites, et champignons. Ils sont notamment présents dans les matières fécales rejetées dans les réseaux d'eaux usées et donc inévitablement présents dans les boues brutes. (OTV, 1997),

### • Des micropolluants organiques

Les substances les plus fréquemment considérées sont les HPA (Hydrocarbures Polycycliques Aromatiques) et les PCB (Polychlorobiphényles) car ils sont particulièrement persistants. Dans cette catégorie on y trouve d'autres composés tels que les pesticides, les résidus de médicaments, les phtalates, les nitrates, etc (OTV, 1997).

### 2.4 Traitement des boues d'épuration

Deux éléments sont indispensables à la définition et au choix d'un traitement optimal des boues: l'origine et la composition des boues et leur destination finale (recyclage, valorisation, élimination). Généralement, le traitement vise plusieurs objectifs (*Koller, 2004*) :

- réduire les volumes et éviter la fermentation (odeurs) ;
- limiter au maximum les risques pathogènes ;
- utiliser des procédés permettant de conserver une valeur aux boues ;
- réduire dans certains cas la masse de façon ultime.

On distingue cinq grandes filières de traitement des boues.

#### 2.4.1 Epaississement

L'épaississement est la première étape pour réduire le volume des boues et augmenter la concentration pour permettre la déshydratation. Deux procédés sont utilisés :

- **Epaississement gravitaire**

Cette technique consiste à faire séjourner des boues dans des bassins de forme cylindro-conique jusqu'à 5 m de diamètre, appelés statique, dans une simple cuve cylindrique à fond conique (45 à 70° sur l'horizontale) (*Reyserk, 2002*).

Elle est atteinte en deux phases : une phase de décantation à l'issue de laquelle la clarification permet d'obtenir un surnageant pauvre en MES (l'épaississeur est alors considéré comme un décanteur) et une phase de sédimentation pendant laquelle la teneur en MS augmente sous l'action de la pesanteur (*Degremont, 1989*).

- **Epaississement dynamique**

La concentration met en œuvre des énergies mécaniques.

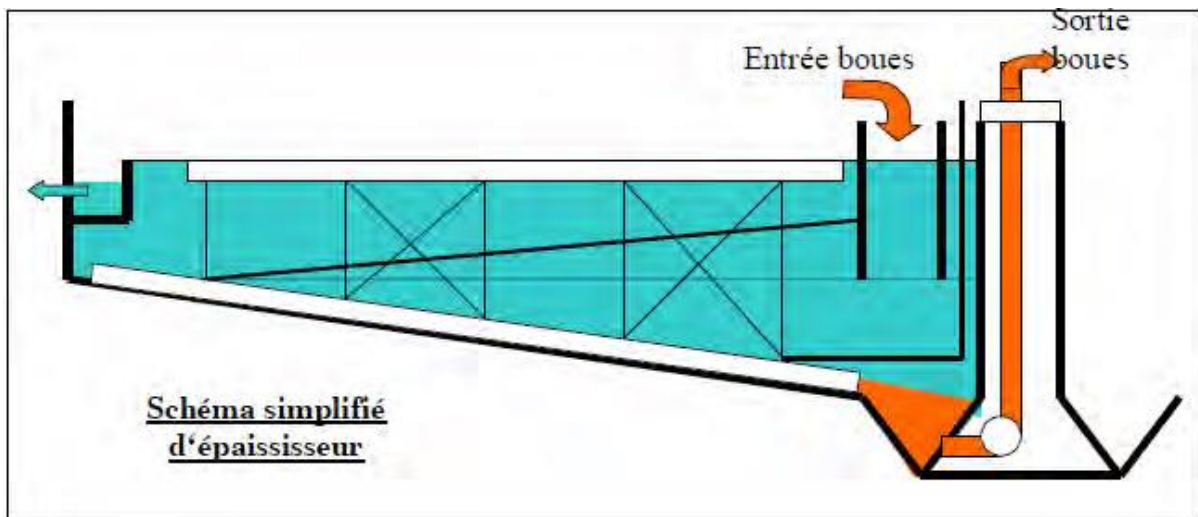


Figure 2 : Schéma simplifié d'un épaisseur statique (Degremont, 1989).

### 2.4.2 Stabilisation

Ce processus limite la fermentation en vue de favoriser la valorisation agricole des boues. On distingue la stabilisation chimique ou biologique. Pour ce dernier cas, les phénomènes peuvent être aérobies ou anaérobies. (Rejserk, 2002).

### 2.4.3. Digestion aérobie

La digestion aérobie c'est une aération prolongée des boues, que l'on parvient à poursuivre le développement des micro-organismes et le dépuisement des substrats organiques et bloquer la fermentation bactérienne, jusqu'à réalisation d'une auto-réduction sous une influence de température. La durée de séjour de 10 jours à 20°C et de 14 jours à 12°C et un pH requis est de l'ordre 10 à 11. (Rejserk, 2002).

### 2.4.4 Digestion anaérobie

La dégradation des matières organiques par fermentation méthanique dans des cuves fermées qui permet d'atteindre des taux de réduction des matières organiques de 45% à 50% à un pH de 6.8 et 7.8 et une concentration en acides volatiles dissous inférieure à 1g/l, une température de 37 °C (ou 55°C) et brassés. Les principaux composés obtenus sont : le méthane (CH<sub>4</sub>), le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et l'eau (H<sub>2</sub>O).

### 2.4.5 Déshydratation mécanique

La déshydratation constitue la seconde étape de réduction du volume des boues épaissies, stabilisées ou non, afin d'obtenir une siccité plus grande (en moyenne comprise entre 20 et 30 % selon la nature des boues). La déshydratation présente plusieurs avantages : elle facilite le stockage et réduit donc le coût du transport, améliore la stabilisation (augmentation du temps de

séjour) et facilite une utilisation en agriculture. Il existe plusieurs techniques de déshydratation mécaniques :

- **Filtre presse**

Le filtre-presse est une technique de déshydratation qui consiste à exercer mécaniquement une forte pression sur la boue de 7 à 10 bars. Cette dernière libère l'eau interstitielle au travers d'un filtre. Il se forme alors, avec les solide retenus, un « gâteau » plus ou moins sec.

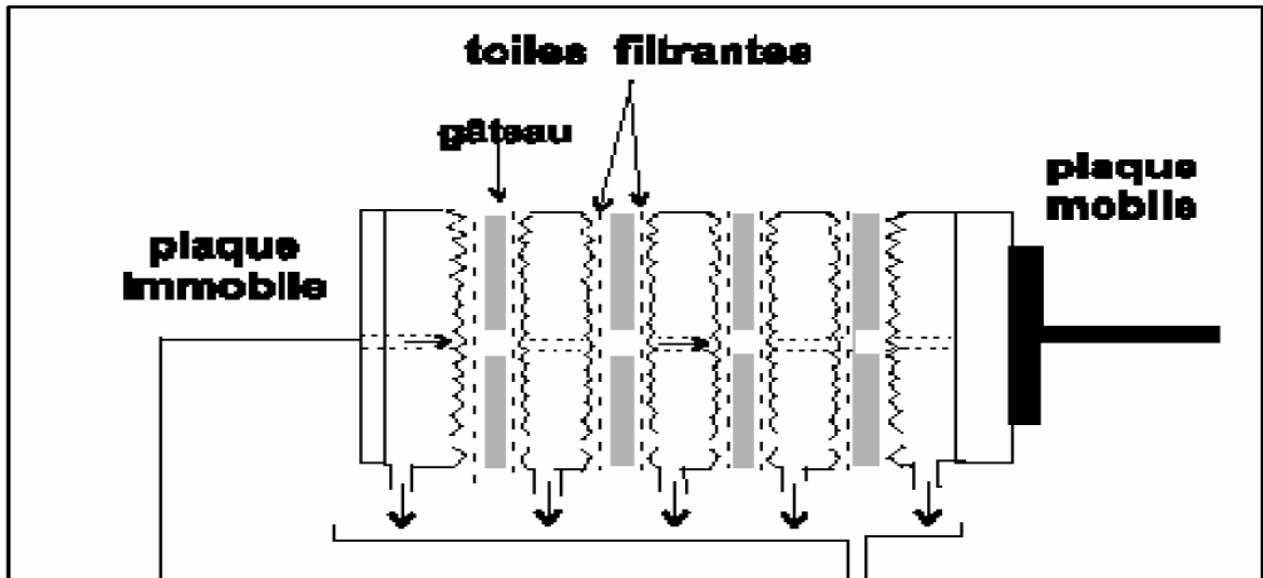


Figure 3 : Principe de filtre presse.

- **Filtres à bandes**

Il s'agit de comprimer des boues entre deux bandes de toile. Une fois la toile débarrassée de la boue, il faut la laver pour qu'elle conserve sa porosité. Ce système nécessite l'addition de polymères dont la composition et la quantité doivent être constamment adaptées à la qualité des boues.

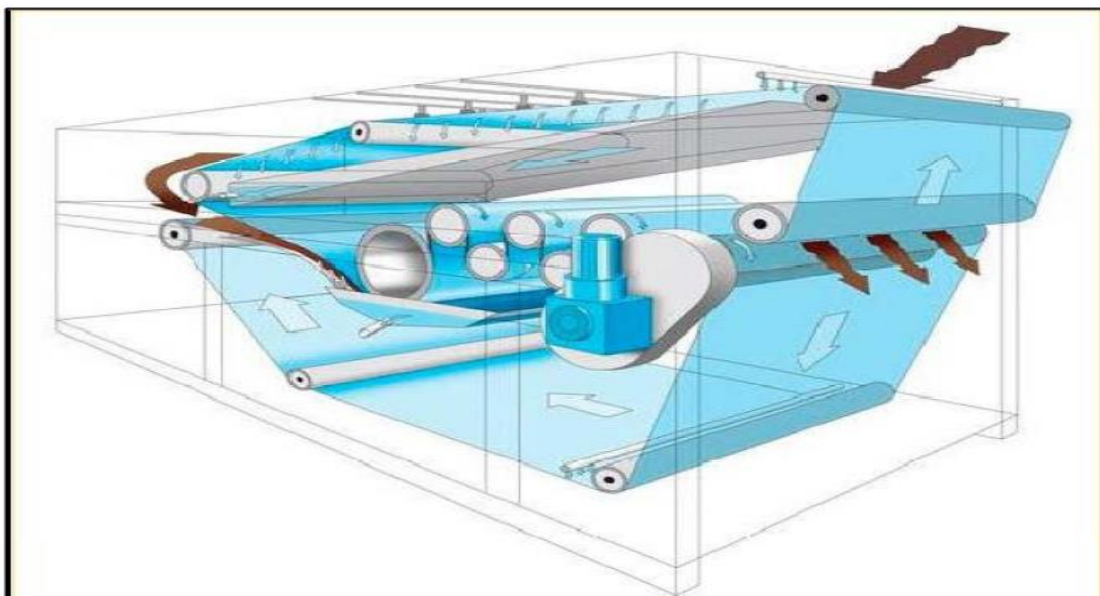


Figure 4 : Déshydratation mécanique par filtre à bandes (Joseph P.,2002).

- Filtre à plateaux

Il est composé de chambres de filtration dans lesquelles la boue est comprimée par des vérins hydrauliques jusqu'à formation d'un gâteau compact.

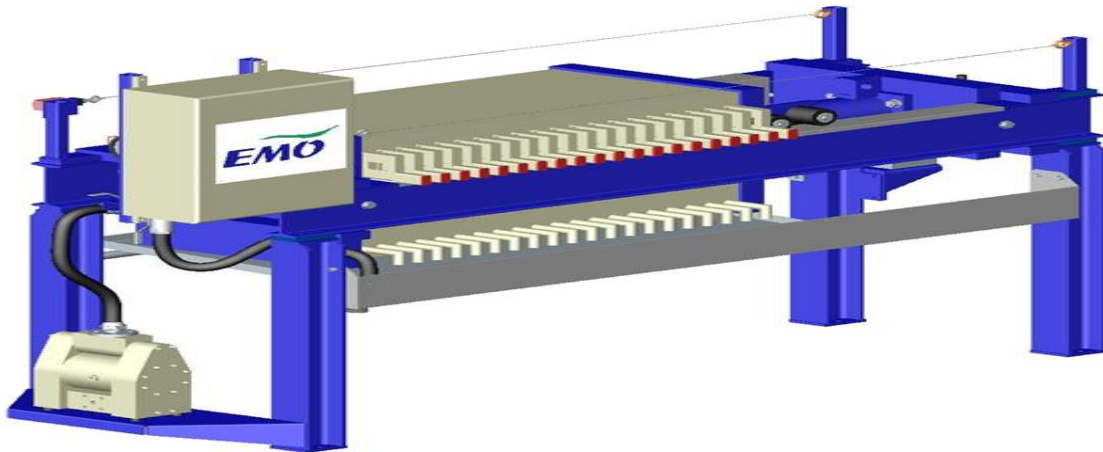


Figure 5 : filtre presse à plateaux pour les boues urbaine et industrielles.

- Filtre à plateaux membrane

Il permet tout d'abord d'éviter l'effet négatif du débit de fuite sur les floes en fin de montée en pression.

- Filtre à vis

Il est constitué d'une vis d'extrusion autour de laquelle se trouve une grille filtrante. Les grilles sont autonettoyantes et spécifiques à chaque type de boue.

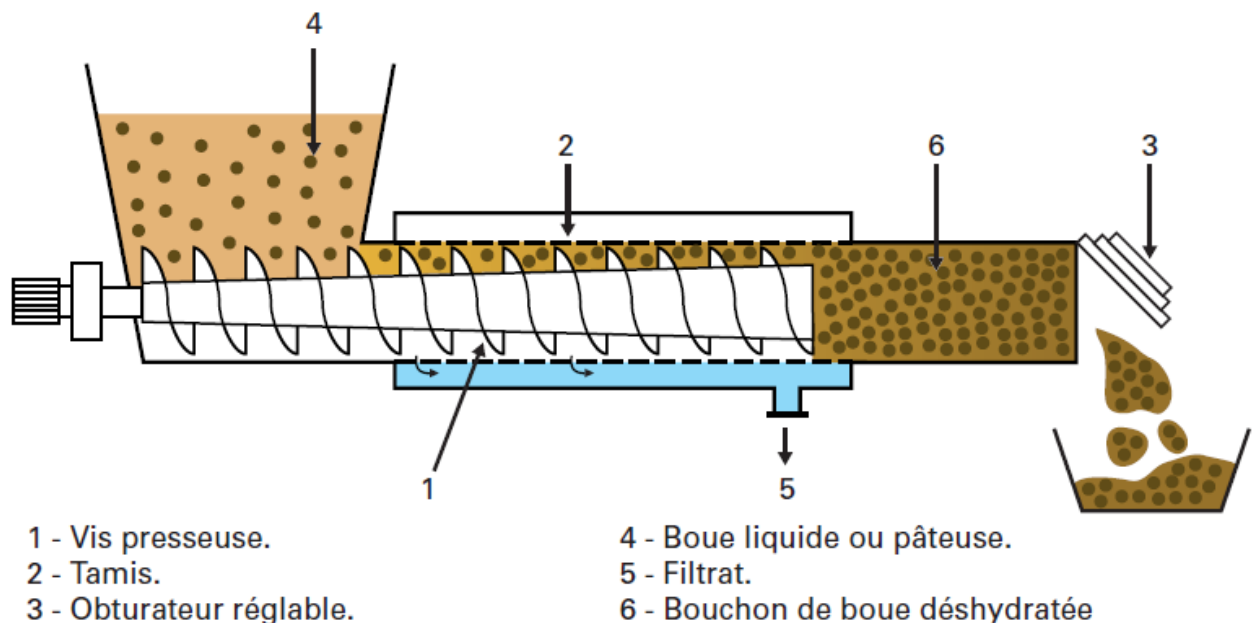


Figure 6 : déshydratation des boues par filtre à vis .

### • Centrifugation

Il s'agit d'une séparation des phases liquide et solide, du fait de leur densité, par accélération centrifuge dans un bol dans lequel tourne une vis les boues polymérisées sont introduites dans le dispositif. Cette vis racle et évacue la phase solide vers la sortie de la machine et l'eau est récupérée au centre de la machine et est évacuée. En général, la conception de la vis est adaptée à un type de boue précis. La compacité de cette technologie permet de développer des unités mobiles de déshydratation, ce qui assure une certaine flexibilité du procédé.

## 3. Déshydratation (séchage) naturelle

Le séchage est une opération unitaire de traitement des boues, consistant à évaporer l'eau libre et liée. Plusieurs techniques de séchage sont envisageables.

### • Lits de séchage

Le principe du lit de séchage est d'épandre des boues liquides sur une grande surface avec un lit constitué de graviers et de sable. Il se pratique soit à l'air libre soit en bâtiment fermé avec une ventilation mécanique.

### • Séchage solaire

La profondeur de boue lors du remplissage peut varier de 10 cm à 50 cm selon la nature des boues. Ce lit de séchage se trouve sous serre, ce qui permet de garder la chaleur, d'avoir une température de l'air et des boues plus élevée, mais également d'accélérer le séchage par le rayonnement solaire. Afin de diminuer le temps de séjour des boues et d'augmenter la siccité, des ventilateurs sont souvent installés dans les serres. De plus, le dimensionnement du lit doit prendre en compte le climat, le bilan hydrique et la siccité des boues en entrée.

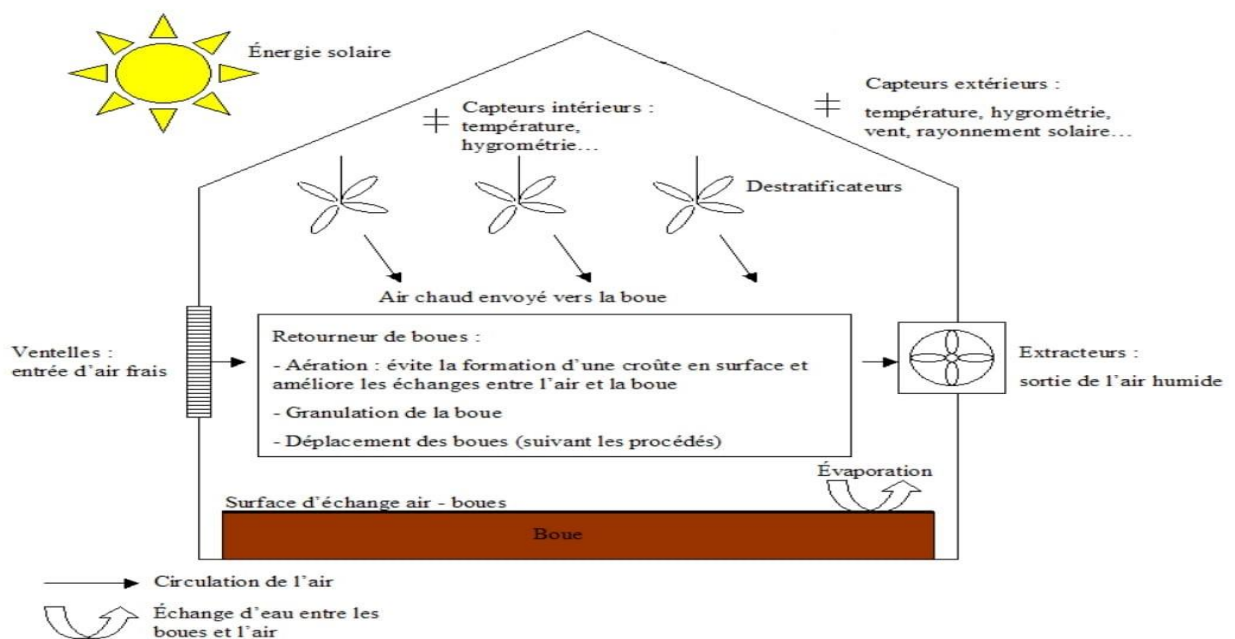
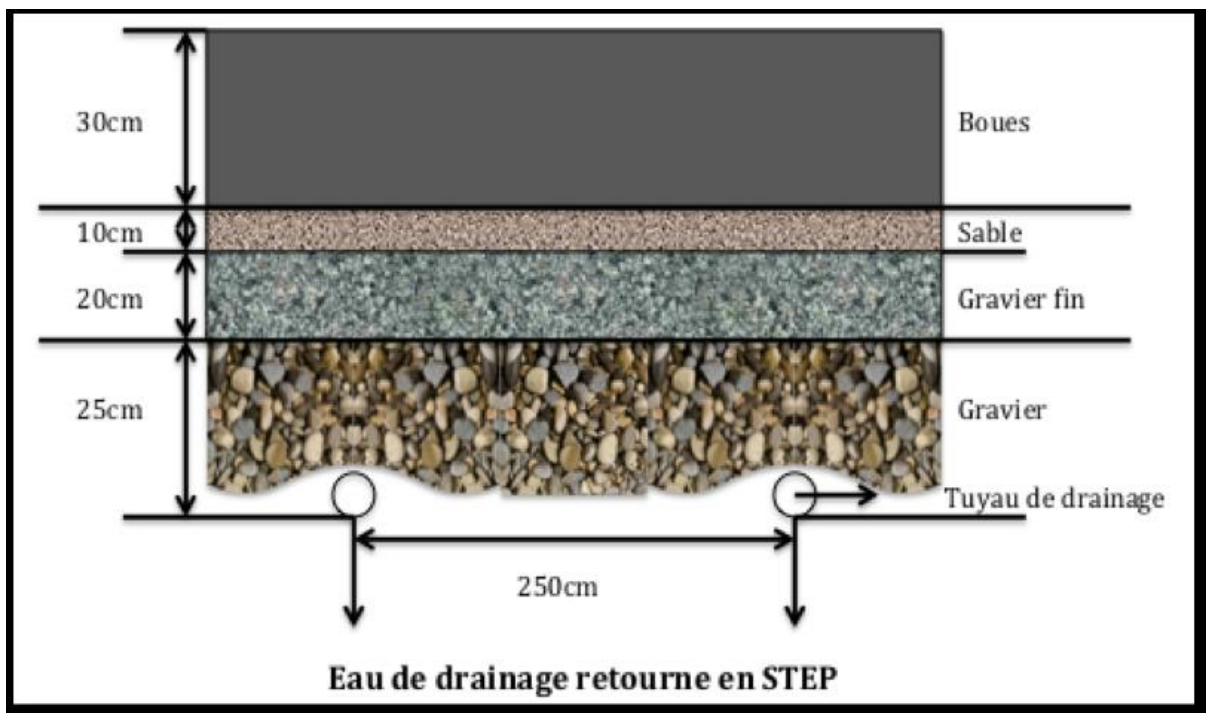


Figure 7 : Séchage naturel des boues sous serre.

- **Lits de sable**

Utilise les lits de séchage pour des boues très minéralisées issues d'une station d'épuration totale ou d'un dispositif de digestion des boues. introduit la boue dans des bassins peu profonds contenant des graviers et du sable munis d'un système de drainage, la déshydratation naturelle des boues s'opère en fait de deux façons. La filtration naturelle à travers le lit qui permet la perte jusqu'à 80% de la teneur en eau et l'évaporation naturelle (séchage atmosphérique). Le lit de séchage est composé de plusieurs couches (Figure 3) à s'avoir:

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



La figure 8 : représenté la composition principale du lit de séchage

### 3.1 Lagune de séchage

Le principe de cette technique est quasiment le même que pour le séchage sur lit de sable en absence de percolation. Par contre, la profondeur de boue est 3 à 4 fois plus importante (0,7-1,4 m) et le temps de séjour est d'environ 1 à 3 ans avant curage.

### 3.2 Lit planté des Macrophytes

Les plantes les plus souvent choisies sont les roseaux en raison de leur fort indice foliaire qui favorise l'évapo-transpiration et de leur croissance rapide ayant des besoins importants en eau. Ce sont des conditions très avantageuses pour le séchage des boues. Les boues à traiter sont prélevées

directement du bassin d'aération et déposées sur le bassin planté de roseaux. Celui-ci est constitué d'une granulométrie croissante de la surface vers le fond et drainé.

### **3.3 Séchage thermique**

Ce type de séchage repose sur deux méthodes :

#### **3.3.1 Séchage direct**

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.

#### **3.3.2 Séchage indirect**

C'est un séchage total. Les boues sont chauffées par un fluide 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 %.

## **4. Incinération**

Elle réalise la destruction de la matière organique des déchets à haute Température (+ de 500 °C) produisant des fumées et des matières minérales résiduelles appelées 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.

Les boues peuvent être incinérées sous diverses formes :

### **4.1 Co-incinération avec les ordures**

La co-incinération peut s'effectuer sur des boues séchées (60 à 90 % de siccité) ou pâteuses (20 – 25 % de siccité).

### **4.2 Incinération spécifique**

Les boues à 20 – 30 % de siccité sont brûlées seules ou en mélange avec des graisses. A cette siccité, les boues ne sont généralement pas auto combustible. L'incinération spécifique est Caractérisée par la réduction maximale du volume et de la masse des boues, par suite de la transformation des matières organiques par combustion en H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>. Cette incinération est réservée à des stations de grande capacité (> 100 000 EH).

**Remarque :** l'incinération ne peut être pratiqué que sur des boues ayant déjà subi un premier stade de déshydratation.

## 5. Valorisation des boues

### 5.1 Valorisation Agronomique

La valorisation des boues en agriculture est effectuée soit par épandage direct ou après compostage (Reyserk, 2002).

#### 5.1.1 Epandage

L'épandage des boues a pour principal but d'augmenter le rendement des cultures, elles ont la capacité de restituer au sol des éléments structurants et fertilisants pour améliorer les propriétés physiques et chimiques du sol.

Les boues épandues peuvent être liquides, pâteuses, solides, sèches, selon le degré de la siccité qui représente le pourcentage massique de matière sèche dans la boue. (Reyserk, 2002)

#### 5.1.2 Compostage

Le compostage est un processus de décomposition et de transformation de matières organiques présentes dans les boues sous l'action de populations microbiennes diversifiées évoluant en milieu aérobie.

