



وزارة البحث العلمي والتعليم العالي
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPEREUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem
كلية العلوم و التكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie
DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCEDES



N° d'ordre : M2...../GPE/2020

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADIMIQUE

Filière : Génie des procédés

Option : Génie des procédés de l'environnement

Thème

Séchage des Boues de la STEP de Mostaganem

Présenté par

1- Mr BENZAÏM Belkacem

Soutenu le 29/06/ 2020 devant le jury composé de :

Président :	Mr H. BOUZID	MCA	Université de Mostaganem
Examineur :	Mme M. KHELLADI	MAA	Université de Mostaganem
Rapporteur :	Mr D. MEKHATRIA	MCB	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2019/2020

DEDICACE

A ma très chère mère EL MASCRI Leila

Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de me donner depuis ma naissance. Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que son fils suivre le bon chemin dans sa vie et ses études. Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.

Je dédie ce travail aussi spécifiquement a mes grands parents maternel BAGHARNOUT Farida que dieux la bénisse et El MASCRI Benali paix a son âme, ainsi que toute ma famille .

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je tiens à remercier « **ALLAH** » de m'avoir donné la possibilité, la volonté et surtout le courage de satisfaire mon souhait et de mener ce travail à terme.

Je remercie également monsieur BOUZID pour avoir accepté de présider ce jury et pour avoir accepté d'examiner ce travail

Que madame KHELLADI trouve en ces termes la formulation d'une reconnaissance pour avoir accepté de faire partie de ce jury avant de prendre à l'examen de ce travail.

Je tiens à exprimer mes remerciements les plus sincères, les plus chaleureux et les plus vifs à mon encadreur monsieur « Mekhatria Djilali » pour ses conseils, sa disponibilité et ses orientations qui m'ont aidé à la réalisation de ce travail.

Mes remerciements vont aussi à l'ensemble des enseignants de la faculté FST de l'université de Mostaganem et de manière exceptionnelle ceux du département génie des procédés.

Je n'oublie pas mes amis les étudiants de la faculté et tous ceux qui de loin ou de près ont contribué pour que ce jour soit.

Résumé

Le séchage des boues constitue une étape essentielle, tant en amont de la valorisation agricole que de l'incinération qui demeureront les deux principales filières d'élimination. Malgré l'intérêt évident du séchage des boues, ce procédé est encore mal maîtrisé.

cette opération de séchage est amenée à se développer dans un avenir proche, ou le problème de la gestion des boues en Algérie va devenir crucial à cause de l'énorme augmentation des déchets urbains et industriels..

Ce travail contribue à améliorer les connaissances dans le domaine du séchage des boues d'épuration. Dans le contexte Algérien de l'épuration des eaux usées, par dimensionner un sécheur adaptées au séchage des boues générées par la station d'épuration de la ville de Mostaganem.

Mots-clés :

STEP, Eaux usées, traitement, boues, séchage, dimensionnement, convectif

Abstract

Sludge drying is an essential step, both up stream of agricultural valorisation and incineration which will remain the two main disposal channels. Despite the obvious interest in drying sludge, this process is still poorly mastered .

Drying operation is set to develop in the near future, were the problem of sludge management in Algeria will become crucial because of the huge increase in urban and industrial waste.

This work contributes to improving knowledge in the field of drying sewage sludge. In the Algerian context of waste water treatment by dimensioning a suitable dryer for drying the sludge generated by wastewater treatment plant in Mostaganem city

Keywords:

Treatment plant, Wastewater, treatment, sludge, drying, dimensions, convective

الملخص:

يعتبر تجفيف الحمأة خطوة أساسية و مهمة، سواء بالنسبة للتدوير في المجال الزراعي أو الحرق و اللذان يمثلان مجالات الإزالة الرئيسية، و على الرغم من الاهتمام الواضح بتجفيف الحمأة، إلا أن هذه العملية لا تزال تخضع لإدارة ضعيفة من المفترض أن تتطور هذه العملية في المستقبل القريب، أين ستصبح مشكلة إدارة الحمأة في الجزائر حاسمة بسبب الزيادة الهائلة في المخلفات الحضرية و الصناعية.

يساهم هذا العمل في إثراء مجال تجفيف الحمأة الناتجة عن معالجة مياه الصرف. تحت السياق الجزائري، و ذلك من خلال تحديد أبعاد مجفف مناسب لتجفيف الحمأة الناتجة عن محطة معالجة مياه الصرف لمدينة مستغانم.

الكلمات المفتاحية :

محطة المعالجة، مياه الصرف ، المعالجة ، الحمأة ، التجفيف، الأبعاد، الحمل الحراري

Liste des abreviations

STEP: Station d'épuration

DCO: Demande Chimique en Oxygène

DBO : Demande Biologique en Oxygène

DBO5 : Demande Biologique en Oxygène pendant 5jours

MES : Matières En Suspension

MMS : Matières Minérales Sèches

MVS : Matières Volatiles en Suspension

MS : Matières Sèches

mg/l : Milligramme par litre

Kg/j : Kilogramme par jour

m³/j : Mètre cube par jour

m³/h : Mètre cube par heure

m/s : mètre par seconde

KW : kilo watt

EH : Equivalent habitant

MRE : Le ministère des ressources en eau

ONA : Office national de l'assainissement

AEC : Algerian Energy Company

ANBT : Agence Nationale des Barrages et Transferts

ADE : L'Algérienne des Eaux

ONID : Office National de l'Irrigation et du Drainage

P_{eau}° : La pression de vapeur saturante de l'eau

P :La pression atmosphérique

Xe, Xs : l'humidité de la a l'entrée et sortie de sécheur

Ye, Ys : l'humidité absolue de l'air a l'entrée et sortie de sécheur

Meau : la masse molaire de l'eau en g/mol

M_{air} : la masse molaire de l'air en g/mol

M : le débit massique de la boue en kg/h

V : le débit massique de l'air en kg/h

P_n : la puissance en kw

E : l'énergie en kj/h

D_s : le débit volumique de l'air

η_s : Rendement de séchage

Liste des figures

Figure 1.1 : les opérations rencontrées dans une station d'épuration.....	04
Figure 1.2 : Boues d'épuration : A, stockées en silo . B, Plaque de boues déshydratées à l'ouverture de filtre-presse.....	07
Figure 2.1 : Canal principal de l'oued Ain Safra avant aménagement.....	12
Figure 2.2 : Esquisse de l'oued Aïn-Safra comme prévu après aménagement.....	13
Figure 2.3 : Stations d'épuration de wilaya de Mostaganem.....	14
Figure 2.4 : A Vue sur un grillage grossier B Vue sur trois éléments de grillage	15
Figure 2.5 : Maquette de la STEP de Mostaganem.....	17
Figure 3.1 : la formation de boue et sa destination.....	19
Figure 3.2 : vaporisation de l'eau par séchage (convective/ conductive).....	20
Figure 3.3 : Tambour rotatif de type direct.....	21
Figure 3.4 Sécheurs : A : à lit fluidisé. B : Sécheur flash.....	22
Figure 3.5 : sécheur à bande à courant parallèle.....	22
Figure 3.6 : Sécheur à vis.....	23
Figure 3.7 : Sécheur à couche mince.....	23
Figure 3.8 :Sécheurs à palettes.....	24
Figure 3.9 :Sécheurs à disques.....	24
Figure 4.2 : Courbe de Krischer théorique.....	27
Figure 4.3 : Évolution de la température de surface avec le temps.....	29
Figure 4.4 : schéma d'un sécheur	30

Liste des tableaux

Tableau 1.1: caractéristiques des boues.....	08
Tableau 2.1: Les agences du secteur de l'eau et leurs rôles.....	09
Tableau 2.2 : Chiffres clés du mois de Janvier 2020.....	11
Tableau 2.3: Le volume global des eaux usées de la wilaya de Mostaganem.....	15
Tableau 2.4: caractéristiques de la station d'épuration de Mostaganem.....	16
Tableau 2.5 : Les débits et les concentrations des boues avant et après l'épaississement de la STEP de Mostaganem.....	18
Tableau 3.1 : les avantages et les inconvénients de sécheur direct et indirect.....	25

SOMMAIRE

CHAPITRE I L'épuration des eaux et la production des boues

Introduction	01
1. L'épuration des eaux et la production des boues.....	03
1.1.Les eaux usées.....	03
1.1.1. Définition d'une eau usée.....	03
1.1.2. Description d'une station d'épuration classique.....	03
1.2.Traitement des boues.....	05
1.3.Caractéristiques des boues.....	08

CHAPITRE II Le Système Epuratoire des eaux à Mostaganem

1. Aspects juridiques et organisationnels du secteur de l'eau en Algérie.....	09
2. Indicateurs d'exploitation en Algérie.....	10
3. Le Réseau d'assainissement de Mostaganem.....	11
4. Les Systèmes Epuratoires de Mostaganem.....	13
4.1. La STEP de Mostaganem.....	16
4.1.1. Procédés de traitement des boues de la STEP de Mostaganem.....	17

CHAPITREIII Le séchage et ces différentes techniques

1. Définition de séchage.....	19
2. Séchage et valorisation.....	20
3. Le séchage thermique des boues.....	20
3.1.Technologie et mise en œuvre.....	20
3.2.Les types de sècheurs.....	21
3.3.Considérations énergétiques.....	24
3.4.Avantages et inconvénients des technologies.....	25
3.4.1. Discussion.....	25

CHAPITREIV Dimensionnement d'un système de séchage de boue

1. Caractéristiques de l'air humide.....	26
2. Différentes formes d'eau au sein d'un matériau humide.....	26
3. Cinétique du séchage.....	27

4. La durée de séchage.....	28
5. Évolution de la température.....	28
6. Le dimensionnement d'un sécheur.....	29
7. Application numérique.....	30
Conclusion	36

Introduction

La recherche du confort quotidien et du bien-être socio-économique de l'être humain a donné naissance à un développement industriel inconditionnel et incontrôlable qui augmente chaque année avec la croissance de la population mondiale. Cela en dépit de l'environnement engendrant ainsi des conséquences alarmantes pour la planète, comme le réchauffement climatique.

