



Department of Process Engineering

قسم هندسة

الطرائق

Ref :...../U.M/F.S.T/2024

رقم :..... / ج.م.ك.ع.ت//2024

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : **GÉNIE DES PROCÉDÉS**

Option: **GÉNIE CHIMIQUE**

THÈME

Dimensionnement d'un Lit de Séchage à Boue STEP
de Mostaganem

Présenté par

1-Mr OUICI Sofiane

Soutenu le 26 06 / 2024 devant le jury composé de :

Président : Mme KHELLADI. Malika MCB Université de Mostaganem

Examineur : Mme MOHAMED SEGHIR Zahira MCB Université de Mostaganem

Rapporteur : Mr MEKHATRIA Djilali MCB Université de Mostaganem

Année Universitaire 2023/2024

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à ma chère famille que dieu les protège, tata Cherifa, Kheireddine, Badr Eddine, tata Chaa, Tata Fatiha et à tous ceux qui m'aiment et que j'aime.

Remerciements

Je remercie tout d'abord ALLAH le tout-puissant, le très miséricordieux, qui m'a donné la force et la patience pour achever ce travail, et de la volonté pour l'accomplir et m'a guidé sur le droit chemin

*Mes remerciements vont aux membres du jury, **M^{me} KHELADI. M**, présidente, et **Mme MO-HAMED SEGHIR. Z** comme examinatrice pour l'honneur qu'ils m'ont fait d'accepter d'examiner et de juger ce travail.*

Mes remerciements vont aussi Mr MKHATRIA Djilali pour avoir accepté de diriger et de superviser ce travail ainsi que pour ses orientations, ses conseils, son soutien et ses encouragements.

Que le personnel technique de la STEP de Mostaganem trouve en ces termes une reconnaissance pour avoir accepté et superviser ce travail ainsi que pour l'aides et le soutien infatigable à l'égard de ce travail.

J'adresse mes reconnaissances aux enseignants pour les efforts qu'ils ont fourni pour nous.

Enfin, un grand merci pour ma famille et tous mes camarades et amis pour la compagnie agréable et les bons souvenirs passés ensemble.

المخلص:

بعد معالجة المياه المستعملة نتحصل على اثنين من النواتج النهائية وهما الماء المعالج والحمئة منزوعة الماء جزئيا. الماء المعالج يستعمل في مجالات مختلفة مثل التنظيف (السيارات، الطرقات....)، سقي الأشجار والنباتات المثمرة او غير المثمرة (على حسب جودة المياه) او ربما رميه من غير استعماله. الحمئة منزوعة الماء جزئيا تمر بمجموعة من المعالجات لتصبح مفيدة وقابلة للاستعمال. من بين هذه المعالجات التجفيف، الذي يخلصنا من الحجم الكبير للحمئة وصعوبة نقلها وتخزينها) الماء في الحمئة يمثل تقريبا 85%). سنرى في هذا العمل الطرق والتكنولوجيات المختلفة المستعملة في تجفيف الحمئة، إضافة الى صنع سرير للتجفيف للحمئة مع تبيين أبعاده.....إلخ.

الكلمات المفتاحية

المعالجة-المياه المستعملة -الحمئة الحضرية -تجفيف الحمئة-محطة المعالجة

Résumé :

Après traitement des eaux usées, on obtient 2 produits finaux : de l'eau traitée et de la boue déshydraté.

L'eau traitée est utilisée dans divers domaines, comme le nettoyage (voitures, routes...), l'arrosage des arbres et des plantes fructifères ou non (selon la qualité de l'eau), ou encore Jeter de l'eau sans l'utiliser.

Et Les boues déshydratées passent par un ensemble de traitements pour devenir utiles et exploitables. Parmi ces traitements se trouve le séchage, qui nous évite le problème du grand volume de boues et de la difficulté de leur transport et de leur stockage (85% de sa composition est de l'eau). Donc Nous verrons dans ce travail les différentes méthodes et technologies utilisées dans le séchage des boues.

En plus de fabriquer un lit de séchage à boues, préciser ses dimensions ...etc.

Les mots clés :

Traitement, eaux usées, la boue urbaine, Séchage de boue, STEP

Abstract:

After treating the used water, we obtain two final products, which are treated water and sludge. The treated water is used in various fields such as cleaning (cars, roads ...etc.), watering trees and fruitful or non-fruitful plants (depending on the quality of the water), or Maybe throw it away without using it.

The sludge goes through a series of treatments to become useful and usable. Among these treatments, we have drying, which eliminates the large size of the sludge and the difficulty of transporting and storing it (water in the sludge is approximately 85%).

In this work, we will see the different methods and technologies used in drying sludge and we will make a drying bed for the sludge and indicate its dimensions...,

Keywords:

Treatment, wastewater, urban sludge, sludge drying, STEP

La liste des abréviations :

STEP : station d'épuration

Mm : millimètre

Cm : centimètre

MES : les matières en suspension

DBO5 : la demande biologique en O2 pour 5 jours

UV : ultraviolet

MM : matières minérales

MS : matières sèches

MO : matières organiques

Tr/min : tour par minute

KWh/kg EE : kilowatt heure par kilogramme d'eau évaporé

La liste des tableaux :

Tableau 01 : la vitesse de sédimentation de quelques matières :

Tableau 02 : les caractéristiques des séchoirs indirects :

Tableau 03 : les caractéristiques des séchoirs direct :

Tableau 04 : les avantages et les inconvénients des séchoirs directs ;

Tableau 05 : Les avantages et les inconvénients des séchoirs indirect :

La liste des figures :

Figure 01 : les étapes de traitement pour les filières eau et boue :

Figure 02 : La répartition de l'eau dans la boue :

Figure 03 : séchage direct et séchage indirect :

Figure 04 : Réduction de masse au cours du traitement des boues :

Figure 05 : un séchoir à disques :

Figure 06 : - Deux exemples d'unités de séchage utilisant des tambours rotatifs directs :

Figure 07 : - Schéma de principe d'une installation de séchage flash (source : Neu :
Industrie)

Figure 08 : le lit de séchage et ses dimensions :

Figure 09 : le fonctionnement de lit de séchage :

Figure 10 : extracteur de vapeur :