Grâce à ses caractéristiques chimiques, le compost peut assurer en même temps la fertilité et l'équilibre du sol. Il combat efficacement l'érosion et le lessivage des éléments fertilisants en reconstituant la structure de la terre grâce à sa composition riche en humus qui lui confère à la fois la fonction d'amendement organique et d'engrais minéral. (Reyserk, 2002)



Figure 9 : Le Compostage

### **5.1.3 Valorisation Energétique**

Lorsque leur recyclage s'avère impossible en agriculture, les boues constituent un déchet humide difficile à brûler et à valoriser par voie thermique. La valorisation énergétique regroupe différentes technologies permettant de convertir la fraction organique des boues en énergie. La valorisation énergétique peut être une voie d'élimination complémentaire ou alternative à la valorisation agricole.

### **5.1.4 Méthanisation**

La méthanisation ou digestion anaérobie est un processus de minéralisation de la matière organique par une microflore spécialisée. C'est un moyen efficace d'abattement de charge de la matière organique biodégradable. La digestion anaérobie conduit à la formation d'un biogaz riche en méthane et dioxyde de carbone et d'un résidu liquide, le digestat. On peut l'utiliser pour la production d'électricité ou la chaleur ou des deux en même temps, on parle alors de cogénération énergétique.

### **5.1.5 Pyrolyse**

La pyrolyse (ou thermolyse) est une dissociation thermique de la matière organique et de la matière minérale, en l'absence d'oxygène (moins de 2 %), sous l'action de la chaleur (400 à 800°C). Il s'agit donc d'un traitement thermique sans combustion et endothermique. Selon les conditions de la réaction (température, pression partielle en oxygène, pression totale), la fraction organique se décompose en gaz, huiles et résidus solides carbonés. Les faibles températures favorisent la production d'huile par rapport au gaz. Ces produits seront récupérés en sortie du procédé, dans le but d'être valorisés en énergie thermique ou en énergie électrique.

## **6. Séchage solaire des boues**

### **6.1 Fonctionnement général d'une serre**

L'objectif du séchage solaire est d'évaporer l'eau contenue dans la boue. Le taux d'évaporation est fonction de la quantité d'eau que l'air peut stocker ; Les possibilités de séchage diminuent lorsque l'humidité de l'air augmente.

Les facteurs météorologiques qui favorisent l'évaporation sont principalement les suivants :

Température élevée, humidité relative faible (air non saturé au voisinage de la surface évaporante), vitesse et mouvement du vent (renouvellement de l'air à proximité de la zone d'évaporation). La structure même de la serre permet d'emmagasiner de la chaleur et d'avoir une température de l'air et des boues plus élevées que les températures ambiantes. Les boues elles mêmes emmagasinent de la chaleur grâce à leur masse et leur couleur foncée absorbant le rayonnement solaire (effet accumulateur).

L'installation de certains équipements augmente le séchage des boues :

Des extracteurs, en façade, assurent le renouvellement de l'air chargé d'eau dans la serre. Ainsi, dès que possible, l'air intérieur de la serre qui s'est chargé en eau est remplacé par l'air extérieur plus sec. Des ventilateurs de déstratification sont positionnés tout au long de l'ouvrage au-dessus du lit de boues afin d'envoyer l'air chaud du haut de la serre vers les boues à sécher.

Un autre paramètre important à prendre en compte est la surface d'échange air-boues. Plus cette surface est grande, plus l'eau s'évapore de la boue. La disposition des boues dans la serre (lit, andains), leur hauteur et la structure de la boue (granulée ou non) sont les facteurs influençant la surface d'échange.

Un retournement efficace des boues permet de toujours avoir une surface d'échange optimale. Ainsi, après un épaissement et une première déshydratation, les boues fraîches ne doivent pas être stockées mais doivent être directement introduites dans la serre afin d'éviter tout risque d'odeurs liées à la mise en place de processus anaérobies. La circulation de l'air dans la serre est contrôlée par des ventilateurs et des extracteurs dont le fonctionnement est asservi à des mesures de température et d'hygrométrie intérieures et extérieures.

Des ouvrants permettent l'introduction de l'air extérieur dans la serre, celui-ci se charge en eau qui s'est évaporée de la boue grâce à l'effet de serre et est envoyé à l'extérieur grâce aux extracteurs. Afin d'homogénéiser la température au sein de la serre et d'améliorer le transfert d'eau, des déstratificateurs sont présents au-dessus du lit de boue. Les extracteurs peuvent être remplacés par une ventilation naturelle dans le cas de serres ouvertes.

Le fonctionnement général décrit ci-dessus est commun à l'ensemble des constructeurs qui ont par contre chacun leurs propres particularités.

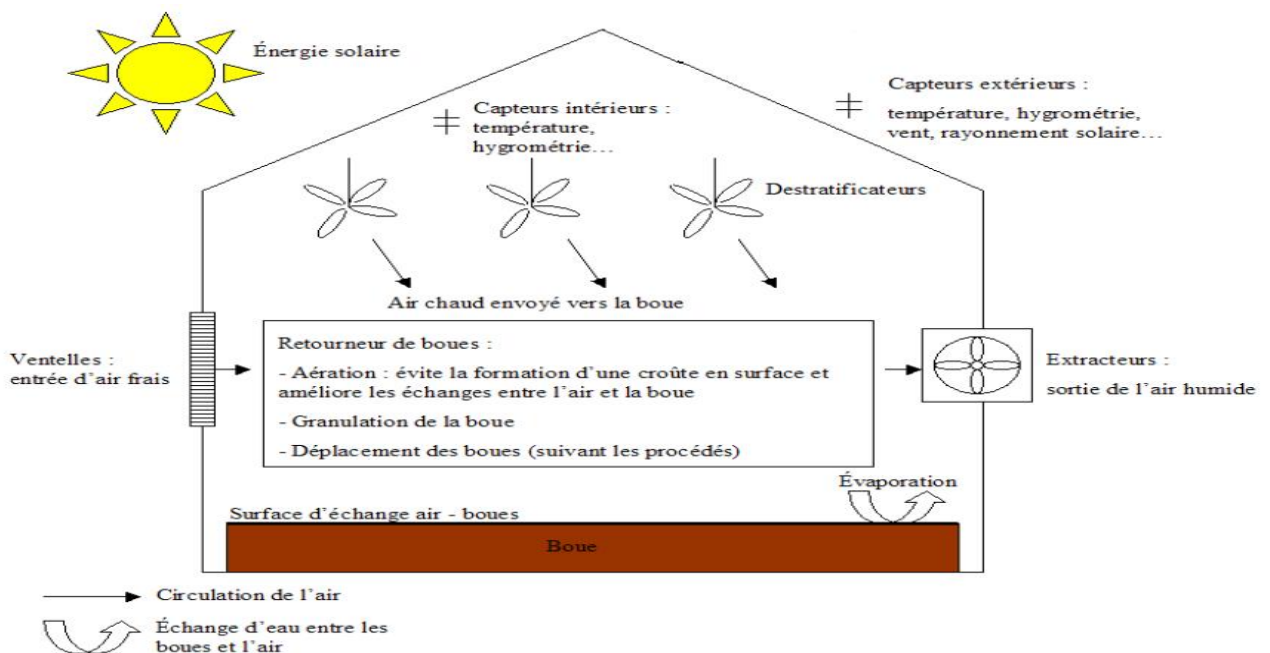


Figure 10 : schéma du fonctionnement général d'une serre

## 6.2 Différents type de serres

Sur le marché du séchage solaire, deux types de serres sont présentes :

### 6.2.1 serre ouverte

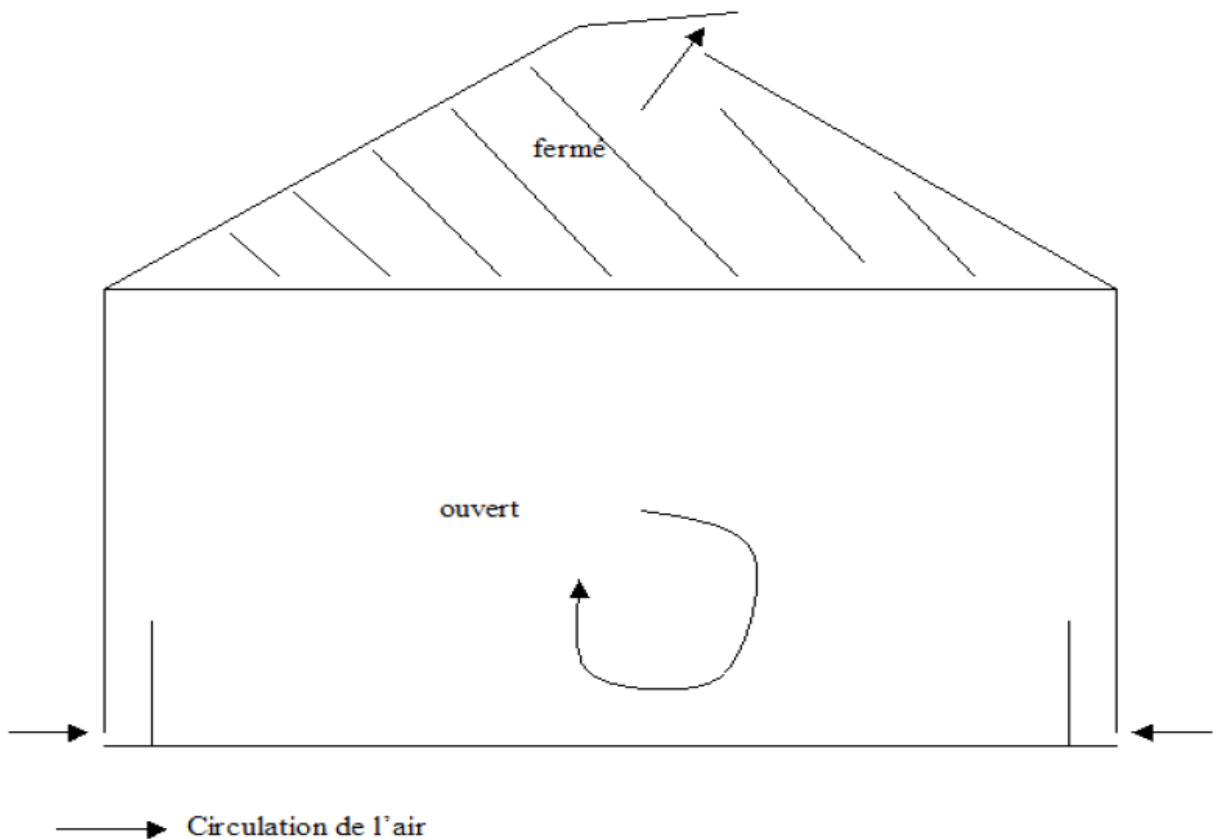
La serre ouverte est équipée d'ouvertures en partie basse et en partie haute afin de favoriser la convection naturelle (cas typique des serres horticoles) et est démunie de porte. La gestion de l'atmosphère dans la serre est assurée par ventilation naturelle donc non contrôlée. Le taux de renouvellement de l'air dans la serre n'est pas maîtrisé car seule l'action sur l'ouvrant en toiture permet d'accentuer ou de réduire le débit de ventilation dans la serre.

- **Avantages :**

- Conception simple
- Limitation des dépenses énergétiques
- Si ventilation suffisante, dilution constante des odeurs dans l'atmosphère

- **Inconvénients**

- Températures intérieures plus basses que dans une serre fermée
- Performances de séchage sur l'année moindres et aléatoires
- Impossibilité d'installer une désodorisation



**Figure 11:** schéma de circulation de l'air dans une serre ouverte

Cette circulation d'air résulte du vent ou des phénomènes de convection naturelles induits par des différences de température et d'altitude (tirage naturel).



**Figure 12** : serres ouvertes

### **6.2.2 Serre fermé**

La serre fermée comporte des ventelles (de dimensions précises) sur les parois latérales ou sur un pignon, et des extracteurs pour la sortie d'air sur le pignon opposé

- **Avantages :**

- Maîtrise de la ventilation donc du taux de renouvellement
- Possibilité d'installer une désodorisation

- **Inconvénients**

- Consommation énergétique plus importante



**Figure 13** : serre fermée

En option, pour les serres fermées, la mise en place d'un chauffage complémentaire.

Deux possibilités existent pour apporter de la chaleur supplémentaire en période où l'énergie solaire est réduite (période hivernale) : soit par la mise en place d'un plancher chauffant (une pompe à chaleur récupère les calories de l'eau de sortie de la station d'épuration par exemple), soit en chauffant l'air de la serre par le biais d'aérothermes.

- **Avantages :**

- Surface au plancher de la serre plus petite .
- Performances de séchage \*constantes\* toute l'année.

- **Inconvénients**

- Dépenses énergétiques plus importantes
- conception initiale plus compliquée et plus onéreuse.

## 6.3 Dimensionnement de serres

### 6.3.1 Rappel du principe

Le séchage solaire a pour but d'augmenter la siccité de la boue. Le passage d'une tonne de matière sèche de 20% à 70% de siccité permet une réduction de volume d'un facteur 3,5 (sur la base d'une densité apparente constante).

	Siccité de la boue	Tonne d'eau dans la boue	Tonnage de boue brute
1 Tonne de matière sèche (MS)	10 %	9 T	10 T
	20 %	4 T	5 T
	40 %	1.5 T	2.5 T
	60 %	0.67 T	1.67 T
	70 %	0.43 T	1.43 T
	80 %	0.25 T	1.25 T
	90 %	0.11 T	1.11 T

**Tableau 1** : Exemple de la Masse d'une tonne de MS suivant la siccité de la boue

En exemple, à partir de ce tableau, le passage d'une siccité de 20 à 70% permet un gain en tonnage de boue et donc en volume d'un facteur de 3,5 (ratio 5 T/1,43 T). Ce gain nécessite l'élimination de 3,57 tonnes d'eau par évaporation.

Ce tableau montre également qu'un gain de 10 points de siccité est beaucoup plus intéressant pour de faibles siccités que pour des boues déjà déshydratées : le passage d'une boue de 10 à 20 % de siccité permet une réduction de volume d'un facteur 2 alors que le passage de 80 à 90 % permet seulement un gain en volume d'un facteur de 1,12.

### 6.3.2 Dimensionnement

Les données météorologiques telles que la température, le rayonnement solaire, le vent, l'hygrométrie de l'air et les précipitations, dont certains paramètres ont plus d'influence selon le type de serres (ouverte ou fermée), dépendent non seulement du lieu géographique considéré mais également de la période de l'année. Ces informations permettent de déterminer une évaporation théorique exprimée en kilogramme d'eau évaporée par mètre carré et par an : kg EE/m<sup>2</sup>/an.

A cela, il faut ajouter les effets de la ventilation de dé-stratification qui peut permettre d'augmenter l'évaporation jusqu'à 30 %.

**6.3.3 Les principaux paramètres d'entrée dans le dimensionnement**

- Siccité initiale de la boue
- Siccité finale
- Quantité de boue appliquée à la serre sur l'année
- Hauteur maximale du lit de boue à ne pas dépasser
- Filière d'évacuation des boues en sortie de serre (continue ou discontinue dans le cas d'épandage agricole).

### **Conclusion**

Il existe donc une grande variété de techniques permettant une valorisation énergétique des boues de stations d'épuration. Certaines sont très largement utilisées, alors que d'autres restent ponctuelles et ne bénéficient pas encore suffisamment de retour d'expérience.

Néanmoins, toutes ces techniques ont en commun l'avantage de contribuer à la réduction de l'utilisation d'énergie fossile, de fournir un débouché pour la gestion des boues de STEP et la production d'énergie.

Toutefois, le choix de ces filières devra se faire au cas par cas en fonction de la qualité des boues, de la taille de la station d'épuration, du contexte local et des aspects socio-économiques, environnementaux, techniques.

---

# Chapitre II :

---

## Séchage des Boues par Filtre Planté de Roseaux

### **Introduction**

La technologie des lits de séchage plantés (LSPR) connaît une montée en puissance internationale pour le traitement des boues d'assainissement. Par rapport aux lits de séchage classiques, elle permet une réduction des surfaces et une diminution du coût d'exploitation car les boues peuvent être accumulées pendant des durées plus longues (plusieurs années) dans les mêmes lits sans extraction. L'avantage réside aussi dans une meilleure désinfection et une meilleure transformation des matières organiques.

Les plantes constituent l'un des éléments les plus importants pour le fonctionnement et les performances d'un tel système. Le plus souvent il convient d'utiliser des plantes locales, mieux adaptées aux conditions climatiques spécifiques. Par ailleurs, le type de plantes utilisées étant en général des roseaux, il convient de maintenir dans les massifs un degré d'humidité suffisant pour la survie des plantes sélectionnées.

Dans ce contexte la maîtrise des phases de démarrage, ainsi que de la sélection de plantes résistantes aux différents types de stress auxquels celles-ci seront soumises (stress hydrique, charge en matière carbonées, en nutriment, en produits toxiques, etc...) seront des éléments fondamentaux de par leur criticité pour la viabilité du procédé.

### **1. Historique du développement des LSPR**

Initialement, la déshydratation des boues, par le biais d'un procédé rustique, utilisait des lits de séchage non plantés dont l'utilisation ne répond pas aux contraintes d'exploitation d'une épuration par boues activées (Liénard et al., 2006) :

- Problèmes de séchage en hiver ;
- Evacuation systématique des boues déshydratées entre chaque apport, pour éviter le colmatage.

Par conséquent, l'exploitation fastidieuse qu'il nécessite et l'importance des flux de transport qu'il engendre rendent ce procédé peu viable.

Pour pallier le problème du colmatage, inhérent aux techniques de traitement des eaux par filtration sur supports fins, une équipe de chercheurs allemands a planté des roseaux sur les lits (Bittmann et Seidel, 1967 ; Kickuth, 1969). Le réseau de tiges, rhizomes et racines, développé par le végétal au sein de la boue, améliore le drainage et l'aération du dépôt de boue. Les performances s'en sont trouvées améliorées et la gestion facilitée grâce à une évacuation des boues, déshydratées et stabilisées, moins fréquente.

Dans le contexte de la mise en place, la filière LSPR semble également prometteuse pour le traitement des matières de vidange. Aussi, les thèses (Troesch, 2009 et Vincent, 2011) conduites à Irstea se sont penchées sur la faisabilité du traitement de ces déchets de l'assainissement non collectif et l'optimisation du traitement des boues activées issues de l'assainissement collectif. Pour chacun des deux types de boues, les 6 années de recherches ont porté sur l'étude de :

- La stratégie de traitement selon le type de boue .
- Les matériaux utilisés pour la composition du massif filtrant, notamment la couche de filtration superficielle .
- La charge à appliquer (au démarrage et au nominal) selon le type de boue traité,
- Le nombre de lits à mettre en place selon le type de boue et la charge à traiter.

On notera que ce système a également fait ses preuves pour le traitement de différents types de boues comme les boues issues de digesteur anaérobie (Nielsen, 2003), de dragage de canaux/rivière (De Maeseneer, 1997), de décanteur digesteur (Zwara et Obarska- Pempkowiak, 2000), de décanteur primaire (Torrens et al., 2006), ou encore des boues issues de latrines et fosses septiques dans les pays en voie de développement (Kengne et al., 2008).

Toutefois, même si au niveau international les LSPR sont développés pour des boues industrielles (issues du traitement d'eau potable, d'industrie agro-alimentaire, distilleries ...), ce guide ne les concerne pas directement. Pour cela, déterminer les caractéristiques des boues et une étude préalable de faisabilité sont nécessaires pour adapter le dimensionnement et la gestion des lits.

En conséquence de quoi, ce procédé apparaît également avantageux pour de grosses collectivités, sous réserve d'une disponibilité foncière, raison pour laquelle il est développé au Danemark pour des grosses collectivités (Figure 1).



**Figure 14** : STEP de Kolding (Danemark) traitant 2000 T/an de MS (125 000 EH).

### 1.1. Intérêt des LSPR

Les lits de séchage plantés de roseaux (LSPR) sont jusqu'à présent développés principalement pour des petites et moyennes collectivités (jusqu'à 27 000 EH). Il est fort probable que cela soit dû au procédé cousin de filtres plantés de roseaux (FPR) appliqués pour des STEU de moins de 5000 EH pour le traitement des eaux. Le caractère gourmand des LSPR en emprise foncière est un inconvénient pour le mettre en œuvre sur de grosses collectivités, d'un point de vue économique cette justification n'est cependant pas forcément adaptée sur l'âge de vie d'une station. En effet, on notera que :

- le coût lié à la compartimentation des lits (nécessaire pour une souplesse de gestion) devient d'autant plus important que la capacité de traitement est faible. Cela revient à privilégier un plus petit nombre de lits et une moindre charge surfacique de dimensionnement pour de petites unités.
- Si les coûts d'investissement peuvent paraître parfois élevés au regard d'autres procédés de traitement des boues, la facilité de gestion permet des économies importantes sur l'âge de vie de la station (la consommation en énergie est environ 10 et 20 fois moins importante par rapport aux technologies de filtre presse et de centrifugation respectivement d'après une étude interne Danoise de la société Orbicon). De même, à titre d'exemple, l'exploitant de la station d'Andancette (13 000 EH, Drôme) estime gagner un mi-temps d'exploitation, grâce aux LSPR, par rapport à un

système classique de traitement des boues. Cet argument trouve sa justification par la contrainte que pose la gestion des bennes de boues avec des procédés traitant les boues en continu.

La capacité d'infiltration à travers le lit est maintenue dans le temps grâce à la dynamique du système racinaire des plantes en développement constant, qui génère des canaux au sein des boues, améliorant ainsi la percolation. Le volume de boues accumulées à la surface du LSP diminue dans le temps en raison de la déshydratation et de la digestion. Les plantes maintiennent la porosité de la couche de boue, ce qui permet de ne pas avoir à curer les bassins avant un nouveau déversement, contrairement aux lits de séchage non-plantés (qui eux impliquent un curage des boues toutes les deux ou trois semaines, Strauss *et al.*, 1997).

En comparaison avec les lits non-plantés, les macrophytes émergents permettent une efficacité élevée des LSP en termes de stabilisation et de réduction des germes pathogènes. Les plantes évitent aussi le colmatage des lits.

## 2. Principe de fonctionnement des LSPR

### 2.1. Généralités

Le traitement des boues sur LSPR repose sur un traitement aérobique de la boue dont les principaux objectifs sont la déshydratation et la minéralisation de la boue ; mécanismes responsables de la réduction de son volume et de sa stabilisation.

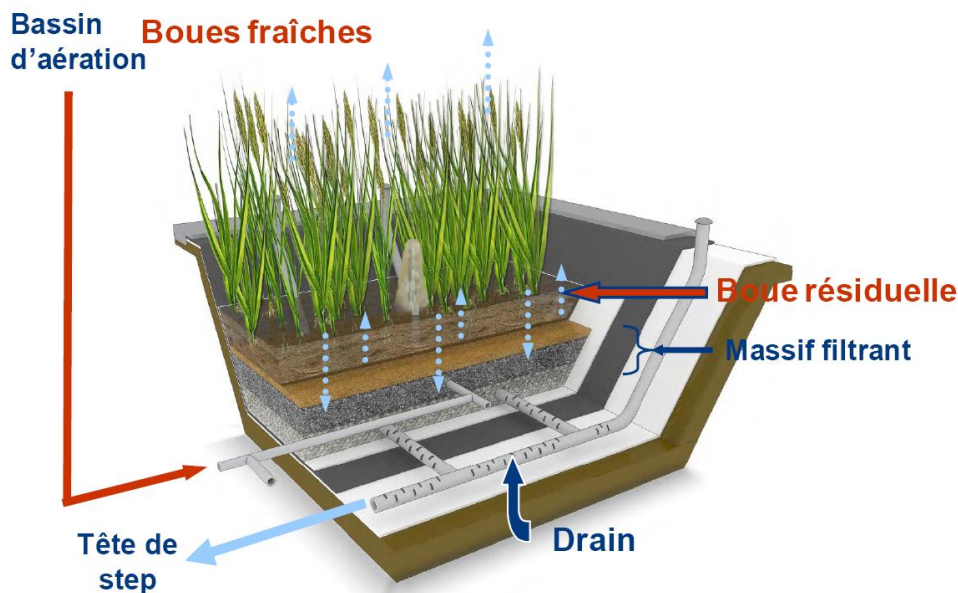


Figure 15 : Représentation schématique d'un lit de séchage de boues planté

Les LSPR reposent sur la mise en place d'un massif filtrant reconstitué, de granulométrie croissante de la surface vers la profondeur du filtre (cf. Figure 3). Des drains situés à la base du lit permettent d'assurer à la fois le drainage et l'aération du lit par le fond. Les roseaux sont plantés à la surface du lit, au sein de la couche superficielle de filtration, le rôle de cette dernière étant de

filtrer les premières alimentations en boues. Lors des alimentations, les boues sont apportées par bâchées à la surface du lit en service, où elles subissent différentes étapes de traitement et de transformation (cf. Figure 4) :

- le lit joue un rôle de rétention physique des matières en suspension (MES) contenues dans la boue. Ce mécanisme est responsable de la formation du *dépôt de boue*, à la surface du lit,
- sous l'action des forces de gravité, l'eau libre contenue dans la boue est drainée vers le fond du lit, où un réseau de drains permet son évacuation. Ce mécanisme participe à la réduction du volume et au séchage des boues stockées sur le lit,
- la matière organique du dépôt de boue est minéralisée par l'action bactérienne et faunistique aérobie. Ce mécanisme est crucial pour la réduction et la stabilisation du dépôt de boue,
- le dépôt de boue subit un séchage « naturel » dû à l'activité végétale, via l'évapotranspiration des roseaux, permettant d'améliorer la déshydratation atteinte par simple drainage de l'eau libre (de l'ordre de 10 à 15 %) et ainsi d'atteindre des siccités supérieures à 25 %.