Parmi les conséquences du réchauffement climatique la sécheresse. Cette dernière a imposé la nécessité de préserver l'eau, source de vie importante qui, afin d'avoir un approvisionnement continu et raisonnable de cette source. Cela peut déjà s'observer dans les régions sahariennes de l'Afrique et dans quelques régions de l'Asie comme le Moyen-Orient où d'importants moyens sont investis pour la préserver.

L'Algérie dépend de cette ressource rare inégalement réparties. À cause de la rareté des précipitations et de la sécheresse, le niveau des réservoirs et des barrages fluctue dangereusement, ce qui a un impact négatif sur les activités sociales et économiques du pays. Au même moment, la croissance et le développement de la population ont accru la demande en eau potable, industrielle et agricole.

Ces dernières années, l'Algérie a investi massivement pour lutter contre la pénurie d'eau. Les principales actions réalisées ont consisté à réduire les pertes en eau, à construire de nouveaux barrages, à rationaliser l'utilisation des aquifères, à dessaler l'eau de mer et à vulgariser l'utilisation des eaux usées traitées. L'Algérie est confrontée à plusieurs défis dans le secteur de l'eau tels que le changement climatique et la baisse des précipitations, les fuites dans les réseaux vétustes d'approvisionnement en eau, la pollution de l'eau due à une urbanisation accrue, les forages non autorisés en plus de la mauvaise qualité de l'eau dans la région du Sahara.

En raison de la forte demande en eau L'Algérie a opté pour la politique des ressources non conventionnelles car les ressources en eau renouvelables sont surexploitées, l'utilisation des énergies renouvelables pour le dessalement sont d'autres options pour combler le déficit en eau.

Aujourd'hui, la qualité des eaux de rivières est détériorée à cause des rejets qui ont amoindri les ressources hydriques d'une part et ont rendu difficile leur exploitation étant très importantes d'autre part.

L'utilisation des stations d'épuration est largement répandue comme solution à ce problème. Cependant, cela conduit à d'autres problèmes environnementaux, tout particulièrement la production de boues, un excès de biomasse, durant le processus d'épuration biologique. En Europe, la mise en décharge de ces boues est interdite, ainsi que le rejet en mer. Les deux voies majeures de valorisation sont la valorisation agricole et la valorisation énergétique par production de biocarburant (bio-éthane) ou comme combustible via l'incinération.

Le processus de valorisation de ces boues comporte l'étape de séchage pour réduire la quantité d'eau jusqu'à 5 %. Cette phase de traitement réduit la masse et le volume du solide ce qui diminue les coûts de stockage, la manutention et le transport. De plus, l'élimination de l'eau augmente le pouvoir calorifique des boues.

Ce travail de fin d'étude se propose de dimensionner un sécheur de boues, produit d'une STEP d'eaux usées urbaines, afin de les valoriser. Il est constitué de 4 chapitres. Le 1^{er} chapitre traite l'épuration des eaux usées et la production de boues qui en résulte. Le 2^{ème} chapitre est consacré à la situation du traitement des eaux usées et la boue à la wilaya de Mostaganem. Le 3^{ème} chapitre présente les différentes méthodes et techniques pour effectuer le séchage des boues et le 4^{ème} chapitre a pour but de dimensionner un système de séchage de boue convective et en fin une conclusion et des recommandations

CHAPITRE I

**L'épuration des eaux et la production
des boues**

1. L'épuration des eaux et la production des boues

Les boues sont composées d'éléments recueillis à différents stades de l'épuration d'une eau usée. Elles sont constituées de matières minérales en suspension, de matières organiques non biodégradables et de microorganismes,

Parmi les boues, on distingue les boues **urbaines** et les boues **industrielles**. Les premières sont produites dans les stations d'eaux usées urbaines, ou eaux usées d'origine domestique. Les secondes sont issues du traitement d'effluents industriels dont les eaux sont le plus souvent traitées en aval de leur production.[1]

1.1. Les eaux usées

1.1.1. Définition d'une eau usée

Les eaux usées, ou effluents liquides, sont des eaux polluées à la suite d'une contamination par des polluants physiques, chimiques ou biologiques dans les milieux dans lesquels elles sont déversées.

Cette pollution est quantifiée par des caractéristiques physiques (MES, odeur,...), chimiques (DCO, DBO5, azote minéral, teneur en phosphate, teneur en matières toxiques,...) et biologiques (bactéries, virus,...). [1]

Les rejets d'eaux usées sont caractérisés, globalement, par la notion d'équivalent habitant EH, qui représente la charge moyenne rejetée par habitant et par jour.[1]

1.1.2. Description d'une station d'épuration classique

Les opérations de traitement de l'eau usée dans une station d'épuration sont représentées à la Figure 1. Ces opérations sont au nombre de quatre traitements [1] :

- * **Le prétraitement.**
- * **Le traitement primaire.**
- * **Le traitement secondaire.**
- * **Le traitement tertiaire**
- **Le prétraitement**

Il comporte un dégrillage, un dessablage et un déshuilage.

CHAPITRE 01

- Dégrillage.

Le dégrillage est un tamisage permettant de retirer de l'eau les déchets insolubles tels que les branches, les plastiques ainsi que d'autres objets et matériaux par des grilles dont les mailles ont différents tailles.

- Dessablage

Le dessablage a pour but d'extraire les graviers, sables et autres particules minérales de diamètres supérieures à 0,2 mm contenus dans les eaux usées. Il évite les dépôts dans les canaux et conduits, protège les pompes et autres appareils contre l'abrasion.

- Déshuilage

Le déshuilage a pour principe de la flottation. L'huile étant moins dense que l'eau flotte à la surface et cette propriété est mise à profit pour déshuiler une eau.

• Le traitement primaire

C'est une succession d'opérations de séparation liquide-solide et liquide-liquide comme **la décantation gravitaire** et **la flottation**. Les boues primaires soutirées sont composées de matières minérales et organiques. [1]

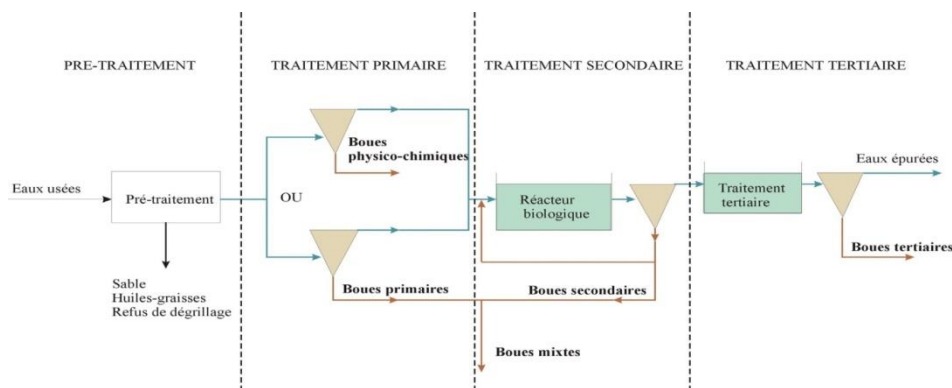


Figure 1 : les opérations rencontrées dans une station d'épuration.

• Le traitement secondaire

Il est essentiellement biologique et a pour but la dégradation des matières organiques biodégradables par une flore de microorganismes qui produit des composés gazeux d'une part et de la biomasse d'autre part (croissance cellulaire). La biomasse produite est dite boue secondaire.

- **Le traitement tertiaire**

Le traitement tertiaire a pour but d'affiner l'épuration selon la destinée de l'eau. Les traitements tertiaires les plus courants sont :

- la nitrification.
- la dénitrification.
- la déphosphatation.

il s'agit également de procédés biologiques qui produisent **des boues** dites **tertiaires**. Dans certains cas, le traitement tertiaire a lieu au sein du réacteur biologique secondaire où les boues secondaires et tertiaires sont confondues.

Jusqu'à ces dernières années, la majorité des stations ne comportaient pas de traitement tertiaire. Il est devenu habituel de parler de **boues mixtes** en référence au mélange des boues primaires et secondaires qui est effectué avant le traitement des boues proprement dit [1].

1.2. Traitement des boues

Les boues contiennent une forte proportion d'eau, plus de 95% pour les boues primaires et plus de 99% pour les boues secondaires.

Les différentes étapes de traitement des boues ont pour but les stabiliser et de les concentrer par déshydratation. Ces opérations se situent en amont du séchage et sont importantes car elles déterminent la qualité des boues (taux de matières sèches, propriétés rhéologiques, consistance, pelletabilité etc.) [1]

1.2.1. La stabilisation

La stabilisation a pour but d'éviter une reprise de la fermentation des boues qui entraînerait des nuisances olfactives et la réduction du taux d'agents pathogènes dans des proportions qui varient selon le type de traitement.

On distingue les stabilisations biologique, chimique et thermique.

- **La stabilisation biologique** peut être atteinte par méthanisation (digestion anaérobie mésophile), stabilisation aérobie thermophile ou compostage.
- **Le traitement chimique** peut s'effectuer par un chaulage ou une stabilisation aux nitrites.
- **Le traitement thermique** (siccité supérieure à 90%) constitue la stabilisation par séchage. [1]

1.2.2. Conditionnement et déshydratation des boues

Les boues soutirées en pied de décanteurs subissent deux opérations successives de concentration : l'épaississement et la déshydratation.