Sommaire

Introduction générale :	9
Chapitre I : Traitement des boues	11
I.I Introduction :	11
I.II Provenance des eaux usées :	11
I.III Origine et composition des eaux usées:.....	11
I.IV Traitement des eaux usées :	12
I.IV.I Filière eau :	13
I.IV.II Filière boue :	15
Caractéristiques des boues :	15
Composition des boues :	16
Les étapes de traitement :	16
Chapitre II : Séchage des Boues	19
II. I. Introduction :	19
Définition de séchage :	19
Les types de séchages :	19
II. V. Les différentes technologies de séchage :	21
Les séchoirs indirects :	21
Les séchoirs à disques :	21
Les séchoirs à palettes ou séchoirs malaxeurs :	22
Les séchoirs à couche mince :	22
Les séchoirs indirects à tambour rotatif :	22
Caractéristique des séchoirs indirects :	22
Les séchoirs directs :	23
Les séchoirs à tambour rotatif :	23
Les séchoirs à bandes :	24
Les séchoirs à transport pneumatique (lit fluidisé ou flash) :	24
Caractéristiques des séchoirs directs :	25
Avantages et inconvénients des séchoirs directs et indirects :	25
Les séchoirs indirects :	25
Chapitre III : Réalisation d'un lit de séchage.....	27
Introduction :	27
Motivation :	27
Objectif :	27
Étapes de traitement de la boue déshydratée :	27
Fonctionnement de lit de séchage :	28
Détermination de la siccité de la boue de la STEP de Mostaganem :	31

Calcul de l'énergie de séchage :	32
Les dimensions du séchoir :	32
La conclusion :	33

Introduction générale :

Le traitement des eaux usées produit de l'eau épuré et de la boue déshydraté qui est une matière importante en quantité et qu'il convient de traiter pour éviter la pollution ou la valoriser convenablement. À cause du grand volume généré, traitement et valorisation deviennent onéreux.

La présence de l'eau dans la boue issue de traitement représente à peu près de 90% de la composition de la boue déshydraté. Ceci fait augmenter le volume et la masse de boue et augmente, donc, les difficultés de transport et de stockage de cette dernière.

Ces contraintes imposent comme solution le séchage pour réduire le volume et faciliter sa gestion et sa valorisation.

C'est dans ce cadre d'idées que ce travail est entrepris pour tenter de dimensionner un lit de séchage de la boue issue de la STEP de Mostaganem.

Ce travail est composé de 3 chapitres, dont le premier est consacré au traitement des eaux usées et aux procédés d'obtention de boues. Le deuxième chapitre traite les technologies de séchage des boues et le 3^{ème} chapitre est réservé à la réalisation d'un lit de séchage et enfin une conclusion.

Chapitre 01 :

*Le traitement des eaux usées et la
Production de boue*



Chapitre I : Traitement des boues

I.I Introduction :

Les eaux usées, qu'elles soient d'origine domestique ou industrielle sont collectées par un réseau d'assainissement complexe pour être traitées dans une station d'épuration avant d'être rejetées dans le milieu naturel. En station, les traitements varient en fonction de la nature de ces eaux usées et de la sensibilité à la pollution du milieu récepteur.

I.II Provenance des eaux usées :

Les eaux usées proviennent de différentes combinaisons d'activités domestiques, industrielles, commerciales ou agricoles, du ruissellement de surface (eau de ruissèlement) et de toute entrée d'égout ou infiltration d'égout.

I.III Origine et composition des eaux usées:

On distingue quatre grandes catégories d'eaux usées : les eaux domestiques, les eaux industrielles, les eaux d'agriculture et les eaux pluviales

A) Les eaux domestiques :

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau et sont essentiellement porteuses de pollution organique. Elles se répartissent en eaux ménagères (les salles de bains et les cuisines), et sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques, etc. et en eaux "vannes" ; il s'agit des rejets des toilettes, chargés de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux.

B) Les eaux industrielles :

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques, des hydrocarbures. Certaines d'entre elles doivent faire l'objet d'un prétraitement de la part de l'industriel avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte. Elles sont mêlées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des stations de dépollution.

C) Les eaux d'agriculture :

L'agriculture constitue la première cause des pollutions diffuses. La pollution agricole englobe à la fois celle relative aux cultures (pesticides et engrais) et à l'élevage (lisiers et purins)

D) Les eaux pluviales :

L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles), puis, en ruisselant, des résidus déposés sur les toits et les chaussées des villes (huiles de vidange, carburants, résidus de pneus et métaux lourds).

I.IV Traitement des eaux usées :

Ils sont traités selon le schéma suivant :

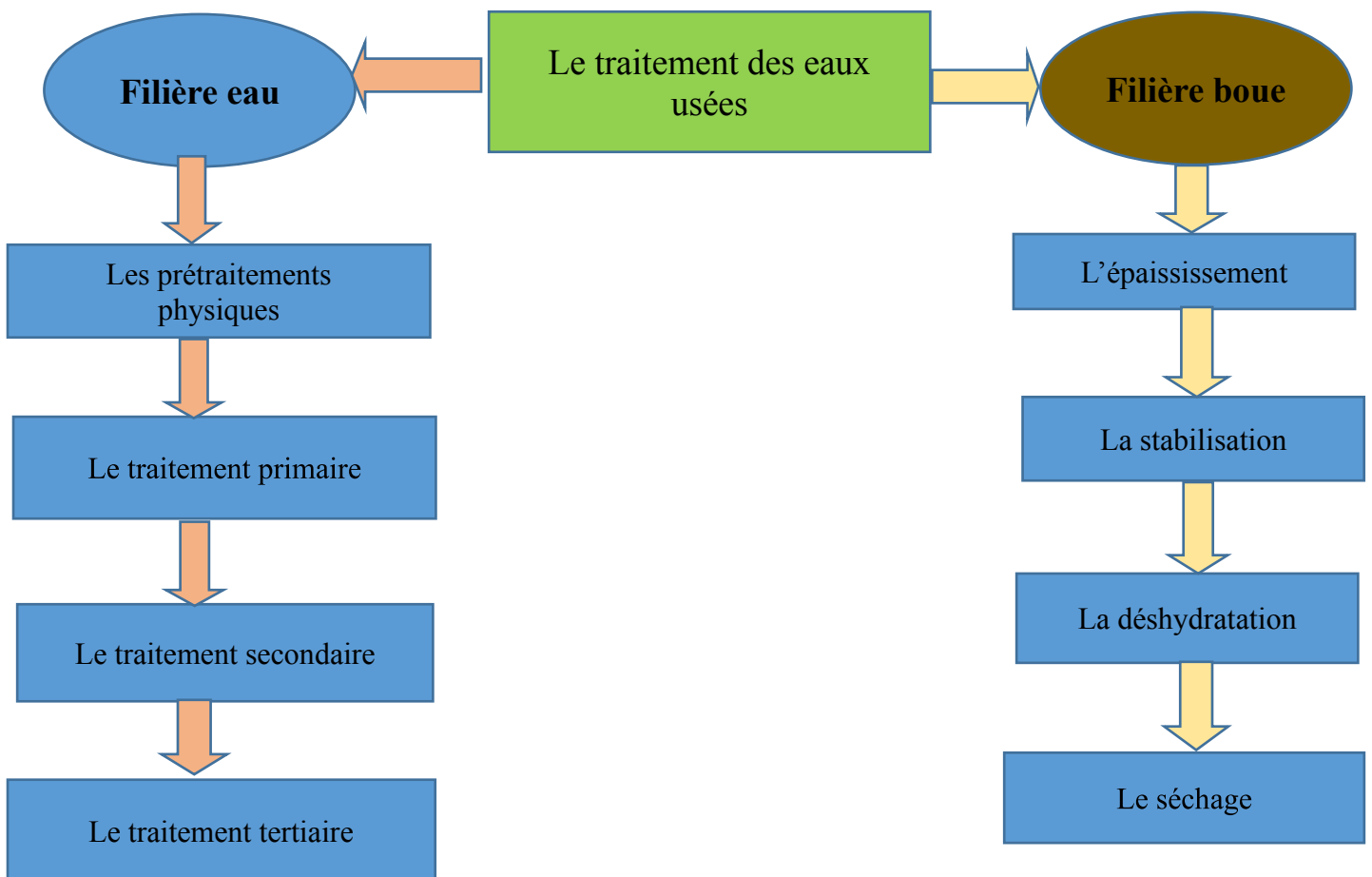


Figure1 : Schéma de traitement pour les filières eau et boue

I.IV.I Filière eau :