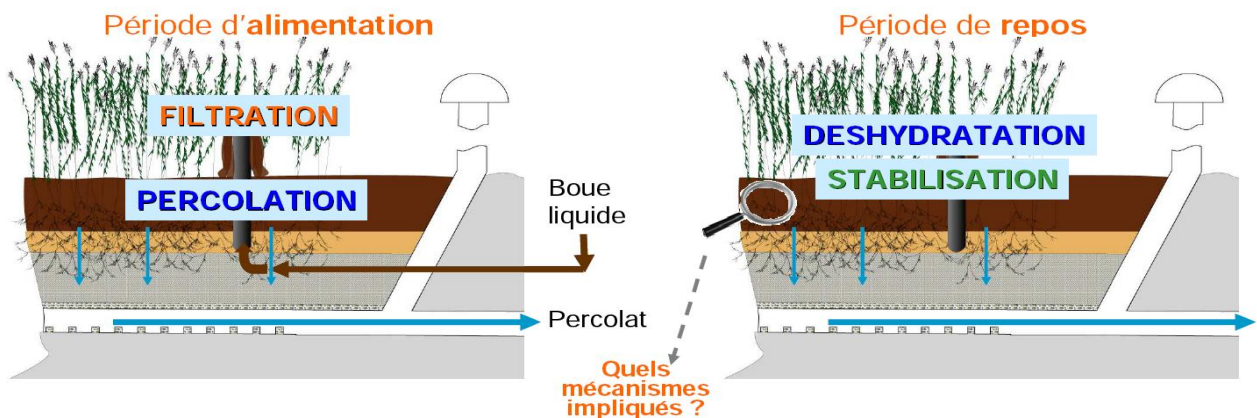
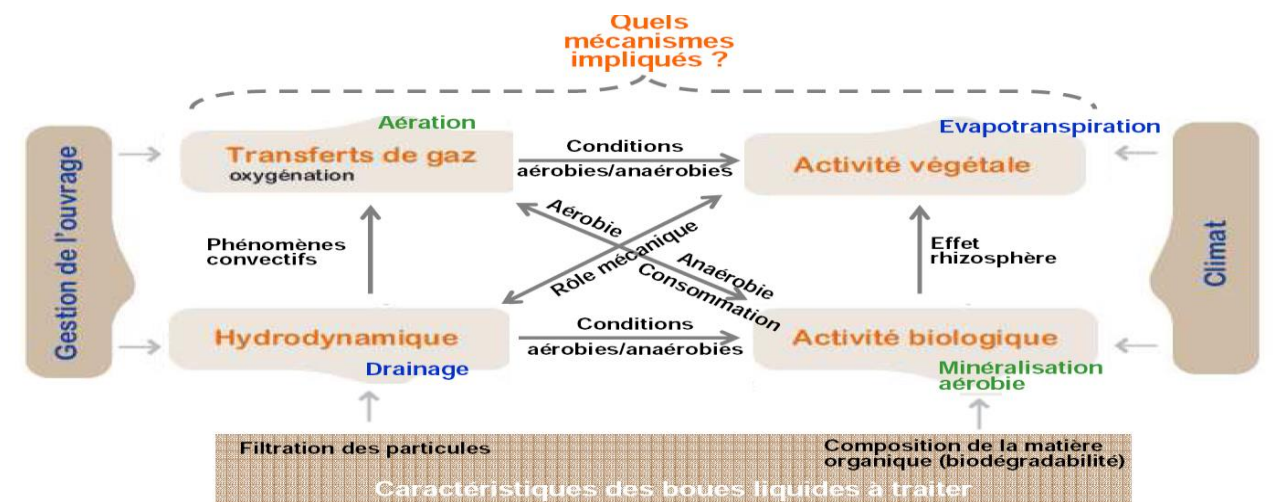


Figure 16: processus impliqués dans les LSPR (adapté de Molle, 2012)



La conception et la gestion des LSPR doivent, par conséquent, permettre de garantir constamment :

- une croissance optimale des roseaux, pour leur rôle physique sur le drainage et leur rôle biologique sur la déshydratation,
- une bonne aération du massif filtrant et du dépôt de boue, synonyme d'un fonctionnement aérobique nécessaire à la survie des roseaux et à la minéralisation de la matière organique.

Outre les aspects de conception et de dimensionnement, la gestion des lits est un point clé garant des bonnes performances de traitement. Compte tenu des fortes charges organiques appliquées lors des alimentations, la mise en place de périodes de repos est indispensable à la minéralisation aérobique de la boue. La gestion du système consiste donc à adapter (en fonction de la saison des charges appliquées et de l'âge du système) le ratio entre le nombre de jours d'alimentation et le nombre de jours de repos (défini sous le terme de fréquence d'alimentation, cf. Chapitre 6.2). La nécessité d'un traitement continu des boues impose, par conséquent, la mise en place de plusieurs lits en parallèle, permettant une rotation entre chacun. Ainsi, chaque lit est soumis à deux périodes successives :

- une période d'alimentation, au cours de laquelle les boues sont apportées par bûchées à la surface du lit,
- une période de repos, plus longue que la précédente, nécessaire au séchage et à la minéralisation de la boue.

De même, les lits évoluent dans le temps, en raison de l'accumulation de matière organique et du développement végétal. La gestion des lits doit donc être adaptée en fonction de différentes phases :

- la phase de démarrage, pour optimiser le développement des roseaux,
- la phase de fonctionnement nominal ou de fonctionnement routinier,
- la phase de curage, précédée d'une période de repos prolongé et suivie d'une période de redémarrage.

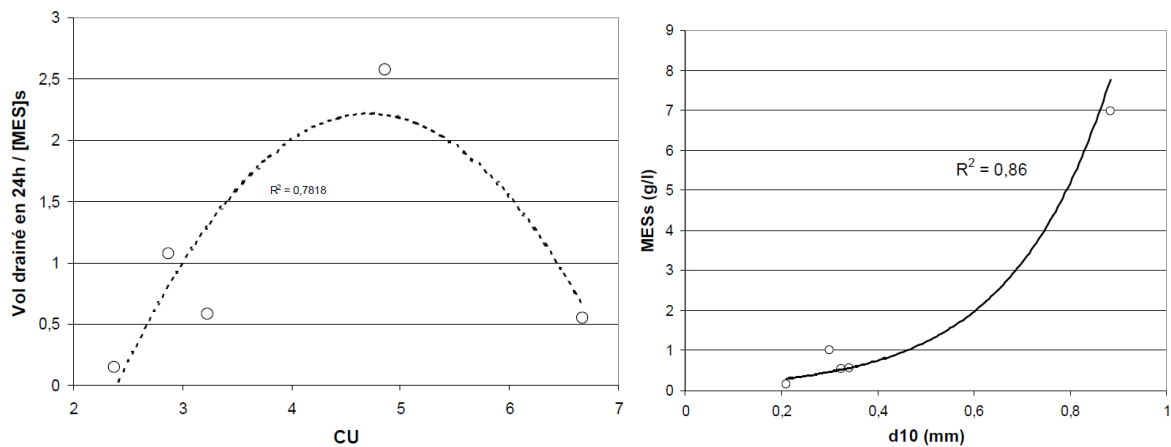
La succession de ces trois phases constitue un cycle de fonctionnement propre à chacun des lits. Pour un fonctionnement optimal des LSPR, il est primordial de respecter les consignes d'exploitation propres à chacune des phases (cf. Chapitre 6).

## **2.2. Filtration**

Composé de matériaux filtrants, le massif assure la rétention des MES contenues dans les boues en surface du filtre et, ainsi, évite son colmatage occasionné par une pénétration excessive des MES dans le filtre.

L'efficacité de la filtration dépend principalement de la couche de filtration superficielle qui doit permettre d'éviter la migration des particules dans la porosité du gravier sous-jacent, sans pour autant ralentir le drainage de l'eau. Le choix du matériau qui la compose est donc de première importance. Un compromis doit être trouvé entre un matériau trop grossier, limitant la formation du dépôt et un matériau trop fin, nuisible aux transferts d'oxygène et à l'écoulement de l'eau gravitaire. La granulométrie est donc un paramètre discriminant pour assurer l'efficacité de filtration, tant par rapport à la taille qu'à l'homogénéité des particules.

En effet, les tests sur colonnes réalisés par Troesch (2009) pour la sélection du matériau révèlent l'importance du  $d_{10}$  et du CU (coefficient d'uniformité) (Figure 5). La concentration en MES des percolats issus de la filtration de matières de vidange montre que le  $d_{10}$  de la couche superficielle de filtration doit préférentiellement être compris entre 0,2 et 0,4 mm. Le CU idéal, quant à lui, se situe entre 4 et 5 pour assurer à la fois un drainage rapide et une filtration efficace. Si ces critères de sélection pour le choix du sable de filtration sont valables pour les matières de vidange, caractérisées par une forte proportion de fines particules (cf. Chapitre 3.2), ils le sont aussi a fortiori pour les boues activées.



**Figure 17 :** Evolution du ratio volume drainé en 24 heures/concentration en MES du percolat en fonction du coefficient d'uniformité ( $CU = d_{60}/d_{10}$ ) du matériau de filtration

Une fois le dépôt de boue formé, il constitue un nouvel horizon du massif filtrant, améliorant les performances de filtration (Liénard et al., 2008b). A ce stade, la filtration est assurée par le dépôt de boue et la couche de filtration superficielle sert seulement à faciliter le drainage de l'eau en assurant la connexion capillaire entre le dépôt de boue et le massif filtrant.

### 2.3. Déshydratation

Le drainage et l'évapotranspiration sont les deux mécanismes responsables de la déshydratation des boues. Le drainage a lieu essentiellement lors des alimentations, tandis que

l'évapotranspiration impacte principalement le séchage pendant les phases de repos. Ces deux mécanismes permettent d'atteindre des siccités supérieures à 25 %, suite à une période de repos estivale prolongée avant curage (pour les Boues activées) et une gestion maîtrisée du système en phase de routine.

### **2.3.1 Drainage**

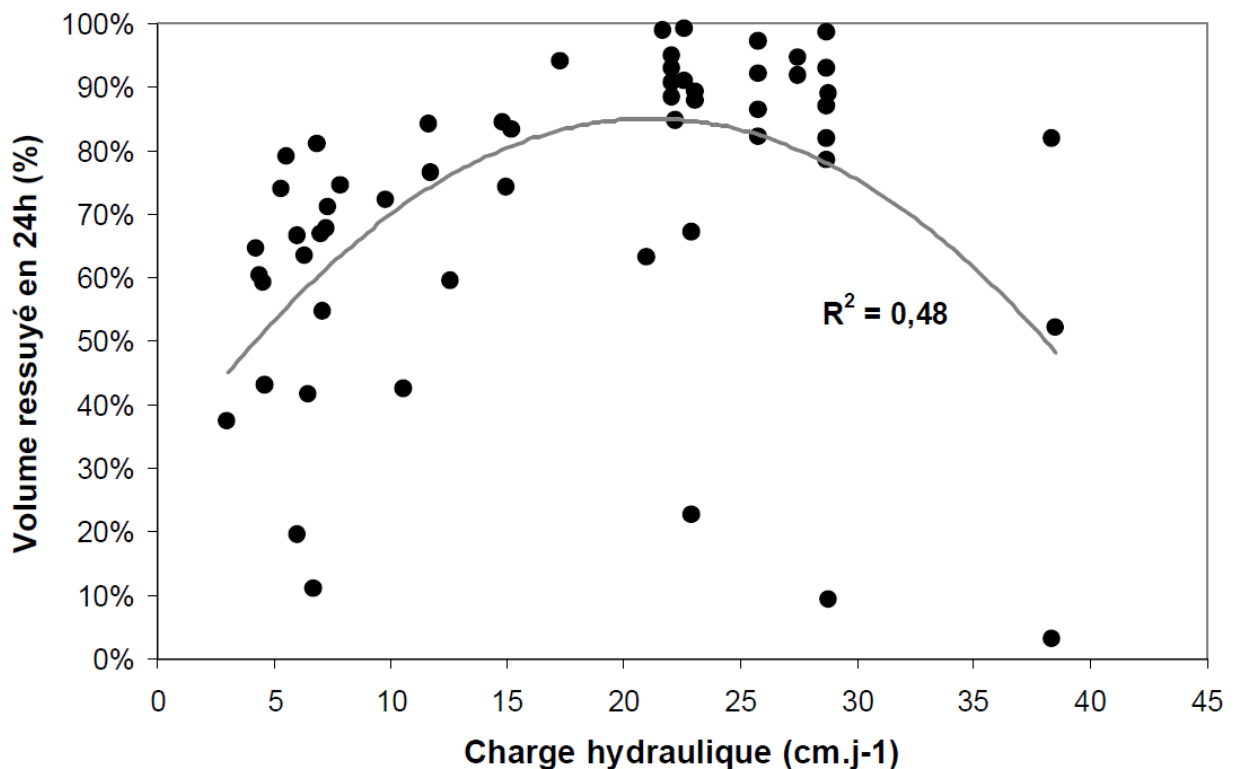
Pour un fonctionnement optimal des LSPR, l'étape de drainage doit impérativement être « rapide » (délai inférieur à 24 h après l'alimentation) et ainsi favoriser l'aération du filtre.

Outre la composition du massif filtrant, le drainage gravitaire dépend de plusieurs facteurs propres à :

- La nature de la boue à traiter ; l'aptitude au drainage d'une boue est largement influencée par la taille des MES et la matière organique (dissoute et particulaire) qui la composent (Vincent et al., 2011). Des boues caractérisées par une proportion importante de fines particules (diamètre < 80  $\mu\text{m}$ ) – telles que les matières de vidange – sont a priori moins aptes à être drainées que des boues plus diluées et floculées – telles que les boues activées. Par contre, une boue préalablement stabilisée sera plus facile à drainer qu'une boue très organique.

- La perméabilité du dépôt de boues ; le dépôt est la couche la plus limitante hydrauliquement. Le drainage de l'eau libre va dépendre de deux facteurs principaux, le bon développement des roseaux d'une part et la structuration du dépôt par minéralisation d'autre part. Les tiges des roseaux percent la couche de dépôt et assurent, par le mouvement des roseaux, un espace tubulaire permettant à l'eau, puis à l'air d'entrer dans le dépôt. Le bon développement des roseaux est primordial pour la pérennité du système. De même, la minéralisation du dépôt dans le temps permet de lui conférer un statut solide avec des pores plus large favorable à l'écoulement de l'eau.

La charge hydraulique induite par la bâchée ; la pression hydrostatique engendrée par l'alimentation par bâchée provoque deux effets contradictoires. D'un côté cela force le passage de l'eau au travers de la couche de dépôt (meilleure infiltration) et d'un autre côté, cela entraîne la compression du dépôt de boue (surtout s'il n'est pas bien minéralisé et donc sous une forme plastique) ralentissant ainsi le drainage. D'une manière générale, on préférera mettre en oeuvre des bâchées comprises entre 15 et 30 cm (Figure 6) pour favoriser l'infiltration et assurer une période de drainage plus longue autorisant la réoxygénation du dépôt. Dans le cas des boues activées, en général, on préférera la mise en place d'une bâchée par jour. Dans le cas de charges hydrauliques inférieures à 5 cm par bâchées (cas des matières de vidange généralement), il s'avère que les volumes apportés permettent à peine la réhumectation du dépôt de boue. Aussi, l'eau apportée est très facilement évapotranspirée par les roseaux en été.



**Figure 18** : Evolution du volume drainé en 24 heures en fonction de la charge hydraulique appliquée par bâchée dans le cas des boues activées

### 2.3.2 Évapotranspiration

L'évapotranspiration résulte de deux phénomènes : l'évaporation et la transpiration. Alors que l'évaporation ne concerne qu'une zone de faible épaisseur, proche de l'atmosphère, la transpiration des végétaux agit sur toute la zone de développement racinaire. S'ils sont tous deux compris sous le terme général d'évapotranspiration, les pertes par transpiration des végétaux sont largement supérieures aux pertes par évaporation, et cela même pour une faible couverture végétale (Musy et Soutter, 1991). L'évapotranspiration est influencée par :

- les conditions climatiques telles que la température et l'humidité de l'air, la vitesse du vent, l'intensité des radiations solaires, etc., qui dirigent les échanges entre le sol et l'atmosphère,
- la capacité de transpiration de la plante qui diffère en fonction du stade de développement de la plante et de l'espèce végétale,
- les conditions de stress et dans notre cas le stress hydrique (la disponibilité de l'eau dans le sol).

Ces trois points introduisent les trois paramètres indispensables au calcul de

l'évapotranspiration : l'évapotranspiration de référence, le coefficient cultural et le coefficient de stress hydrique, chacun est développé ci-après.

### 2.3.3 Minéralisation

Dans les LSPR, la dégradation de la matière organique des boues stockées est assurée par les micro et macro organismes (bactéries, champignons, vers de compost, etc) qui transforment la matière organique en matière minérale. L'absence de vers de compost (*Eisenia fetida*, cf. Figure 9) est un indicateur de mauvais fonctionnement.



**Figure19** : Présence de vers de compost au de la couche de boues accumulées en surface d'un lit .

A ce jour, deux processus sont reconnus comme étant responsables de la transformation de la matière organique : la minéralisation et l'humification.

- La minéralisation consiste en l'hydrolyse des fractions de la matière organique facilement assimilables par les microorganismes, tandis que l'humification est un processus de biosynthèse des substances humiques (c.-à-d. dérivées des composés organiques plus lentement biodégradables).

Les études réalisées dans le cadre de nos travaux de recherche semblent indiquer que le processus de minéralisation est largement majoritaire dans les LSPR (Vincent, 2011). Au cours de ce processus, la matière organique est transformée en composés minéraux ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ , etc.) Son efficacité dépend majoritairement de :

- La nature de la matière organique (rapidement, lentement biodégradable),
- L'aération (phénomène prépondérant, cf encart pour les processus d'aération des LSPR).

### 2.3.4 L'aération des lits

Dans les LSPR, trois mécanismes participent à l'oxygénation des lits, par ordre d'importance :

- la diffusion induite par les gradients de concentration entre l'air atmosphérique (saturé en  $\text{O}_2$ ) et celui du filtre (appauvri par l'activité des microorganismes aérobies). La diffusion est favorisée par les passages préférentiels créés par les roseaux et le craquellement du dépôt de boue, et par le système d'aération passive (c.-à-d. réseau de drains connecté à l'atmosphère).

- Ainsi une bonne siccité favorise le renouvellement de l'air,
- la convection induite par la pression de l'air exercée par la bâchée, cette dernière est directement reliée à la vitesse d'infiltration. Une infiltration et un drainage rapide favorisent donc l'oxygénation du lit,
  - l'activité végétale, des études comparatives entre filtres plantés et non plantés ont pu mettre en évidence l'action positive des roseaux sur la minéralisation de la boue (Hofmann, 1990).

Cet effet, connu sous le terme d'effet rhizosphère, résulte d'un relargage d'oxygène par le système racinaire des roseaux (Armstrong et al., 1996). Si ce mécanisme reste négligeable en termes d'apport en oxygène, il permet aux roseaux de résister à des courtes périodes d'anoxie et stimule également la faune microbienne (Gagnon et al., 2007), dont le développement sera de fait accru localement (c.-à-d. autour des racines).

Pendant la période de repos, l'aération des lits se fait essentiellement par un apport diffusif.

Suivant la siccité du dépôt, son état passe d'une phase liquide, à une phase plastique puis solide. Ce n'est qu'en phase solide qu'une perte d'eau se traduit par une entrée d'air dans le dépôt (Vincent et al., 2012). Il convient donc d'obtenir une siccité suffisante pendant chaque période de repos pour garantir une minéralisation aérobie du dépôt. Cette siccité est de 11 % pour un dépôt de boues activées et de 18 % pour un dépôt de matière de vidange (Vincent et al., 2012).

Ce processus de dégradation de la matière organique contribue à la réduction du volume de boue accumulée sur les lits. La réalisation de bilan de matière sur les pilotes a mis en évidence une réduction des matières sèches pouvant aller jusqu'à 50 %, tant pour les matières de vidange que les boues activées, sous réserve d'une gestion adéquate. La minéralisation des boues accumulées sur les LSPR permet donc la limitation du volume de boues à évacuer et de ce fait, contribue à l'allongement du cycle de fonctionnement avant le curage des lits.

### **2.3.5. Rôle des végétaux**

Dans les LSPR, les roseaux ont une action :

- **Mécanique** sur le drainage et l'aération grâce aux passages préférentiels établis par les tiges, racines et rhizomes permettant un drainage rapide, avec plus de 90 % de l'eau évacuée en 24 h (Liénard et al., 1990). Une fois le drainage terminé, l'air remplace l'eau dans la porosité du dépôt de boue, en suivant les mêmes passages préférentiels. En été, ce phénomène est accru par le séchage du dépôt qui fait alors apparaître des anneaux libres autour des tiges (cf. Figure 10). En revanche, en hiver, le flétrissement des parties aériennes limite le drainage et par conséquent l'aération (les tiges sont couchées et l'effet de réalésage est minime).

- **Biologique** sur le séchage via l'évapotranspiration qui est l'unique moyen d'améliorer la déshydratation du dépôt une fois le drainage de l'eau libre réalisé.

Cependant, en régions tempérées, l'évapotranspiration n'est effective qu'une période de l'année et son intensité dépend des conditions climatiques et du stade de développement des roseaux (cf. paragraphe 2.3.2). En l'absence de stress hydrique, elle peut atteindre jusqu'à 2,5 cm par jour pour des roseaux bien développés (DeMaeseneer, 1997). En hiver, le flétrissement des parties aériennes rend l'évapotranspiration nulle.



**Figure 20** : anneaux libres autour des tiges, conséquence majeure du rôle mécanique des roseaux.

Le séchage du dépôt de boue dépend donc uniquement de l'efficacité du drainage et de l'évapotranspiration. Ce constat pose la question de la gestion des lits en fonction du climat.

Lors du dimensionnement, plusieurs aspects sont à considérer : d'une part, la sélection de l'espèce de macrophyte et, d'autre part, les paramètres de gestion tels que la charge à appliquer et la fréquence d'alimentation qui vont conditionner le nombre de lits à mettre en place. L'objectif est d'accroître les valeurs de siccité du dépôt tout en évitant l'état de stress hydrique des roseaux qui, s'il persiste, peut causer leur flétrissement prématuré.

Actuellement, la communauté scientifique axe de plus en plus ses recherches sur l'effet de l'évapotranspiration sur la déshydratation du dépôt de boue. A terme, l'objectif serait d'adapter la gestion des LSPR au climat.

La présence de roseaux sur les LSPR présente d'autres avantages, notamment :

- Le flétrissement des parties aériennes constitue un apport de lignine et autres composés cellulosiques à l'origine de la formation des composés humiques (c.-à-d. acide humique, fulvique et humine) lors de la stabilisation de la boue,

- Le couvert végétal fourni par les roseaux procure une isolation thermique diminuant ainsi le risque de gelée hivernal (cas des roseaux non faucardé en hiver).
- Le relargage d'oxygène au niveau de ses racines stimule le développement de biomasse aérobie autour des racines. Cela entraîne une plus grande diversité de microorganismes sur les LSPR (Brix, 1997 ; De Maeseneer, 1997),
- La sécrétion de substances antibiotiques par le système racinaire favorise l'hygiénisation.

### 2.3.6 Traitement des boues activées sur LSPR

Les paramètres classiques utilisés pour décrire une ERU (Eaux Résiduaires Urbaines) (c.-à-d. DCO, DBO, MES, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, etc.) sont également appliqués aux boues. Ces dernières sont néanmoins, le plus souvent, caractérisées par leur taux de matière sèche (MS), qui comporte une fraction organique et une fraction minérale. La matière organique est assimilée aux matières volatiles (Mat. Vol.). La fraction matières volatiles/matières sèches (c.-à-d. % Mat. Vol./MS) dépend : de la filière de traitement des eaux usées (traitement physico-chimique, biologique aérobie ou anaérobie, etc.), de la stabilisation (aérobie, anaérobie, chimique, etc.), mais aussi des divers conditionnements mis en œuvre dans la filière boue (ajout de polymères, chaulage, chlorure ferrique, etc.). Ce paramètre donne une indication sur le degré de minéralisation de la boue qui a une incidence directe sur son comportement lors de son traitement. Le Tableau1, synthétise la qualité de différents types de boues issue de la littérature et permet d'avoir une base de description de la composition d'une boue en fonction du traitement qu'elle a subi.

Paramètre	Boue physico-chimique	Boue stabilisée par digestion anaérobie	Boue de lagunage	Boue activée aération prolongée
MS (g.L <sup>-1</sup> )	20 – 60 <sup>c</sup>	15 – 20	60 – 120 <sup>c</sup>	2 – 6
Composition élémentaire (% masse/MS)				
Carbone	33 <sup>b</sup>	30 <sup>b</sup>	25 – 35	33 - 40
Azote (total)	5 <sup>b</sup>	3 <sup>b</sup>	2 – 3	4 – 5
Phosphore	2,5 – 3 <sup>b</sup>	-	1,5 – 2,5 <sup>c</sup>	2 – 2,5
Hydrogène	4,4 <sup>b</sup>	4,9 <sup>b</sup>	-	5,2
Potassium	0,06 <sup>b</sup>	5 – 8 <sup>b</sup>	0,2 – 0,3 <sup>c</sup>	0,2 – 0,3 <sup>c</sup> (0,7) <sup>d</sup>
Calcium	12 <sup>b</sup>	20 – 25 <sup>b</sup>	5 – 15 <sup>c</sup>	5 – 15
Magnésium	0,4 <sup>b</sup>	-	0,4 – 0,8 <sup>c</sup>	0,4 – 0,8
Aluminium	1 – 5 <sup>b</sup>	-	0,1 – 0,3 <sup>c</sup>	0,1 – 0,3
Fer	8 <sup>b</sup>	38 – 62 <sup>b</sup>	1 – 3 <sup>c</sup>	1 – 3
Matière organique Mat. Vol. (% / MS)	60 – 71 <sup>b</sup>	50 – 60 <sup>b</sup>	45 – 60 <sup>c</sup>	60 – 80 <sup>a, c</sup>
Composition de la matière organique (% Mat. Vol.)				
Protéines	10 – 30 <sup>b</sup>	30 – 35 <sup>b</sup>	-	46 – 52 <sup>a</sup>
Polysaccharides	15 – 20 <sup>b</sup>	20 – 35 <sup>b</sup>	-	17 <sup>a</sup> – 25 <sup>b</sup>
Lipides	18 <sup>b</sup>	2 – 10 <sup>b</sup>	-	7 – 9 <sup>b</sup>
Substances humiques	-	-	-	18 – 23 <sup>a</sup>
Taille des particules (Moyenne ± Ecart-type)				
d <sub>10</sub> (µm)				21 (±4) <sup>c</sup>
d <sub>50</sub> (µm)				163 (±29) <sup>c</sup>

Tableau 2 : différents types de boue issues de l'assainissement collectif, selon la littérature

Lors du traitement sur LSPR, outre un défaut de conception ou de gestion, il se peut que les mauvaises performances de traitement enregistrées pour les boues activées, soient liées à la composition de la matière organique en présence. En effet, peu d'étude sur les LSPR ont réellement relié la composition de la boue, notamment par rapport à sa biodégradabilité, aux performances observées. Or, la vitesse de minéralisation d'un produit et la demande en oxygène nécessaire, dépendent essentiellement de sa biodégradabilité. Ce dernier point introduit la nécessité de bien adapter à la qualité de la boue à traiter, la quantité de boue apportée sur les LSPR (c.-à-d. la charge surfacique annuelle reçue) d'une part, et la fréquence d'alimentation (surtout la durée du repos) d'autre part. Bien qu'il n'existe, à ce jour, aucune règle précise de dimensionnement de la charge acceptable sur des LSPR en fonction de la biodégradabilité des boues, quelques études soulignent l'importance de ce facteur (Nielsen,2011). Il sera donc nécessaire pour le concepteur et pour l'exploitant d'adapter le dimensionnement et la gestion fine des LSPR, respectivement, lors du traitement de boues présentant des caractéristiques hors gamme par rapport à celles des boues activées.

