



UNIVERSITE CADI AYYAD

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES

MARRAKECH

Département des sciences de la terre

LICENCE-ES SCIENCES ET TECHNIQUES

Option : Eau & Environnement

Mémoire de Fin d'Etudes

**Déshydratation (phase II) et valorisation
des boues issues des eaux usées traitées
dans la STEP de Marrakech**

Réalisé par : CHAKRAOUI Said & SALIK Ismail

Soutenu le 25/06/2013

Devant le jury composé de :

M^{lle} Yamina BOURGEOINI : Professeur, FST –MARRAKECH (Encadrante)

Mr. Ahmed OUMZITI: Responsable, WATERLEAU MARRAKECH (Encadrant)

Mr. Mohammed HIBTI: Professeur, FST –MARRAKECH (Examineur)

Sommaire

Remerciements

Dédicace

Liste des abréviations

Introduction.....	1
Chapitre I: Généralités sur la zone d'étude et fonctionnement de la STEP de Marrakech	2
I. Généralités sur la ville de Marrakech.....	3
II. Situation géographique de la STEP.....	4
III. Généralités sur les eaux usées.....	6
I. Filière eau.....	8
1. Traitement primaire.....	8
2. Trairement secondaire.....	10
3. Traitement tertiaire.....	11
II. Filière boue.....	14
1. Traitement des boues primaires.....	15
2. Traitement des boues secondaires	16
3. Traitement des boues mixtes.....	17
III. Filière biogaz.....	19
1. Désulfuration.....	19
2. Stockage de gaz dans le Gazomètre.....	19
3. Co-générateur et chaudières.....	20
IV. Désodorisation.....	21
Chapitre II: Déshydratation de la boue (phase II).....	22
A. Le Traitement des boues.....	23
I. Les procédés de traitement des boues.....	23
II. La déshydratation.....	23
1. La déshydratation par centrifugation.....	24
2. La déshydratation par séchage.....	25
3. La déshydratation par filtre à bande.....	26
III. Facteurs de la qualité des boues.....	27
1. Concentration (g/l).....	27
2. La siccité (%).....	28
B. Présentation, analyse des données et discussion des résultats.....	29

Chapitre III: Valorisation des boues.....	37
I. valorisation agricole et recyclage.....	38
1. Épandage.....	39
2. Compostage et séchage thermique.....	40
II. Mise en décharge.....	42
III. Incinération.....	43
IV. Co-incinération avec les ordures ménagères.....	48
Conclusion générale.....	49
Liste des figures.....	51
Bibliographie.....	53
Annexe.....	54

Remerciements

Nous tenant à remercier dans un premier temps, toute l'équipe pédagogique de la faculté des sciences et techniques et du département des Sciences de la terre.

*Nous tenant à remercier également notre encadrante **Yamina Bourgeoini** notre maître de stage qui nous a formé et accompagné tout au long de cette expérience professionnelle avec beaucoup de patience et de pédagogie.*

Nous remercions Mr Mohamed Hibti d'avoir accepté de juger notre travail.

*Nous remercions l'équipe de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Marrakech, en particulier **Mr Ahmed Oumziti** responsable de production adjoint (exploitation) ainsi que **Mr ichibane Mohamed** responsable de procédés-qualités (laboratoire) pour leurs conseils et pour avoirs répondu a toutes nos questions et nous remercions aussi tous le personnel de la STEP pour leur accueil sympathique et leur coopération professionnelle tout au long de notre période de stage.*

DEDICACE

Nous remercions ALLAH le tout puissant de nous avoir donné la foi et qui nous a permis d'en arriver là.

Je dédie ce travail, comme preuve de respect, de gratitude, et de reconnaissance à :

nos chères familles, pour leurs affection, patience, et prières.

Nos meilleurs amis pour leur aide, leur temps, leur encouragements, leur assistance et soutien.

Personnel de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Marrakech, qui nous ont aidés à améliorer nos connaissances en nous donnant informations et conseils.

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Merci infiniment.

Liste des abréviations

STEP : Station D'épuration Des Eaux Usées

RADEEMA : Régie Autonome De Distribution d'Eau Et d'Electricité De Marrakech

PNA : Programme National d'Assainissement

FeCl₃ : chlorure ferrique

H₂S : sulfure d'hydrogène

CH₄ : Méthane

UV : Ultra Violet

KVA : kilovolt-ampère

BE : boues épaissies

BF : boues flottés

BD : boues digérés

pH : Potentiel hydrogène

MS : Matière sèche

UIOM : l'usine d'incinération d'ordures ménagères

BTP : bâtiment et des travaux publics

Introduction

En cette fin de siècle, l'accroissement démographique et l'urbanisation que connaît le monde actuel engendrant une utilisation importante de l'eau qui se retrouve par la suite polluée et rejetée dans la nature sans traitement préalable. La pollution des ressources en eau menace non seulement la survie de l'homme mais toute vie sur la planète. Cette menace sera d'autant plus sérieuse dans les pays à climat aride, que vers l'an 2020 les ressources en eau mobilisables seront égales ou même inférieur au besoin de la population, de l'agriculture et de l'industrie. C'est le cas d'une façon générale des pays soumis aux aléas climatiques qui sont contraints de faire appel à une immobilisation et une gestion raisonnée de toutes leurs ressources hydriques et ce, à faible coût. La réutilisation des eaux usées au Maroc qui peut représenter actuellement un volume d'environ 400 millions de m³ semble être une voie forte prometteuse mais qui nécessite des mesures de traitement efficaces pour minimiser les risques sanitaire.