L'épuration des eaux usées nécessite de les passer par plusieurs étapes de traitement, de nature physique, chimique et biologique.

A) Les prétraitements physiques :

Les prétraitements physiques constituent une série d'opérations susceptibles d'alléger les eaux brutes des matières grossières d'une part ou celles pouvant gêner le processus du traitement ultérieur.

Les opérations de prétraitements physiques sont :

- Le dégrillage (fin et grossier).
- Le tamisage
- La dilacération
- Le dessablage
- Le dégraissage et déshuilage [1].

Le dégrillage :

Il s'agit de séparer des eaux brutes, les matières les plus volumineuses en faisant passer l'effluent d'entrée à travers des barreaux dont l'espacement est déterminé en fonction de la nature de l'effluent.

On distingue :

- le dégrillage grossier : espacement 100 à 10 mm
- le dégrillage fin : espacement 10 à 3 mm

La dilacération :

Il s'agit d'une opération de broyage des déchets qui sont évacués avec l'eau brute.

Le tamisage :

Le tamisage représente le dégrillage poussé et consiste en une filtration sur toile mettant en œuvre des mailles de différentes dimensions. Il existe un macro-tamisage (mailles supérieure à 0,3mm) et un micro-tamisage (mailles inférieure à 100 micromètre)

Le dessablage :

L'élimination des sables présents dans l'effluent brut est indispensable. Il protège les conduites et pompes contre la corrosion et aussi éviter le colmatage des canalisations contre la sédimentation au cours du traitement.

La vitesse de sédimentation des particules est en fonction de leur nature, de leur diamètre et de la viscosité du liquide dans lequel elles se trouvent.

Quelques exemples se trouvent au tableau 01.

Tableau 01 : la vitesse de sédimentation de quelques matières

Matériaux	Diamètre (mm)	Masse spécifique g/cm ³	Vitesse de sédimentation cm/s
Sable fin	0,02 - 2,0	2,65	2,00 – 100
Limon	0,002 – 0,02	2,65	0,04 – 2,0
Argile	0,002	2,65	0,005 – 0,04
Matières organiques	0,01 – 0,4	1,01	0,3 – 0,2

Le déshuilage et le dégraissage :

C'est une opération destinée à réduire les graisses et huiles non émulsionnées par simple sédimentation physique en surface car huiles et graisses présentent de multiples inconvénients dans le traitement biologique ultérieur, tels que une mauvaise diffusion de l'oxygène dans le floc bactérien, le bouchage des pompes et canalisations

B). Le traitement primaire :

Il est composé de plusieurs opérations

La décantation primaire :

La décantation primaire est un procédé physique qui consiste à séparer les particules de densité plus lourde que l'eau du liquide où elles sont présentes, en utilisant uniquement les forces de gravité. Ces particules sont ensuite récupérées au fond sous forme de boues. Durant cette étape on élimine une quantité importante de pollution (70% de MES et 30 % de DBO5) et est réalisée dans des bassins appelés les décanteurs.

B) Le traitement secondaire :

Le bassin biologique :

Ce traitement consiste à mettre une culture bactérienne (bactéries épuratrices) en contact avec la pollution pour que ces bactéries fassent la dégradation biologique des matières organiques en présence d'oxygène provenant du système d'aération. Il existe 4 procédés d'épuration biologiques.

La décantation secondaire : (Le clarificateur)

L'eau qui sort du bassin biologique entre dans un autre bassin qui s'appelle le clarificateur pour la décantation secondaire. On obtient une quantité de boue (boue active) au fond, on extrait une quantité calculée de cette boue pour la recirculation. Le reste s'appelle boue en excès et est destinée à l'épaisseur. Cette opération est importante par ce que ce taux de recirculation contient les bactéries épuratrices qui est adapté avec le bassin d'aération en plus des bactéries de l'effluent de décanteur primaire; c'est pour ça que la biodégradation est bonne.

C) Traitement tertiaire :

L'eau qui sort du clarificateur nécessite une autre étape de traitement pour exterminer les bactéries qu'elle contient ; c'est la désinfection qui est réalisé dans le bassin de désinfection.

I.IV.II Filière boue :

Après épuration de l'eau usée on obtient de la boue qui nécessite un traitement particulier.

Caractéristiques des boues :

Une boue est caractérisée par [2] :

* **La siccité ou matière sèche** : c'est le pourcentage massique de matière. Ainsi une boue avec une siccité de 10 % contient 90 % humidité. La matière sèche est principalement de la matière organique et de la matière minérale.

$$\text{Siccité} = \frac{M \text{ sèche}}{M \text{ humide}} * 100$$

M sèche : la masse de boue après séchage

M humide : la masse de boue avant séchage

* **Le taux de matières volatiles sèches (MVS)** : ce taux permet de connaître la part de matière sèche constituée par des matières organiques facilement biodégradables et donc la stabilité de la boue. Plus le taux de MVS est élevé plus les boues sont susceptibles de fermenter rapidement et donc de produire du biogaz.

* **La consistance** : état physique dépendant de la siccité. Il permet de distinguer :

- La Boues liquides / siccité de 0 à 10 %

- La Boues pâteuses / siccité de 10 à 25 %
- La Boues solides / siccité de 25 à 85 %
- La Boues sèche / siccité supérieure à 85 %

Composition des boues :

Les boues urbaines sont composées principalement d'éléments fertilisants, notamment en phosphore et en azote.

Les collectivités peuvent être amenées à traiter différents types de boues suivant le traitement des eaux mis en place par la STEP.