### 3.Type des LSPR

Les lits de séchage plantés de roseaux peuvent prendre différentes formes. En fonction des contraintes spécifiques à chaque projet et de la surface d'implantation disponible, ils peuvent être réalisés en déblais-remblais avec étanchéification ou dans des casiers béton.

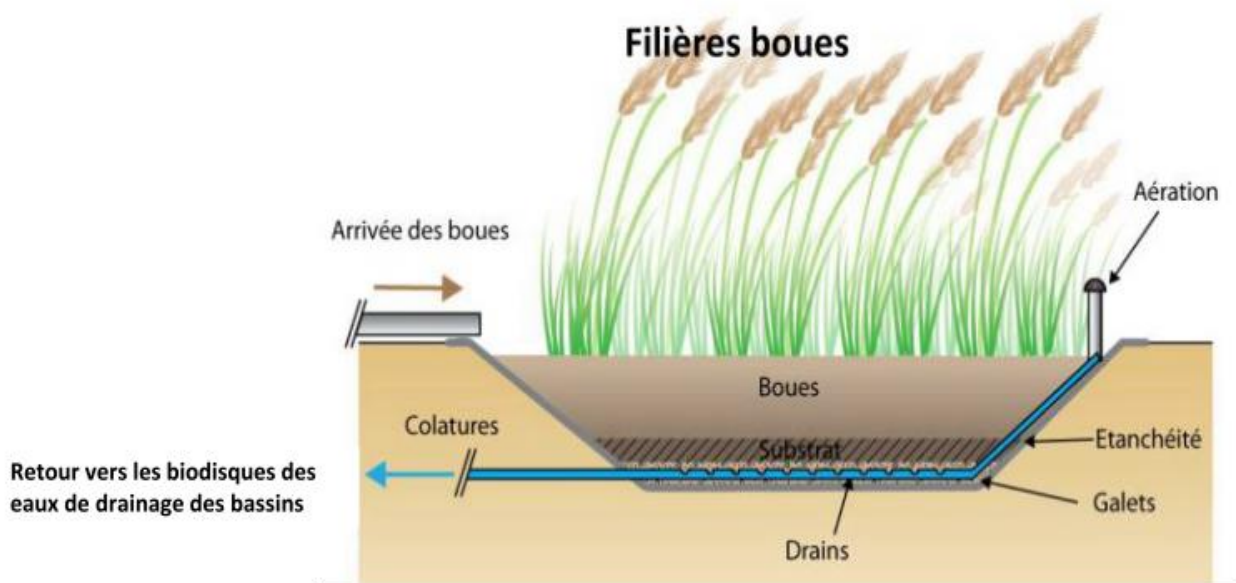


Figure21 : Schéma de LSPR en déblais -remblais



Figure 22 : LSPR Réalisés en Déblai/remblai

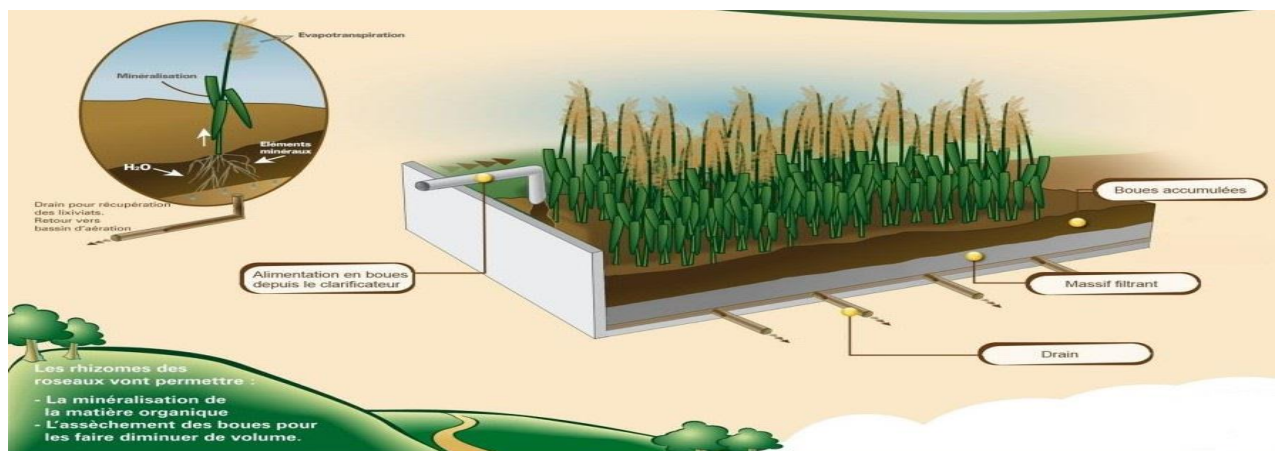


Figure 23 : Photo de LSPR en Béton

### **3.1. Dimensionnement LSPR**

Avant de présenter les différentes étapes de dimensionnement des LSPR, il est important de rappeler les points clés qui participent au choix de la filière de traitement des boues. Bien sûr, pour chaque point, les considérations économiques (coût d'investissement, coût d'exploitation) sont à étudier pour orienter ce choix. La Figure 13 résume les différents points à considérer pour un traitement des boues sur LSPR.

Le dimensionnement d'une installation LSPR se réalise en trois étapes :

- Le calcul/estimation de la production annuelle de boues à traiter (en kg MS.an-1 ou kg MES.an-1 pour les boues activées .
- Le choix de la charge surfacique annuelle appliquée sur les lits, en fonctionnement nominal (en kg MS.m-2an-1 pour les boues activées.

Cette charge surfacique de dimensionnement définit donc la surface totale de filtration de l'installation,

- Le choix du nombre de lits à mettre en place qui correspond à la division de la surface totale, préalablement définie, en plusieurs unités de traitement. Chacune de ces étapes fait l'objet d'un paragraphe ci-après.

### **3.2. La Conception des lits de séchage plantés**

Les lits sont composés d'un massif filtrant à fond étanche constitué de différentes couches de matériaux de granulométries diverses qui reposent sur un radier. Du bas vers le haut :

**1-** Couche de galets (de 15/30 mm à 30/60 mm) sur environ 15 cm, recevant également les drains avec fentes tournées en partie vers le bas pour éviter toute stagnation d'eau et conjointement aérer la couche drainante ;

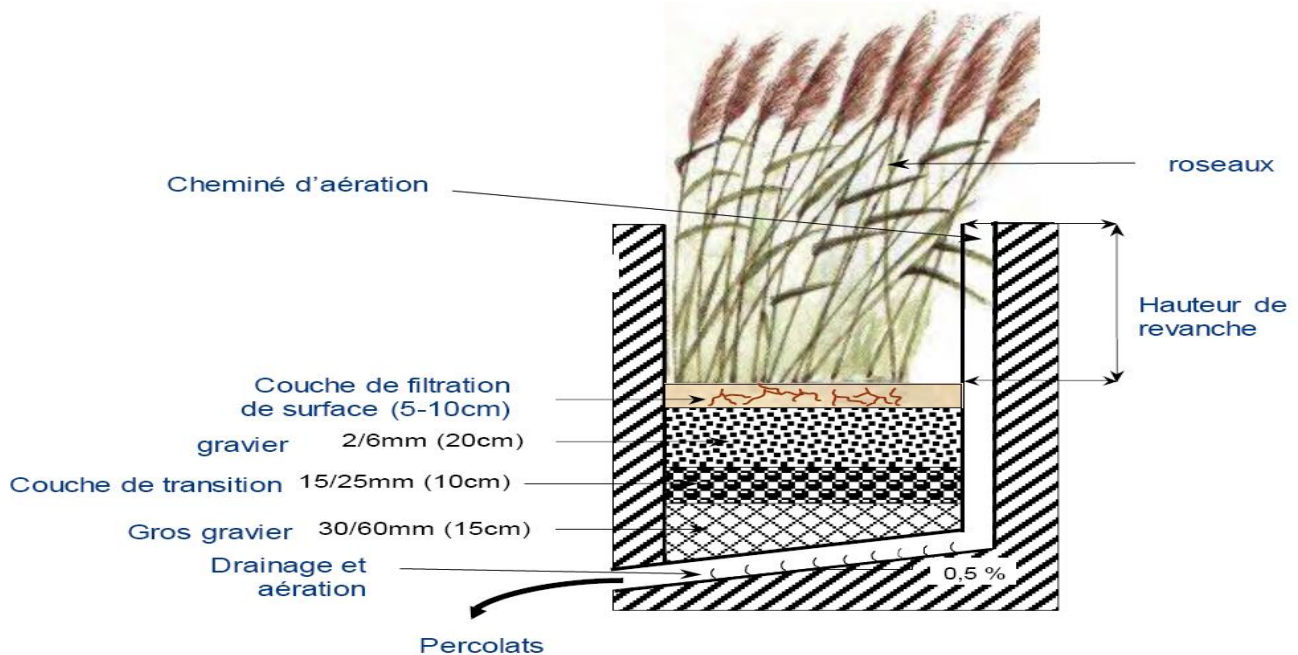
**2-** Couche de transition (10 cm) d'une taille de particules intermédiaire (15-25mm) entre les deux couches qu'elle sépare ou utilisation d'une géogrille ;

**3-** Couche de gravillon (3/6 mm) sur 25-30 cm. Dans tous les cas, ce gravier doit être supérieur à du 2/4 mm pour éviter la migration d'éléments trop fins vers la couche du fond ;

**4** -10 cm d'amendement organique de type « compost vert » répondant à la norme NF U 44-051. Ce matériau utilisé conjointement comme support de filtration et de croissance a permis d'obtenir un développement végétal plus dense que celui observé avec une couche de 5 cm de sable grossier. La filtration est moins effective au démarrage mais, une fois la couche de boue formée, aucune différence n'est notable comparé au sable. Pour favoriser la croissance des roseaux le compost végétal est donc privilégié.

### 3.3. Description de la technologie

Les lits de séchage plantés de macrophytes ont pour objectif de stabiliser la matière organique et de réduire le volume des boues afin de faciliter leur transport et leur disposition. Ils sont souvent considérés comme une variante des marais filtrants à écoulement vertical sous-surfacique puisqu'ils se composent principalement des mêmes éléments, à savoir;



**Figure 24:** Composition d'un lit de séchage planté de roseaux (type béton)

Un massif filtrant reconstitué de granulométrie croissante de la surface vers le fond du filtre, Des macrophytes aquatiques plantés à la surface du filtre dans un substrat adéquat (compost ou sable),

Un système d'alimentation permettant l'apport direct de la boue à la surface du massif, Une hauteur de revanche permettant un stockage de la boue sur le long terme (1 m maximum), Un système de drainage permettant la collecte des eaux de drainage (i.e. percolats), Un système d'aération permettant le maintien de conditions aérobies essentielles à la minéralisation de la matière organique.

#### Avantages...

- coûts d'exploitation réduits par rapport aux systèmes mécaniques classiques,
- stockage des boues sur plusieurs années,
- diminution des quantités de matières sèches à évacuer du fait de la dégradation d'une partie de la matière organique par minéralisation,

- boues directement valorisables en épandage agricole,
- bonne intégration paysagère,
- pas de local propre à la déshydratation des boues à prévoir,
- pas d'odeurs générées si les lits fonctionnent correctement,
- exploitation nécessitant peu de technicité, mais un suivi rigoureux,
- impact environnemental réduit par rapport aux systèmes mécaniques classiques (conception impliquant sans doute moins de nuisances environnementales globales, faible consommation d'énergie, pas de réactifs nécessaires, ...),

### **3.4. Fonctionnement des LSPR**

Le principe de fonctionnement des LSPM est relativement simple et repose sur l'apport de boue par bâchée, à la surface du massif filtrant. Sous l'effet des forces de gravité l'eau contenue dans la boue s'écoule à travers le massif jusqu'aux drains de collecte. Les matières en suspension, quant à elles, sont retenues à la surface du massif et constituent un dépôt de boue. La matière organique du dépôt ainsi formée est alors progressivement minéralisée par l'action des microorganismes en présence. Par ailleurs, l'évapotranspiration par les macrophytes améliore la déshydratation du dépôt obtenue par simple drainage de l'eau (de l'ordre de 10 à 15 %) et permet ainsi d'atteindre des siccités (pourcentage massique de matière sèche) supérieures à 20 %.

En résumé, les mécanismes de traitement impliqués dans les LSPM sont ;

La déshydratation de la boue par le drainage de l'eau à travers le substrat et par l'évapotranspiration,

La minéralisation de la matière organique induite par l'activité biologique aérobie au sein du dépôt de boue.

L'efficacité de ces deux mécanismes repose essentiellement sur l'activité biologique (i.e. des macrophytes via l'évapotranspiration et des microorganismes via la minéralisation), elle-même fortement tributaire du climat. En terme de fonctionnement, l'efficacité des LSPM étant essentiellement due à l'activité des plantes et des microorganismes, il faut laisser le temps aux processus biologiques de se réaliser. Aussi, deux phases de fonctionnement caractérisent les LSPM. Dans la phase d'alimentation, la boue est apportée à la surface du filtre et entraîne la formation du dépôt. Vient ensuite la phase de repos au cours de laquelle le dépôt sèche et se stabilise sous l'effet de l'activité biologique. L'essentiel du traitement a lieu lors de la phase de repos, qui dure habituellement au moins 3 semaines.

L'alternance entre ces deux phases impose la mise en place de plusieurs unités de traitement (i.e. lits de séchage) en parallèle. Le nombre de lits à mettre en place dépend directement de leur taille et de la quantité de boue à traiter.

### **3.5. Phase de fonctionnement et Gestion**

Les LSPM adéquatement dimensionnés et gérés permettent un traitement et un stockage simultané de la boue sur une dizaine d'années. Néanmoins, la pérennité d'un tel système de traitement impose le respect de différentes phases de fonctionnement, dont la succession constitue le cycle de vie des lits de séchage.

Il est avéré que les systèmes biologiques supportent mal les changements brutaux de leurs conditions environnementales. Dans le cas des lits de séchage, des surcharges de boue peuvent déséquilibrer le système et engendrer un mauvais séchage, une fermentation des boues, un dégagement de mauvaises odeurs et, à terme, un colmatage du système. Pour éviter ces dysfonctionnements, il est primordial d'effectuer des transitions progressives, notamment lors des apports de boue.

Aussi, on distingue 3 phases de fonctionnement :

- 1- La phase « d'acclimatation »** sans apport de boue. Nécessaire à l'établissement des macrophytes à la surface du massif filtrant, cette phase dure en général 1 à 2 mois, et le massif filtrant est saturé en eau pour éviter tout stress hydrique aux plantes en début de croissance.
- 2- La phase de « démarrage »** durant laquelle la moitié de la charge nominale est apportée.
- 3- La phase de « fonctionnement nominal »**, pendant laquelle les lits reçoivent la charge nominale prévue au dimensionnement du système.

La phase de « curage », c'est-à-dire la récupération de la boue traitée accumulée dans le lit. À cette étape, il est important de laisser 10 à 15 cm de dépôt en place; pour éviter d'endommager le massif filtrant sous-jacent et de permettre la repousse des macrophytes à partir de leurs rhizomes. Cette phase est à programmer à l'été pour bénéficier de l'évapotranspiration des macrophytes et ainsi avoir un séchage optimal. L'alimentation du lit à curer est souvent arrêtée.



Figure 25: curage le lit de séchage par Roseaux

## 4. Macrophytes utilisés

### 4.1. Sélection de L'espèce

Pour assurer ses fonctions et garantir les performances des lits de séchage, les critères auxquels doivent répondre les plantes sont les suivants :

- Tolérance à d'importantes variations des conditions hydriques, puisque des phases d'inondation et de sécheresse liées à l'alimentation et la déshydratation de la boue se succèdent,
- Résistance à de fortes teneurs en matière organique, ainsi qu'aux faibles et fortes valeurs de pH et de salinité, Croissance rapide sous diverses conditions,
- Réseau racinaire dense,
- Tiges rigides permettant la formation d'anneau libre à la base,
- Facilité d'établissement et de repousse via des rhizomes et racines en expansion constante,
- Forte capacité de transpiration,
- Adaptées au climat local.

Le roseau commun (*Phragmites australis*) remplit si parfaitement ces critères qu'il en est essentiellement la seule espèce utilisée en Europe. D'ailleurs, en France, la technologie est davantage connue sous le nom de « Lit de séchage planté de roseaux ». Cette plante, introduite accidentellement au 19e siècle en Amérique, est utilisée aux États-Unis, et les LSPM au Québec sont également plantés avec du roseau. Cependant, son utilisation est maintenant découragée suite à une prise de conscience grandissante sur le risque accru d'invasion par le roseau exotique dans

les marais naturels environnants. Bien que les quenouilles (*Typha* sp.) soient largement utilisées en substitution du roseau dans les marais filtrants, elles ne sont pas adaptées aux périodes de sécheresse rencontrées dans les LSPM pour la déshydratation des boues. Des essais de recherche sont menés à l'IRBV afin de trouver une alternative à l'utilisation du roseau au Québec. L'espèce de substitution la plus probable serait la sous-espèce indigène du roseau (*Phragmites australis americanus*). Même s'il est inférieur à son cousin d'Europe en termes de productivité, les premiers résultats sur son efficacité et sa résistance aux conditions rencontrées dans les LSPM sont encourageants. L'utilisation d'espèces arbustives telles que les saules pourrait être envisagée, notamment pour tirer profit de leur *biomasse* (*énergie, bioproduit, etc.*).



**Figure 26 :** Les roseaux (*Phragmites australis*)

#### **4.2. Rôle des Macrophytes**

Les macrophytes implantés dans les LSPM sont garants de l'efficacité de traitement et de la pérennité du système, puisqu'ils agissent directement sur;

Le drainage et l'aération grâce aux passages préférentiels créés par leur réseau des tiges, racines et rhizomes. Cette action purement mécanique permet ainsi un drainage rapide de l'eau contenue dans la boue ; plus de 90 % d'eau évacuée dans les 24-h suivant l'alimentation. Pendant la période de repos ; une fois le drainage terminé, l'air suit ces mêmes passages préférentiels permettant ainsi l'aération du dépôt de boue et la stimulation des microorganismes aérobies responsables de la minéralisation de la matière organique. Ce phénomène est accru par l'oscillation des parties aériennes induites par le vent et le séchage du dépôt qui fait alors apparaître des anneaux libres autour des tiges (Figure 18).

Le séchage via le processus d'évapotranspiration. Cependant, en régions tempérées l'évapotranspiration n'est effective qu'en été et son intensité dépend à la fois des conditions climatiques, de l'espèce et du stade de développement des macrophytes.

La présence de macrophytes sur les LSPM présente d'autres avantages, notamment :

Un effet structurant : les parties aériennes flétries se mélange à la boue fraîchement déposée et constituent ainsi un apport de lignine et autres composés cellulosiques à l'origine de la formation des composés humiques (i.e. acide humique, fulvique et humine) lors de la stabilisation de la boue, comme dans un sol de forêt;

Une isolation thermique induite par le couvert végétal limite également le développement algal à la surface du dépôt, en été;

Un effet « rhizosphère » induit par le relargage d'oxygène au niveau des racines. Ce mécanisme permet aux plantes de marais de résister à des périodes plus ou moins longues d'anoxie. Le développement de biomasse aérobie autour des racines s'en trouve stimulé, ce qui entraîne une plus grande diversité de microorganismes sur les LSPM, par rapport aux lits de séchage non plantés.



**Figure 27** : Anneau libre à la base des tiges de macrophyte.

### **4.3. Le colmatage**

Ce phénomène est beaucoup plus observé dans les lits non plantés et constitue un dysfonctionnement du système. Les lits plantés n'ont pas ce problème car les racines des macrophytes permettent de l'éviter. Le colmatage des lits entraîne un drainage très lent des boues et conduit à des odeurs nauséabondes. Un temps de drainage très lent pourrait entraîner l'élimination d'une bonne partie des microorganismes dans la partie de la boue (surnageant) retenue à la surface des lits avant la fin de la percolation.

### **Conclusion**

Dans un contexte où la gestion des boues est souvent coûteuse et chronophage, la filière Filtre de Séchage Planté de Roseaux (LSPR) présente plusieurs avantages. Elle possède une autonomie de stockage des boues de plusieurs années (de 10 à 15 ans) sur son premier étage, permettant leur minéralisation et leur séchage. Les roseaux contribuent à un séchage efficace des boues stockées, par évapotranspiration et par écoulement de l'eau le long de leurs tiges, racines et rhizomes. Leur siccité peut ainsi atteindre autour de 30%. La filière produit des boues stabilisées particulièrement adaptées à la valorisation par épandage agricole, solution de gestion des boues parmi les plus économiques.

Actuellement, les LSPM sont en pleine expansion et ont déjà séduit de nombreuses collectivités à travers le monde. Seulement, l'empirisme des recommandations émises pour leur dimensionnement et leur gestion rend toutes transpositions des conditions opératoires (i.e. type de boue, climat, nombre de lits, charge, etc.) incertaines, ce qui limite son développement.

De déshydrater les boues liquides. Un module LSPR permet d'enlever jusqu'à 90% de l'eau contenue dans les boues, participant ainsi à la réduction des déchets à la source.

La longue période de stockage et la lente minéralisation des boues permettent d'obtenir un produit fini de qualité « compost ».

---

# Chapitre III :

---

## Présentation de la station d'Épuration de Laghouat

## Introduction

La région de Laghouat se distingue principalement par trois grands ensembles de sols, l'un se caractérise par les piémonts de l'Atlas saharien, le second par la plaine alluvial de l'Oued M'Zi, et l'autre par le plateau à surface plane avec une charge caillouteuse en surface. Ces sols sont généralement peu profonds. Les roches-mères de ces sols sont le plus souvent constituées par des formations marneuses et calcaires, ce qui explique leur richesse en sels solubles et en calcaires (Khadraoui A, 2004).



**Figure 28** : la STEP de Laghouat

## 1. Présentation géographique de la wilaya Laghouat

Au piémont de l'Atlas Saharien, du côté nord, Laghouat s'étend sur le plateau saharien du côté sud. Avec une mosaïque, mixture naturelle, entre les hautes terres et les basses terres, elle constitue une liaison entre le Nord et le Sud du pays .

La wilaya de Laghouat, reliée par la RN n° (01), est éloignée d'Alger la capitale, de 400 Km. Elle est située entre les latitudes Nord 34°67' et 32°65', et les longitudes Est 04°29' et 01°41'. Issue du découpage administratif de 1974, et fait partie des neufs Wilayat pastorales du pays, ainsi que des Wilayat du Sud. Sa superficie est de ; **25 052** km<sup>2</sup> pour une densité de : 23,22 Hab/km<sup>2</sup>.

Laghouat est, délimité, géographiquement, au Nord et à Est par la wilaya de Djelfa, au Nord-ouest par la wilaya de Tiaret, à l'Ouest par la wilaya d'El Bayadh, et au Sud par la wilaya de Ghardaïa.