Les eaux usées sont collectées puis acheminées vers les stations de traitement où elles sont traitées. En fin de traitement, à la sortie de la station, l'eau épurée est rejetée vers le milieu naturel et il reste les boues résiduelles qui sont composées d'eau et de matières sèches contenant des substances minérales et organiques.

L'accroissement régulier du volume des boues générées par le traitement des eaux, lié à la fois au développement démographique et à l'extension urbaine représente des contraintes de plus en plus fortes pour les municipalités.

Traiter les boues d'épuration pour en réduire le volume et les transformer en un produit valorisable est une désormais une nécessité.

L'objectif de notre étude consiste à un suivi au niveau de la dernière phase du traitement des boues de la STEP : La déshydratation mécanique par filtre à bande : c'est un procédé mécanique qui a pour objectif d'éliminer une partie de l'eau contenue dans la boue.

La partie expérimentale, après avoir présenté la station, consiste en un suivi des paramètres qui influencent la déshydratation mécanique des boues notamment la siccité (principal objectif de notre travail), la matière sèche (MS).

Ensuite, une présentation des résultats obtenus durant les 15 jours du suivi, et pour terminer comme solution une présentation des différentes filières de valorisation des boues.

Chapitre I

Généralités sur la zone d'étude et Fonctionnement de la STEP de Marrakech

I. Généralité sur la ville de Marrakech:

1. Situation géographique de la ville:

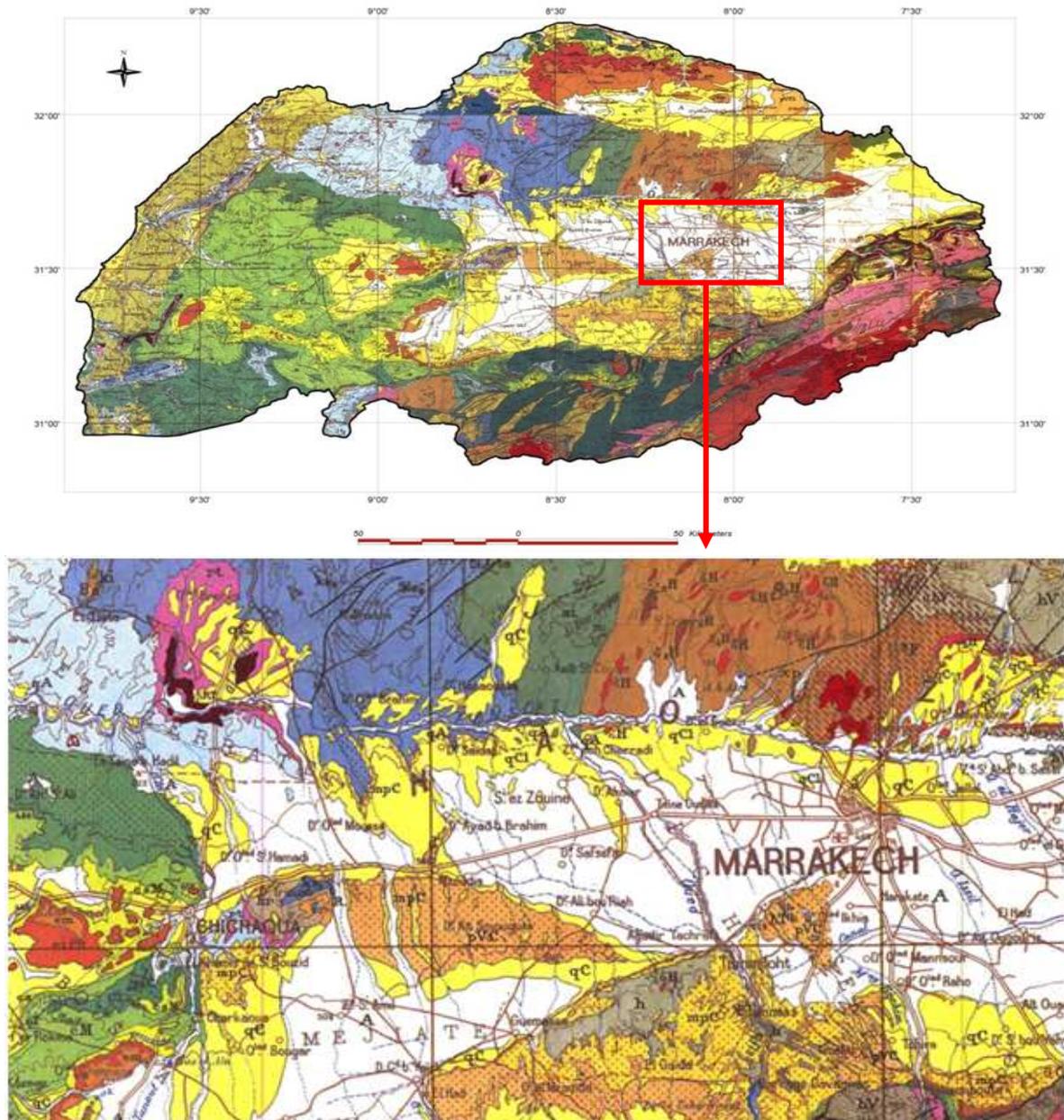


Fig.2: Carte géologique de la région de Marrakech 1/500000
(Ministère de l'énergie et des mines, direction de la géologie 1957)

La ville de Marrakech est la grande capitale de la région Marrakech Tensift Al Haouz. Située au pied du Haut -Atlas, la plus haute barrière montagneuse du Nord de l'Afrique, avec au sud les portes du désert et à l'ouest l'océan Atlantique. Marrakech bénéficie Ainsi d'une situation géographique stratégique, et d'un site d'une grande richesse naturelle. La Région Marrakech Tensift Al Haouz se situe au centre Ouest du Maroc, s'étendant sur une superficie

globale de 31 160 km² soit 4.4% de la superficie du Maroc. Elle englobe une population totale de 3.102 millions d'habitants soit 10% de la population nationale.