L'épaississement est une opération complémentaire à la décantation et permet de concentrer les boues liquides de 3 à 10 fois selon la nature de la boue. [1]

La déshydratation mécanique donne une consistance plus solide à la boue en atteignant des siccités variant de 15 à 40%. Telle quelle, la boue peut être difficilement déshydratée (et parfois épaissie) et doit être conditionnée pour améliorer sa traitabilité. En effet, les matières organiques qui constituent la boue ont un caractère hydrophile marqué et font de la boue un système colloïdal stable dont l'eau interstitielle est fortement liée. Il est nécessaire de rompre cette stabilité colloïdale afin de libérer l'eau et permettre la déshydratation mécanique. [1]

Le conditionnement est une suite d'opérations permettant la rupture de la structure colloïdale. Les techniques les plus utilisées sont le conditionnement thermique et le conditionnement chimique. Le conditionnement thermique consiste à traiter les boues par cuisson. Lorsque la boue atteint une température suffisante (160 à 210°C), il se produit une transformation irréversible de sa structure qui libère une grande partie de l'eau liée. [1]

1.2.2.1. Conditionnement chimique

Le conditionnement chimique utilise des réactifs minéraux (électrolytes minéraux à polycations) ou organiques (polymères) dont l'ajout de manière contrôlée (dosage et mélange) provoque la coagulation et/ou la floculation de la suspension. Il en résulte une agglomération des particules sous la forme d'un réseau tridimensionnel : les floccs. La structure de ces floccs dépend fortement du type de réactif utilisé. [1]

Les réactifs minéraux (sels de fer, sels d'aluminium, chaux,...) donnent des floccs relativement fins et stables. Ce type de flocc est adapté pour la filtration sous forte pression et sous vide, qui emploient une toile au maillage fin. [1]

Les polymères organiques forment des floccs volumineux (plusieurs millimètres), plus fragiles, adaptés pour la centrifugation ou la filtration sur filtre à bandes dont les mailles sont larges. L'usage de ces polyélectrolytes de synthèse se généralise même pour la filtration sous pression (Lotito et al., 1990). Les polymères utilisés en pratique sont généralement de type

cationique car les particules constitutives de la boue sont majoritairement chargées négativement en surface. [1]

1.2.2.2. Techniques de déshydratation : centrifugation et filtration

1.2.2.2.1. La centrifugation

La centrifugation sépare l'eau de la boue sous l'effet d'une accélération de plusieurs milliers de g sous l'effet d'une grande vitesse.

L'alimentation peut être centrale ou tangentielle.

1.2.2.2.2. La filtration

La filtration peut être menée sous vide ou sous pression. Elle est réalisée :

- Dans des cylindres rotatifs dont la partie inférieure est immergée dans la suspension de boue. Le filtrat traverse les toiles qui recouvrent le cylindre et un gâteau se forme à la surface de la toile.
- Dans des filtres-presses où la boue est comprimée entre deux plateaux creux recouverts d'une toile métallique en acier ou en tissu synthétique. La pression de la presse est située entre 500 et 1500 kPa.

Les boues déshydratées sont, ensuite, éliminées ou valorisées selon différentes filières.



Figure 1.2 : Boues d'épuration : **A**, stockées en silo. **B**, Plaque de boues déshydratées à l'ouverture de filtre-presses [3]

2. 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.
- 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, 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 %

La nature de la boue à produire reste spécifique au traitement d'épuration appliqué comme le montre le tableau N°1.1 [2]

Tableau 1.1 caractéristiques des boues

Nature du traitement	Siccité (%)	MVS (%)
Lits bactérien	2 à 5 %	60 à 70 %
Lagunage	5 à 10 %	30 à 60 %
Décanteur-digesteur	4 à 7 %	40 à 60 %
Bassin d'aération boues activées	0,4 à 0,6 %	/
Clarificateur à boues activées	1 %	/

CHAPITRE II

**Le Système Epuratoire des eaux à
Mostaganem**

1. Aspects juridiques et organisationnels du secteur de l'eau en Algérie

Le ministère des ressources en eau (MRE) est l'acteur le plus important du secteur algérien de l'eau. Son mandat est donné par le décret n ° 16-89 de 2016, ayant la responsabilité de l'élaboration et de la mise en œuvre des politiques et stratégies dans le cadre des ressources en eau et de la protection de l'environnement. L'MRE contrôle à la fois les secteurs de l'eau et de l'environnement. Plusieurs administrations et organisations publiques lui sont subordonnées (CEDARE 2014; Kettab 2001; Rapport de la Banque mondiale n ° 36270 - DZ 2007). Le secteur algérien de l'eau est caractérisé par peu d'entreprises / services publics. Le tableau 02 énumère les agences et leurs principales responsabilités (Drouiche et al. 2012; ministère des Ressources en Eau 2011). [3]

Tableau 2.1 :Les agences du secteur de l'eau et leurs rôles

Agence	Rôle
Algerian Energy Company (AEC)	collaboration avec des sociétés étrangères pour des projets de désalinisation
Agence Nationale des Barrages et Transferts (ANBT)	Mis en œuvre des projets de ressources en eau de surface et de transfert d'eau
L'Algérienne des Eaux (ADE)	Distribution d'eau potable et fourniture de services d'eau
Office National de l'Assainissement (ONA)	Fourniture des services d'assainissement, y compris le traitement des eaux usées
Office National de l'Irrigation et du Drainage (ONID)	Responsable de la planification des ressources en eau

2. Indicateurs d'exploitation en Algérie

- **Exploitation des réseaux de collecte des eaux usées :**

L'ONA assure la gestion du service public de l'assainissement de 1147 communes, soit une population totale de plus de 26 millions d'habitants. [4]

Le réseau d'assainissement d'un linéaire total de 55 281 km, est exploité par 268 centres d'assainissement au niveau de quarante-huit (48) wilayas. [4]

Quelques chiffres du mois d'Octobre 2019 publié par l'ONA sont présentés ci-après[4] :

- Plus de 105 millions m³d'eaux usées rejetées.
- Plus de 639 Km de réseau curé, soit un taux de curage de 1,16 % et un linéaire cumulé à fin Octobre de 6 031 Km soit un taux cumulé de 10,91 %.
- 18 977 réclamations reçues et 32 832 interventions préventives et curatives réalisées.
- 93 246 regards curés pour extraire un volume global de 8 188 m³ déchets solides.
- **Exploitation des stations de relevage**

A fin Octobre 2019, l'ONA assure la gestion et exploitation de 499 stations de relevage et de drainage. Le volume des eaux usées relevées, pour cette période est de 24 millions m³ avec un cumule à fin Octobre de 268 millions de m³. [4]

- **Exploitation des stations d'épuration**

A fin Octobre 2019, l'ONA assure la gestion et l'exploitation de 154 stations d'épuration, dont [4] :

- **76** stations à boues activées ;
- **75** stations de lagunage ;
- **03** filtres plantés.

La capacité globale installée pour les 154 stations est de 10 390 779 équivalent-habitants (EH), soit un débit nominal de 1 575 925 m³/j.

Le volume des eaux usées traitées dépasse 20 millions de mètres-cubes, soit un débit moyen journalier de 668 396 m³/j. [4]

- **RÉUTILISATION DES EAUX USÉES ÉPURÉES**

Durant le mois d'Octobre 2019, un volume de 1 322 553 m³ d'eaux épurées par les 16 STEP, ont servi à l'irrigation de 11 045 hectares de terres agricoles, soit un taux de la REUE de 40 % du volume épuré par les 16 STEP concernées et à 6 % du volume total épuré par l'ensemble des 154 STEP en exploitation par l'ONA. [4]

Tableau 2.2 : Chiffres clés du mois de Janvier 2020

Descriptif	Nombre
Nombre de communes gérées par l'ONA	1 147 Communes
linéaire total des réseaux géré par l'ONA	55 281 Km
Nombre de centres d'assainissement	268 centres
Volume des eaux usées rejetées	105 Millions de m ³
Nombre d'interventions réalisées	32 832 interventions
Linéaire de réseau curé	621 081 ml de conduites
Nombre de branchements réalisés	71 branchements
Linéaire de conduites renouvelées	971 ml
Nombre de regards réalisés	80 regards
Volume de déchets solides évacués	30 904 m ³
Nombre de Station de relevages gérés par l'ONA	499 Stations de relevage et de drainage
Nombre de STEP en exploitation par l'ONA	154
	- 76 stations de type boues activées.
	- 75 stations par lagunage naturel ou aéré.
	- 03 filtres plantés.
Capacités installées des STEP	10 390 779 Millions Équivalent habitants
Volume mensuel des eaux épurées	21 Millions de m ³
Débit moyen journalier des eaux usées épurées	668 396 millions m ³ /j

Mostaganem est la 27ème wilaya dans l'administration territoriale Algérienne. Elle se trouve au Nord-Ouest de l'Algérie sur le littoral méditerranéen, à 350 Km à l'Ouest d'Alger et à 80 Km à l'Est d'Oran, compte plus de 877 450 habitants (statistiques de 2018) et se compose de 32 communes, réparties sur 10 Daïras. [5]

3. Le Réseau d'assainissement de Mostaganem

Le linéaire de réseau d'assainissement a atteint 1.565.075 ml avec un taux de raccordement en assainissement de l'ordre de 100 % pour les chefs lieu et les agglomérations

CHAPITRE 02

secondaires, contrairement à celui des zones rurales qui est de l'ordre de 45 %, ce taux est considéré faible et influe négativement sur le taux global de la wilaya. [5]

Les réseaux d'assainissement des 32 chefs-lieux de communes sont gérés par l'Office National d'Assainissement (ONA).

La wilaya de Mostaganem dispose de plusieurs dispositifs de traitement des eaux usées réparties à travers toute la wilaya. Trois types de stations sont utilisées : celles de relevage, celles de traitement et d'épuration (STEP) et celles de lagunage. Ceux considéré dans le cadre de ce travail sont ceux des STEP de l'espace de la ville de Mostaganem. [5]

Les rejets des eaux usées de la ville étaient versés dans l'oued AïnSafra qui débouche directement sur le canal de la station de relevage d'AïnSafra sise à côté de l'entrée est du port de Mostaganem. [5]

La station de relevage de AinSafra dotée d'une capacité de 150 000 m³, reçoit l'ensemble des rejets des eaux usées parvenant des alentours de l'agglomération du centre-ville de Mostaganem. Elle compte au total 12 rejets avec 25000 m³/jour chacun, qui sont déversés dans un canal principal d'une extension de 4 km menant à la station de relevage. [5]

Bien que cet ouvrage constitue une contribution importante dans le traitement des eaux usées avant leur déversement dans la mer, il reste relativement insuffisant et constitue toujours un risque potentiel de pollution des sols et des eaux. [5]



Figure 2.1 : Canal principal de l'oued Ain Safra avant aménagement

L'oued AïnSafra a fait l'objet d'un aménagement depuis Sidi Othmane jusqu'à la station de relevage. En effet, tous les canaux d'amenés des eaux usées débouchant sur l'oued ont été bouchés et remplacés par un réseau souterrain déversant directement sur la station de relevage.