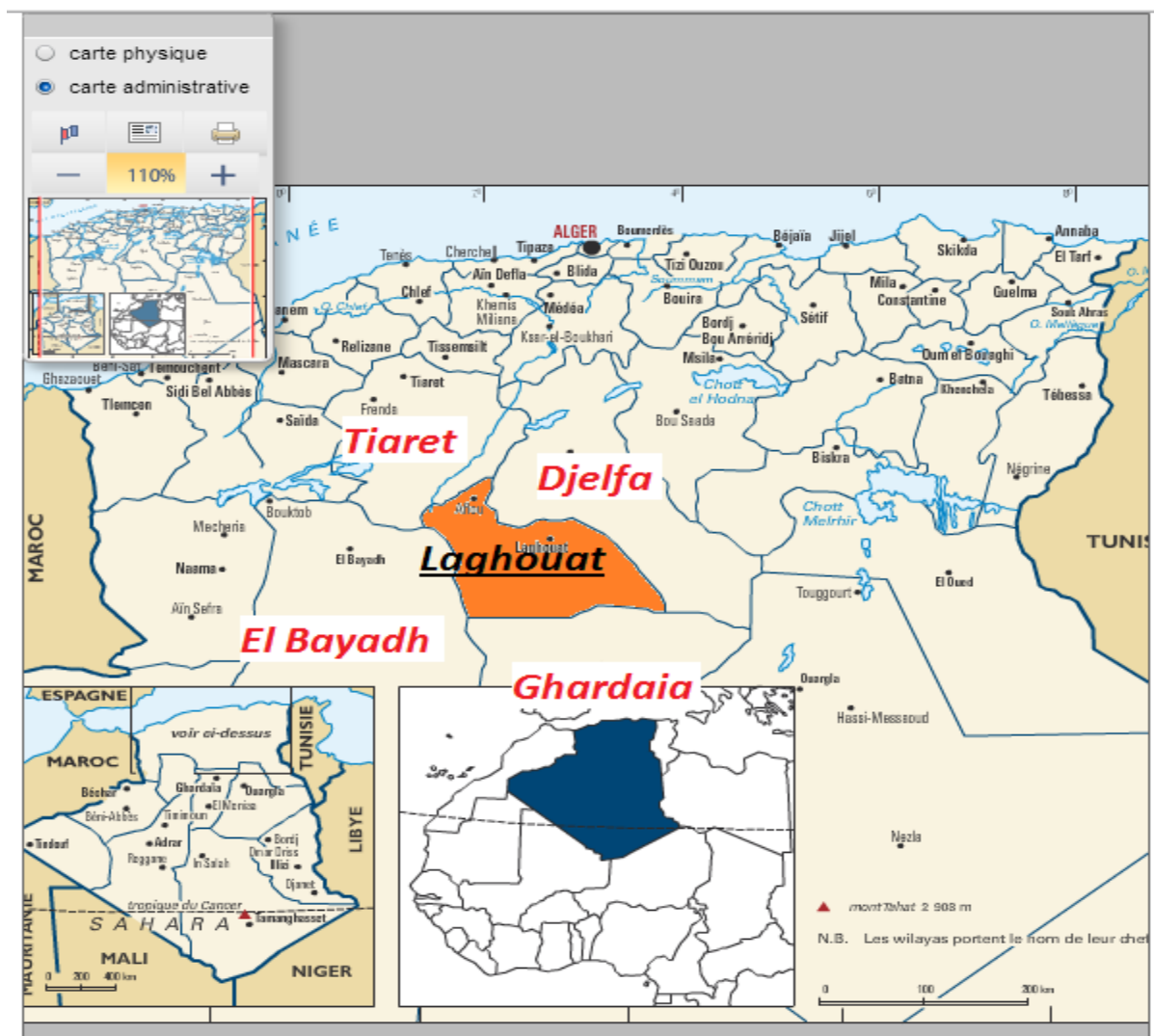


Figure 29 : Cartes de situation géographique de la wilaya de Laghouat.

### 1.1. Description générale de la STEP de Laghouat

La station d'épuration est localisée au Nord Est de la ville de Laghouat à environ 4 km, et située entre le Kef Seridja et le l'oued M'ZI.



Figure 30 : la STEP de Laghouat

### 1.2. Données générales de la STEP

Nom de la station d'épuration	station d'épuration Bordj snoussi Laghouat
Commune	Laghouat
Wilaya	Laghouat
Maitre d'ouvrage	ONA
Capacité de la station	167000 Eqh 26700 m3/j.
Milieu récepteur	El oued M'zi
Procédé de traitement	Biologique à boue active à faible charge
Entreprise retenue pour la réalisation du génie-civil	Hydrotechnique
Entreprise retenue pour la partie équipements	Keppel-Seghers
Date de début des travaux de réalisation	17 juin 2007
Date de mise en service de la station	13 Avril 2012
Date de transfert de la station à l'ONA	01 Juillet 2013
Superficies totale utilise	10 hectares
Rendement épuratoire	94.77 %
Nature de l'effluent	Domestique
Consommation d'énergie	12.007 kW/j
Boue produite	6682 Kg MS/j
Destination de la boue produite et des eaux épurées	CET

Tableau 3: Les bases de Dimensionnement

### 1.3. Données spécifiques de la station

Les eaux usées à traiter sont constituées principalement par des effluents d'origines

- Urbaines

Le dispositif d'assainissement de la ville est du type

- Unitaire + Séparatif

Le système d'épuration mis en œuvre est le procédé biologique dit à boues activées à

- Faible charge

Le traitement des boues est assuré par

- Épaississement gravitaire + Lits de séchage

Alimentation en eau usée : arrivée des eaux usées est (gravitaire + par refoulement) jusqu'à la station

Rejet des eaux après traite Le rejet est versé dans l'oued M'zi par une canalisation de rejet depuis la sortie de la station d'épuration (STEP Laghouat).

### 1.4. Données spécifiques de la station

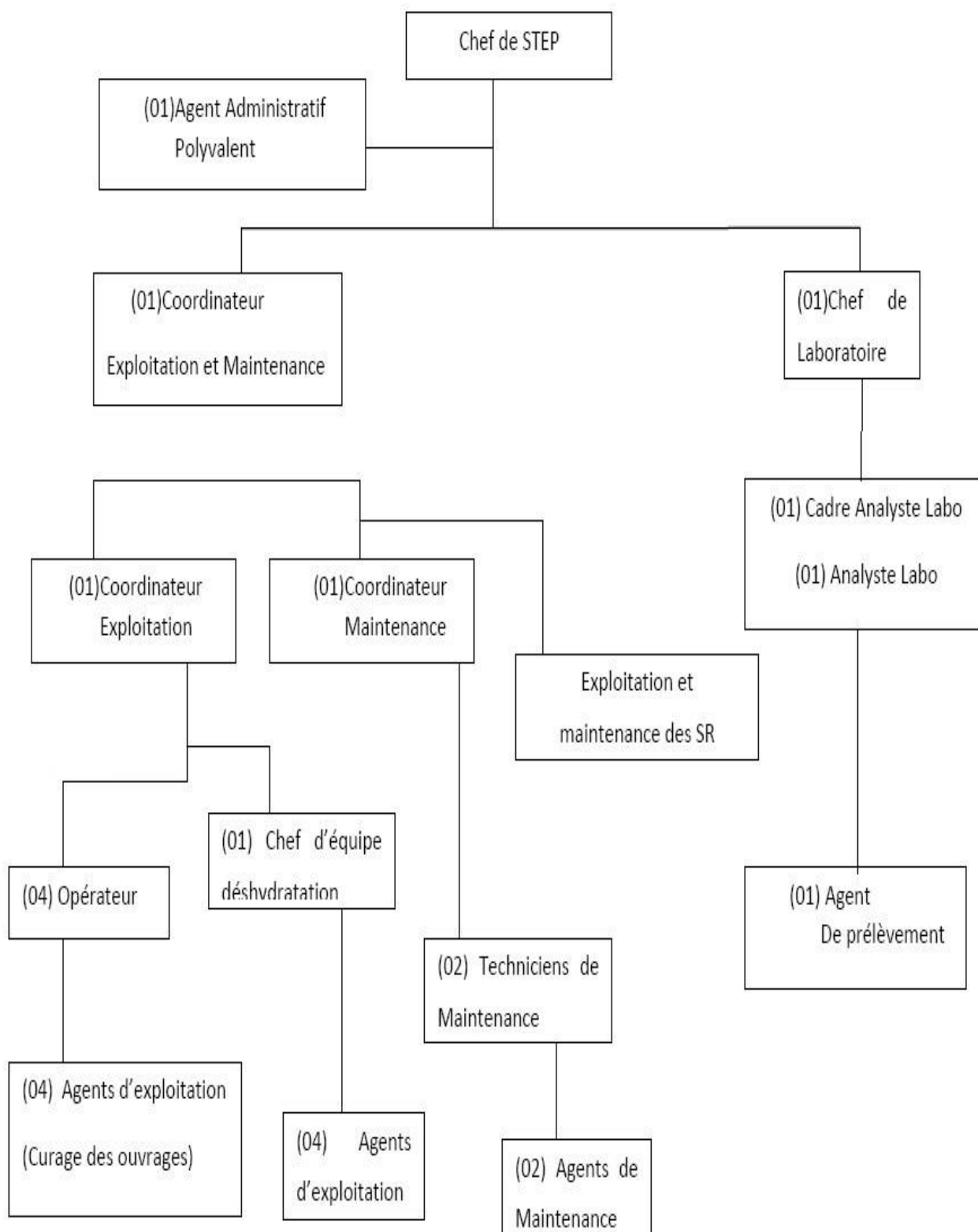
Paramètres	Unités	Horizon 2015/2033
<b>Charge hydraulique</b>		
Equivalent. Habitant	E.H	167 000/250 500
Volume journalier	m <sup>3</sup> /j	26 700 / 49 050
Débit moyen de temps sec	m <sup>3</sup> /h	1113 / 1669
Débit de pointe temps Sec	m <sup>3</sup> /h	1825 / 2704
Débit maximal admis en temps de pluie	m <sup>3</sup> /h	2704
<b>Charge polluante</b>		
Charge journalière en DCO	Kg/j	16 700 / 25 050
Charge journalière en DBO5	Kg/j	9 018 / 13 527
Charge journalière en MES	Kg/j	11 690 / 17 735
Charge en azote ammoniacal (NNH4)	Kg/j	1 336 / 2 004

**Tableau 4:** Donné de la station

Paramètres	Unité	Concentration en mg/l	Rendement minimum d'élimination en %
DBO5	mg/l	30 ≤	91 ≥
DCO	mg/l	90 ≤	86 ≥
MES	mg/l	30 ≤	93 ≥
N total	mg/l	40 ≤	20 ≥

**Tableau 5 :** Le traitement retenu avec une qualité de rejet conforme aux normes

### 1.5. Organigramme (ressources humaines) de la STEP de Laghouat



### 2. Filière de traitement de la STEP

La station d'épuration des eaux usées de la ville de Laghouat, se compose de deux filières de traitement permettant ainsi de fonctionner éventuellement à mi-charge et de manière à obtenir une plus grande souplesse d'exploitation (STEP Laghouat).

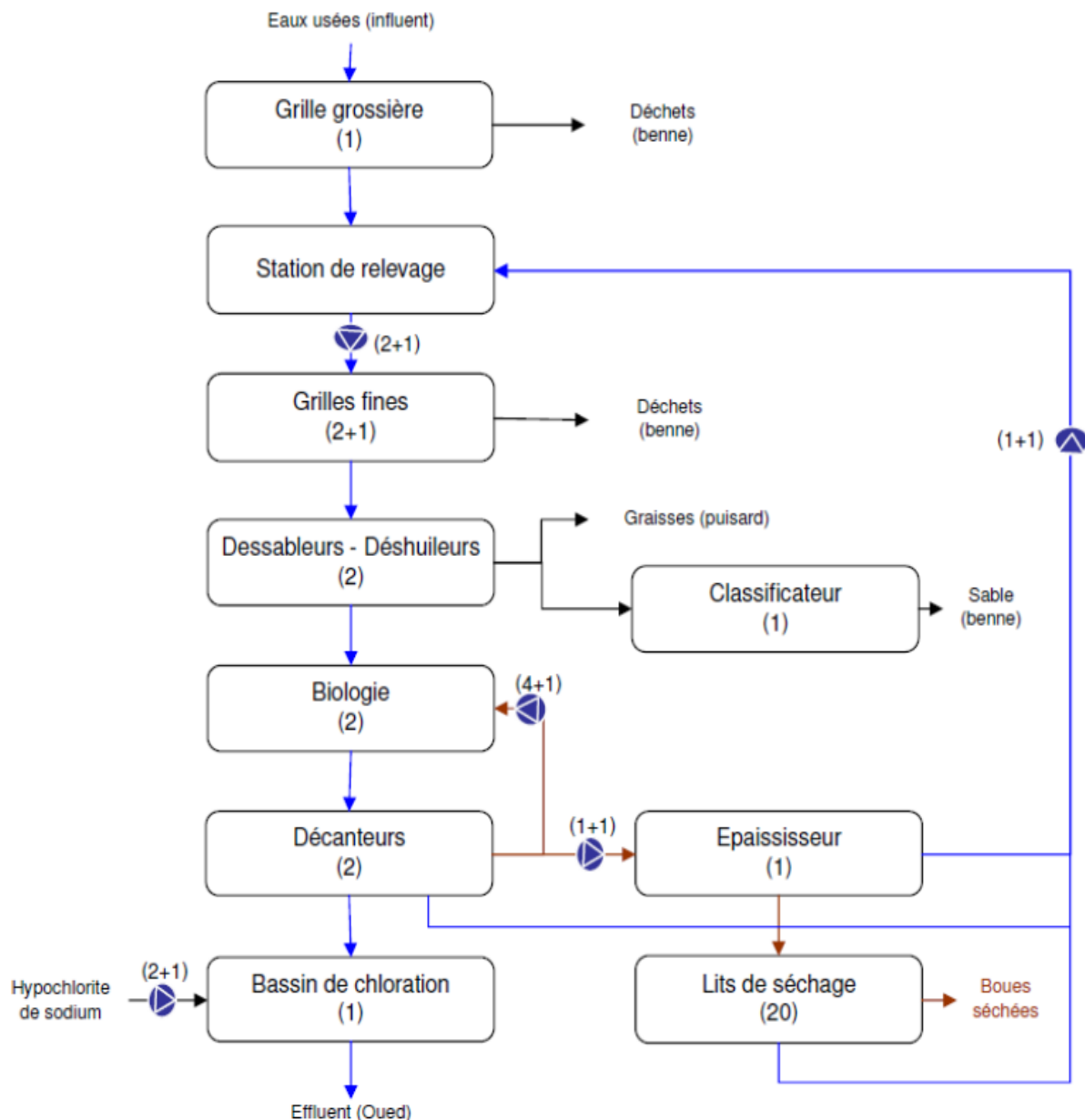


Figure 31 : Filière de traitement de la STEP de Laghouat

## 2. Procédés d'épuration De la STEP de Laghouat

### 2.1. Prétraitement (Traitement Primaire) :

Le prétraitement est une étape préalable au traitement des effluents urbains. Il consiste en un traitement physique des effluents afin de protéger les organes électromécaniques et les ouvrages situés à l'aval. Il se compose de trois étapes distinctes installées en série: un dégrillage, un dessablage et un dégraissage qui fournissent chacun un sous-produit spécifique appelé refus de dégrillage, sables et graisses (STEP Laghouat).

#### 2.1.1. Le dégrillage grossier :

Pour le dégrillage grossier de l'installation de Laghouat, on a prévu une grille grossière

semi-automatique, inclinée à un angle de 80°. Le relevage et la descente du dégrilleur se fait par palan à chaîne électrique au niveau intermédiaire. L'enlèvement des déchets dans le dégrilleur vers une trémie intermédiaire est fait à la main avec un racleur. Une fois que la trémie intermédiaire est remplie, l'ensemble du chariot et palan à chaîne électrique est utilisé pour remonter et déplacer la trémie vers la benne à déchets au niveau du sol naturel. Un limiteur de couple à friction sans entretien réglé à l'usine remplit les fonctions d'une protection contre la surcharge et de dispositif d'arrêt d'urgence (STEP Laghouat).

Les dimensions principales sont les suivantes:

- Largeur du canal : 1500 mm
- Largeur utile dégrilleur : 1300 mm
- Distance entre les barreaux: 50 mm
- Epaisseur des barreaux : 10 mm
- Angle d'installation : 80°
- Hauteur grille : 1000 mm
- Capacité maximale: 2907 m<sup>3</sup>/h
- Vitesse maximale (débit max 2033) = Débit max / section : 0,50 m/s

#### **-Station de relevage :**

Après le dégrillage grossier, les eaux usées sont collectées dans la station de relevage Trois pompes centrifuges immergées à vitesse fixe dont une de réserve, pompent les eaux usées à une hauteur suffisante pour l'écoulement par gravité à travers la STEP en direction de l'oued. Une extension avec une quatrième pompe est prévue pour avoir des tuyaux séparés avec clapet anti retour débitmètre et manomètre (STEP Laghouat).

#### **2.1.2. Dégrillage fin :**

Après le dégrillage grossier et le relevage, les eaux brutes doivent passer par le dégrillage fin. Pour le dégrillage fin de l'installation de Laghouat, on a prévu trois grilles fines inclinées (60°) :

- 2 grilles avec système de nettoyage automatique
- 1 grille de secours avec dégrillage manuel

Chaque grille peut être isolée par une vanne de canal manuelle en amont pour raison de maintenance. Une fois passées par les grilles, les eaux résiduaires sont rassemblées dans un puits de répartition avant d'entrer dans le dessablage.

Les dimensions principales sont les suivantes:

- Largeur du canal : 1000 mm
- Largeur utile dégrilleur automatique : 830 mm
- Largeur utile dégrilleur manuel : 930 mm
- Distance entre les barreaux: 10 mm
- Epaisseur des barreaux : 10 mm
- Hauteur d'eau (amont): 950 mm
- Angle d'installation : 60°
- Hauteur grille 1500 mm
- Capacité par grille (50% du débit max en 2033): 1496 m<sup>3</sup>/h
- Vitesse maximale (50% du débit max en 2033 par grille fine) = Débit max / section : 0,8 m/s



**Figure 32** : le dégrillage (STEP de Laghouat).

### 2.1.3. Dessablage -désuilage :

Le dessablage et désuilage se fait dans deux ouvrages qui assurent également l'élimination. Les ouvrages sont du type aéré longitudinal. Chaque ouvrage se compose de deux zones :

- L'une aérée pour le dessablage où les sables et matières lourdes sont récupérés au fond
- L'autre "tranquille" pour le désuilage-dégraissage où les huiles, graisses et flottants sont récupérés en surface

#### Dimensions de chaque déssableur/désuileur

- longueur: 28 m
- largeur: 3,5 m (dont 2,3 m dessablage et 1,2 m désuilage)
- Hauteur d'eau active: 3 m
- Surface : 64,4 m<sup>2</sup> (dessablage) + 33,6 m<sup>2</sup> (désuilage)
- Section dessablage : 6,9 m<sup>2</sup>
- Section désuilage : 3.6 m<sup>2</sup>
- Volume actif dessablage : 193,2 m<sup>3</sup>



**Figure 33** : le dessablage et déshuilage (STEP de Laghouat).

## 2.2. Traitement biologique

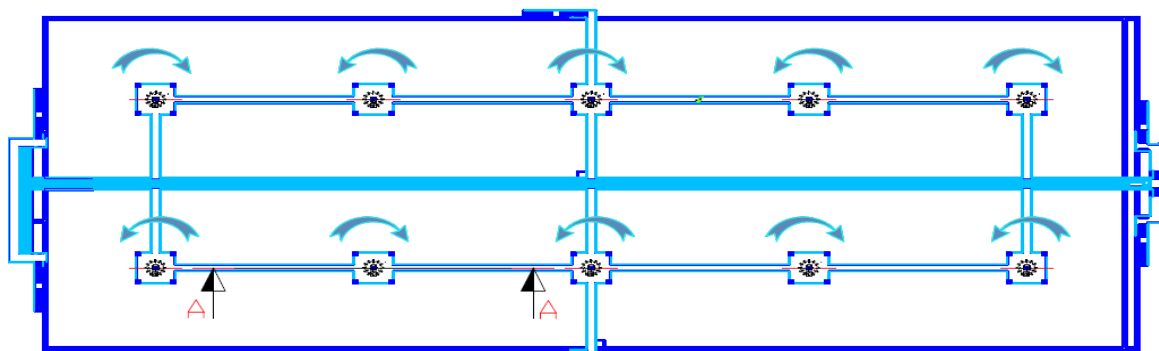
Les bassins d'aération, au nombre de deux, sont alimentés en eau prétraitée qui sont brassées avec les boues de retour dans le puits de distribution. L'alimentation vers les bassins d'aérations est réglable par régulateurs de prise d'eau à l'entrée. Chaque bassin d'aération est équipé de cinq aérateurs de surface à axe vertical reposant sur des passerelles en béton.

Les aérateurs de surface ont pour rôle :

- De fournir l'oxygène nécessaire à l'activité des boues
- De provoquer une intense turbulence qui permet :
  - Le maintien en suspension des boues actives
  - De renforcer le contact de l'eau brute avec les bactéries épuratrices

Chaque bassin est équipé de deux oxymètres permettant de contrôler en continu la teneur en oxygène dans le bassin. Les oxymètres mesurent aussi la température des eaux dans le bassin.

Toutes les mesures d'oxygène et les mesures de température des derniers oxymètres des bassins sont transmis au logiciel central. Le mélange eaux-boues activées est évacué vers le puits de distribution des décanteurs. la décantation des eaux usées après le traitement biologique se fait dans deux ouvrages circulaires (STEP Laghouat).



**Figure 34** : Schéma de bassin biologique de STEP de Laghouat



**Figure 35** : Bassin Biologique STEP de Laghouat

**Dimensions de chaque bassin aération :**

- longueur: 123.5 m
- largeur: 24 m
- Hauteur d'eau active: 4.50 m
- Surface active:  $2 * 2964 = 5928$  m<sup>2</sup>
- Volume utile du bassin :  $5928 * 4.5 = 26676$  m<sup>3</sup>

### 2.2.1. Les décanteurs

L'alimentation s'effectue par une canalisation située au centre de l'ouvrage et surmontée d'une jupe de répartition.

- Chaque décanteur peut être isolé en amont par une vanne murale située dans le puits de distribution à la sortie des bassins d'aération.
- Chaque décanteur peut être isolé en aval au niveau d'un compartiment respectif et par une vanne murale.
- Chaque décanteur peut être vidé au niveau d'un compartiment respectif par une vanne de vidange.
- Chaque décanteur est équipé d'un pont racleur à moteur et constitué d'une passerelle radiale à laquelle sont suspendues les racles de fond et de surface.

Après les décanteurs secondaires, les boues décantées sont collectées dans le puits de boues des décanteurs. Cinq pompes centrifuges immergées à vitesse fixe, dont une de réserve, pompent une partie des boues (boues de retour) vers le puits de distribution de la biologie. Ce flux de boues traverse un venturi qui permet d'en mesurer le débit. Une extension avec une sixième pompe est

prévue pour la phase 2. Deux pompes centrifuges immergées à vitesse fixe, dont une de réserve, pompent une partie des boues (boues en excès) vers l'épaississeur. Les pompes ont toutes des tuyaux séparés avec clapet anti retour, manomètre et vannes d'évent. Les deux tuyauteries des pompes de boues en excès se rejoignent après les vannes d'évent en un seul tuyau, lequel est équipé d'un débitmètre. Pour le contrôle du niveau du puits, deux interrupteurs de niveau sont prévus. Cet instrument est aussi utilisé pour les alarmes de niveau haut et bas (STEP Laghouat).



**Figure 36 :** les pompes de La décantation STEP de Laghouat .



**Figure 37:** La décantation STEP de Laghouat .

#### **b- Dimension du décanteur**

- Surface du décanteur = 1451 m<sup>2</sup>
- Le diamètre du bassin = 43 m.
- La hauteur d'eau à la périphérie = 3 m.
- Pente de fond : 0,083 m/m

- Volume actif (partie cylindrique) =  $3 \text{ m} * 1451 \text{ m}^2 = 4353 \text{ m}^3$

### 2.2.2. La désinfection

La désinfection est effectuée par utilisation d'une solution d'hypochlorite à l'entrée d'un ouvrage longitudinal à chicanes. L'effluent des décanteurs secondaires traverse d'abord un venturi qui permet d'en mesurer le débit. L'effluent pénètre ensuite dans l'entrée du bassin de chloration, où la solution d'hypochlorite est dosée. L'effluent s'écoule au travers des chicanes, favorisant un temps de contact optimal avec le chlore. Il s'écoule ensuite par un déversoir de manière gravitaire en direction de l'oued. Les eaux de surverse sont récupérées dans un caniveau périphérique et s'écoulent par gravité vers le puits de pompage des eaux usées (STEP Laghouat).



**Figure 38 :** la sortie de l'eau épuré STEP de Laghouat .

#### C-Dimensions du bassin proposées :

- Longueur : 29,8 m
- Largeur : 20,25 m
- Hauteur d'eau : 2,09 m
- Surface totale = 603,45 m<sup>2</sup>
- Surface des murs intermédiaires = 16,91 m<sup>2</sup>
- Surface active = 586 m<sup>2</sup>
- Volume utile =  $586 \text{ m}^2 * 2,1 \text{ m} = 1230 \text{ m}^3$

### 2.2.3. L'épaississeur

Les boues épaissies sont pompées vers les lits de séchage par deux pompes à vis excentrée dont une de réserve. Les pompes à vis excentrée sont situées dans le local de l'épaississeur.

L'épaississement des boues décantées en excès se fait dans un ouvrage circulaire (cylindre à fond conique à faible pente) .

#### Dimension de l'épaississeur :

- Hauteur : 5 m
- Diamètre : 20 m

- Surface active : 314 m<sup>2</sup>
- Volume : 1570 m<sup>3</sup>

L'équipement se compose essentiellement :

- D'un arbre vertical tournant qui permet l'entraînement des herse d'épaississement ainsi que les racleurs de fond
- D'un cylindre central, solidaire de la passerelle qui permet l'alimentation en boues d'une façon homogène, de l'épaississeur

L'épaississeur a pour fonction d'épaissir au maximum les boues en provenance des décanteurs secondaires. Les boues sont pompées depuis le puits de boues des décanteurs vers le centre du bassin dans une jupe de tranquillisation, d'où elles se répartissent uniformément et sans turbulence dans la zone d'épaississement.

Les eaux de surverse sont récupérées dans un caniveau périphérique et s'écoulent par gravité vers le puits de pompage des eaux usées. Les boues épaissies sont pompées vers les lits de séchage par deux pompes à vis excentrée. Les pompes à vis excentrée sont situées dans le local de l'épaississeur.

### **2.3. Lits de séchage**

Les lits de séchage classiques sont constitués d'une couche de sable lavé surmontant des couches de granulométrie plus importante, incluant le réseau de drainage

L'épandage des boues sur une couche drainante permet le ressuyage de l'eau interstitielle. Dans une seconde phase, l'évaporation permet d'atteindre des siccités élevées. L'efficacité due au séchage est donc liée aux conditions météorologiques.

La surface totale de lit nécessaire est estimée à  $1\text{m}^2/5\text{EH}$ .

- Longueur : 30 m
- Largeur : 15 m
- Hauteur des boues : 40 cm
- Surface de séchage : 9083 m<sup>2</sup>
- Volume de séchage : 3633 m<sup>3</sup>
- Nombre : 20 lits

Chaque lit de séchage est équipé d'une vanne manuelle à l'entrée (alimentation). L'eau de drainage est dirigée par gravité vers la station de pompage toutes eaux, à côté de l'épaississeur.