- les boues primaires qui proviennent du traitement primaire des eaux usées par décantation,
- les boues biologiques, biomasse en excès provenant du traitement biologique secondaire. Elles sont aussi appelées boues secondaires ou boues activées.
- les boues mixtes, mélange de boues primaires et de boues biologiques. Elles proviennent de la totalité de la station.
- les boues physico-chimiques, provenant de la décantation après traitement avec un réactif. [4]

Les étapes de traitement :

a) L'épaississement :

Cette opération est réalisée dans l'épaississeur, qui est un grand bassin où se rencontrent la boue primaire et la boue secondaire (la boue en excès après la recirculation). Dans ce dernier, la boue ne dépasse pas 48 heures à cause de l'odeur désagréable résultant de la fermentation.

b) La stabilisation :

Les boues dans l'épaississeur, sans aération, ne peuvent pas séjourner longtemps car, après une courte durée la mauvaise odeur, à cause des bactéries, se fera sentir. Pour arrêter ce problème on envoie ces boues vers le stabilisateur et on injecte de l'air pour que les boues peuvent rester 15 jours sans causer de soucis olfactifs,

c) La déshydratation :

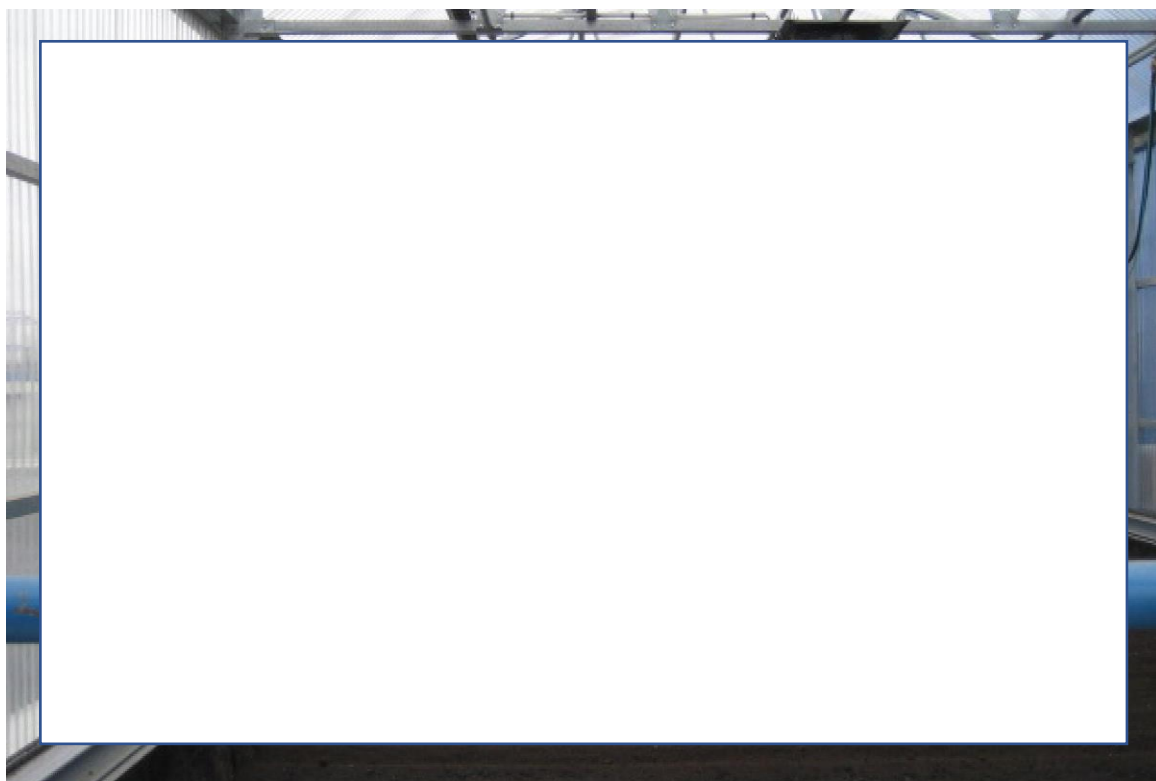
Déshydrater les boues revient à extraire l'eau contenu dans celles-ci. Cette opération de déshydratation est réalisée par un traitement mécanique qui peut être obtenu à partir de différentes machines tel que des centrifugeuses, les filtres à presse ou les filtres à bande.

d) Le séchage :

Le séchage thermique est un procédé intermédiaire de traitement des boues qui consiste à évaporer l'eau qu'elles contiennent. Cela permet de réduire de manière significative le volume et le poids des boues et favoriser la valorisation.

Chapitre 02 :

Le séchage des boues urbaines



Chapitre II : Séchage des Boues

II. I. Introduction :

Avec la déshydratation mécanique de la boue, où on élimine une grande de d'eau (l'eau libre et l'eau interstitielle), il reste un autre type d'eau (l'eau de surface et l'eau liée) qui nécessite un traitement différent qui est le séchage thermique. [3]

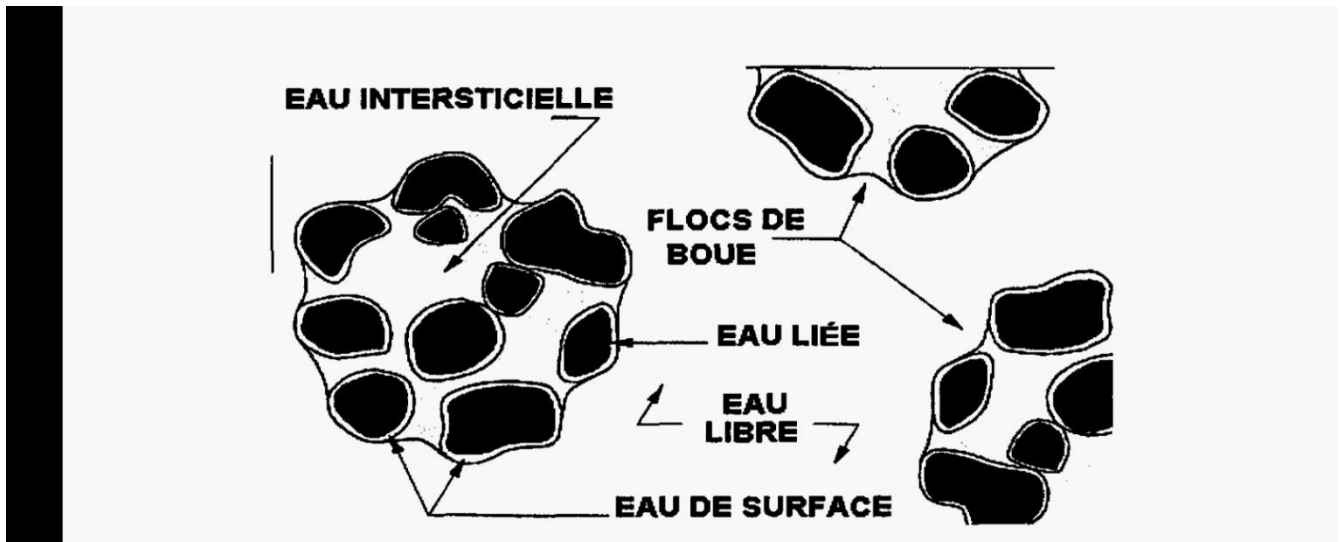


Figure 02 : La répartition de l'eau dans la boue

Définition de séchage :

Le séchage est un procédé de séparation qui consiste à extraire, par vaporisation, l'eau [2].