Dans ces conditions l'oued ne reçoit que les eaux de pluie acheminées directement vers

la mer. Néanmoins cet aménagement bien qu'arrivé à un état d'avancement notable n'est pas complètement achevé [5]



Figure 2.2 : Esquisse de l'oued Ain-Safra comme prévu après aménagement

4. Les Systèmes Épuratoires de Mostaganem

La Wilaya de Mostaganem dispose actuellement de neuf stations d'épuration (STEP), dont quatre réceptionnées : Mostaganem, Sidi Ali, Sidi Lakhdar et Khadra. Les autres stations sont celles de Mesra, Ben Yahi, Hadjadj, Bouguirat et Fornaka

Les eaux épurées de la STEP de Mostaganem sont orientées vers la frange maritime pour servir à l'irrigation d'environ 2 000 ha. [5]

Une haute augmentation de cette station a été enregistrée en rendement d'épuration des eaux usées qui est passé de 25 % en 2017 vers 75 % en fin 2018, soit 126.000 m³/j, dont 71.700 m³/j sont déversés directement en mer, actuellement le taux de dépollution du littoral est estimé à 95% par l'ONA. [5]

Sur un plan de fonctionnement, la station d'épuration filtre les eaux usées reçues par l'élimination des macro-déchets en utilisant deux sortes de filtres, représentés par deux différentes barrières : un grillage grossier et autre fin. Ensuite les eaux sont destinées vers un grand bassin versant portant 4 pompes (trois en marche et une de secours) afin de les pomper dans le canal sud de la ville pour les transporter gravitairement vers la station d'épuration de Mostaganem sur le canal d'entrée [5]

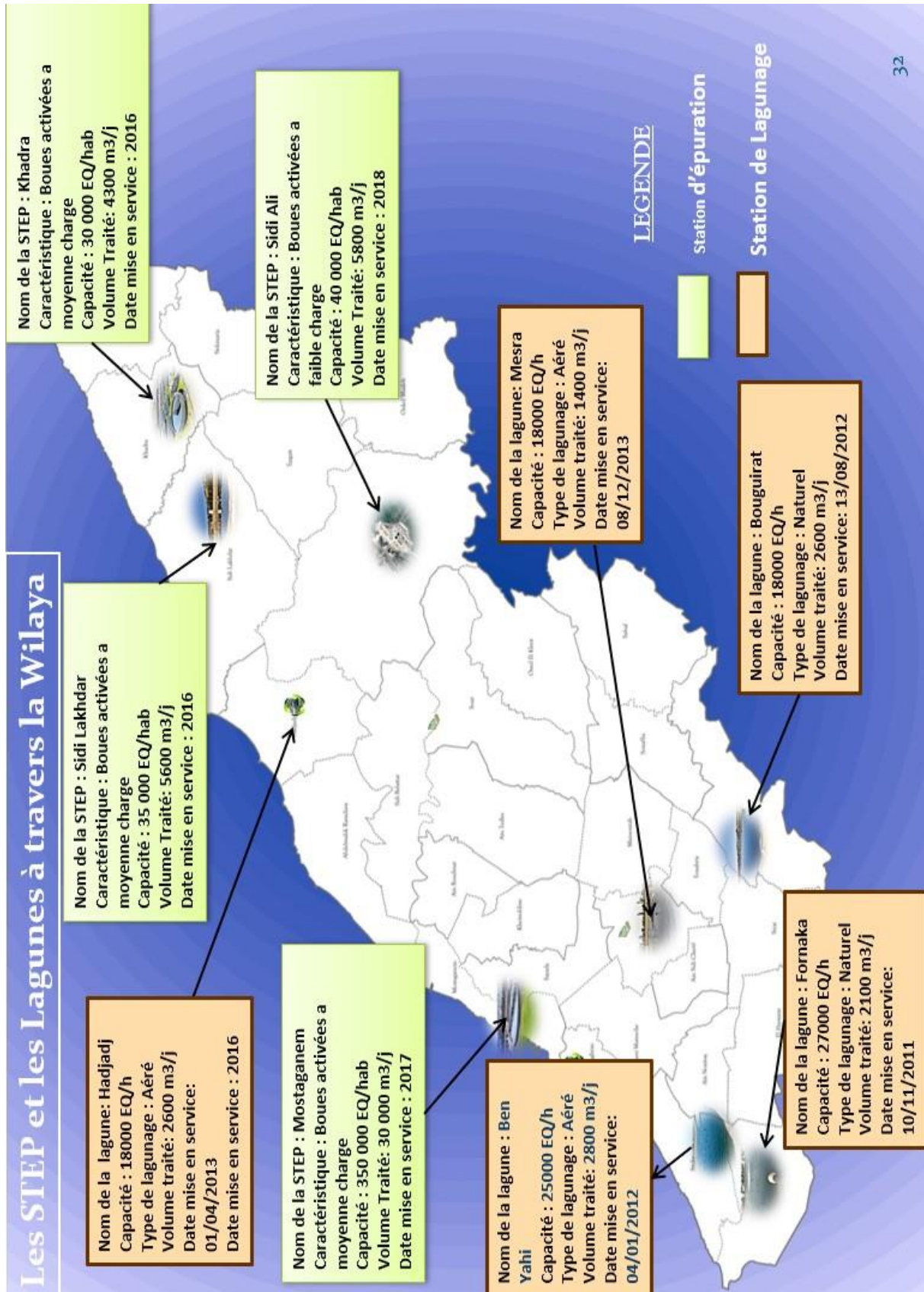


Figure2.3 :Stations d'épuration de wilaya de Mostaganem



Figure 2.4 : A Vue sur un grillage grossier B Vue sur trois éléments de grillage fin

Les détails du rendement de fonctionnement de chacune des STEP en exploitation dans la wilaya de Mostaganem est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 2.3 : Le volume global des eaux usées de la wilaya de Mostaganem

Volume global des eaux usées de la wilaya est de 110 000 m ³ /j					
	Stations	Capacité EH*	Volume épuré m ³ /j	Superficie irriguée ha	Bénéficiaire
STEP	SidiLakhdar	35 000	5 600	220	220 ha irrigué au profit des fellahs, en exploitation depuis le 23/01/2017
	Khadra	30 000	4 300	150	150 ha irrigué au profit des fellah, en exploitation depuis le 22/01/2017
	Mostaganem	350 000	50 000	2000	Projet en cours d'étude
	Hadjadj	40 000	6 000	300	Traitement des dossiers des demandes des fellah en cours
Stations d'épuration en exploitation	Ainnouissy et BeniYahi	36 000	5 200	100	L'irrigation de plus de 300 ha en projet
	Fornaka et Kedadra	27 000	4 000	120	
	Bouguirat	18 000	2 600	120	220 ha irrigué au profit des fellah, en exploitation depuis 09/10/2016
	Mesra	18 000	2 600	120	Travaux de raccordement des drains sont en cours dans le cadre d'un programme FNE
	Hadjadj	18 000	2 600	100	100 ha irrigué au profit des fellahs, en exploitation depuis le 07/11/2016

* EH = Équivalent Habitant : unité de mesure permettant d'évaluer la capacité d'une station d'épuration qui se base sur la quantité de pollution émise par personne et par jour.

1 EH = 60 g de DBO5/jour en entrée station soit 21,6 kg de DBO5/an.

4.1. la STEP de Mostaganem

La réalisation de cette station d'épuration a été effectuée par trois sociétés : STULZ PLANAQUA / ETUHP MENANI / BUTEC (Allemagne / Algérie / Liban) selon les paramètres de design donnés par le Tableau 2.4. [6]

Tableau 2.4 : caractéristiques de la station d'épuration de Mostaganem

Caractéristique	Valeur correspondante
Équivalent habitant	130000EH
Débit normal des eaux usées (débit journalier)	56 000 m ³ /j ·
Débit normal des eaux usées(débit horaire)	2334 m ³ /h
Charge massique de DBO5	19600 kg/j ·
Charge massique de DCO	47 750 Kg/j
Charge massique de MES	24 500 Kg/j

Le projet de réalisation a duré 24 mois à partir du mois de Novembre 2014.Elle a été mise en exploitation en Mars 2017 sous la direction de BUTEC et en Mai 2019, sa gestion a été transférée à l'ONA. [6]

La station d'épuration est de type biologique à boue activée à moyenne charge comprenant :

Filière eaux

- Réception avec by-pass (déversoir d'orage);
- Fosse à bâtards;
- Dégrillage grossier ;
- Relevage de tête;
- Comptage des eaux brutes;
- Dégrillage fin, by-pass;
- Dessablage déshuilage aéré;
- Décantation primaire;
- Bassin d'aération de type moyenne charge;

CHAPITRE 02

- Désinfection par hypochlorite de sodium;
- Canal de comptage des eaux épurées.

Filière boues

- Recirculation des boues et extraction des boues en excès;
- Épaississement gravitaire des boues en excès;
- Stabilisation aérobie des boues.



Figure 2.5 : Maquette de la STEP de Mostaganem

4.1.1. Procédés de traitement des boues de la STEP de Mostaganem

Épaississement et Concentration des boues

L'épaississement (tableau 2.5) est la première étape pour réduire le volume des boues tout en augmentant la concentration pour permettre la déshydratation. Le concentrateur statique présente deux phases de fonctionnement : La clarification, pour obtenir un surnageant pauvre en matière en suspension, l'épaississeur est alors considéré comme un décanteur, puis sous l'action de la pesanteur, la teneur des boues en matière en suspension progresse. [6]

La capacité volumique de l'épaississeur est de 2155m³/j avec une profondeur de 5.4m, un diamètre de 30m et une puissance de 0.45 KW. [6]

Tableau 2.5 : Les débits et les concentrations des boues avant et après l'épaississement de la STEP Mostaganem

	Type de boue	Le débit	La concentration
Avant épaisissement	la boue primaire la boue biologique la boue mixte	735m ³ /j 1420m ³ /j 2155m ³ /j	20kg MES/m ³ 8.8kg MES/m ³ 12.6 kg MES/m ³
Après épaisissement	la boue primaire la boue biologique la boue mixte	294m ³ /j 625m ³ /j 919m ³ /j	50kg MES/m ³ 20kg MES/m ³ 29.6kg MES/m ³

CHAPITRE III

Le séchage et ces différentes techniques

Les boues résiduairees sont des résidus issues de la séparation liquide-solide dont les caractéristiques sont fonction des effluents. C'est ainsi qu'on distingue :

- **Les effluents urbains**, riches en matières organiques, résultent des activités de particuliers.
- **Les effluents industriels**, liés à la nature de l'activité concernée et sont essentiellement organiques, assimilables aux effluents urbains, ou minéraux.