Les lits de séchage classiques sont constitués d'une couche de sable lavé surmontant des couches de granulométrie plus importante, incluant le réseau de drainage. La surface totale de lit nécessaire est estimée à  $1\text{m}^2/5\text{EH}$ . En climat exceptionnellement favorable, cette surface pourrait être ramenée à  $1\text{m}^2/7\text{EH}$ . Le nombre de lits doit permettre l'adéquation du remplissage d'un lit avec une purge de boues. Une couche (virtuelle compte tenu du drainage instantané) de 30 cm de

boues liquides étant épanchée, la surface d'un lit doit être de  $2,5\text{m}^2/100\text{EH}$  raccordés (STEP Laghouat).



**Figure 39** : stockage des boues STEP de Laghouat .



**Figure 40** : Lit de Séchage non planté STEP de Laghouat .

### 3. Dimensionnement des ouvrages

#### 3.1 Traitement biologique (phase 1)

- **Fonction**

La station d'épuration de Laghouat sera du type système à boues activées travaillant à faible charge. Le process à faible charge permet d'obtenir un rendement de purification très élevé, ainsi que des boues bien stabilisées et ayant peu de risque d'attirer des insectes ou de produire des odeurs fortes, une fois mises sur les lits de séchage.

Les bassins d'aération sont équipés d'aérateurs de surface à axe vertical. Après aération, le mélange eaux – boues activées, également appelé liqueur mixte est envoyé dans les bassins de décantation secondaire où s'effectuent l'élimination des boues et la récupération des eaux épurées.

- **Données de base**

Les charges de l'influent de la STEP sont illustrées dans le tableau suivant.

	Pollution unitaire	Charge (temps sec)		Charge (temps sec) entrée traitement biologique	
		kg/jour	mg/l	kg/jour	mg/l
<b>DBO<sub>5</sub></b>	54	<b>9 018</b>	<b>338</b>	<b>9 218</b>	<b>330</b>
<b>MES</b>	70	<b>11 690</b>	<b>438</b>	<b>18 898</b>	<b>676</b>
DCO	100	16 700	625	17 069	610
N total	8	1 336	50	1 336	49
P total	2	334	12,5	341	12

**Tableau 6** : Charge de l'influent de la STEP

- **Conception**

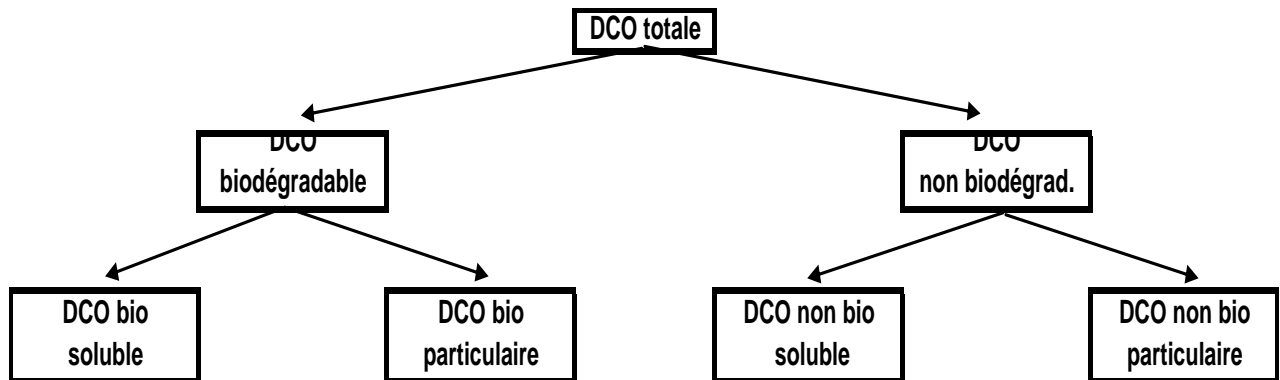
La méthode DCO (Metcalf & Eddy) est utilisée comme méthode de calcul. Dans cette méthode, la donnée de base est le choix de l'âge des boues dans le système.

L'âge de boues correspond à une charge massique, qui à son tour détermine le volume des bassins, à condition qu'une concentration de boue soit fixée.

#### Catégories de DCO

La méthode DCO divise la DCO en différentes parties, afin de mieux calculer les composants dans les eaux traitées et les boues.

La figure suivante montre le fractionnement de la DCO



**Figure 41:** Catégorie de DCO

- DCO totale : 610 mg/l
- DCO biodégradable (bDCO) : 528 mg/l (=1.6\*DBO)
  - ✓ DCO biodégradable soluble : 104 mg/l (= 0,17\*DCO totale)
  - ✓ DCO biodégradable particulaire : 424 mg/l (= DCO bio – DCO bio sol)
- DCO non biodégradable (nbDCO) : 82 mg/l (= DCO totale – DCO biodégradable)
  - ✓ DCO non biodégradable soluble : 30,5 mg/l (=0.05\*DCO totale)
  - ✓ DCO non biodégradable particulaire : 51,5 mg/l (=DCO nb totale – DCO nb sol.)

La DCO biodégradable sera dégradée par les boues activées.

La DCO non biodégradable particulaire sera captée par les boues activées et va disparaître en purgeant les boues en excès.

La DCO non biodégradable soluble reste dans les eaux traitées. Dans le cas hypothétique où aucune MES ne part avec les eaux traitées, c'est la DCO finale des eaux traitées.

Les MES des eaux brutes sont divisées en :

- MES totale : 430 mg/l
- MES Volatile totale : 322,5 mg/l (= 75% des MES totale)
  - >environ 10% de MESV est non biodégradable = 32 mg/l

### **Données de base**

- Vu que la station doit être opérée à faible charge, un âge de boues d'au moins 18 jours doit être choisi. On fixe cette valeur à 19 jours.
- La concentration de boue est fixée à 5,00 kg MES/m<sup>3</sup>
- le calcul est fait afin d'obtenir une DBO soluble inférieure à 3 mg/l

### **Production de boue**

La production de boue en excès est calculée par la méthode DCO.

Les boues sont composées de 4 parties

**A. Biomasse (MESV « actives », les hétérotrophes) =  $Q \cdot Y \cdot (S_0 - S) / (1 + (k_d)SRT)$**

$$Q = 27961 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$Y = 0,4 \text{ g MESV/g bDCO}$$

$$S_0 = \text{bDCO} = 528 \text{ mg/l}$$

$$S = S \text{ dans l'eau traitée} = K_s(1 + (k_{d,t})SRT) / (SRT(\mu_{m,t} - k_{d,t}) - 1) = 0,73 \text{ mg bDCO / l}$$

$$K_s = 20 \text{ g bDCO/m}^3$$

$$k_{d,t} = 0,099 \text{ g MESV/MESV.j}$$

$$\mu_{m,t} = 4,28 \text{ g MESV/MESV.j}$$

$$SRT = 19 \text{ j}$$

Biomasse : 2047 kg MESV/j ou **2409 kg MES/j** (matière anorganique= 15%)

**B. Déchets cellulaires de la biomasse =  $(f_d)(k_d)QY(S_0 - S)SRT / (1 + (k_d)SRT)$**

Les déchets sont le résultat de l'aspiration endogène, qui détruit une partie de la biomasse

$$f_d = 0,15 \text{ g MESV/ g MESV}$$

Déchets cellulaires : 578 kg MESV/j ou **680 kg MES/j** (matière anorganique= 15%)

**C. Fraction MESV de l'eau brute non biodégradable =  $Q \cdot (\text{nbMESV})$**

$$\text{NbMESV} = \text{environ } 10\% \text{ des MESV des eaux brutes} = \text{environ } 32 \text{ mg/l}$$

Fraction MESV de l'eau brute non biodégradable : **895 kg MESV/j**

**D. Inertes de l'eau brute =  $Q \cdot (\text{MES} - \text{MESV})$**

$$= 3006 \text{ kg MES/j}$$

**Production de boue totale =  $A + B + S + D = 6990 \text{ kg MES/j}$**

La fraction MESV =  $2047 + 578 + 895 = 3520 \text{ kg MESV/j}$  ou 50,4% des MES totale

### Calcul du volume actif

La concentration en MES des boues dans le bassin d'aération est fixée à 5 g/l MES, donc les  $\text{MESV} = 0,504 \cdot 5 \text{ g/l MESV/m}^3$ .

Le rapport MESV/MES:  $\geq 0,50 \text{ kg MESV/kg MES}$

Le volume

$$= SRT \cdot \text{production des boues journalière} / \text{concentration des boues dans le bassin}$$

$$= 19 \text{ j} \cdot 6990 \text{ kg MES/j} / 5 \text{ kg MES/m}^3$$

$$= 26.562 \text{ m}^3$$

Dimensions des bassins (2), comme construits :

Longueur : 123,5 m

Largeur : 24 m

$H_{d'eau}$  : 4,50 m

$$\text{Surface active} = 2 \times 2.964 \text{ m}^2 = 5.928 \text{ m}^2$$

$$\text{Volume utile (doit être } \geq 26.562 \text{ m}^3) = 5.928 \text{ m}^2 \times 4,50 \text{ m} = 26.676 \text{ m}^3$$

### **Temps de séjour dans la biologie**

A débit moyenne ( $Q_{24}$ ) :  $(26.676 \text{ m}^3) / (1165 \text{ m}^3/\text{h}) = 23 \text{ heures}$

### **Charges**

Charge volumétrique

$$\text{DCO} = 17069 \text{ kg DCO/j} / 26.676 \text{ m}^3 = 0,64 \text{ kg DCO/m}^3.\text{j}$$

$$\text{DBO} = 9218 \text{ kg DBO/j} / 26.676 \text{ m}^3 = 0,35 \text{ kg DBO}_5/\text{m}^3.\text{J}$$

Charge massique

$$\text{DCO} = 0645 \text{ kg DBO/m}^3.\text{j} / 5 \text{ kg MES/m}^3 = 0,07 \text{ kg DBO/kg MES.j}$$

### **Calcul du besoin en oxygène**

La demande en oxygène (CO) est calculée par « la méthode DCO ».

$$CO \text{ (kg O}_2\text{/j)} = DCO_b \text{ (kg O}_2\text{/j)} - 1,42 \text{ kg O}_2\text{/kg MESV} \times \text{biomasses (kg MESV/j)}$$

- $DCO_b$  : charge en DCO biodégradable =  $14767 \text{ kg DCO}_b/\text{j}$  ( $0,528 \text{ g/m}^3 \text{ DCO}_b * 27967 \text{ m}^2/\text{j}$ )
- production de biomasse = (A) + (B) =  $2.625 \text{ kg MESV/j}$

CO (kg O<sub>2</sub>/j)

$$= 14.767 \text{ kg O}_2/\text{j} - 1,42 \text{ kg O}_2/\text{kg MESV} \times 2.625 \text{ kg MESV/j}$$

$$= 11.040 \text{ kg O}_2/\text{j}$$

La demande en oxygène instantanée est calculée pour une période de 12 h, comme prévu.

$$\text{Moyen : } 11.040 \text{ kg O}_2/\text{j} : 24 \text{ h/j} = 460 \text{ kg O}_2/\text{h}$$

$$\text{Pointe: } 11.040 \text{ kg O}_2/\text{j} : 12 \text{ h/j} = 920 \text{ kg O}_2/\text{h}$$

### **Type de système d'aération**

**On a choisi des aérateurs de surface fixes.**

Rendement des turbines :  $1,5 \text{ kg O}_2/\text{kWh}$ . Ce rendement est très sécurisant, car il se situe typiquement entre  $1,6$  à  $1,8 \text{ kg O}_2/\text{kWh}$ .

Puissance minimale à installer :

$$1.227 \text{ kg O}_2/\text{h} : 1,5 \text{ kg O}_2/\text{kWh} = 8180 \times 90 \text{ kW} = 900 \text{ kW (10\% en plus)}$$

Hauteur d'eau utile : 4,5 m

4 sondes d'oxygène dissous (2 par bassin, une au milieu, une au bout du bassin) permettent de régler le taux d'aération au moyen d'un régime de marche et arrêt des turbines d'aération. Le nombre des turbines en marche et la séquence de démarrage et d'arrêt des turbines suit un schéma bien décrit par avance dans l'automatisation.

### **Puissance de mélange**

La puissance de mélange installée est de 90 kW.

Le volume de bassin par aérateur est de : 24 m x 24,7 m x 4,5 m, soit 2668 m<sup>3</sup>

La puissance spécifique est de 90000 W / 2668 m<sup>3</sup>, soit 33,7 W/m<sup>3</sup>, ce qui est largement suffisant pour mélanger les boues, même après un temps d'arrêt de l'aérateur. Ces valeurs ont été vérifiées et confirmées par le fournisseur des aérateurs :

- Le mélange d'un bassin dépend de sa géométrie, mais aussi du mobile qui le mélange (type, forme, vitesse de rotation, etc..) et de sa puissance mécanique transmise à l'eau.
- La géométrie du bassin doit être regardée par unité d'aération.
- Dans le cas présent, le volume d'une unité est de 24.7x24x4.5m soit donc 2667m<sup>3</sup>. Les ratios LxH sont hydrauliquement corrects pour ce volume.
- L'aérateur est un mobile qui a pour première fonction d'aérer de l'eau et non pas de mélanger mais les deux effets sont indissociables dans le cas des aérateurs de surface. La vitesse de rotation et le diamètre joue un rôle capital. Les aérateurs proposés sont lents et il a été démontré qu'il est possible de maintenir un mélange correct même avec 3-5W/m<sup>3</sup> à l'arbre.
- Pour remettre la boue en suspension il faut entre 15-30W/m<sup>3</sup> avec ces aérateurs lents à grand diamètre. Plus on s'écarte d'une bonne géométrie de bassin et plus il faut de W/m<sup>3</sup>.

## **3.2 Décanteurs Secondaires (phase 2)**

### **• Fonction**

Un décanteur a pour but de séparer les boues de l'eau traitée, de produire un effluent avec des MES les plus faibles possibles, et de recirculer les boues sédimentées afin de maintenir la concentration désirée dans les bassins d'aération.

### **• Conception**

Le calcul part de la donnée selon laquelle les MES de l'effluent doivent être inférieures à 20 mg/l pendant le débit de pointe par temps sec.

Le débit total à traiter (horizon 2015) est 1165 m<sup>3</sup>/h (= Q<sub>24</sub>) à 1967 m<sup>3</sup>/h

On prévoit deux décanteurs, un pour chaque voie. Le débit max (Q<sub>max</sub>) à traiter par chaque décanteur est donc 983,5 m<sup>3</sup>/h

La conception est basée sur les normes allemandes (ATV).

**Paramètres de base**

- Concentration de boue dans les bassins aérés: 5,00 kg MES/m<sup>3</sup>
- Indice de Mohlmann (MI) : 125 ml/g
- Débit de **recirculation des boues** Q<sub>R</sub>:
  - 100 % à débit moyen, soit 1,41 x 1165 m<sup>3</sup>/h = 1643 m<sup>3</sup>/h
  - 100 % à débit de pointe, soit 1,0 x 1967 m<sup>3</sup>/h = 1967 m<sup>3</sup>/h
- Temps de résidence des boues dans le décanteur : max 1,5 h
- Charge superficielle : max 0,7 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h (critère KSBE)
- Charge des déversoirs : max 8 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h (critère KSBE)

**Calcul des MES**

MES (max) au fond du décanteur :

$$MES = \frac{1000}{IM} * \sqrt[3]{tr} = \frac{1000}{125} * \sqrt[3]{1,7} = 9,5 \text{ kg/m}^3$$

A cause des turbulences et des courts-circuits autour de l'entrée des boues de l'aération, les MES réelles dans la recirculation sont

$$9,5 \text{ kg/m}^3 * \text{facteur} = 9,5 \text{ kg/m}^3 * 0,8 = 7,6 \text{ kg/m}^3$$

**Calcul des dimensions du décanteur**

$$\text{Charge superficielle max à débit pointe temps sec} = 0,68 \text{ m/h} = \frac{983,5 \text{ m}^3/\text{h}}{A} < 0,7 \text{ m/h}$$

Vitesse ascensionnelle correspondante, moyenne temps sec

$$= 582,5 \text{ m}^3/\text{h} : 1451 \text{ m}^2 = 0,40 \text{ m/h},$$

A = surface du décanteur = 1451 m<sup>2</sup>, le diamètre du bassin est donc 43 m.

La hauteur d'eau à la périphérie est fixée à 3 m.

Pente de fond : 0,083 m/m

$$\text{Volume actif (partie cylindrique)} = 3 \text{ m} * 1451 \text{ m}^2 = 4353 \text{ m}^3$$

Temps de séjour correspondant :

- 4353 m<sup>3</sup> : 582,5 m<sup>3</sup>/h = 7,5 h, moyenne (temps sec)
- 4353 m<sup>3</sup> : 983,5 m<sup>3</sup>/h = 4.4 h, pointe (temps sec)

$$\text{Charge des déversoirs} = 983,5 \text{ m}^3/\text{h} / 2 * \pi * 21,5 \text{ m} = 7,3 \text{ m}^2/\text{h} (< 8 \text{ m}^2/\text{m.h})$$

**Calcul des dimensions de la fosse de boues des décanteurs**

Paramètres	Unité	STEP	Limite	Référence	Design
Angle du cône	°	60	min. 60	DIN 19552	OK
Diamètre supérieur	m	5	4 – 6	DIN 19552	OK
Diamètre inférieur	m	2	min. 0,5	Référence KSBE (empirique)	OK

**Tableau 7** : dimension de la fosse de boues des décanteurs**Recirculation des boues**

Vu qu'en débit de pointe une recirculation de 100% doit être possible, 4 pompes x 500 m<sup>3</sup>/h soit 2000 m<sup>3</sup>/h au maximum sont prévus, ainsi que une pompe de réserve.

Le canal, ainsi que le puits de recirculation sont déjà conçus pour la phase 2, où il faut installer deux pompes de 500 m<sup>3</sup>/h en plus.

On peut déjà installer une des deux pompes pour 2033 (phase 2), cette pompe peut servir comme pompe de réserve.

**Elimination des boues en excès**

Production des boues en excès: 6.936 kg MES/j, avec une concentration de 7,6 kg/m<sup>3</sup>.

Débit des boues en excès correspondant : 913 m<sup>3</sup>/j = environ 9 h/j (à 100 m<sup>3</sup>/h)

Station de pompage **des boues en excès**: la conception est : (1 + 1R) x 100 m<sup>3</sup>/h

**Autre équipement**

Les 2 décanteurs sont équipés d'un pont racleur, y compris « Clifford », trémie à flottants + garde corps. Deux ponts racleur sont prévus pour un décanteur de 43 m.

**Qualité des eaux traitées**

La qualité des eaux traitées dépend de (1) l'efficacité du process biologique, ainsi que de (2) l'efficacité de la séparation des boues et des eaux.

En générale, les calculs sont faits pour que la DBO des eaux traitées soit inférieure à 3 mg/l. Les décanteurs sont conçus pour que les MES soient inférieures à 15 mg/l.

- **DCO**

La DCO dans les eaux traitées est de 38 mg/l et se compose de

- DCO soluble biodégradable = 0,73 mg/l

- DCO des MES = (1 mg DCO / 1,42 \* MESV) \* 0,53 \* 15 mg/l MES  
= 6 mg/l

- DCO inerte = DCO non biodégradable soluble  
= 30,5 mg/l (voir page 59)

- **DBO**

La DBO dans les eaux traitées est 7 mg/l et se compose de

- DBO soluble biodégradable = 0,73 mg/l

- DBO des MES = (1 mg DBO / 1,42 \* MESV) \* 0,53 \* 15 mg/l MES  
= 6 mg/l

- **MES**

En général, les MES sont inférieures à 15 mg/l dans les conditions normales de la biologie.

- **Azote totale**

L'azote totale dans les eaux traitées est 38,7 mg/l et se compose de

- azote biodégradable non consommée

= N eaux brutes – N biomasse

= 1336 kg – (0,12 kg N/kg biomasse \* (2047 kg + 578 kg MESV)) (=A+B p. 15)

= 1021 kg -> 1021 kg / 26687 m<sup>3</sup>/j = 38 mg/l

- azote des MES = (0,12 kg N/kg biomasse) \* 15 mg/l MES \*(biomasse/boue produite)  
= 0,12 \* 15 \* (2625 kg biomasse (MESV) / 6990 kg MES)  
= 0,7 mg/l

- **Phosphore total**

Le phosphore total dans les eaux traitées est de 11,4 mg/l et se compose de

- phosphore non consommé

= P eaux brutes – P biomasse

= 341 kg – (0,015 kg P / kg biomasse \* (2047 kg + 578 kg MESV)) (=A+B p. 15)

$$= 301,6 \text{ kg} \quad \rightarrow 301,6 \text{ kg} / 26687 \text{ m}^3/\text{j} = 11,3 \text{ mg/l}$$

$$\begin{aligned} \text{- phosphore des MES} &= (0,015 \text{ kg P/kg biomasse}) * 15 \text{ mg/l MES} * \text{biomasse/boue produite} \\ &= 0,015 * 15 * 2625 \text{ kg biomasse (MESV)} / 6990 \text{ kg MES} \\ &= 0,08 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

Les valeurs sont résumées dans le tableau suivant :

Paramètre (mg/l)	norme		valeur escomptée
	24 h moyenne	2 h moyenne	
<b>DCO</b>	<b>90</b>	<b>120</b>	<b>&lt; 40</b>
<b>DBO<sub>5</sub></b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>&lt; 10</b>
<b>MES</b>	<b>30</b>	<b>-</b>	<b>&lt; 20</b>
<b>N global</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>&lt; 40</b>
<b>P global</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>&lt; 12</b>

**Tableau 8 : les paramètres (mg/l)**

### 3.3 Epaisseur de boues (phase 1+2)

#### Paramètres de base (critères Metcalf & Eddy)

- Charge massique max : 40 kg/m<sup>3</sup>.j
- Charge superficielle max : 8 m/j
- L'épaisseur doit être conçu pour la phase 2
- Boues épaissies : 3 %

#### Calcul

La charge nominale à l'entrée en

- Phase 1 : 6936 kg MS/j à 9.6 kg MS/m<sup>3</sup> = 723 m<sup>3</sup>/j
- Phase 2 : 10404 kg MS/j à 9.6 kg MS/m<sup>3</sup> = 1084 m<sup>3</sup>/j

L'épaisseur proposé est une unité de 20 m diamètre, avec une hauteur hydraulique de 5 m. La surface active correspondante est donc 314 m<sup>2</sup>, le volume est 1570 m<sup>3</sup>.

- Charge massique correspondante :  
Phase 1: 6936 kg MS/j: 314 m<sup>2</sup> = 22 kg MS/m<sup>2</sup>.j  
Phase 2: 10404 kg MS/j: 314 m<sup>2</sup> = 33 kg MS/m<sup>2</sup>.j

- Boues épaissies:  
Phase 1: 6936 kg MS/j à 40 kg MS/m<sup>3</sup> = 173 m<sup>3</sup>/j  
Phase 2: 10404 kg MS/j à 40 kg MS/m<sup>3</sup> = 260 m<sup>3</sup>/j

- Surnageant (retour vers prétraitement, via station de pompage toutes eaux):

Phase 1:  $723 - 173 = 550 \text{ m}^3/\text{j}$

Phase 2:  $1084 - 260 = 824 \text{ m}^3/\text{j}$

- Charge superficielle correspondante

Phase 1:  $550 \text{ m}^3/\text{j} : 314 \text{ m}^2 = 1.75 \text{ m}^3/\text{j}$

Phase 2:  $1084 \text{ m}^3/\text{j} : 314 \text{ m}^2 = 2.62 \text{ m}^3/\text{j}$

- Temps de stockage phase 1

Phase 1 :  $1570 \text{ m}^3 : 173 \text{ m}^3/\text{j} = 9 \text{ j}$

Phase 2 :  $1570 \text{ m}^3 : 260 \text{ m}^3/\text{j} = 6 \text{ j}$

- Station de pompage **des boues épaissies**

On prévoit  $(1 + 1R) \times 45 \text{ m}^3/\text{h}$

Phase 1 :  $173 \text{ m}^3/\text{j} / 45 \text{ m}^3/\text{h} = 3.8 \text{ h/j}$  en fonction

Phase 2 :  $260 \text{ m}^3/\text{j} / 45 \text{ m}^3/\text{h} = 5.8 \text{ h/j}$  en fonction

### 3.4 Lits de séchage

Les boues épaissies s'élèvent à  $6936 \text{ kg MS/j}$  (à  $40 \text{ kg MS/m}^3$ ) =  $173 \text{ m}^3/\text{j}$

Temps de séjour : 21 jours ( $> 20 \text{ j}$  (critère KSBE))

Volume de séchage à prévoir :  $173 \text{ m}^3/\text{j} \times 21 \text{ j} = 3633 \text{ m}^3$

Hauteur des boues : 40 cm

Surface de séchage à prévoir :  $3633 \text{ m}^3 : 0,40 \text{ m} = 9083 \text{ m}^2$

Lits de séchage installés:

20 lits de  $30 \text{ m} \times 15 \text{ m} = 20 \times 450 \text{ m}^2 = 9000 \text{ m}^2$

Chaque lit de séchage est équipé d'une vanne manuelle à l'entrée (alimentation). L'eau de drainage est dirigée par gravité vers la station de pompage toutes eaux, à côté de l'épaississeur.