Il existe le séchage direct et le séchage indirect.

Les types de séchages :

Il existe trois types de séchage : le séchage direct, le séchage indirect et le séchage mixte.

- Les sécheurs directs : les gaz chauds sont en contact direct avec les boues. C'est un séchage par convection.
- Les sécheurs à contact indirect : il se fait par conduction.
- Les sécheurs mixtes : ils utilisent à la fois les propriétés du sécheur direct et indirect ; la paroi est chauffée et l'air chaud permet l'évaporation de l'eau des boues. [5]

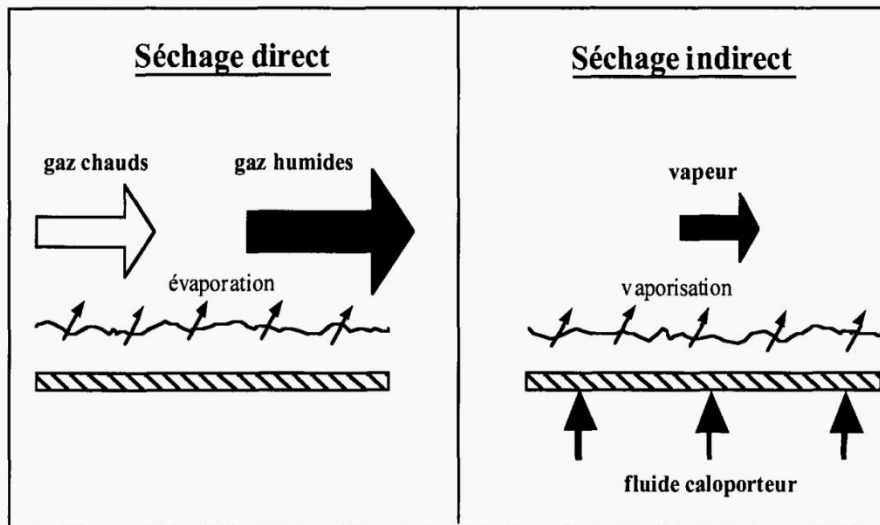


Figure 03 : séchage direct et séchage indirect

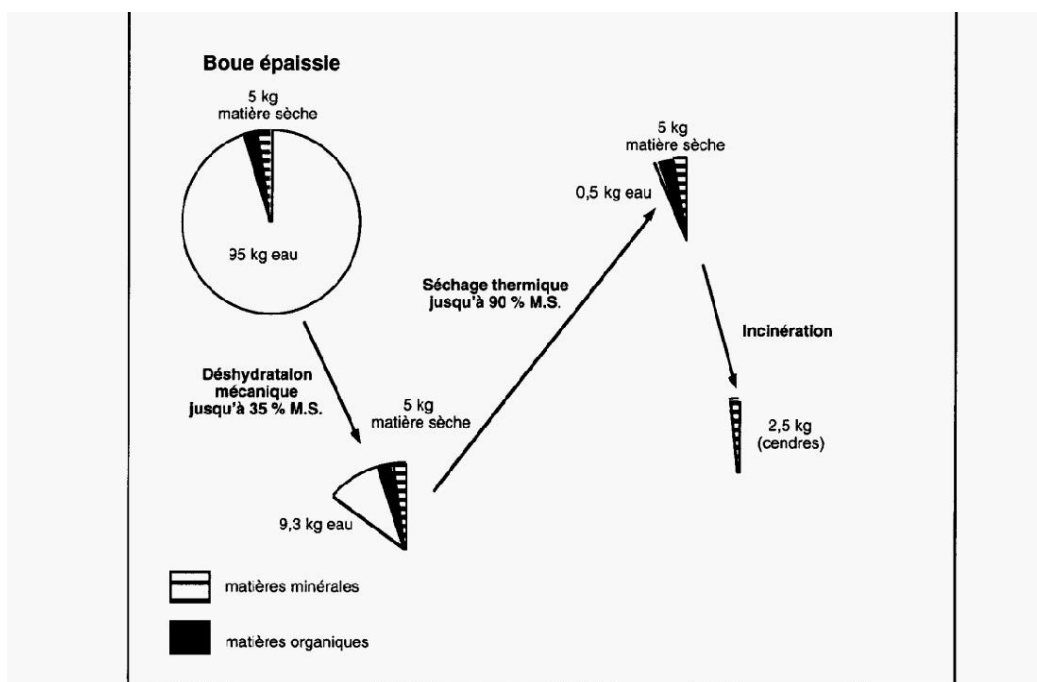


Figure 04 : Réduction de masse au cours du traitement des boues

D) Éléments principaux d'un poste de séchage :

Le séchoir ne constitue pas le seul élément d'un poste de déshydratation thermique.

Outre le séchoir, on distingue essentiellement :

- Les dispositifs d'alimentation et d'évacuation des boues

- Une source de chaleur extérieure à l'unité, ou une source de chaleur disponible à proximité de l'installation de séchage, ou à l'intérieure
- Un dispositif de ventilation véhiculant le gaz vecteur nécessaire à l'évacuation de la vapeur d'eau avec un ou plusieurs points d'introduction
- Un dispositif de traitement des buées. Dans les séchoirs, les substances volatiles et des poussières, qui se forment à la fin du séchage, sont entraînées dans les buées. Ces buées doivent être dépoussiérées, par l'intermédiaire de cyclones et de tours de lavage, puis condensées
- Un dispositif de régulation de l'unité (températures, débit de boues, pression....).

II. V. Les différentes technologies de séchage :

Les séchoirs indirects :

Ils peuvent être classés en 5 catégories différentes, qui sont :

- Les séchoirs à disques ;
- Les séchoirs à palettes ou séchoirs malaxeurs ;
- Les séchoirs à couche mince ;
- Les séchoirs à tambour rotatif ;
- Les autres types de séchoirs, dont la plupart combinent une déshydratation mécanique à un séchage thermique.

Les séchoirs à disques :

Ce sont les séchoirs indirects les plus répandus pour le traitement des boues. Ils sont constitués de deux éléments coaxiaux : un cylindre extérieur immobile (le stator), et un cylindre intérieur en mouvement (le rotor), entraîné par un moteur électrique. Des disques creux sont habituellement disposés perpendiculairement à l'axe du rotor. L'ensemble "rotor et disques" est chauffé par un fluide caloporteur, en général de la vapeur d'eau surchauffée.