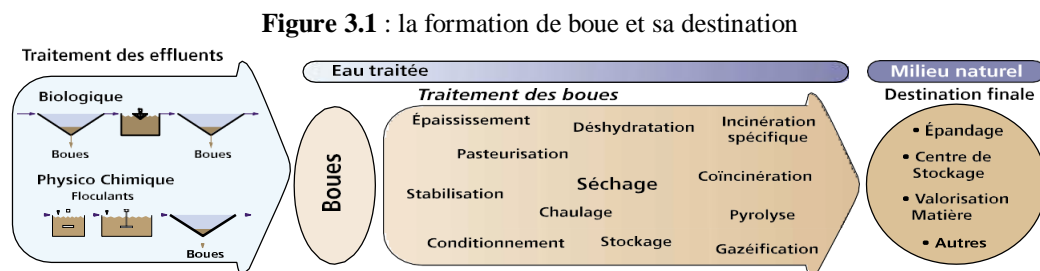
La nature des boues dépend du type de traitement mis en œuvre :

Les boues biologiques.

Constituées majoritairement de matières organiques et proviennent de la décantation des effluents liquides après épuration biologique

Les boues physico-chimiques

Elles résultent de l'ajout de réactifs minéraux ou organiques pour favoriser la coagulation et la floculation des particules non décantables, ce qui conduit à une augmentation significative de la production de boues, qui peut atteindre 180 grammes de matière sèche par habitant et par jour. [7]



Il existe plusieurs procédés de traitement des boues dont le séchage thermique.

1. Définition de séchage :

Le séchage est un procédé de séparation qui consiste à extraire, par vaporisation, le solvant et élimination de la phase gazeuse formée. Dans la plupart des cas, le solvant est de l'eau. Dans le cas particulier du séchage convectif, un courant d'air chaud assure à la fois l'apport d'énergie nécessaire à la vaporisation de l'eau et le transport de la vapeur d'eau produite.

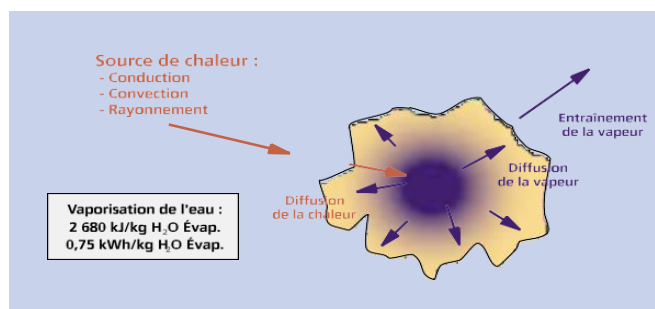


Figure 3.2 :vaporisation de l'eau par séchage (convective/ conductive)

2. Séchage des boues et valorisation

Une opération de séchage des boues après déshydratation mécanique présente différents atouts tant en amont de la valorisation agricole que de l'incinération. La siccité visée par le séchage dépend de l'application. En épandage, le séchage est poussé à son terme, tandis qu'un séchage partiel est parfois recherché pour l'incinération. [8]

Les avantages du procédé sont nombreux :

- Réduction du poids et du volume (stockage et transport).
- Stabilisation et diminution des nuisances olfactives des boues.
- Hygiénisation.
- Mise en forme du produit final.
- Amélioration des propriétés fertilisantes des boues par ajout de nutriments (valorisation en filière agricole).
- Atteinte des minima légaux de siccité pour l'admission en décharges.
- Augmentation du pouvoir calorifique en vue de l'incinération.

Quelle que soit la filière de valorisation, l'étape de séchage en aval de la déshydratation présente des avantages. Compte tenu des quantités croissantes de boues à gérer dans le futur, la conception rationnelle des unités de séchage et le choix des conditions de traitement adaptées à chaque type de boue deviendront des étapes essentielles au développement de filière de traitement.

3. Le séchage thermique des boues :

3.1. Technologie et mise en œuvre

Dans sa globalité, le séchage est un apport d'énergie qui peut se faire de trois façons :

- Par conduction : l'énergie thermique nécessaire est apportée par contact avec une paroi chauffée ; les vapeurs produites sont aspirées ou entraînées par un gaz de balayage.
- Par convection: qui consiste à la mise en contact par un gaz chaud.
- Par rayonnement : l'énergie est apportée des rayonnements infrarouges ou micro-ondes.

3.2. Les Types de sécheurs

Le type de sécheurs est lié au mode de transfert de l'énergie. C'est ainsi qu'on distingue :

- **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.

3.2.1. Les sécheurs directs.

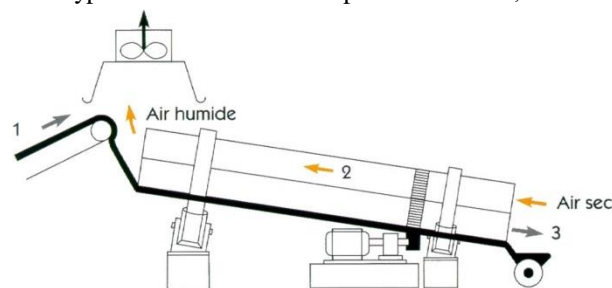
Ils sont diversifiés. Parmi eux on cite :

- **Sécheur rotatif (ou à tambour)**

Les éléments constitutifs de ces sécheurs sont les mêmes que dans le cas des sécheurs indirects, mais les parois en contact avec les boues ne sont pas chauffées. [7]

Le séchage s'effectue par une circulation d'air chaud dans le même sens ou en sens inverse des boues.

Figure 3.3 : Tambour rotatif de type direct – 1. Entrée du produit humide ; 2. Léchage d'air chaud ; 3. Sortie du



produit sec (ADEME et al., 2000).

- **Sécheur pneumatique, dit sécheur flash**

Sécheurs à lit fluidisé (Figure 3.4 A): Ils sont composés d'un caisson étanche à deux compartiments séparés par une sole de fluidisation sur laquelle est disposé le produit à sécher.

L'air ou la vapeur surchauffée est injectée par le bas, ce qui fragmente fluidise le produit.

Sécheurs flash ou atomiseurs(Figure 3.4 B) : la matière à sécher est transportée jusqu'à l'entrée du sécheur où elle est dispersée dans le réacteur par un injecteur. Le courant d'air chaud transporte en suite les particules, puis le produit sec est séparé des buées. [7]

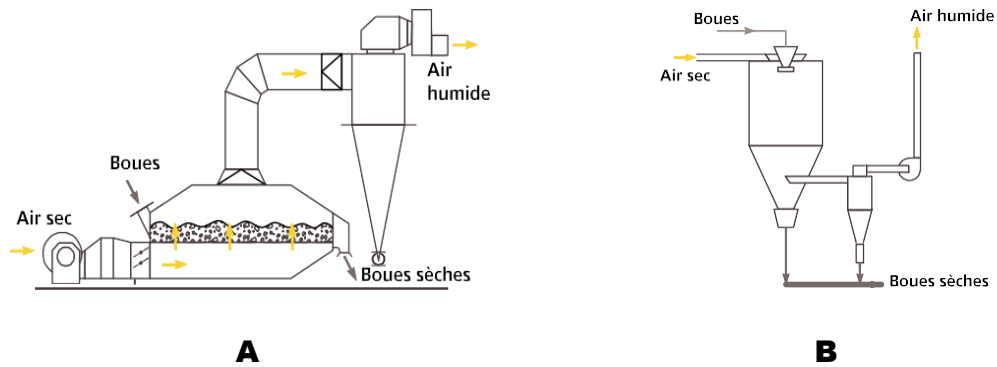


Figure 3.4 : Sécheurs : **A** à lit fluidisé. **B**: Sécheur flash

- **Le convoyeur à bande**

Dans ce dispositif, le produit est d'abord mis en forme dans une extrudeuse ou granulater pour augmenter la surface d'échange. Les boues sont ensuite disposées sur des bandes transporteuses où elles sont soumises à un écoulement d'air chaud parallèlement ou perpendiculairement à leur sens de déplacement. [7]

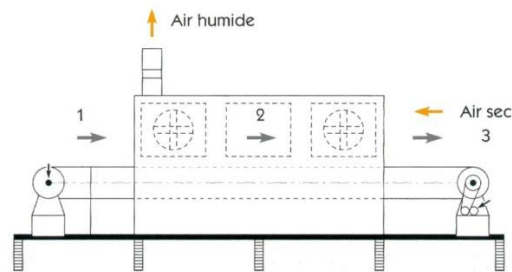


Figure 3.5 : sécheur à bande à courant parallèle – 1. Entrée du produit humide, Produit en défilement ; 3. Sortie du produit sec (ADEME et al.,2000).

- **Autres sécheurs directs**

- Sécheurs à énergie solaire thermique.
- Séchage à injection directe de gaz chaud dans les boues à traiter.