#### 4. Extension de la station d'épuration de Laghouat

En ce qui concerne l'extension pour l'année 2033, la STEP doit être modifiée pour pouvoir traiter 250 500 EH :

##### **Prétraitement et station de relevage**

- 1 pompe de relevage supplémentaire avec une capacité de 1013 m<sup>3</sup>/h

##### **Traitement biologique**

- 1 bassin d'aération supplémentaire (13338 m<sup>3</sup>)
- 5 aérateurs de 90 kW

##### **Décantation**

- 1 clarificateur supplémentaire (43 m diamètre)
- 1 pont racleur
- 2 pompes de recirculation (500 m<sup>3</sup>/h) (ou si on installe déjà une pompe de réserve en phase 1, il ne restera qu'une pompe à installer pour la phase 2)
- 1 pompe de boues en excès (45 m<sup>3</sup>/h)

##### **Traitement des boues**

- 8 lits de séchage supplémentaires (8\*450 m<sup>2</sup>)

##### **Désinfection**

- 1 bac de stockage de NaOCl supplémentaire (10 m<sup>3</sup>)

## **Conclusion**

Les dernières années ont été marquées en l'Algérie par un effort important et croissant consacré à la lutte contre la pollution, surtout dans le domaine de la protection et de la valorisation des ressources en eau. Cet effort s'est matérialisé par un large développement d'installations de stations d'épuration des eaux usées et par un suivi plus efficace de leurs performances.

Le projet est de construire une nouvelle installation de traitement d'eaux usées d'une capacité de 167 000 EH (échéance 2015) (= phase 1), avec la possibilité d'une extension de 250 500 EH (échéance 2033) (= phase 2).

L'accomplissement de ce projet permettra de répondre aux normes de rejet d'effluent comme indiqué dans cette note de calcul.

---

# Chapitre VI :

---

## Dimensionnement du Pilote

*Dimensionnement du Pilote*

## Introduction

Avant de présenter les différentes étapes de dimensionnement des LSPR, il est important de rappeler les points clés qui participent au choix de la filière de traitement des boues. Bien sûr, pour chaque point, les considérations économiques (coût d'investissement, coût d'exploitation) sont à étudier pour orienter ce choix.

Plusieurs paramètres sont à considérer pour le dimensionnement des LSPM à savoir :

- Le type de boue ;
- La production annuelle de boue à traiter en considérant uniquement la matière solide assimilée à la matière sèche (kg MS/an) ;
- La quantité de boue apportée sur les lits qui est la charge surfacique exprimée en kg MS/m<sup>2</sup>/an ;
- Le nombre de lits à mettre en place (la surface totale une fois définie est divisée en plusieurs unités de traitement pour la simple raison que le principe de fonctionnement des lits de séchage repose sur l'alternance entre phases d'alimentation et de repos) ;
- La fréquence d'alimentation définie par la quantité de boue à traiter et le nombre de lits.

Connaissant le type de boue à traiter, le dimensionnement des LSPM peut se réaliser en trois étapes dont l'estimation du flux à traiter, le choix de la charge surfacique annuelle et le choix du nombre de lits.

Dans cette partie, les calculs seront faits avec les données de la commune de STEP de Laghouat.

## 1. Etude de faisabilité

### 1.1. Plan d'urbanisme

La station d'épuration de Laghouat est située dans la zone Sud Est du Chef lieu de la wilaya de Laghouat, à environ 1 km, elle est implantée sur un site faisant parti du plateau saharien est actuellement gérée par l'ONA (Office National de l'Assainissement) de la wilaya de Laghouat elle est limité par (Oued M'ZI au Sud Est ; Benaceur Benchohra au Sud Ouest ; El Assafia à l'Ouest ; Kef Serridja au Nord ; Laghouat ville à l'Est).

Les points représentatifs suivants du site ont pour coordonnées Lambert :

- X1 :492.591 Y1 :3740,76 Z1 :765
- X2 :492.591 Y2 : 3740,60 Z2 :756
- X3 :493.16 Y3 : 3740,60 Z3 :760
- X4 :493.16 Y3 : 3740,76 Z3 :764



**Figure 42 :** Plan d'aménagement de la STEP de Laghouat

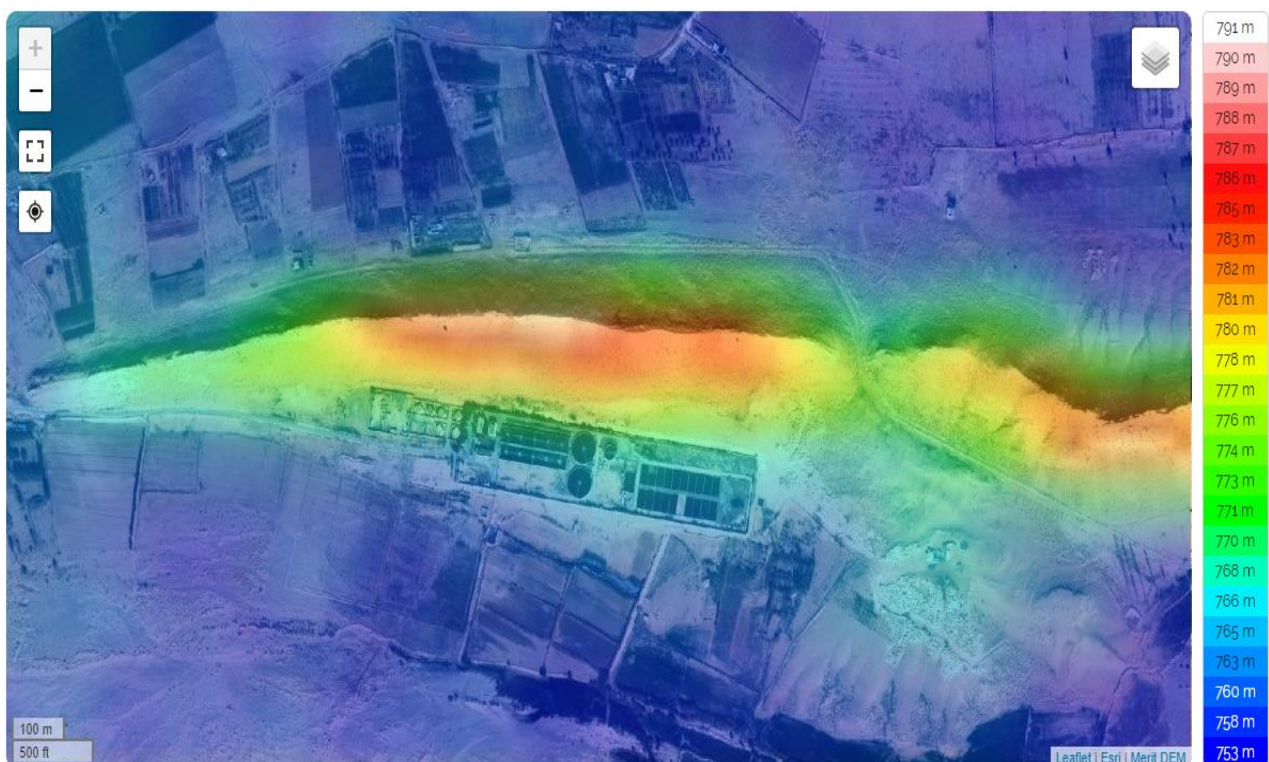
- 1-bloc administratif
- 2-Batiment de service
- 3-Station de relevage
- 4-Ouvrage d'entrée (Désableur, déshuileur)
- 5-Bassin d'aération
- 6-Décanteur N°01
- 7-décanteur N°02
- 8-epaississeur
- 9-Bassin de Chloration
- 10- Lits de séchages (20 lits)

## 1.2 Etude topographique

Il est important d'étudier le profil du terrain car il détermine le sens d'écoulement des effluents et aura donc une influence sur l'emplacement de la filière et sur sa composition. En effet, elle est préférentiellement placée dans le bas du terrain afin de faciliter l'écoulement naturel des effluents et dans le cas contraire (cas d'une sortie de filière plus haute que son entrée) il faudra ajouter une pompe de relèvement pour s'assurer du bon sens d'écoulement.

En ce qui concerne la parcelle étudiée, l'altitude varie entre 762 et 763 mètres, les pentes sont relativement faibles, comme nous le verrons par la suite (profil de pente). Sur les versants.

D'après la carte topographique, le terrain présente des pentes orientées est et sud-est. Cependant, elle n'apporte pas des informations assez précises pour ce type d'étude. Il est donc nécessaire d'effectuer un relevé topographique sommaire. Il doit indiquer le sens des pentes et pourcentages approximatifs de celles-ci jusqu'à la zone d'implantation du lieu choisi pour la station.



**Figure 43** : Carte altitude de la STEP de Laghouat

### 1.3 Etude Géographique et étude climatique

#### 1.3.1 Etude Géographique

Au piémont de l'Atlas Saharien, du côté nord, Laghouat s'étend sur le plateau saharien du côté sud. Avec une mosaïque, mixture naturelle, entre les hautes terres et les basses terres, elle constitue une liaison entre le Nord et le Sud du pays.

La wilaya de Laghouat, reliée par la RN n° (01), est éloignée d'Alger la capitale, de 400 Km. Elle est située entre les latitudes Nord 34°67' et 32°65', et les longitudes Est 04°29' et 01°41'. Issue du découpage administratif de 1974, et fait partie des neufs Wilayat pastorales du pays, ainsi que des Wilayat du Sud. Sa superficie est de ; 25 052 km<sup>2</sup> pour une densité de : 23,22 Hab/km<sup>2</sup>.

Laghouat est, délimité, géographiquement, au Nord et à Est par la wilaya de Djelfa, au Nord-ouest par la wilaya de Tiaret, à l'Ouest par la wilaya d'El Baydh, et au Sud par la wilaya de Ghardaïa.



Figure 44 : Situation de la STEP de Laghouat

### 1.3.2 Etude Climatique

Le type de climat de la région de Laghouat, est généralement présaharien.

- **Précipitations**

Tandis que dans la zone de Laghouat, la pluviométrie est ne dépasse pas 30 mm, les mois les plus pluvieux étaient Septembre-octobre comme le montre le tableau, avec des gelées blanches en hiver, des étés chauds accompagnés de sirocco et des tempêtes de sable.

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
<b>Précip (mm)</b>	8,68	7,69	12,57	21,3	15,05	11,1	7,9	11,18	27,27	22,63	14,69	18,88

**Tableau 9 :** La pluviométrie moyenne mensuelle (entre 2004-2015) de la région de Laghouat.

- **La température**

D'une moyenne annuelle de 18,79 °C. Le tableau (5) exprime les valeurs moyennes mensuelles des températures maxima  $T^{\circ}$  et minima  $t^{\circ}$ , et les températures mensuelles moyennes ( $Tm^{\circ}$ ) de la région de Laghouat. D'après le tableau, on constate que le mois de Janvier est le plus froid, avec une température de 1,33 C° ; le mois le plus chaud étant Juillet, avec une température mensuelle moyenne de 39,5 C°.

Moi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Moy
<b>Max</b>	17,85	16,09	20,17	24,79	29,43	35,06	39,51	38,67	32,37	26,94	19,10	14,52	<b>26,21</b>
<b>Min</b>	1,33	2,58	5,54	9,20	13,98	18,13	22,70	22,50	18,61	13,13	6,06	2,64	<b>11,37</b>
<b>Moy</b>	9,59	9,34	12,86	17,00	21,71	26,60	31,11	30,59	25,49	20,04	12,58	8,58	<b>18,79</b>

**Tableau 10 :** Les max, min et température mensuelle moyenne de Laghouat (2004-2015).

Quant à l'humidité relative de l'air, l'ONM constate qu'elle est beaucoup plus élevée durant les mois de novembre, décembre et janvier (56-65% qu'en période estivale, en juin, juillet et aout (25-30%).

Le vent étant un facteur écologique important, il enregistre dans la région de Laghouat une vitesse moyenne durant la période 2006-2016 de 3,68 m/s, avec la plus grande en Avril évaluée à 4,68m/s. (ONM, 2016).

- **L'évapotranspiration**

L'indice d'aridité de la région de Laghouat durant la période de 2001 à 2013 est de **7,17** ; donc le climat est très sec.

## 2. Principe de l'étude filtre à sable

Les lits de séchage plantés de macrophytes (LSPM) ont pour objectif de minéraliser et réduire le volume des boues afin de faciliter leur transport.

Une procède très répandue pour le traitement boues, car très simple d'utilisation. Ceux-ci consistent en un massif filtrant constitué de sable et de gravier sur lequel on dépose les boues. L'eau contenue dans la boue s'écoule par gravité, tandis que la matière en suspension (matière solide) est retenue à la surface. Les boues séchées en surface sont enlevées mécaniquement entre chaque apport (pelle ou racleur mécanique).

Les filtres à sable sont en deux types ; filtre à sable drainé et filtre à sable non drainé.

### 2.1. Filtre à sable drainé

Les dispositions techniques par rapport à la construction des ouvrages doivent être basées sur les plans de coupe du plan d'aménagement du site en Annexe.

#### 2.1.1. Matériau et massif filtrant

Le garnissage de la couche drainante des lits est composé de bas en haut par :

- 20 cm de gravier (30/60 mm) dans laquelle repose un drain d'aération connecté à l'atmosphère permettant une aération de la couche drainante ;
- 10 cm d'une couche de gravier (15/25 mm) ;
- 15 cm d'une couche de gravier (2/4 mm) ;
- Puis d'une couche de filtration de 5 cm de sable grossier (caractérisé par :  $0,2 \leq d_{10} \leq$

$$0,4 \text{ mm}, 4 \leq CU \leq 5) \text{ avec } CU = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

Afin d'assurer un drainage rapide des percolats une pente minimale de 0,5 % sera nécessaire en fond de filtre. L'horizontalité de la surface est rattrapée lors de la mise en place de la couche drainante. Il sera mis avant les couches du massif filtrant une couche d'argile d'épaisseur 15 cm (damée sur tout au long de la surface d'un lit) afin d'éviter les infiltrations. Les différentes couches sont schématisées.

### 2.1.2 Conduite d'alimentation des lits

D'après Liénart A. (1999), la surface des lits doit être divisée en carrés d'environ 100 m<sup>2</sup> et un point d'alimentation doit être placé au centre de chacun d'eux. Chaque point est équipé d'une plaque déflectrice pour casser le jet, améliorer la répartition des boues et éviter les affouillements. Les débits d'alimentation doivent être supérieurs à 0,25 m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup> pour assurer une distribution homogène des boues sur toute la surface du massif filtrant.

Les boues de vidange sont pompées de la cuve de stockage vers les lits à travers des conduites en PVC assainissement de diamètre extérieur 160 mm pour un débit d'alimentation de 25 m<sup>3</sup>/h (0.25 m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>×100 m<sup>2</sup>).

### 2.1.3 Système drainage-aération

Le drainage des percolats et l'aération du massif filtrant est assuré par un réseau de drains. Il est placé en fond de filtre et doit pouvoir drainer le débit d'alimentation pour éviter la mise en charge des lits. Il est donc recommandé d'utiliser des tubes en PVC de 100 mm de diamètre au minimum (Pascal et al., 2013). Les drains sont entaillés de fentes de 1 cm de large espacées de 10 cm : les unes tournées vers le bas permettent l'évacuation des percolats, les autres tournées vers le haut assurent la diffusion de l'air dans le massif.

Pascal et al. (2013) indique que la densité de drains rapportée à la surface doit être supérieure à 0,25 m linéaire de drain.m<sup>-2</sup>, valeur choisie pour l'étude.

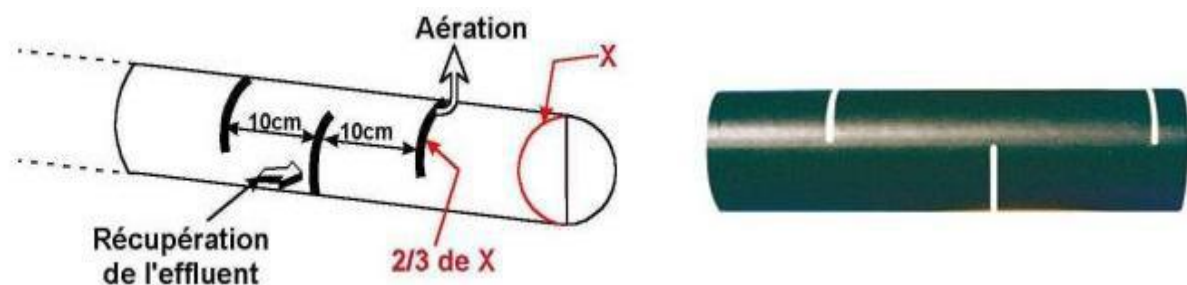
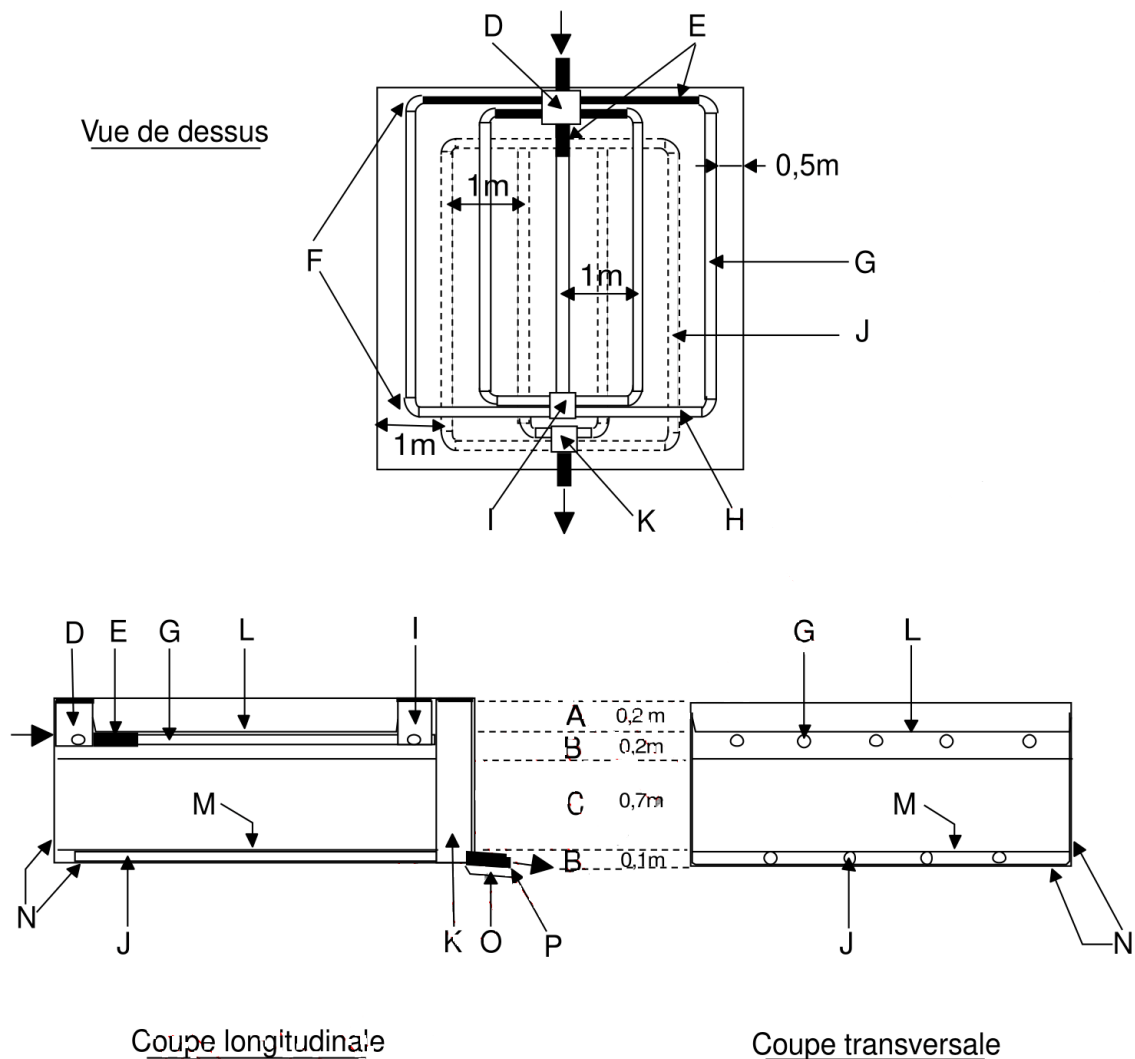


Figure 45 : Schématisation de la disposition des fentes d'aération et de drainage.

## Filtre à sable vertical drainé



- A Terre végétale de recouvrement (0,2 m)
- B Gravier lavés 10-40mm
- C Sable lavé stable à l'eau
- D Boîte de répartition
- E Tuyau plein (en répartition et 1 m sur tuyau d'épandage central)
- F Angles composés de 2 coudes à 45° ou 1 coude à 90° à grand rayon
- G Tuyau d'épandage (fentes vers le bas - pente jusqu'à 1%)
- H Bouclage de l'épandage par tuyau d'épandage
- I Boîte de bouclage ou d'inspection
- J Tuyau de collecte avec fentes orientées vers le bas
- K Boîte de collecte
- L Géotextile de recouvrement (débordement de 0,1 m min. de chaque côté)
- M Géogrille de séparation
- N Film imperméable éventuel et d'un seul tenant sur les parois et le fond de fouille
- O Lit de pose (sable 0,1 m)
- P Tuyau plein d'évacuation vers l'exutoire (pente de 0,5% min.)

**Figure 46 :** schéma filtre à sable drainé

## 2.2 Filtre à sable non drainé

Le principal cas d'utilisation est celui du sous-sol trop perméable, inapte à toute épuration car il y a risque que les eaux prétraitées soient conduites directement vers les eaux souterraines. Un épandage sur sol reconstitué par apport d'une couche de sable siliceux lavé de 70 cm d'épaisseur minimum sous la surface de répartition constitue une solution envisageable. Le filtre à sable doit être alimenté par un dispositif assurant une égale distribution. Le regard de répartition et les tuyaux de distribution doivent être placés parfaitement à niveau.

Du géotextile imperméable peut être installé sur les parois (lorsque l'on veut canaliser le flux ou que les parois s'avèrent trop perméables).

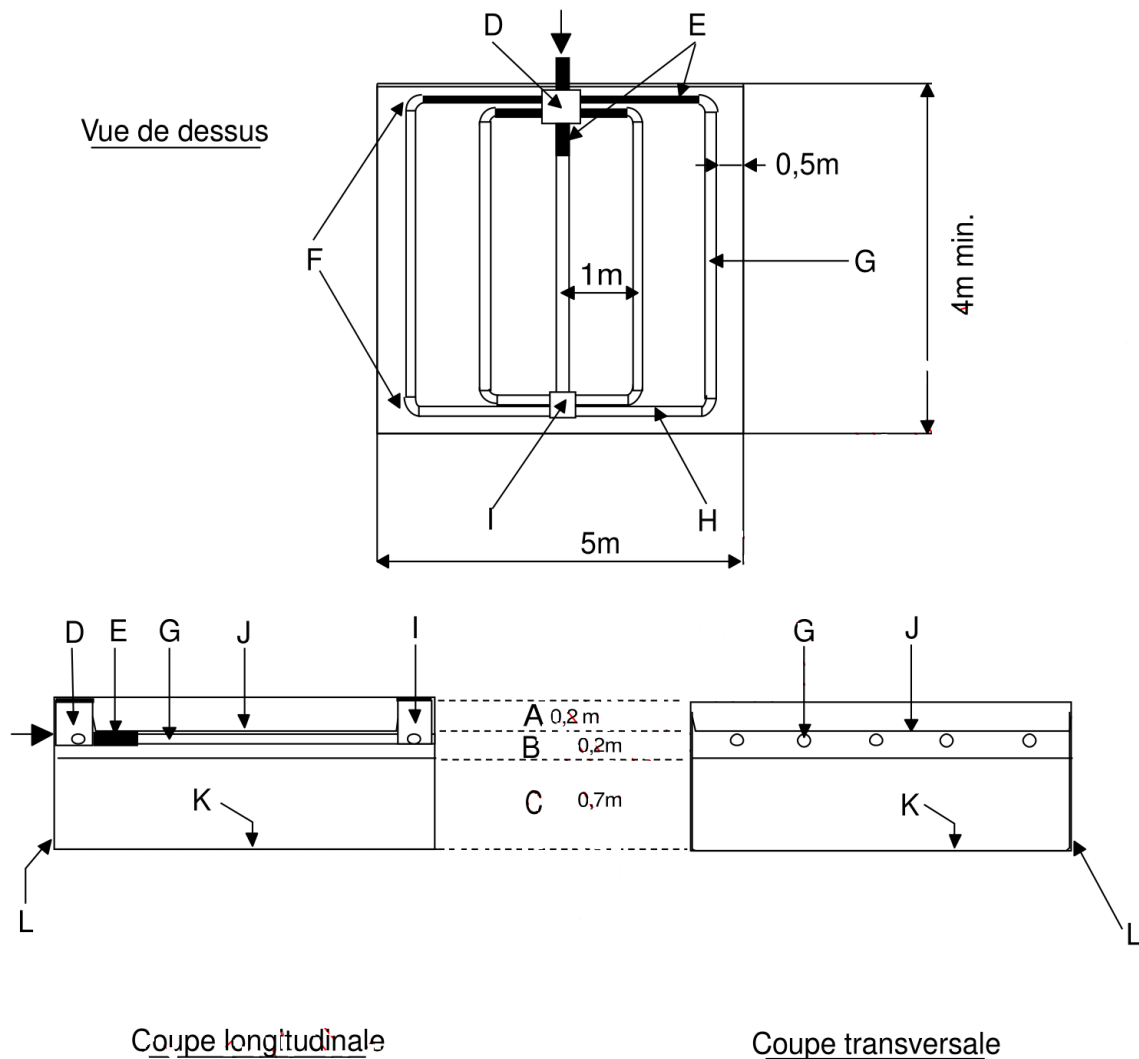
### 2.2.1 Conditions d'installations

- Terrain plat (< 2%)
- Sol trop perméable.
- Sous-sol fissuré à faible profondeur
- Surface nécessaire d'au moins 60 m<sup>2</sup>
- Absence d'un horizon défavorable jusqu'à 1 m sous le fond de fouille du filtre.