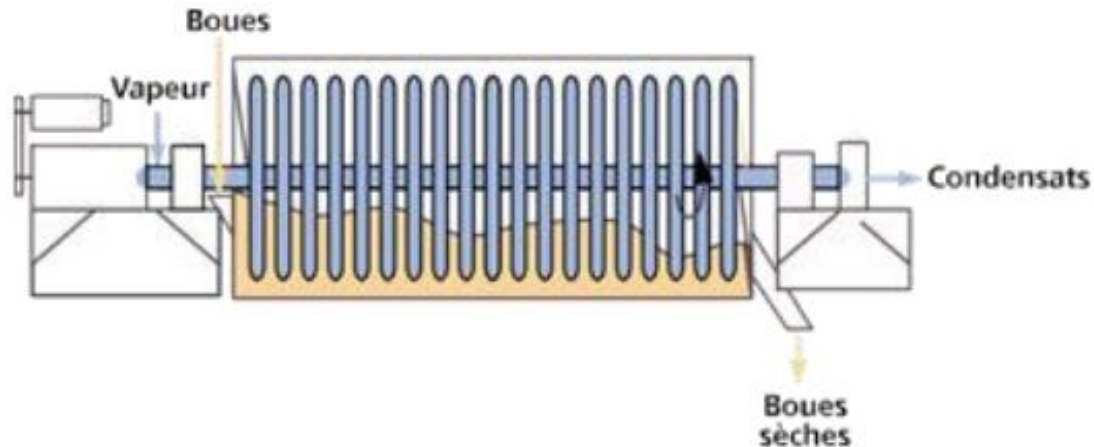


Figure 05 : Séchoir à disques

Les séchoirs à palettes ou séchoirs malaxeurs :

Les séchoirs à palettes ressemblent aux séchoirs à disques au niveau de leur conception. Ils disposent d'une double enveloppe extérieure immobile et d'un ou plusieurs rotors sur lesquels sont fixées les palettes. Le fluide caloporteur circule dans la double enveloppe ainsi que dans les rotors et palettes. Néanmoins, le cisaillement de la boue et le malaxage sont beaucoup plus importants que dans les séchoirs à disques.

Les séchoirs à couche mince :

Les séchoirs à couche mince sont des procédés de séparation utilisés depuis longtemps dans l'industrie pour le séchage de produits difficiles. Le principe de ces séchoirs consiste à déposer une fine couche de produit sur une paroi chaude. Au contact de cette paroi, l'eau contenue dans le produit se vaporise.

Les séchoirs indirects à tambour rotatif :

Le séchoir rotatif est constitué d'un cylindre tournant dont l'axe est légèrement incliné par rapport à l'horizontale pour favoriser l'avancée du produit. Ce cylindre est généralement supporté par deux anneaux de roulement. La rotation lente du tambour partiellement rempli assure le renouvellement du produit sur la surface d'échange.

Caractéristique des séchoirs indirects :

Le Tableau 02, donne les caractéristiques moyennes des séchoirs indirects :

Tableau 02 : les caractéristiques des séchoirs indirects

Type de Séchoirs	Vitesse de rotation (tr / min)	Temps de séjour (min)	Température de chauff (°C)	Surface d'échange (m ²)
À disque	4 - 12	60	160 - 220	25 - 500
Malaxeurs	6 - 40	60 - 180	160 - 240	130
À couche mince	50 - 750	5 - 10	135 - 180	20 - 110
À tambour rotatif	0.5 - 2	20 - 120	120 - 240	

Les séchoirs directs :

Il en existe cinq catégories différentes qui sont :

- Les séchoirs à tambour rotatif ;
- Les séchoirs à bandes ;
- Les séchoirs à transport pneumatique (lit fluidisé ou flash) ;
- Les autres types de séchoirs, qui ne peuvent être classés dans les trois catégories précédentes.

Les séchoirs à tambour rotatif :

C'est la technique la plus ancienne et la plus répandue dans l'histoire du séchage.

Comme pour les tambours indirects, le séchoir est constitué d'un cylindre tournant (diamètre 1 à 2,5m, longueur une dizaine de mètres) légèrement incliné sur l'axe horizontal et supporté par deux anneaux de roulement montés sur couronnes et galets.



Figure 06 : - Deux exemples d'unités de séchage utilisant des tambours rotatifs directs

Les séchoirs à bandes :

Avant d'entrer dans le séchoir, le produit à sécher est mis en forme le plus souvent dans une extrudeuse ou dans un granulateur. L'objectif étant d'augmenter la surface d'échange entre la boue et le gaz vecteur utilisé pour le séchage. Cette opération nécessite une consistance minimale de la boue.

Les séchoirs à transport pneumatique (lit fluidisé ou flash) :

Sous cette dénomination, nous avons regroupé deux types de séchoirs : les séchoirs à lit fluidisé et les séchoirs flash (aussi appelés atomiseurs).

Les séchoirs à lit fluidisé sont généralement composés d'un caisson étanche à deux compartiments séparés par une sole de fluidisation, sur laquelle est déposé le produit à sécher. L'air ou la vapeur surchauffée sont injectés par le bas, ce qui permet simultanément de fragmenter le produit et de le fluidiser. La fluidisation augmente considérablement la surface de contact entre l'air chaud et le produit à sécher. Les temps de séjour dans les séchoirs à lit fluidisé sont relativement courts (une trentaine de minutes). Les particules sèches entraînées dans les buées passent dans un cyclone, dans lequel les deux phases solide et gazeuse sont séparées.

Le séchage par atomisation est un procédé spécifique de déshydratation des suspensions Colloïdales. La matière à sécher est transportée dans une colonne verticale jusqu'à l'entrée du séchoir, où elle est dispersée dans le réacteur par un injecteur spécial. La suspension est ainsi transformée en fines particules de granulométrie homogène comprise entre 10 et 500 µm. Ces particules sont ensuite transportées par le courant d'air chaud. Les échanges de chaleur entre la phase solide et gazeuse sont intenses, ce qui conduit à des temps de séjour du produit dans le séchoir extrêmement courts. Enfin, le produit sec et les buées sont séparés.

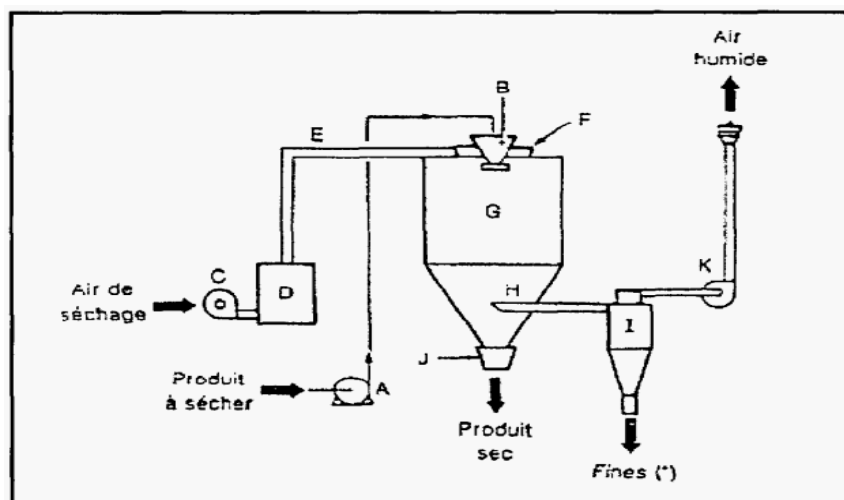


Figure 07 : - Schéma d'installation de séchage flash (source : Neu Industrie)