2. Climat et température:

À Marrakech, les hivers sont souvent frais le matin, mais les températures y montent très vite en pleine journée pour atteindre les 18 degrés en moyenne. Par la suite, le mercure chute très vite en soirée, pour y atteindre les 7 degrés. Les étés quant à eux sont très souvent torrides, et il n'est pas rare de voir le mercure dépasser la barre des 40 degrés. Le record de chaleur a été observé le 17 juillet 2012 avec 49,6°C. Les orages éclatent la plupart du temps vers les mois d'octobre et novembre, car un vent humide et assez rare, le Herrûrco, apparaît en automne, pour y apporter pluies et orages. Quant à l'hiver, il est assez humide et il n'est pas rare qu'il pleuve plusieurs jours de suite. Les montagnes de l'Atlas qui cernent la ville sont enneigées de novembre à avril en moyenne.

3. Pluviométrie:

Les précipitations sur la région de Tensift sont caractérisées par une grande variabilité spatio-temporelle et généralement faible. L'analyse des séries d'observation pluviométriques montre que la région du Tensift est caractérisée par l'occurrence de périodes de sécheresse plus ou moins longues.

II. Situation géographique de la STEP de Marrakech:

1. Localisation:

Avec une superficie totale d'environ 17ha, la station d'épuration de Marrakech se situe à 13km de Marrakech au niveau de la route national n°7. Le site de la station d'épuration est situé au nord-ouest de la ville de Marrakech, sur la rive gauche d'oued Tensift. Ce centre de traitement des eaux est délimité par la rive gauche de l'oued Tensift au Nord, la digue formée par la route de Safi à la traversée de l'oued Tensift à l'Est et la route des ferrailleurs et le douar Azib layadi au Sud.

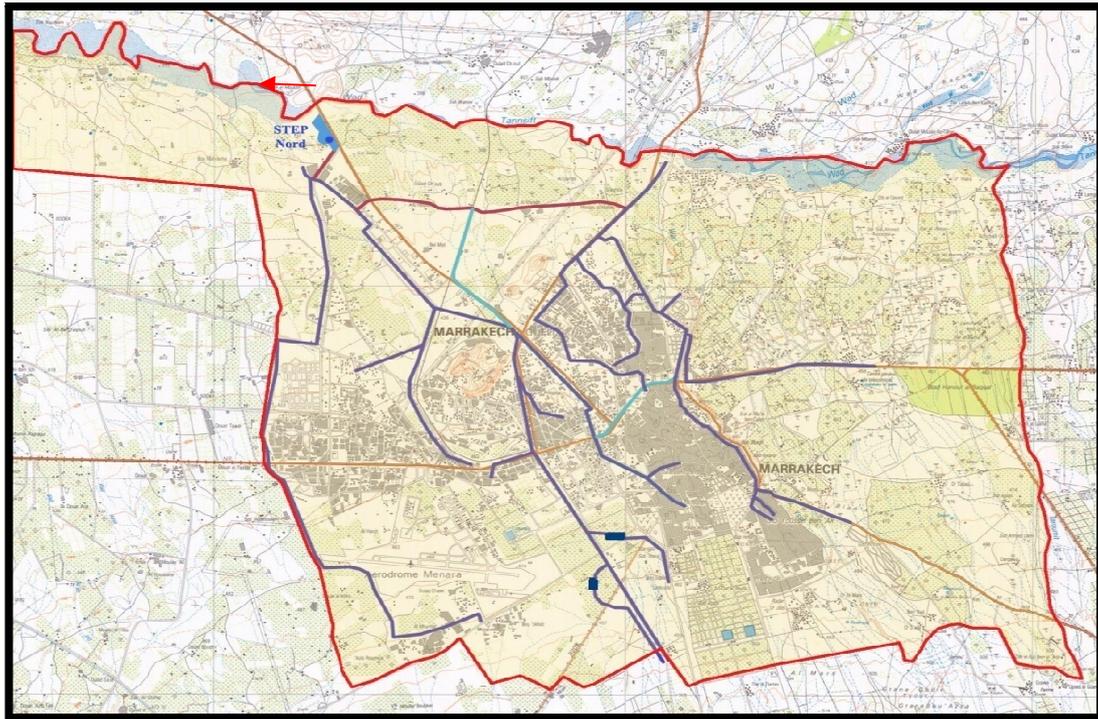


Fig. 3 : Carte de réseau d'assainissement du Marrakech. (www.radeema.ma)

2. Choix du site:

Le choix du site est motivé, d'une part par sa côte la plus basse qui permet la collecte et le transport gravitaire des eaux usées, et d'autre part, par sa situation très proche de la décharge contrôlée et aménagée pour l'évacuation des sous produits du traitement, à savoir, les boues déshydratées, le sable et les refus de grilles.

3. Objectif de la station d'épuration:

Marrakech est connu par ses grands jardins et ses luxueux golfs, mais ces derniers sont les plus grands consommateurs des eaux. Alors la réutilisation des eaux usées épuré permet à la fois de soulager les ressources naturelles et la protection des nappes phréatiques contre la contamination par les eaux usées non traitées. La STEP permet d'améliorer les conditions sanitaires par l'élimination des matières indésirables et toxiques, nocives à la santé humaine.