### 2.2.2 Mise en œuvre

- Le fond de fouille est à fond plat et d'une profondeur de 1,10 m mini à 1,60 m maxi, soit à 0,9 m sous l'arrivée des eaux de la fosse.
- La longueur du lit filtrant est de 4 m mini, la largeur du lit filtrant est de 5m. - Le fond du lit est garni d'une géogrille ou d'un géotextile (norme NF G38-017, ouverture de filtration  $\geq 140 \mu\text{m}$ ).
- Une couche de sable siliceux lavé de 70 cm d'épaisseur minimale recouvre le géotextile ou géogrille. - Une couche de graviers lavés et calibrés 20/40 recouvre le sable sur 20 cm.
- Les tuyaux d'épandage sont à l'horizontal, dans les 10 cm supérieurs de graviers.
- Un géotextile doit être disposé au-dessus de la couche de graviers (norme NF G38-017, ouverture de filtration  $\leq 125 \mu\text{m}$ ).
- La couche de terre végétale ne doit pas dépasser 20 cm d'épaisseur.
- Elle doit être débarrassée de cailloux.
- Un géotextile imperméable peut recouvrir les parois si celles-ci sont trop perméables ou si l'on souhaite orienter le flux.

## Filtre à sable vertical non drainé



- A Terre végétale de recouvrement (0,2 m)
- B Graviers lavés 10-40mm
- C Sable lavé stable à l'eau
- D Boîte de répartition
- E Tuyau plein (en répartition et 1m sur tuyau d'épandage central)
- F Angles composés de 2 coudes à 45° ou 1 coude à 90° à grand rayon
- G Tuyau d'épandage (fentes vers le bas - pente jusqu'à 1%)
- H Bouclage de l'épandage par tuyau d'épandage
- I Boîte de bouclage ou d'inspection
- J Géotextile de recouvrement (débordement de 0,1m min. de chaque côté)
- K Géogrille éventuelle en fond de fouille (exemple roche fissurée)
- L Film imperméable éventuel sur les parois (exemple roche fissurée)

**figure 47** : schéma filtre à sable non drainé

### 3. Bilan de l'étude de faisabilité de LSPM

L'étude de faisabilité a montré que le projet de LSPM a la station de Laghouat est possible et réalisable sur la STEP, pour plusieurs raisons et facteurs.

Les LSPM pour traitement des boues commencent seulement à se développer. peu d'études ont été réalisées sur les stations opérationnelles à échelle réelle.

Les coûts de construction sont en général plus faibles que pour les stations de traitement des boues conventionnelles. Les LSPM demandent une surface moindre que le lagunage, bien que simple au plan mécanique.

Plusieurs points généraux disponibles pour réaliser le LSPM dans la Station d'épuration de Laghouat et pour la conception et la construction.

Voici les différents facteurs à prendre en compte pour la construction :

FACTEUR	Paramètres à prendre en compte	Remarques
Choix du site	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usage de terrain et accès</li> <li>• Disponibilité foncière</li> <li>• Topographie du site</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Localisation centrale pour réduire les distances de transport.</li> <li>- Localisation éloignée des zones habitées pour éviter la diffusion d'odeurs et d'insectes.</li> <li>- Localisation avec accès adapté pour les camions et éloignée des zones résidentielles pour réduire l'impact sonore.</li> <li>- Le site doit être assez grand pour la situation actuelle et la situation future.</li> <li>- Choisir autant que possible un site qui permette l'écoulement gravitaire pour éviter les coûts énergétiques et de pompage.</li> </ul>
Structure	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Casiers</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les casiers peuvent être construits en déblai ou en remblai pour créer de la profondeur.</li> <li>- La revanche doit être suffisante pour permettre l'accumulation des boues pendant 3 à 4 ans. En général, une revanche de 1,5 à 2 m est recommandée.</li> <li>- Plusieurs casiers doivent être construits en parallèle, pour permettre leur alimentation séquentielle et des périodes de repos.</li> <li>- Des digues permettront de séparer les casiers et d'éviter les courts-circuits.</li> <li>- Maintien d'un espace entre les casiers pour le passage des engins et les activités de maintenance (par exemple : faucardage, curage, etc.).</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Membranes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elles doivent être scellées pour éviter de contaminer des eaux de nappe ou d'avoir des intrusions d'eau dans les lits. Les membranes synthétiques sont</li> </ul>

		préférables, mais l'argile compactée peut aussi être une solution.
<b>Dispositifs hydrauliques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entrée</li> <li>• Sorties</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les dispositifs de contrôle des flux doivent être simples et faciles à régler. Des vannes placées sur les canaux ou les canalisations sont généralement utilisées.</li> <li>- Un seuil, un déversoir ou une rehausse de canalisation réglable doivent permettre le réglage des niveaux d'eau dans les lits si besoin (c'est-à-dire la mise en eau du casier pour éviter le flétrissement des plantes).</li> </ul>
<b>Climat et météo</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- La mise en eau des casiers peut être nécessaire pour éviter les effets négatifs de la sécheresse ou des températures élevées (voir « Sorties » ci-dessus).</li> <li>- Augmenter la période de repos (durée entre deux alimentations consécutives) lorsque les précipitations sont fortes.</li> </ul>
<b>Végétaux</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Choisir des macrophytes indigènes et non-invasifs, dont la capacité à se développer sur des boues est démontrée.</li> <li>- Sélectionner des pousses ou des segments qui ne présentent pas visuellement de signes d'attaque de nématodes.</li> <li>- Réaliser la plantation ou le faucardage durant la saison des pluies afin de faciliter le développement ou la repousse.</li> </ul>
<b>Ventilation</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Un meilleur débit d'air ainsi qu'un meilleur drainage de la fraction liquide peuvent être obtenus en utilisant des blocs creux ou des tuyaux de ventilation*.</li> </ul>

**Tableau 11** : les différents facteurs à prendre en compte pour la construction .

## Conclusion

L'extraction des boues déshydratées se fait tous les 8 à 10 ans. Le LSPM (Lit Séchage Planté de Macrophytes) est un système de gestion des boues sur le long terme, le système doit cependant être vérifié par l'utilisateur :

- Chaque trimestre : Vérification du bon fonctionnement de l'alimentation en boues, Vérifier visuellement que le LSPM a été alimenté en boues et que les roseaux se développent correctement, Vérification de la hauteur de boues dans le LSPR.
- Tous les ans : Vérification de la propreté de la canalisation retour vers la station, Faucardage (=coupe) des roseaux, à réaliser à la fin de l'automne/début hiver lorsque les feuilles et tiges des roseaux sont desséchées. Il convient de faucarder les tiges à hauteur de la grille. Evacuer avec les déchets verts.
- D'augmenter la durée de stockage des boues issues des micro -stations (8 à 10 ans de stockage), - De déshydrater les boues liquides et d'enlever jusqu'à 90 % de l'eau contenue dans ces boues, participant ainsi à la réduction des déchets à la source,
- D'obtenir un produit fini de qualité "compost" grâce à la longue période de stockage et la lente minéralisation des boues.
- Solution simple et économique.

## Conclusion Générale

D'après cette étude, les stations de lits de séchage sont des solutions appropriées aux problèmes de gestion des boues dans la ville car elles sont adaptées à nos conditions climatiques et sont peu coûteuses par rapport aux autres technologies.

L'intérêt dans le choix de cette technique, consiste en la réduction de la dépense d'énergie et de la main d'œuvre. Une économie considérable d'énergie est remarquable pour un système de LSPM et présente un grand avantage du point de vue environnemental. En effet, une installation de ce type réduit considérablement les problèmes d'impact sur le paysage et garanti l'intégration entre paysage et constructions.

En effet, à travers les deux premiers chapitres nous avons présenté une bibliographie, concernant les techniques de lit de séchage par Roseaux d'une manière générale et par macrophytes en particulier. Nous avons tenté de présenter l'essentiel de la définition des LSPM et principe de fonction les lit de séchage aussi les types.

Par ailleurs, les deux derniers chapitres de ce modeste mémoire a été entièrement consacré à l'étude le dimensionnement du pilot et appliqué sur la station d'épuration de Laghouat (sur un pilote semi-industriel) afin de montrer les avantages de cette nouvelle technique de séchage des boues.

En comparaison avec les autres technologies de traitement des boues, les LSPM ont l'avantage d'être peu coûteux à l'investissement, en exploitation-maintenance, en supervision et en énergie. Les LSPM n'ont pas besoin de flocculant chimiques, ni de centrifugeuses ou de filtres presses. Les LSPM peuvent toutefois être plus coûteux que les lits de séchage non-plantés en investissement (pour l'achat additionnel de macrophytes par exemple) comme en exploitation-maintenance (notamment pour le faucardage des plantes et le désherbage, ou encore pour les mesures de gestion des vecteurs). Ils ont néanmoins l'avantage de nécessiter moins d'opérations de curage (après quelques années seulement et non pas toutes les deux ou trois semaines comme les lits non-plantés).

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Brix H. (1997). Do Macrophytes Play a Role in Constructed Treatment Wetlands? *Water Science and Technology* 35 (5), p. 11-17.

Canler, J. P. (2010). Guide technique sur les matières de vidange issues de l'assainissement non collectif : caractérisation, collecte et traitements envisageables, FNDAE n°37.

Degrémont, Mémento technique de l'eau, tomes 1 et 2, 1989, p. 171-177. Edeline F, L'épuration biologique des eaux, 1997, éditions Cébédoc.

Faures G., 2000, "Règlementation", Conférence « Les Boues – Quels enjeux ? Quelles solutions ? », 23-24 Février, Pau.

Institut de la Filtration et des Techniques Séparatives, 1995, "Déshydratation des boues résiduaires industrielles et urbaines - Synthèse et perspectives".

Khadraoui A -sols et hydraulique agricole dans les oasis algérienne .Ed : HOUMA, Ouagla.324

C.D.F 1998 : présentation du sous-secteur des forts. Wilaya de Laghouat, 33 p.

Lesoille M., 1998, "Le séchage thermique : quelle place dans les filières boues", *L'eau, l'industrie, les nuisances*, no 180, pp 38-40.

Liénard, A., Troesch, S., Molle, P., and Esser, D. (2008). Traitement des boues par lits plantés de roseaux : rappels des points clefs de cette technique. *Ingénierie 10*.

Liénard, A., Guellaf, H., Boutin, C. (2000) Choix du sable pour les lits d'infiltration percolation. *Ingénierie EAT*, n° spéciale, pp 59-66.

Liénard, A., S. Troesch, P. Molle et D. Esser (2008b). Traitement des boues par lits plantés de roseaux : rappels des points clefs de cette technique. *Ingénieries EAT N° spécial*: 41- 49.

Liénard, A., S. Troesch, P. Molle, F. Thirion, P. Héritier, J.C. Baudez et D. Esser (2008). Valorisation des boues traitées en lits plantés de roseaux : premiers retours d'expérience des curages épandage sur quelques stations Françaises. *Ingénieries EAT N° spécial*: 51-64.

ONA , STEP de Laghouat : donnés de la station d'épuration de Laghouat.

OTV, 1997, "Traiter et valoriser les boues", Collection OTV

ONM, Office National de la Métrologie

Ouardas.,2009- Les boues d'épuration municipales et leur utilisation en agriculture. Collection « valorisation agricole des boues d'épuration ».Ed. ADEME. France.

Pascal MOLLE .Le 10 décembre 2003filtres plantes de roseaux :limites hydrauliques et rétention du Phosphore.

Peignen-Séraline P, 1997, Tomment venir à bout des boues? .L'environnement magazine, 1556, p 45 -52.

Pascal Molle Julie Vincent Stéphane Troesch Gilles Malamaire Décembre 2013. Les lits de séchage de boues plantés de roseaux pour le traitement des boues et des matières de vidange - Guide de dimensionnement et de gestion.

Ressent S, 1998, "Etat de l'art sur le séchage thermique des boues urbaines et industrielles", Editeur ADEME.

Vincent, J. (2011). Les lits de séchage plantés de roseaux pour le traitement des boues activées et les matières de vidange : adapter la stratégie de gestion pour optimiser les performances. Université Montpellier 2, Irstea Lyon. 236 p.

# ANNEXES :

## Annexe I :



**OFFICE NATIONAL DE L'ASSAINISSEMENT**  
**LABORATOIRE CENTRAL**

Autorisation d'exploitation N°054 du 27 juin 2006

Carrefour Sidi Arcine. Route de Baraki.  
Tél/fax: (021) 76 20 31/32  
E-mail: labocentralona@ona-dz.com

Date 04/03/2014

Unité LAGHOUAT	
STEP Laghouat, Bordj Snoussi, 1736 Laghouat	
Tél	029 94 03 82
Fax	029 94 03 82

Rapport d'essais N° 144/2014

Page 1/1

### Identification échantillon

N° Demande	34/2014	Réf bon de commande	/
Code échantillon	LC-2014 / 0139	Prélèvement effectué par	Client
Date de prélèvement	25/02/2014	Quantité/volume prélevé	500 g
Date de réception	26/02/2014	Nature des flacons	polyéthylène
Date début des essais	02/03/2014	Nature de l'échantillon	Boue
		Etat de l'échantillon	liquide
Provenance	STEP Laghouat		
Motif des analyses	Caractérisation		

### Résultats des essais

Paramètres	Méthodes	Résultats	Unités
Chrome	NF EN 1233	17,3	mg/kg
Nickel	ISO 8288	17,1	mg/kg
Cuivre	ISO 8288	128,7	mg/kg
Cadmium	ISO 8288	1,2	mg/kg
Zinc	ISO 8288	343,3	mg/kg
Fer	FD T90-112	3266,7	mg/kg
Cobalt	ISO 8288	5,3	mg/kg
Plomb	FD T90-112	84,7	mg/kg

Le Directeur du Laboratoire central



Les résultats de ce rapport ne se rapportent qu'aux échantillons soumis aux essais.

Le laboratoire ne prend en compte que les réclamations formulées par écrit dans un délai ne dépassant pas dix jours à compter du jour de remise du présent rapport.

Le rapport d'essais ne doit pas être reproduit sans l'autorisation écrite du Laboratoire Central de l'ONA.

N° Rapport : 144/2014

Date d'émission : 04/03/2014

Nature de l'échantillon : Boues STEP LAGHOUAT

Code échantillon : LC-2014/0139

Appréciation :

L'échantillon de boue analysé est conforme à la norme NA 17671 pour les teneurs en éléments traces : cadmium, cuivre, nickel, chrome, plomb et zinc.

Le mercure et le sélénium sont à contrôler pour une valorisation agricole de ces boues.



*Ballotrache*  
مديرة المختبر  
ص. 1. بيو

	<b>Formulaire</b>	Code FQLC03-F03	Version 01
	Rapport d'essais du Laboratoire Central	Date 28/11/2012	Page 2/3

Page : 1/2

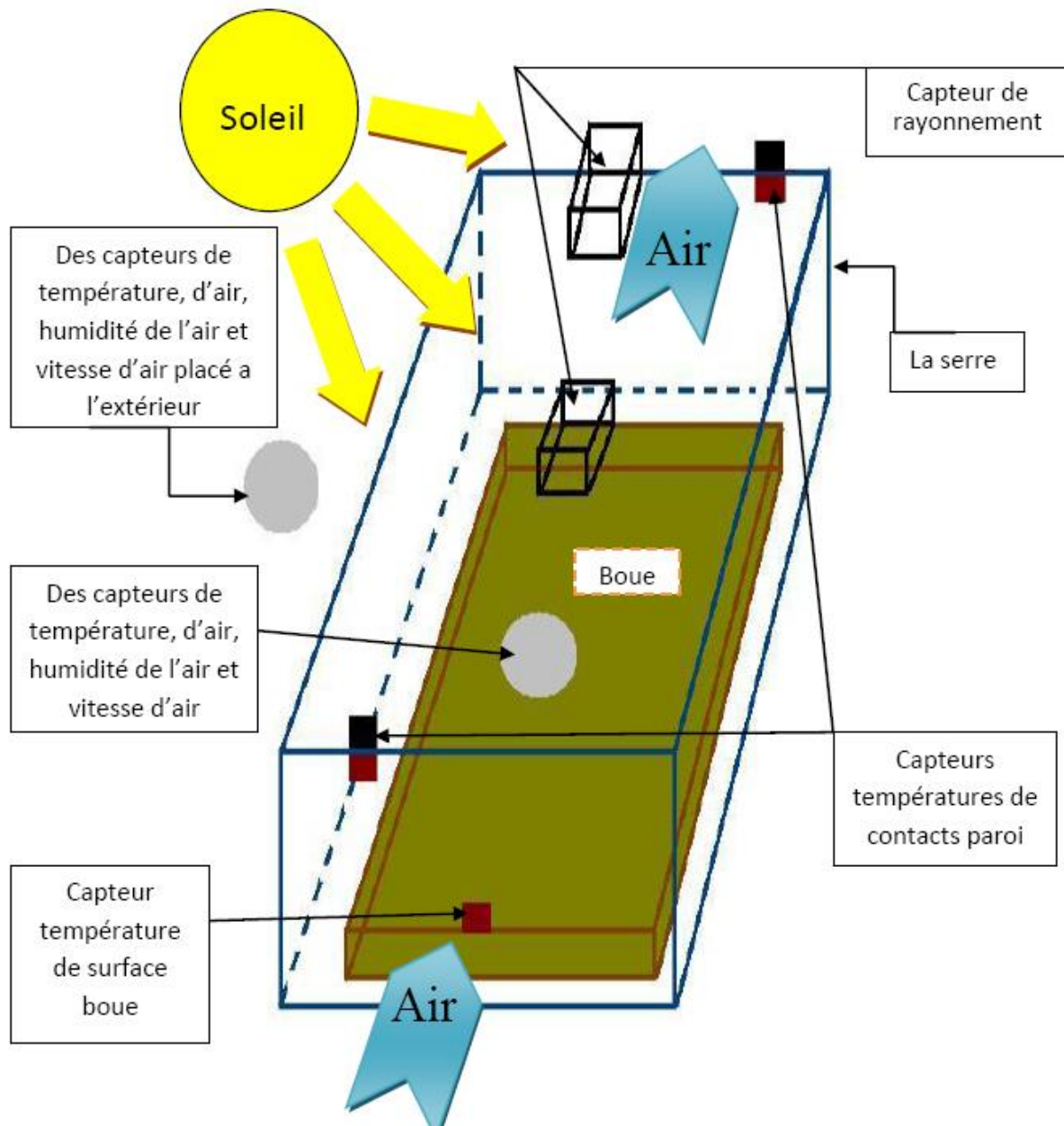
Rapport d'essais N°	262/2013
Edité le	04/08/2013

Laboratoire Central	
Nom	Laboratoire Central /Office National de l'Assainissement.
Adresse	Carrefour Sidi Arcine.Route de Baraki.
Tel/Fax	(021) 76 20 31/32
Autorisation d'exploitation	N°054 du 27 juin 2006

Sujet	
Nom	STEP LAGHOUAT
Adresse	
Tel/Fax	
Demande d'analyse N°	65/2013
Bon de commande N°	/

Echantillon	
Critère	C-2013/372
Date de réception	17/07/2013
Nature	Ligue séchée
Provenance	STEP LAGHOUAT
Date de prélèvement	16/07/2013
Prélèvement effectué par	ONA LAGHOUAT
Volume/quantité reçu(e)	500 g
Nature des Flacons	
Etat de l'échantillon	Solide
Motif des analyses	Caractérisation
Date début analyse	28/07/2013

## Annexe II : Le pilote de laboratoire « la serre »



## GLOSSAIRE :

### A...

- **Aérobic** : se dit des micro-organismes qui ne peuvent se développer que dans un milieu aéré, ainsi que des réactions biochimiques ayant lieu en présence d'oxygène. Certains de ces micro-organismes, principalement des bactéries, sont utilisés comme agents épurateurs des eaux résiduaires (oxydation).
- **Anaérobic** : se dit des êtres vivants qui peuvent ou doivent vivre en absence d'oxygène libre, ainsi que des réactions chimiques se faisant à l'abri de l'air (fermentations lactique ou alcoolique, par exemple).
- **Algues macrophytes** Végétaux aquatiques de grande taille par exemple : phanérogames.
- **Assainissement** Ensemble des techniques de collecte, de transport et de traitement des eaux usées et pluviales d'une agglomération, d'un site industriel ou d'une parcelle privée avant leur rejet dans le milieu naturel. Se compose en règle générale d'un réseau d'assainissement et d'une unité de traitement (station d'épuration, lagune).

### B...

- **Biomasse** : la matière vivante présente sous différentes formes dans un milieu donné.
- **Boue activées** Amas biologique (floc), au cours du traitement d'une eau résiduaire, par croissance de bactéries et d'autres micro-organismes en présence d'oxygène dissous.
- **Boues d'épuration** A l'issue de l'épuration des eaux usées, mélange d'eau et de matières solides séparées par des procédés biologiques ou physiques des divers types d'eau qui les contiennent.

### D...

- **(DBO5) Demande biochimique en oxygène pendant 5 jours** Concentration en masse de l'oxygène dissous consommé, dans des conditions définies (5 jours à 20°C avec ou sans inhibition de la nitrification), par l'oxydation des matières organiques ou minérales de l'eau. Elle permet d'évaluer la quantité d'oxygène que le milieu récepteur devra pouvoir fournir pour assurer la dégradation aérobie de l'effluent qui y sera rejeté
- **DCO** La DCO, Demande Chimique en Oxygène, représente la quantité de dioxygène nécessaire à l'oxydation de l'ensemble des matières organiques et minérales contenues dans l'eau, par oxydoréduction. Cette donnée est représentative de la pollution organique et

chimique. Elle permet d'évaluer la charge polluante des eaux usées. Idem DBO, incluses en plus les substances qui ne sont pas biodégradables.

- **Déshydratation** Procédé qui consiste à réduire, par des moyens physiques, la teneur en eau d'une boue humide, généralement conditionnée par un agent coagulant. Aussi est une action d'enlever l'eau mélangée ou combinée avec un corps de dessécher. Ensemble des techniques destinées à réaliser cette opération.
- **Drain** Conduite ou petit canal découvert pour évacuer par gravité de l'eau, d'un sol ou d'une nappe, afin de régler le niveau de la nappe.
- **Drainage** Evacuation des eaux superficielles ou souterraines par gravité ou par pompage.

## **E...**

- **Epandage** : consiste à répandre des boues d'épuration à la surface du sol, afin de les dégrader par l'action des micro-organismes du sol, de la flore présente à la surface du sol et du soleil.
- **Eau brute** Eau prélevée aux fins d'alimenter un système de distribution d'eau potable (entre autre) et qui n'a pas subi un traitement de potabilisation ; D'une façon générale toute eau avant traitement qui doit être épurée ou purifiée
- **Eau usée** Eaux ayant été utilisées par l'homme. On distingue généralement les eaux usées d'origine domestique, industrielle ou agricole. Ces eaux sont rejetées dans le milieu naturel directement ou par l'intermédiaire de systèmes de collecte avec ou sans traitement.
- **Épuration** Processus destiné à réduire ou à supprimer les éléments polluants contenus dans l'eau. Ce processus s'effectue principalement dans les stations d'épuration. Elle peut également être naturelle, bien que plus lente (autoépuration).
- **Equivalent Habitants (EH)** Unité de mesure permettant d'évaluer la capacité d'une station d'épuration. Cette unité de mesure se base sur la quantité de pollution émise par personne et par jour. 1 EH = 60 g de DBO5/jour soit 21,6 kg de DBO5/an. La directive européenne du 21 mai 1991 définit l'équivalent-habitant comme la charge organique biodégradable ayant une demande biochimique d'oxygène en cinq jours (DBO5) de 60 grammes d'oxygène par jour.
- **Evapotranspiration** Quantité d'eau transférée du sol vers l'atmosphère par évaporation et transpiration des plantes.

## **E...**

- **Filtration** La filtration est un procédé physique permettant de séparer les substances solides en présentes solution dans un liquide. La filtration se fait à travers des substances poreuses, calibrée pour ne retenir que les particules d'une certaine taille.
- **Filtration sur membrane** Technique d'élimination ou de concentration des particules des fluides, incluant les micro-organismes (mais non les virus libres), par filtration à travers un filtre de porosité connue.

## **G...**

- **Granulométrie** Répartition des éléments d'une roche détritique selon leur taille.

## **I...**

- **Infiltration** Pénétration de l'eau de pluie dans le sol par percolation. Elle renouvelle les stocks d'eau souterraine (on parle de recharge) et entretient le débit de l'écoulement souterrain dans les formations hydrogéologiques perméables du sous-sol. Par comparaison avec l'écoulement de surface, l'écoulement souterrain peut être lent, différé et de longue durée (quelques heures à plusieurs milliers d'années). Où d'autre façon processus de pénétration d'une eau souterraine dans une canalisation ou un égout à travers des fissures ou des joints défectueux.

## **L...**

- **LSPR** Lits de séchage de boues plantés de Roseaux.
- **LSPM** Lits de séchage de boues plantés par Macrophytes.

## **M...**

- **Macrophyte** Ensemble de végétaux aquatiques ou amphibiens visibles à l'œil nu ou vivant habituellement en colonies visibles à l'œil nu.
- **Matières en suspension (MES)** Particules insolubles minérales ou organiques présentes en suspension dans l'eau. L'eau apparaît trouble et colorée. La concentration en masse contenue dans un liquide déterminée par filtration ou centrifugation puis séchage dans des conditions définies. Elles s'éliminent en grande partie par décantation, une des mesures classiques de la pollution des eaux.

- **Matières organiques** Matière issue des êtres vivants : hommes, faune, flore, ou produite par eux. Elle peut aussi être réalisée synthétiquement. Aussi Désigne l'ensemble des matières organiques carbonées et azotées (substances d'origine biologique). Elles constituent l'essentiel de la partie biodégradable de la pollution organique rejetée. Pour les éliminer, les bactéries présentes dans le milieu utilisent l'oxygène dissous dans l'eau.

## **R...**

- **Roseau** des marais ou roseau commun est une graminée vivace, rhizomateuse, au port élané, qui pousse dans les marais, les plaines marécageuses, les étangs, les zones humides et au bord de l'eau, dans les zones tempérées mais aussi les zones tropicales.

## **S...**

- **Siccité** teneur en matières sèches d'une boue d'épuration.
- **Station d'épuration** La station d'épuration, elle, traite les eaux usées, c'est-à-dire les "eaux sales" (issues de la vaisselle, de la lessive, des sanitaires) qui sont rejetées et collectées dans les égouts, et les "nettoie" avant de les évacuer vers le milieu naturel.