3.2.2. Les sécheurs indirects

- **Sécheurs rotatifs**

Ils sont constitués d'un cylindre tournant dont l'axe est légèrement incliné par rapport à l'horizontale pour favoriser l'avancée des boues. La rotation lente du tambour partiellement rempli assure le renouvellement du produit sur la surface d'échange. [7]

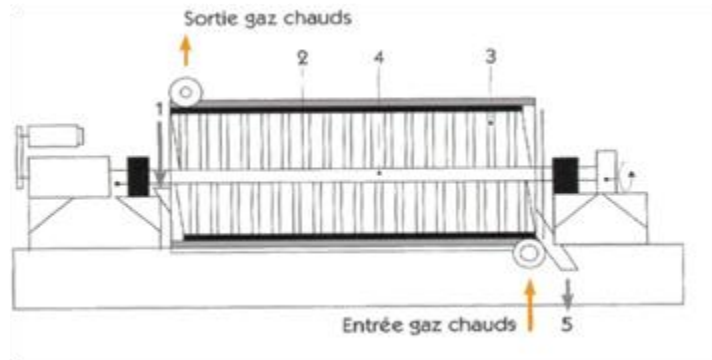
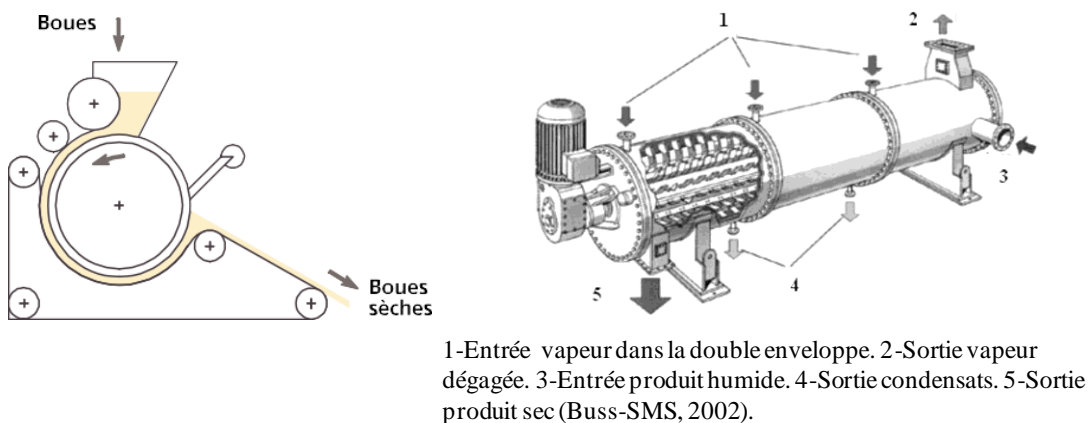


Figure 3.6: Sécheur à vis – 1. Entrée du produit humide ; 2. Double enveloppe ; 3. Palette ;Arbre creux ; 5. Sortie du produit sec (ADEME et al.,2000).

- **Sécheurs à couche mince**

Ce sont des sécheurs utilisés depuis longtemps dans l'industrie pour le séchage de produits difficiles. Les boues sont disposées en fines couches sur un cylindre chauffé, selon différents procédés. [7]

En fin de rotation, les boues séchées sont raclées par un couteau.



1-Entrée vapeur dans la double enveloppe. 2-Sortie vapeur dégagée. 3-Entrée produit humide. 4-Sortie condensats. 5-Sortie produit sec (Buss-SMS, 2002).

Figure3.7: Sécheur à couche mince

- **Sécheurs à palettes, ou sécheurs malaxeurs.**

Les sécheurs à palettes 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, les rotors et les palettes. [7]

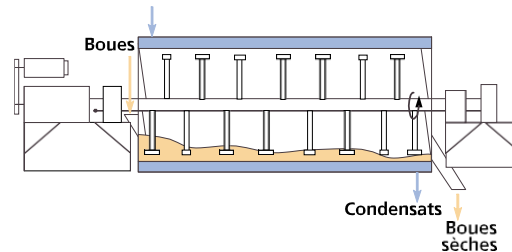


Figure 3.8 :Sécheurs à palettes

- **Sécheurs à disques :**

Ils sont conçus de la même façon que les sécheurs à palettes avec des disques à la place des palettes. Le malaxage des boues est donc moins important et le temps de séjour allongé. [7]

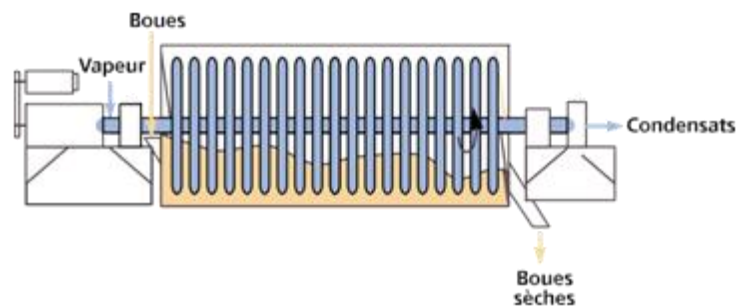


Figure 3.9 :Sécheurs à disques

- **Autres sécheurs indirects**

- Sécheurs couplant déshydratation mécanique et séchage indirect (Bertrams, Ashbrook) : les boues circulent sur un filtre chauffé.
- Sécheurs à plateaux : sécheurs multi-étages où les plateaux sont chauffés.
- Sécheurs sous vide (Lödige) dans une cuve cylindrique horizontale chauffée dans laquelle est inséré un agitateur muni de pales.
- Sécheurs radiatifs (Hytec) : un convoyeur de séchage dirige les boues sous des émetteurs infrarouges gaz ou électriques.

3.3. Considérations énergétiques

Le coût énergétique du séchage est de l'ordre de 800 à 1000 kWh par tonne d'eau extraite (Numrich et al., 1997). Cependant, de nouveaux procédés à consommation réduite émergent sur le marché (Dry-RexMC). Le coût rapporté à la tonne de matière sèche de boue se situe entre 230 et 305 € (33310,21 à 44172,23 dinar algérien) selon les sources. [1]

En terme d'investissements, l'utilisation du sécheur indirect est indiquée pour de faibles capacités évaporatoires. Par contre, l'emploi d'un sécheur direct se révélera judicieux pour des capacités évaporatoires élevées, de l'ordre de 3 à 4 tonnes d'eau par heure. [1]

3.4. Avantages et inconvénients des technologies

Les sécheurs directs et indirects possèdent à la fois des inconvénients et des avantages qui sont repris dans le Tableau suivant [1] :

Tableau 3.1 : les avantages et les inconvénients de sécheur direct et indirect

	Les sécheurs directs	Les sécheurs indirects
Avantages :	<ul style="list-style-type: none"> - Conception simple - Souplesse d'adaptation aux variations de siccité en entrée - Capacités importantes 	<ul style="list-style-type: none"> - Quantité de gaz à épurer faible - Buées condensables - Possibilité de traitement des incondensats au niveau du brûleur - Traitement aisé des odeurs - Risques d'explosion et d'inflammation faibles
Inconvénients :	<ul style="list-style-type: none"> - Quantité de buées à épurer - Grande taille des installations de traitement des odeurs - Moins rentable pour les petites installations 	<ul style="list-style-type: none"> - Construction compliquée - Usure/Maintenance - Inertie thermique

3.4.1. Discussion

Le choix du sécheur est fonction des contraintes locales qui sont la destination des boues séchées, énergie disponible, capacité et mode de fonctionnement de l'installation, caractéristiques des boues et les contraintes locales d'implantation.

CHAPITRE IV

**Dimensionnement d'un système de séchage
de boue**

Ce chapitre a pour objectif de compléter les éléments de compréhension du séchage qui ont été développés au chapitre 03, en se concentrant maintenant sur le séchoir lui-même.

Dans le cas particulier du séchage convectif, l'objet de ce travail, un courant d'air chaud assure à la fois l'apport d'énergie nécessaire à la vaporisation de l'eau et le transport de la vapeur d'eau produite.

1. Caractéristiques de l'air humide

L'emploi de l'air pour le séchage nécessite l'introduction de certaines notions relatives à l'air humide. L'air humide est un mélange d'air sec et de vapeur d'eau. La teneur en humidité peut être caractérisée par différentes variables : la pression partielle de la vapeur d'eau P_e en Pa, la teneur massique rapportée à l'air sec ou humidité absolue Y en kg/kg d'air sec, ou l'humidité relative HR. L'humidité relative, généralement exprimée en %, est le rapport entre la pression partielle en vapeur d'eau et la pression de vapeur saturante à la température considérée. [1]

Le volume humide V_{hum} est défini comme le volume occupé par l'air et la vapeur d'eau rapporté à 1 kg d'air sec. La masse volumique est définie comme la masse totale 'air + vapeur d'eau' rapportée au volume occupé. Ces deux grandeurs généralement utilisées pour le calcul de la vitesse de l'air de séchage. Une autre caractéristique importante est la température de bulbe humide T_h . Il s'agit de la température d'équilibre évaporatoire dynamique indiquée par un thermomètre dont le bulbe est entouré d'une mèche de coton humidifiée. [1]

2. Différentes formes d'eau au sein d'un matériau humide

L'eau contenue dans un matériau humide se trouve sous plusieurs formes. On distingue l'eau liée et l'eau libre. D'un point de vue thermodynamique, l'eau libre se comporte comme de l'eau pure : sa tension de vapeur correspond à la saturation à la température considérée. Par contre, l'eau liée va développer une tension de vapeur inférieure à la valeur de saturation. L'activité de l'eau vaut 1 dans le cas de l'eau libre et est inférieure à 1 dans le cas de l'eau liée.

L'eau libre est celle qui remplit la majeure partie des vides de la structure. Elle est piégée sous forme liquide par des forces d'origine capillaire. L'eau liée fait référence à l'eau fixée par adsorption sur les parois des structures selon une importance qui peut être déterminée par les isothermes de sorption à l'eau. [1]

3. Cinétique du séchage

L'analyse du séchage passe par le tracé de différentes courbes, notamment la courbe de Krischer qui est la plus utilisée. La courbe de Krischer décrit l'évolution du flux massique d'eau (F , $\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$) en fonction de la teneur en eau définie sur base sèche (W , kg d'eau/ kg MS). [1]

L'examen de l'allure des courbes de Krischer permet une première approche macroscopique du comportement du produit pendant le séchage. Sur la courbe schématisée présentée à la Figure 4.2, on peut distinguer 3 ou 4 phases selon les cas.