III. Généralités sur les eaux usées:

1. Définition:

Les eaux usées sont toutes les eaux chargées de différents éléments provenant de la population, mais aussi des activités commerciales et industrielles du fait qu'elles ont été utilisées pour le lavage ou les toilettes, qui sont de nature à polluer les milieux dans lesquelles elles seront déversées. C'est pourquoi, dans un souci de respect de ces différents milieux, des traitements sont réalisés sur ces effluents par le réseau d'assainissement urbain.

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

2. Eaux usées au Maroc :

Les volumes annuels des rejets des eaux usées ont fortement augmenté au cours des trois dernières décennies. Ils sont passés de 48 millions à 600 millions de m³ entre 1960 Et 2005 pour atteindre 700 millions en l'an 2010. Selon les prévisions, ces rejets continueront à croître rapidement pour atteindre 900 millions de m³ à l'horizon 2030.

Le Programme National d'Assainissement Liquide et d'Épuration des Eaux Usées (PNA), A été lancé en 2005, conjointement par le Département de l'Environnement et le Ministère de l'Intérieur et fixe les objectifs spécifiques pour l'horizon 2020 et 2030 suivants:

Atteindre un niveau de raccordement global au réseau de 80 % à l'horizon 2020 et 90 % à l'horizon 2030, Rabattre la pollution domestique de 80 % en 2020 et 90 % en 2030, Traiter et réutiliser 100% des eaux usées collectées en 2030.

3. Catégories des eaux usées:

Les eaux usées sont celles qui ont été utilisées et polluées par l'homme. Elles sont de plusieurs types :

- Les eaux usées domestiques :

Ces eaux proviennent des habitations. Il y a les eaux ménagères utilisées dans la cuisine ou dans la salle de bain, et les "eaux vannes" qui proviennent des toilettes.

- Les eaux usées industrielles :

Elles sont produites par les industries. Elles peuvent contenir des produits toxiques. En général, les industries doivent mettre en place leur propre système de traitement des eaux usées.

- Les eaux pluviales :

Ces eaux peuvent polluer les cours d'eau. L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air qui transporte les fumées industrielles et les gaz d'échappement des voitures. Aussi, en ruisselant, elle entraîne des particules polluantes, comme des traces d'huile de vidange ou de carburant.

Le traitement de l'eau au niveau de la station se fait selon deux phases :

La première phase :

Celle du prétraitement, consiste à faire passer les eaux usées dans une "fosse à bâtards" pour éliminer les déchets solides volumineux, avant qu'elles ne passent à travers un dégrilleur, qui les débarrasse des matières grossières et inertes.

Les eaux sont, dans un second temps, écoulées dans un ouvrage combiné qui permet de récupérer les matières les plus lourdes qui se déposent au fond (dessablage) et les flottants qui sont récupérés en surface (désuilage).

La seconde étape, celle de la décantation primaire gravitationnelle, consiste à laisser l'eau au repos dans trois bassins de décantation. Les matières en suspension tombent au fond du bassin, elles constituent des boues primaires qui sont évacuées vers la filière de traitement des boues (épaississeur).

La deuxième phase :

Cette phase regroupe le traitement secondaire qui consiste en un traitement biologique des eaux. Ce traitement repose sur l'activité de bactéries qui vont se nourrir des matières organiques encore présentes dans l'eau. L'eau est ensuite laissée au repos dans quatre clarificateurs circulaires. L'eau et les boues biologiques s'y séparent par un processus naturel de décantation, les boues sont conduites vers les flottateurs alors que l'eau claire sort par les goulottes de débordement.

Le traitement tertiaire, se fait en trois étapes : une coagulation floculation suivie d'une filtration rapide dans une batterie de 20 filtres sur lits de sable avant une désinfection à l'ultraviolet. L'eau est chlorée et envoyée vers la lagune en dernière étape du traitement.

I. Filière eau :

1. Traitement primaire :

1.1. Prétraitement:

Les opérations du prétraitement sont manuelles, Il vise à éliminer les corps flottants, les graviers et les corps gras, qui pourront poser des problèmes au cours des étapes suivantes ou causer des dommages aux équipements, s'ils ne sont pas éliminés.

1.2. Dégrillage:

Permet de débarrasser les eaux usées des déchets les plus volumineux. Pour ce faire, les eaux passent à travers 3 grilles dont l'inter grille varie suivant l'ordre d'agencement de ces dernier. Ils sont soit de l'ordre de 20, 10 et 1cm, ils empêchent les éléments dont le diamètre est supérieur à ces valeurs de rejoindre le cours d'eau.



Fig.4: dégrillage fin (10cm)



Fig.5: dégrillage grossier (20cm)



Fig.6: dégrillage fin (1cm)

1.3. Dessablage et le déshuilage:

Cette étape a pour but d'éliminer les particules des sables ainsi que les graisses. Le dessablage se fait par l'injection d'air sur pressé, On insuffle de l'air qui provoque une rotation de liquide et crée ainsi une vitesse constante de balayage du fond, perpendiculaire à la vitesse du transit, laquelle, beaucoup plus faible, peut alors être variable sans inconvénient. Le sable est extrait directement par pompe suceuse montée sur pont roulant vers un poste de réception. Le déshuilage-dégraissage se rapporte à l'extraction de toutes les matières flottantes d'une densité inférieure à celle de l'eau. Ces dernières sont raclées en surface, à l'aide d'un pont racleur fonctionnant en cadence-durée, et déversées ensuite dans une goutte puis transférées afin d'être traitées.



Fig.7: déshuileur-déssableur

1.4. Décanteurs :

L'eau prétraitée est envoyée depuis déssableurs- dégraisseurs vers un répartiteur primaire qui alimente trois décanteurs.