Caractéristiques des séchoirs directs :

Un Tableau donne les caractéristiques moyennes des séchoirs directs :

Tableau 03 : les caractéristiques des séchoirs direct

Séchoirs directs	Temps de séjour	Consommation Spécifiques (KWh/kg EE)
À tambour rotatif	10 à 20 min	1.15 (Promeca)*
À bandes	30 à 45 min	0.92 (Sevar)*
À lit fluidisé	Quelques minutes	
Flash	Quelques secondes	1.5 (Barr&Rosin)*

* : Noms de constructeurs de ces séchoirs, par ce que les valeurs de la consommation spécifiques varient d'un constructeur à l'autre.

Avantages et inconvénients des séchoirs directs et indirects :

Les séchoirs directs :

Ils sont regroupés da le tableau 04.

Tableau 04 : les avantages et les inconvénients des séchoirs directs

Les avantages	Les inconvénients
Conception simple	Grandes quantités de gaz à traiter
Robustesse	Nécessité d'installations de grande taille pour le dépoussiérage, le lavage et la désodorisation des buées
Peu de pièce en mouvement	Encombrement de l'installation globale important
Aucune incidence sur le procédé d'une variation de la siccité initiale	Risque d'inflammation et d'explosion
Capacité de traitement élevée	Moins rentable pour des installations de petites tailles

Les séchoirs indirects :

Ils sont regroupés da le tableau 04.

Tableau 05 : Les avantages et les inconvénients des séchoirs indirect

Les avantages	Les inconvénients
Confinement des buées et des odeurs	Plus difficile à concevoir et à fabriquer
Possibilité d'opérer sous atmosphère inerte, sous vide ou en pression	Problème de colmatage et d'usures des pièces mécaniques en mouvement
Faibles risques d'auto-inflammation et d'explosion	Travaux de maintenance fréquents
Faible quantité de gaz à épurer	Plutôt pour des installations de petites tailles

Chapitre 03 :

Réalisation d'un lit de séchage



Chapitre III : Réalisation d'un lit de séchage

Introduction :

Durant ce chapitre, on présentera l'idée de conception d'un lit de séchage. Le type envisagé est un séchage par conduction, où un fluide caloporteur est utilisé; il s'agit de l'eau chaude circulant à l'intérieur d'un échangeur de chaleur sous la forme d'un lit muni de bords de quelques centimètres de hauteur. Le lit échangeur est doit être rempli de boue à ras-bord.

Motivation :

En raison de l'augmentation de la population, la production de boues ne fait que s'accroître au cours du temps. En sortie de station d'épuration, ces boues sont particulièrement liquides, ce qui représente des volumes très importants.

La boue déshydratée provenant de la STEP de Mostaganem a une siccité, d'environ, 18 %. Faire augmenter ce taux diminuera considérablement le volume de la boue et la rendra exploitable (possibilité de commercialisation pour servir de combustible vu la présence du matières organiques).

La réalisation de séchoir de boue pour la ville de Mostaganem permettra de valoriser la boue de la STEP.

Objectif :

Obtenir une boue d'une siccité de plus que 90%.

Étapes de traitement de la boue déshydratée :

Les boues déshydratées en sortie de la STEP sont conduites à l'unité de séchage par partie. Le volume de chaque partie est de 1.25 m³.

Avec une lame mobile inclinée, la boue est répartie sur le séchoir (le lit de séchage) avec une épaisseur de 5 cm. Elle séjourne dans le séchoir jusqu'à obtention de la siccité souhaitée.

Après séchage, la même lame effectue la vidange de la boue sèche (figure 08) et le transfert vers la zone de stockage.

Figure 08 : le lit de séchage.

Fonctionnement de lit de séchage :

L'eau contenue dans la boue est sous trois types nécessitant de l'énergie croissante pour élimination. Les types d'eau sont :

- **L'eau libre** : eau située entre les floccs. Cet état représente environ les 2/3 de l'eau présente dans les boues extraites du fond du clarificateur. L'épaississement et la déshydratation suffisent pour son élimination.
- **L'eau liée** : eau absorbée physiquement ou chimiquement au flocc (de l'ordre de 20 %)
- **L'eau interne** : eau intracellulaire. Représente moins de 10 % de l'eau totale, elle requiert une énergie particulièrement importante pour être évacuée.



Figure 09 : le fonctionnement de lit de séchage

Le séchage permet d'apporter cette énergie et permet l'évacuation d'une grande partie de l'eau liée et interne. Il vient donc compléter les procédés de déshydratation mécanique réalisée en amont.

La surface d'échange de notre séchoir est égale à 25 m² avec une longueur de 10m et une largeur de 2.5 m et une épaisseur de boue 5 cm

Pour optimiser l'évaporation de l'eau, Nous avons une entrée d'air et un extracteur de vapeur à la surface de la salle de séchage pour le renouvellement de l'air chargé d'eau.



Figure 10 : extracteur de vapeur

Le système est doté de capteurs tels :

- Thermomètre.
- Humidimètre.
- Hygromètre.
- Sonde Méthane.

Au début, les boues fraîches sont à la température ambiante. Elles sont chauffées par conduction sur la surface du lit échangeur de chaleur. Ainsi, la température de l'eau contenue dans la boue augmente (chaleur sensible) jusqu'à atteindre des valeurs de l'énergie de latence pour faire élever l'eau jusqu'à l'atmosphère ce qui permet son évacuation par l'extracteur en dehors du séchoir.