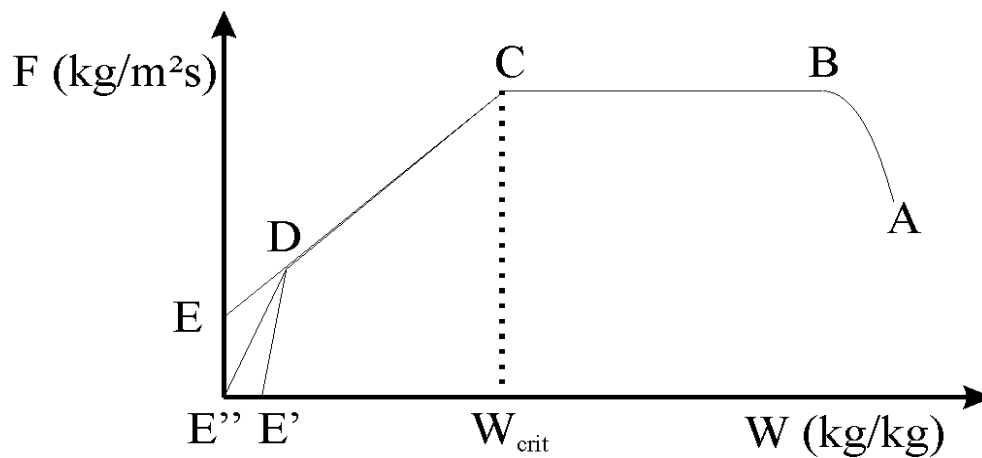


Figure 4.2 : Courbe de Krischer théorique

- Zone A-B Période de préchauffage

Elle correspond à la montée en température du matériau à sécher jusqu'à atteindre la température humide correspondant à l'environnement séchant. Cette période est généralement très courte par rapport au temps de séchage total.

- Zone B-C Période à vitesse ou flux constant

Pendant cette phase, souvent isenthalpique, l'eau est évacuée à flux constant ().

- Zone C-D Les deux périodes de ralentissement

La première période de ralentissement commence lorsque toute l'eau libre a été éliminée en surface. La seconde phase de ralentissement commence dès que le matériau entre dans le domaine hygroscopique.

- Zone D-E'

Le séchage est terminé lorsque le solide a atteint sa teneur en eau d'équilibre dans les conditions opératoires considérées.

4. La durée de séchage

les recherches expérimentales permettent d'établir des allures de séchage pour atteindre en un temps minimum un produit séché aux qualités prédéfinies (humidité finale, caractéristiques microbiologiques). [9]

Dans la pratique, on retiendra plutôt les éléments suivants:

- la durée doit être, pour chaque type de séchoir envisageable dans l'étude de dimensionnement, déterminée en fonction du rythme de production envisagé et de la capacité de chargement de ce type de séchoir en produits ; [9]
- si cette durée est trop élevée, par rapport à la durée maximale admissible d'attente d'un séchage suffisant, il faudra prévoir soit un séchoir de moindre capacité dans la gamme envisagée, mais dimensionné pour sécher plus rapidement (si une telle modulation est possible), soit un prétraitement de conservation plus sévère, soit une modification des objectifs de production, soit un abandon de ce type de séchoir pour la suite de l'étude technique; [9]
- le risque de croûtage peut être éliminé par d'autres moyens (débit d'air plus élevé avec un air plus humide, obtenu soit en humidifiant la chambre de séchage dans des proportions raisonnables, soit par un recyclage de l'air de sortie, plus humide mais non totalement saturé d'eau). [9]

5. Évolution de la température

L'évolution de la température peut être reliée aux différentes périodes de séchage introduites plus haut. Au début du séchage, la température à la surface du matériau augmente depuis la température de stockage jusqu'à la température du bulbe humide dite température humide T_h . La température de surface reste égale à la température humide pendant toute la période de séchage à flux constant. Une fois que le ralentissement du flux de séchage s'opère, la température de l'échantillon monte pour atteindre progressivement la température de l'agent séchant au terme du séchage T_{air} . [1]

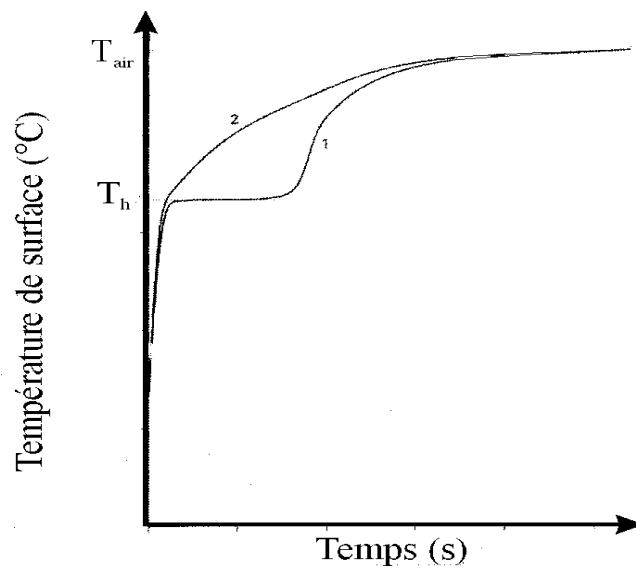


Figure 4.3 : Évolution de la température de surface avec le temps

Le dimensionnement d'un sécheur

La conception et le dimensionnement d'un séchoir sont des problèmes complexes car les paramètres théoriques considérés sont difficilement cernables d'une part et d'autre part ils n'apportent pas toutes les réponses, pour plusieurs raisons. [9]

- Certains mécanismes, comme l'efficacité du transfert de masse et de chaleur entre le produit et l'air, ou les résistances au passage de l'air, sont connus dans leur principe, mais difficiles à réaliser avec précision dans la pratique. [9]
- Il existe de nombreuses variétés de chaque produit. Chacun peut réagir différemment des autres dans le processus de séchage. [9]
- Le mode opératoire du séchoir dépendra d'habitudes et d'attentes socioculturelles diverses. Ce mode opératoire doit être intégré dans la conception du séchoir lui-même;
- La conception du séchoir dépend du critère économique ainsi que celui du matériau destiné à la réalisation de l'ouvrage en passant le local lui-même. [9]

6. Partie calculs :

Dans cette partie on se propose de dimensionner un sécheur thermique par convection de la boue.

L'échantillon de boue provient de la STEP de Mostaganem dont les caractéristiques sont :

- Débit de $919\text{m}^3/\text{j}$
- Concentration MES : $29.6\text{kg}/\text{m}^3$
- Température d'entrée/sortie de la boue du sécheur: 25°C et 100°C .

L'échangeur fonctionne avec de l'air chaud comme fluide caloporteur dont les caractéristiques sont

- Fluide caloporteur : air
- humidité relative de l'air : 60 %
- température d'entrée/sortie de l'air au sécheur : 160°C et 130°C .
- Capacité calorifique de l'air : $C_p = 1.01\text{kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$.
- Masse volumique de l'air : 1.2kg.m^{-3} .

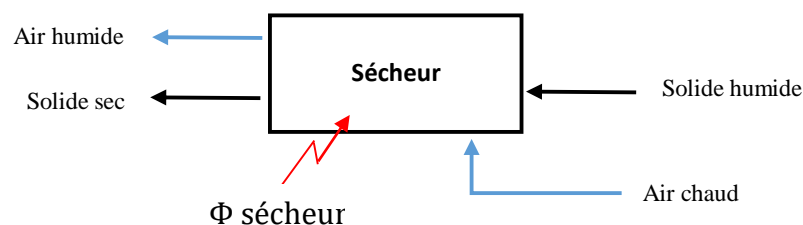


Figure 4.4. Schéma d'un sécheur

Description du sécheur.

C'est un sécheur de type à bande roulante perforées pour permettre le passage de l'air chaud de bas en haut.

Il à une forme rectangulaire dont les dimensions seront calculées par la suite munie d'une souffleuse d'air.

Calcul de la quantité d'eau présente dans la boue.

Le STEP de Mostaganem produit une boue à 29,6 kg de MES par 1 m³ de boue.

Il s'avère que l'eau est très importante en quantité, ceci nous autorise à considérer la densité de cette boue comme égale à celle de l'eau.

La quantité d'eau présente pour un débit de boue de 919 m³/j est déterminée par :

$$\dot{m}_{eau} = (\dot{V}_{boue} \cdot \rho) - (\dot{V}_{boue} \cdot 29,6 \text{ kg/m}^3)$$

\dot{m}_{eau} = débit massique d'eau à extraire

\dot{V}_{boue} = débit volumique de la boue

$\rho = 1 \text{ t/m}^3$ = densité supposée de la boue

$$\dot{m}_{eau} = (919 \text{ m}^3/\text{j} \cdot 1 \text{ t/m}^3) - (919 \text{ m}^3/\text{j} \cdot 29,6 \text{ kg/m}^3)$$

$$\dot{m}_{eau} = 891,80 \text{ t/j}$$

$$\dot{m}_{eau} = 37,16 \text{ t/h}$$

$$\dot{m}_{eau} = 10,32 \text{ kg/s}$$

La boue de la STEP de Mostaganem séchée est valorisée pour servir en agriculture comme engrais. Elle doit avoir la consistance pâteuse.

La boue dont la consistance est pâteuse contient 90% en MES ce qui veut dire que la quantité d'eau présente est de 10%.

Calcul de la quantité d'eau $\dot{m}_{eau \text{ boue}}$ présente dans la boue pâteuse.

La quantité d'eau est déterminée par :

$$\dot{m}_{eau \text{ boue}} = (\dot{V}_{boue} \cdot 29,6 \text{ kg/m}^3) \cdot 10\%$$

$$\dot{m}_{eau \text{ boue}} = (919 \text{ m}^3/\text{j} \cdot 29,6 \text{ kg/m}^3) \cdot 10\%$$

$$\dot{m}_{eau \text{ boue}} = 2,72 \text{ t/j}$$

Calcul de la quantité $\dot{m}_{eau \text{ éva}}$ d'eau à évacuer.