Leurs objectif est d'éliminer les particules dont la densité est supérieure à celle de l'eau par graviter. La vitesse de décantation est en fonction de la vitesse de chute des particules, qui elle-même est en fonction de divers autres paramètres parmi lesquels : grosseur et densité des particules.

Les décanteurs primaires sont de forme cylindro-conique. Ce type présente l'avantage d'une meilleure diffusion hydraulique par un système de raclage qui ramène les boues au

centre de l'ouvrage « puits à boues » où elles sont reprises par pompage vers le traitement des boues.

Les pompes refoulent les boues directement sur les épaisseurs à partir des puits à boues situés au centre des décanteurs.

Après obtention de deux phases, les boues sont envoyées vers les épaisseurs et les eaux vers le répartiteur secondaire.



Fig.8: Décanteur

2. Traitement secondaire :

Les eaux provenant des décanteurs sont récupérées par le répartiteur secondaire (chambre 1) est dirigées vers les bassins biologiques.

2.1. Bassins biologiques :

L'épuration par boues activées consiste à mettre en contact les eaux prévenant des décanteurs avec un mélange riche en bactéries par brassage avec de l'air sur pressé pour dégrader la matière organique en suspension ou dissoute. Le traitement permet la dégradation des impuretés grâce à l'action d'une biomasse épuratrice, à laquelle doit être fourni l'oxygène nécessaire à son développement, ensuite les eaux vont être dirigées vers un bassin plus calme qui va leur permettre de se stabiliser afin que les gaz piégés le CO_2 , O_2 , N_2 . Entre les particules puisse s'échappé.

Après le dégazage, l'eau va être conduit vers le répartiteur secondaire (chambre2) qui va le distribué vers les bassins de décantation secondaire (clarificateur)



Fig.9: Bassin biologique

2.2. Les clarificateurs :

L'eau provenant des bassins biologiques va être clarifié et séparé des boues par simple décantation. Il s'agit de 4 clarificateur qui reçoivent chacun la même quantité d'eau. L'eau purifiée est suffisamment propre pour être renvoyer dans le milieu naturel mais ca ne concerne qu'une partie de l'eau, pour l'autre partie qui est destinée à l'irrigation des golfs de la région les critères de pureté de ces eaux son alors plus sévères l'eau est envoyer vers le traitement tertiaire.

3. Traitement tertiaire

3.1. Coagulation-Floculation :

La coagulation-floculation est un procédé de traitement physico-chimique d'épuration des eaux. Les eaux arrivent aux deux bassins de coagulation dont lesquelles on utilise le chlorure ferrique $FeCl_3$ pour la coagulation, quand le volume du bassin est dépassé les eaux passent dans les deux de floculation qui utilise des polymères pour entourer la boue, ils sont situés des deux cotés de chaque bassin de coagulation. Depuis les bassins de floculation en passe au système de filtration, composé de deux modules divisés en cinq chambres de filtration. Le sables situes aux fond filtre l'eau et retient les boues.

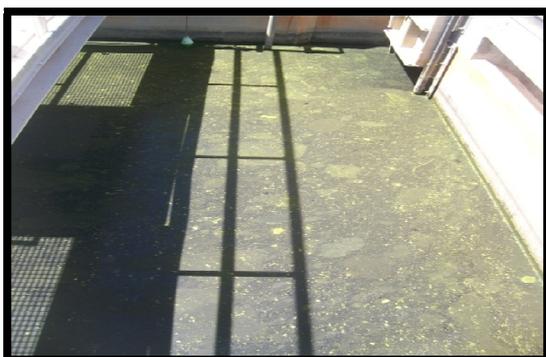


Fig.10: coagulation

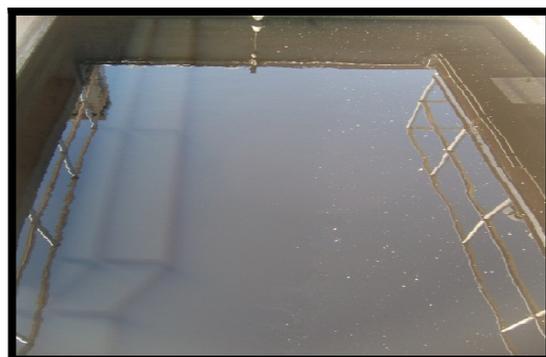


Fig.11: floculation

3.2. la filtration à sable :

Depuis les bassins de floculation en passe au système de filtration, composé de deux modules divisés en cinq chambres de filtration en somme dix filtres à la fin. Le sable situé aux fond filtre l'eau et retient les boues, Les filtres fonctionnent par cycles de travail productif et de phases de régénération par lavage du sable.

La filtration est succédée par une étape de lavage des surcuits à sable. Il se fait on deux phases:

La première dure 10 min dans laquelle se fait le vidage de la chambre jusqu'au niveau du matériau filtrant. Après, le décolmatage par injection simultanée d'air et d'eau, afin de ne pas mettre en expansion le matériau filtrant et ainsi de ne pas aboutir à un classement granulométrique, concentrant les fines du milieu granulaire en surface. Suit d'une deuxième phase dont on fait le rinçage à l'eau seule durant 5 à 10 min.



Fig.12: Filtre à sable vide



Fig.13: Filtre à sable plein

3.3. Désinfection Ultra Violet :

C'est l'étape où il y a l'élimination de tous les micro-organismes présents dans l'eau.

L'installation de désinfection par UV est constituée de deux lignes fonctionnant en parallèle et comprenant chacune deux unités de traitement en série. Chacune des lignes peut être isolée

en manœuvrant sa vanne d'alimentation amont. L'eau en excès contourne alors la section isolée et se déverse directement du chenal dans la fosse d'eau filtrée.