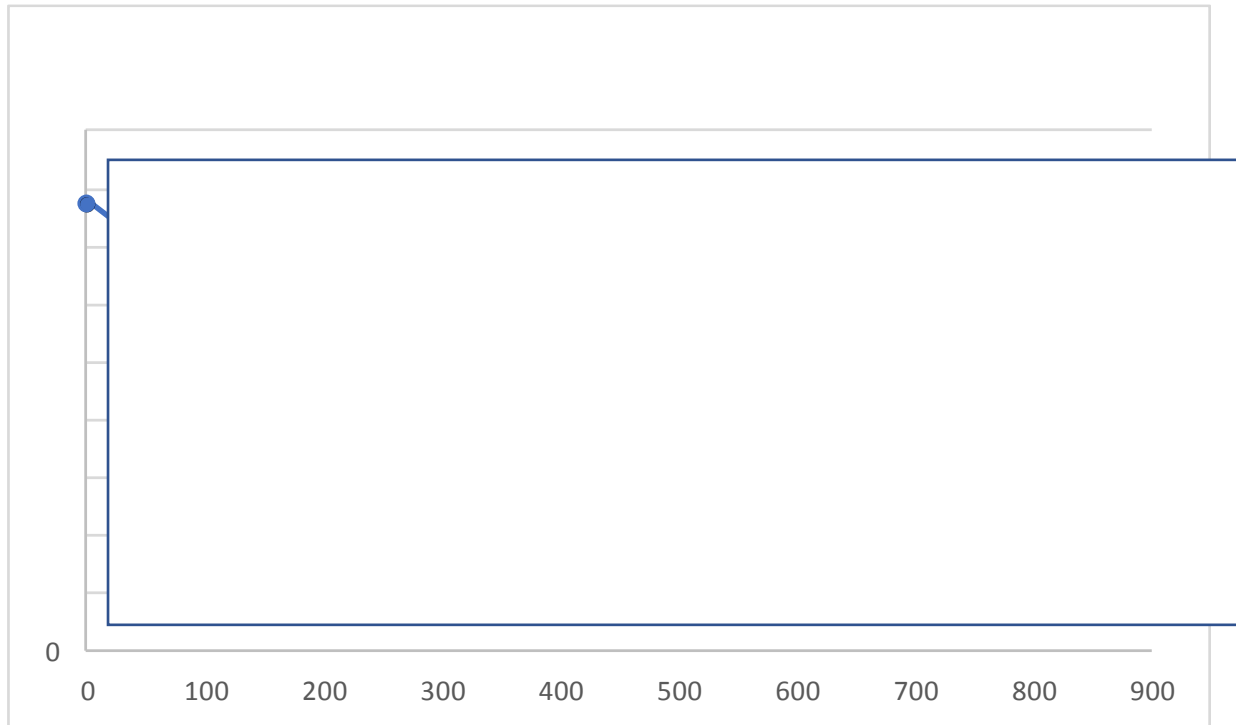
Enfin, une phase de ralentissement commence quand les boues atteignent leur seuil d'hygroscopicité, c'est -à-dire que l'eau restante dans les boues ne peut plus remonter en surface. La boue à la sortie de ce traitement perd sa structure pâteuse et plus que la moitié de son volume, elle devient plus exploitable et moins odorante.

Détermination de la siccité de la boue de la STEP de Mostaganem :

Pour cette partie on suppose la chaleur spécifique de la boue constante durant l'intégralité du chauffage.

La détermination de la siccité réelle de la boue est obligatoire pour pouvoir dimensionner le lit sécheur.

Pour déterminer la siccité, une quantité de boue est pesée et est séchée à l'étuve à 105°C jusqu'à poids constant. Les résultats sont présentés au graphe 01.



Graphe 01: l'évolution de la masse de boue en fonction du temps de séchage

Remarque : Le graphe 01 représente la moyenne de plusieurs essais.

On remarque que la masse de boue diminue avec le temps jusqu'à s'arrêter à un certain point (environ 12.5 gramme), la masse de matière sèche.

-calcul de la siccité :

$$La\ siccité = \frac{M\ sèche}{M\ humide} * 100$$

D'après le tableau de l'évolution massique :

- Masse boue humide = 77.6609 g.
- Masse boue sèche = 12.294 g

$$La\ siccité = 15.83 \%$$

La boue de la STEP de Mostaganem a une teneur en eau de 15.83 % ce qui signifie que le pourcentage d'eau à faire disparaître est de 84.17%.

Pour 100 grammes de boue la masse d'eau à faire disparaître est de

Masse de l'eau : 84.17 g

Calcul de l'énergie de séchage :

La masse de l'eau à évaporer est de 84.17 g. Pour faire évaporer cette quantité d'eau il faut une énergie égale à :

$$Q_{\text{séchage}} = Q_{\text{sensible}} + Q_{\text{latente}}$$

- Calcul de la chaleur sensible Q_{sensible} :

$$Q_{\text{sensible}} = m * C_p * \Delta T$$

Avec m : la masse de l'eau

C_p : capacité calorifique massique de l'eau qui est égale à 4.18 J/g*K.

Delta T : la différence de température (100 °C -25°C) qui est égale à 75 °C ou 75K (la chaleur sensible).

$$Q_{\text{sensible}} = 26387,29 \text{ J}$$

-Calcul de Q_{latente} :

$$Q_{\text{latente}} = m * L_f$$

Avec m : la masse de l'eau

L_f : la chaleur latente de changement d'état (2257 KJ/Kg)

$$Q_{\text{latente}} = 189971,69 \text{ J}$$

-Calcul de la chaleur $Q_{\text{du séchage}}$:

$$Q_{\text{séchage}} = Q_{\text{sensible}} + Q_{\text{latente}}$$

$$Q_{\text{séchage}} = 216358,98 \text{ J}$$

Les dimensions du séchoir :

Le lit de séchage est de forme rectangulaire et est dimensionné pour traiter 1,25m³ de boue.

Ses mensurations sont (Figure 08):

- Longueur : 10 m.
- Largeur : 2.5m.
- Épaisseur : 5 cm.

La conclusion :

Après de modestes recherches dans divers ressources scientifiques au sujet du traitement des eaux usées et le séchage de boue, l'idée de concevoir un sécheur à boue de forme rectangulaire s'est imposée. Il s'agit d'un échangeur de chaleur à fluide caloporteur doté de sonde pour la température, l'humidité et l'hygrométrie.

Le sécheur est un module dont les caractéristiques sont :

- Volume de boue à traiter : 1.25m^3 .
- Longueur du module : 10 m.
- Largeur du module : 2.5m.
- Épaisseur du module : 5 cm

Le séchage de la boue de la STEP de Mostaganem nécessite une unité de séchage qui sera composée de modules.

Ce travail dégage un certain nombre de perspectives dont les plus importantes sont :

- Etude du coût du chauffage.
- Etudes des moyens de chauffage.
- Etude de l'éventualité de récupérer l'eau par condensation.

Bibliographie :

-[1] Abdelkader Gaid, Épuration biologique des eaux usées urbaines, office des publications universitaires, place centrale de Ben Aknoun (Alger) ,1984

P. NOM, Titre de l'ouvrage : sous-titre, Numéro d'édition, Nom de l'éditeur, Lieu de publication,

Nombre de pages, Année de publication

-[2] <https://www.wikipedia.org/>

-[3] P. ARLABOSSE, ÉTUDE DES PROCÉDES DE SECHAGE DES BOUES URBAINES ET INDUSTRIELLES, Mars 2001, École Nationale des Mines d'Albi-Carmaux
www.record-net.org

-[4] https://www.pseau.org/outils/ouvrages/amorce_boues_de_step_techniques_de_traitement_valorisation_et_elimination_2012.pdf

-[5] Mr BENZAÏM Belkacem, Séchage des Boues de la STEP de Mostaganem ,Mémoire, université de Mostaganem (FST), Mostaganem, l'Algerie,2019-2020