La quantité d'eau à évacuer est :

$$\dot{m}_{eau \text{ éva}} = \dot{m}_{eau} - \dot{m}_{eau \text{ boue}}$$

$$\dot{m}_{eau \text{ éva}} = 891,80 \text{ t/j} - 2,72 \text{ t/j}$$

$$\dot{m}_{eau\ éva} = 889,08 \text{ t/j}$$

$$\dot{m}_{eau\ éva} = 37,05 \text{ t/h}$$

$$\dot{m}_{eau\ éva} = 10,29 \text{ kg/s}$$

Calcul de la quantité de chaleur nécessaire pour évacuer l'eau.

Pour faire évacuer cette eau il faut utiliser une chaleur sensible pour chauffer l'eau contenue dans la boue et une quantité de chaleur pour faire évaporer cette eau.

Calcul de la quantité de chaleur sensible :

Elle est déterminée par :

$$\Phi_{sens} = \dot{m}_{eau\ éva} \cdot Cp \cdot \Delta T$$

Avec

Φ_{sens} : chaleur sensible de l'eau

$Cp = 4,18 \text{ kJ/kg } ^\circ C$: capacité calorifique de l'eau entre 4 et 100°C.

ΔT : différence entre les température entrée sortie de l'eau

$$\Delta T = Ts - Te$$

L'eau est admise à 25°C pour être chauffée à 100°C

$$\Delta T = Ts - Te$$

$$\Delta T = 100 - 25$$

$$\Delta T = 75^\circ C$$

$$\Phi_{sens} = \dot{m}_{eau\ éva} \cdot Cp \cdot \Delta T$$

$$\Phi_{sens} = 10,29 \text{ kg/s} \cdot 4,18 \text{ kJ/kg } ^\circ C \cdot 75^\circ C$$

$$\Phi_{sens} = 3225,92 \text{ kJ/s}$$

Pour faire évaporer l'eau dont la température est de 100°C, il faut une chaleur latente dont l'expression est :

$$\Phi_{lat} = \dot{m}_{eau\ éva} \cdot Lv$$

Avec :

CHAPITRE 04

L_v : la chaleur latente de vaporisation de l'eau en (kJ/kg)

$$L_v = 2535 - 2.9T$$

$$L_v = 2535 - 2.9 (100 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$L_v = 2245 \text{ kJ/kg}$$

$$\Phi_{\text{lat}} = 10.29 \text{ kg/s} \cdot 2245 \text{ kJ/kg}$$

$$\Phi_{\text{lat}} = 23101.05 \text{ kJ/s}$$

Calcul de l'énergie totale de séchage de la boue.

La chaleur totale nécessaire pour faire sécher la boue est la somme des chaleurs sensibles et latente. Elle est obtenue par l'expression :

$$\Phi_{\text{tot}} = \Phi_{\text{sens}} + \Phi_{\text{lat}}$$

$$\Phi_{\text{tot}} = 3225.92 \text{ kJ/s} + 23101.05 \text{ kJ/s}$$

$$\Phi_{\text{tot}} = 26326.97 \text{ kJ/s}$$

Calcul de la surface d'échange.

La surface d'échange nécessaire pour évacuer cette énergie est :

$$\Phi_{\text{tot}} = K \times S \times \Delta TLM$$

$$\Phi_{\text{total}} = \Phi_{\text{échangé}}$$

Avec :

$K=2000 \text{ w/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$: le coefficients global d'échange en $\text{W}/(\text{m}^2\text{C}^\circ)$ du sécheur.

S : la surface d'échange en m^2

ΔTLM : la différence de température moyenne logarithmiques C°

$$\Delta TLM = \frac{(\Delta T_1) - (\Delta T_2)}{\ln(\Delta T_1) - \ln(\Delta T_2)}$$

$$\Delta T_1 = T_e - t_e$$

$$\Delta T_2 = T_s - t_s$$

$$\Delta T_1 = 160 - 25 = 135$$

$$\Delta T_2 = 130 - 100 = 30$$

CHAPITRE 04

Avec :

$T_e = 160^\circ\text{C}$: température d'entrée de l'air chaud en $^\circ\text{C}$

$T_s = 130^\circ\text{C}$: température de sortie de l'air humide en $^\circ\text{C}$

$T_e = 25^\circ\text{C}$: température d'entrée de la boue en $^\circ\text{C}$

$t_s = 100^\circ\text{C}$: température de sortie de la boue en $^\circ\text{C}$

$$\Delta TLM = \frac{(160 - 25) - (130 - 100)}{\ln(160 - 25) - \ln(130 - 100)}$$

$$\Delta TLM = 69.81^\circ\text{C}$$

Le surface d'échange s'obtient par :

$$S = \frac{\Phi_{\text{échangé}}}{K \times \Delta TLM}$$

$$S = \frac{26326.97 \text{ kw}}{2 \text{ kw/m}^2 \text{ }^\circ\text{C} \times 69.81^\circ\text{C}}$$

$$S = 188.56 \text{ m}^2$$

soit une largeur de 4 mètre, on obtient une longueur de 47.14 mètre

Calcul de débit de l'air chaud de la soufflerie.

L'air chaud utilisé doit avoir une chaleur supérieure de 10% à celle requise pour le séchage.

Calcul de la chaleur de l'air de la soufflerie.

$$\Phi_{\text{air}} = \Phi_{\text{tot}}(1 + \Phi_{\text{tot}} * 10\%)$$

$$\Phi_{\text{air}} = 28959,67 \text{ kJ/s}$$

L'équipement est conçu de sorte que l'air pénètre avec une température de 160°C et quitte le dispositif sous une température de 130°C

Calcul du débit d'air pour le séchage.

L'air au niveau du dispositif ne change pas de phase. La chaleur perdue est une chaleur sensible.

CHAPITRE 04

$$\Phi_{\text{air}} = \dot{m}_{\text{air}} \cdot C_{p_{\text{air}}} \cdot \Delta T_{\text{air}}$$

Avec

Φ_{air} : chaleur de l'air

$C_p = 1.01 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$: capacité calorifique de l'eau entre 160 et 130°C.

ΔT : différence entre les température entrée sortie de l'eau

$$\Delta T = T_s - T_e$$

L'eau est admise à 25°C pour être chauffée à 100°C

$$\Delta T = T_s - T_e$$

$$\Delta T = 130 - 160$$

$$\Delta T = -30^\circ\text{C}$$

$$\dot{m}_{\text{air}} = \Phi_{\text{air}} / C_p \cdot \Delta T$$

$$\dot{m}_{\text{air}} = -28959.67 / 1.01 \cdot (-30)$$

$$\dot{m}_{\text{air}} = 955.76 \text{ kg/s}$$

Donc pour chauffer la boue de la STEP Mostaganem avec un débit de 919 m^3 , le sécheur approprié a les dimensions suivants :

S la surface d'échange = 188.56 m^2

La largeur = 4 mètre

La longueur = 49 mètre

Le débit de l'air chaud entrant = 955.76 kg/s

Conclusion Générale.

Le présent travail entre dans le cadre de la finalisation d'un master en génie des procédés option génie des procédés de l'environnement.

Il a été réalisé de manière théorique à cause de l'épidémie du Corona virus 19 qui nous a obligé à ne pas faire un stage pratique.

Ce travail est axé sur le séchage des boues obtenues dans les stations de traitement d'eau usée. Il est élaboré d'une proposition qui consiste à remplacer un desséchant organique acheté du marché international pour le remplacer avec un moyen local.

Le procédé, objet du présent travail, consiste en un séchage par usage de l'air chaud dans un sécheur à air forcé.

Le présent travail à consister, donc, en un dimensionnement du sécheur ainsi que toutes les parties technique s'y afférant. Les résultats trouvés sont :

- Forme du sécheur : parallélépidique.
- Surface totale d'échange : $188.56 m^2$.
- Dimension du sécheur : $L = 49 m$, $l = 4 m$.
- Débit de boues : $919 m^3/j$.
- Températures d'entrée et sorties des boues : (25 et 100 °C)
- Fluide caloporteur : air chaud.
- Nature de l'échange thermique : convection forcée
- Le débit de l'air chaud entrant = $955.76 kg/s$
- Températures d'entrée et sorties de l'air : (160 et 130 °C)

Néanmoins, ce travail dégage un certain nombre de perspectives qui sont

- Une étude technico-économique du coût pour réaliser ce sécheur et du coût de revient de la boue obtenue.
- Étudier la possibilité du sécheur en cascade.
- Étudier la possibilité du séchage solaire.

Bibliographie

- [1] Angélique LÉONARD (2003) « ÉTUDE DU SÉCHAGE CONVECTIF DE BOUES DE STATION D'ÉPURATION »
- [2] <https://www.wikipedia.org/>
- [3] ouvrage : Slim Zekri Editor (2020) « Water policies in MENA countries »
- [4] <https://ona-dz.org/>
- [5] Said Mohammed (2019) Traitement des eaux usées dans la ville de Mostaganem, état actuel et perspectives
- [6] LAKHALHouria, SEBBANE Abdelkrim (2019) Suivi des paramètres de pollution des eaux usées brutes et épurées au niveau de la STEP de Mostaganem
- [7] https://www.record-net.org/storage/etudes/99-0217-1A/rapport/Rapport_record99-0217_1A.pdf
- [8] CHEHBOUB Tarek (2007) Modélisation et contrôle des sècheurs rotatifs industriels.
- [9] ouvrage : Sécher des produits alimentaires. Techniques, procédés, équipements, GRETE, 19

Sources additifs :

- Yliniemi, Leena, Advanced control of a rotary dryer, doctor thesis, Department of Process Engineering, University of Oulu, FIN-90570 Oulu 1999 Oulu, Finland.
- van Brakel J Mass transfer in convective drying. In Mujumdar A S (ed) Proc.Drying'80. Hemisphere Publishing, Washington, USA, 1:217-267. (1980).
- Journal réflexion. Octobre 2016, Mostaganem,
- Journal officiel. Norme de rejets des eaux usées <http://www.jordp.dz>
- Ouvrage : KOLLER, E., (2009). Traitement des pollutions industrielles, Eau, Air, Déchets, Sols, Boues, 2^{ème} édition, Dunod.