Fig.14: Désinfection ultra violet

3.4. chloration :

Représente le dernier traitement que subit l'eau avant d'être stocker pour l'irrigation. Cette étape a pour but d'assurer l'épuration de l'eau des micro-organismes, également pour le rendre plus clair. L'injection du chlore se fait via deux rampes d'injection.

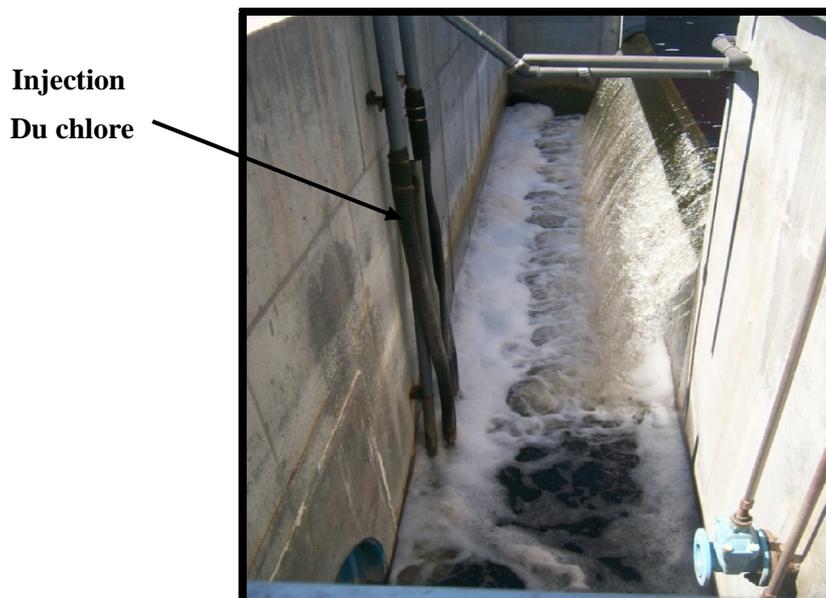


Fig.15: la chloration

1. Traitement des Boues primaires :

1.1. Décanteur

L'eau prétraitée est envoyée depuis déssableurs- dégraisseurs vers un répartiteur qui alimente trois décanteurs primaires.

Leurs objectif est d'éliminer les particules dont la densité est supérieure à celle de l'eau par graviter. La vitesse de décantation est en fonction de la vitesse de chute des particules, qui elle-même est en fonction de divers autres paramètres parmi lesquels : grosseur et densité des particules.

Les décanteurs primaires sont de forme cylindro-conique. Ce type présente l'avantage d'une meilleure diffusion hydraulique par un système de raclage qui ramène les boues au centre de l'ouvrage « puits à boues » où elles sont reprises par pompage vers le traitement des boues.

Les pompes refoulent les boues directement sur les épaisseurs à partir des puits à boues situés au centre des décanteurs.

1.2. Epaississeur :

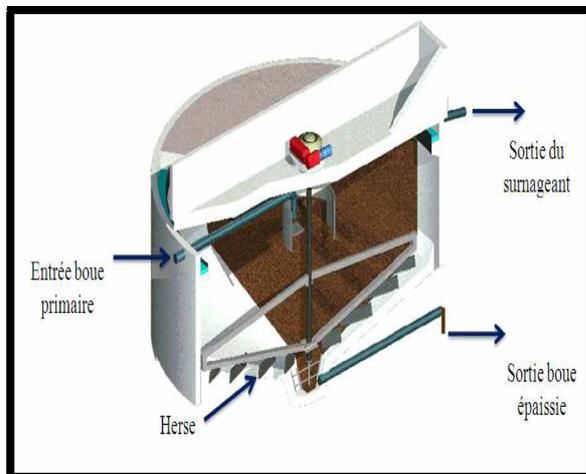


Fig.17: Coupe transversale



Fig.18: Epaississeur

La fonction de cet ouvrage est d'augmenter la concentration des boues en vue de les envoyer vers la digestion avec une concentration suffisante (entre 50 et 70g/l) on les séjournant pendant quelques heures.

Elles sont dirigées par la suite vers le centre de l'épaississeur par un raclage au fond pour les extraire vers le digesteur. La surverse des eaux s'écoule vers le poste toutes eaux.

2. Traitement des Boues secondaires :

2.1. Clarificateurs :



Fig.19: Clarificateur

Le mélange «eau – boue» issu du bassin d'aération est mis au repos dans le clarificateur. Les boues plus lourdes que l'eau se déposent au fond du bassin par décantation et sont aspiré par un pont tournant. La partie des boues non décanter est raclés en surface par le même pont tournant. Une partie des boues retourne vers les bassins biologiques afin de maintenir en quantité suffisante la masse bactérienne active, le reste est acheminé vers les flottateurs.

2.2. Flottateur :

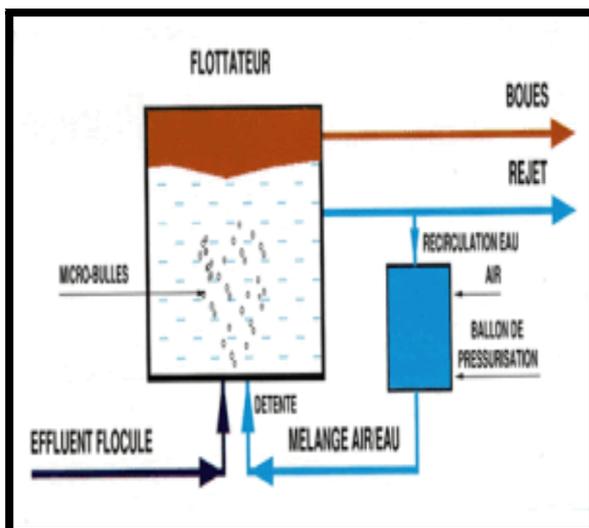


Fig.20: principe de la flottation



Fig.21: Flottateur

L'épaississement des boues biologiques est réalisé par 2 flottateurs à pressurisation indirecte. Les boues préalablement conditionnées avec du polymère (avec une concentration de 2g/l) sont admis dans le flottateur via une cheminée centrale assurant le mélange avec de

l'eau pressurisée. Les boues flottées s'agglomèrent à la surface du flottateur jusqu'à former une couche épaisse. Celles-ci sont récupérées via une coupe tournante se déplaçant sur la périphérie de la cuve.

3. Traitement des boues mixtes :

3.1. Digesteurs :

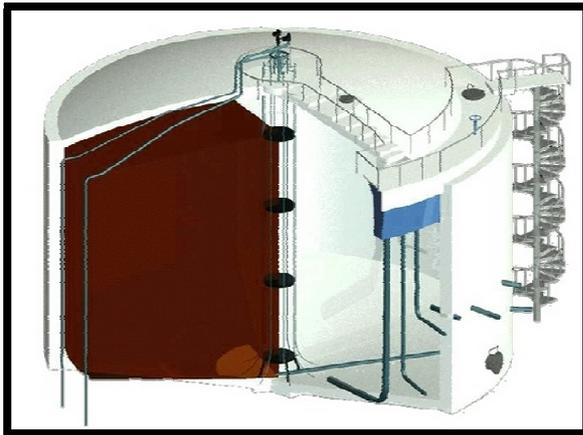


Fig.22: schéma du digesteur



fig.23: digesteur

Les boues sont extraites par pompe des épaisseurs et les flottateurs, et dirigées directement vers les digesteurs phase 1 et phase 2.

Les boues sont stabilisées par digestion anaérobie qui est une fermentation en absence d'oxygène, il en résulte l'élimination d'une quantité très importante de matière organique via des bactéries mésophiles. Par ailleurs, la digestion anaérobie produit du biogaz qui peut être récupéré pour chauffage par l'intermédiaire d'une chaudière ou production d'énergie électrique par des cogénérateurs. Les paramètres essentiels sont le temps du séjour et la température. Il est prévu une digestion mésophile (37°C) sous condition d'un brassage efficace, avec un temps de séjour de 21 jours.

3.2. Stockeur :

Les boues digérées s'écoulent par gravité depuis des digesteurs vers une unité de stockage de forme circulaire. Afin d'admettre en déshydratation des boues de qualité homogène, le stockage aval a également pour fonction de mélanger les boues primaires et secondaires avant leurs déshydratation par l'intermédiaire d'une agitation puissante.



Fig.24: stockeur

3.3. Déshydratation :



Fig.25 : filtre à bande

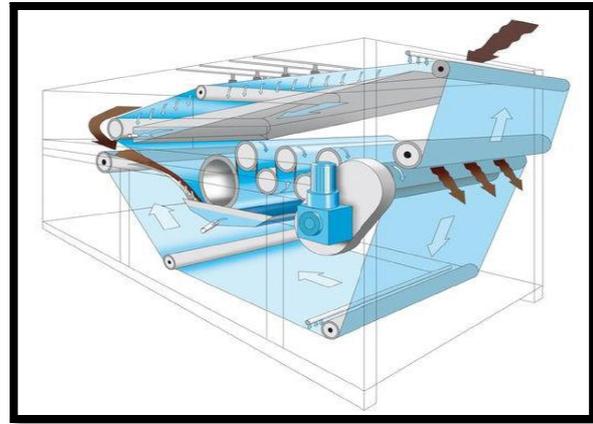


Fig.26: schéma d'un filtre à bande

Les boues stockées sont envoyées vers les filtres abondes pour être déshydrater.

L'alimentation des filtres à bande se fait par 2 pompes. La boue est entrainé entre deux filtre bande en bénéficiant du pressage progressive entre les toiles de la machine, la pression effectué on plus de l'ajout du polymère permet l'infiltration de l'eau en dehors du système. Les eaux issues du traitement des boues sont renvoyées vers le prétraitement.

III. Filière biogaz :

Le digesteur constitue l'étape initiale de la formation du biogaz. La fermentation de la boue mixte permet la formation du gaz qui occupe 1/3 du volume du digesteur, une partie du biogaz sera comprimée et reviendra vers le digesteur par les 16 cannes de brassage pour permettre le mélange entre la biomasse et la matière organique tandis que l'autre moitié se dirigera vers le désulfure.

1. Désulfuration :

Cette analyse comporte deux phases : une physico-chimique et une biologique.

La phase 1 (Thiopaq) utilise un processus physico-chimique qui consiste à asperger, le gaz entré par en dessous, par une douche de soude qui fait décomposer les grosses molécules en particulier le sulfure d'hydrogène H_2S .

La phase 2 (biogaz clean) la dégradation du sulfure se fait par un processus biologique, utilisant des bactéries qui dégradent les molécules d' H_2S en coupant les liaisons.



Fig.27: désulfuration

2. Stockage de gaz dans le Gazomètre :

Dans la station il ya deux gazomètres qui servent au stockage du méthane CH_4 prévenant de la désulfuration.

Les gazomètres emmagasinent des grandes pressions, du fait de la mise en place de plusieurs systèmes de sécurité :

- La plus grande partie est utilisée dans les Co-générateurs.
- la chaudière permettant de chauffer l'eau nécessaire à l'échangeur de chaleur.
- L'excès du CH_4 est brûlé dans les torchères.
- Des soupapes libèrent le gaz depuis les digesteurs.



Fig.28: Gazomètre

3. Co-générateur et chaudières



Fig.29: Co-générateur

La station utilise quatre Co-générateurs qui travaillent en alternative et génèrent 40% à 50% des besoins de la station d'épuration des eaux usées de Marrakech en électricité soit 800KVA (kilovolt-ampère). L'électricité produite doit être synchronisée avec celle fournie par la RADEEMA (régie autonome de distribution d'eau et d'électricité Marrakech) en permanence. Les chaudières alimentées par les Co-générateurs sont utilisées pour augmenter la température des boues à 37° à l'entrée des digesteurs.

IV. Désodorisation :

Avant leur retour à l'air libre. L'air vicié est aspiré dans les bâtiments recouvrant certains ouvrages de dépollution, puis dirigé vers les locaux de désodorisation. Dans ces installations, on procède à un lavage qui débarrasse l'air des éléments malodorants, exactement comme pour l'eau, les techniques utilisées soit physico-chimie soit biologique soit combinées entre les deux.

- **Traitement biologique :**

L'air est injecté grâce à un ventilateur d'une capacité de 15000 m³/h. C'est un procédé où l'air passe à travers une tour humide bactérienne. Il est traité par biofiltration, sur un lit de média filtrant arrosé d'eau permettant le développement des bactéries. L'air à traiter circule de bas en haut.

- **Traitement chimique :**

Le principe de fonctionnement de chaque tour est identique. Un bain, constitué d'eau adoucie (ou d'eau potable) et de réactifs chimiques (fonction du gaz à éliminer) est placé dans le pied de la tour. Il est relevé par une pompe de recirculation jusqu'à des rampes d'aspersion situées au sommet de la tour. L'air vicié traverse la tour de bas en haut. Il est dépollué par contact avec la " douche " de lavage.

Chapitre II :

Déshydratation de la boue (phase II)

A. le traitement des boues

I. Les procédés de traitement des boues :

Le principal objectif du traitement des boues en station d'épuration est d'en réduire le volume pour limiter les quantités à stocker, et de les stabiliser pour en améliorer les caractéristiques physiques. En effet, leur forte teneur en eau et les fortes populations bactériennes qui s'y retrouvent en font un bouillon de culture favorable à la dégradation de la matière organique fraîche et très fermentescible qu'elles contiennent, avec production de mauvaises odeurs.

Le premier stade du traitement des boues est la réduction importante du volume des boues issues des traitements biologiques ou physico-chimiques des effluents urbains et industriels. Pour pouvoir optimiser aussi bien le dimensionnement que la fiabilité, la sécurité et la régularité d'exploitation des postes de traitement situés en aval, le stade de concentration préliminaire de la boue va jouer un rôle primordial et il faut obtenir le taux d'épaississement le plus élevé possible. Pour cette raison deux techniques sont utilisées :

- L'épaississement gravitaire pour les boues primaires.
- L'épaississement par flottation pour les boues secondaires.

La deuxième étape de traitement est la digestion anaérobie qui consiste en une dégradation de la matière organique contenue dans les boues issues des épaisseurs en absence d'oxygène, sous une température de 37°C à l'abri de la lumière par l'action combinée de plusieurs microorganismes. Cette technique conduit à la production d'un mélange gazeux 'biogaz' et de la boue digérée.

La boue digérée dont la concentration est de 36 g/l est homogénéisée par des agitateurs avant de passer à la déshydratation.

II. La déshydratation :

La déshydratation constitue le dernier traitement de la boue elle constitue l'étape de réduction du volume des boues au cours de laquelle on réalise sur les boues une élimination plus ou moins poussée de leur humidité résiduelle de façon à les amener à l'état solide ou au moins pâteuse.

Les différents types de déshydratation :

1. La déshydratation par centrifugation :

La centrifugation, appliquée pour l'essorage des boues, met en œuvre des machines du type décanteuse continue à axe horizontal, constituées d'un bol plein tournant à grande vitesse, séparant les phases solides et liquides, et d'une vis racleuse qui permet l'extraction en continu des boues déshydratées.

Cette étape du traitement permet de diminuer le volume des boues en évacuant l'eau industrielle en centrifugeant les boues. Elle permet d'augmenter ainsi la siccité finale des boues : ces boues ont alors un aspect pâteux.

Le retour du liquide extrait appelé centras se fait vers la tête de la station. Les boues déshydratées pâteuses sont reprises par la vis racleuse sous la centrifugeuse puis par une pompe qui les refoule vers la serre de séchage des boues.

Les avantages de la centrifugation sont résumés ci-après :

→ Il s'agit d'une technique particulièrement adaptée aux boues difficiles à traiter (cas des boues urbaines huileuses par exemple, qu'elle décante bien, tout en assurant une séparation quasi-totale des insolubles) ;

→ Le faible encombrement des machines, permet de réaliser des unités d'essorage très compactes d'où une économie importante en surface de bâtiments ;

→ L'exploitation de la machine ne nécessite aucune supervision directe et, comme la centrifugation s'effectue en enceinte fermée, les conditions de travail sont parfaitement hygiéniques.

→ À capacité de production horaire égale, le coût d'investissement actuel s'avère très compétitif par rapport à celui des installations de filtration. Quelques inconvénients notoires cependant.

→ Obtention de sédiments d'extraction parfois de faible consistance, difficiles à pelleter.

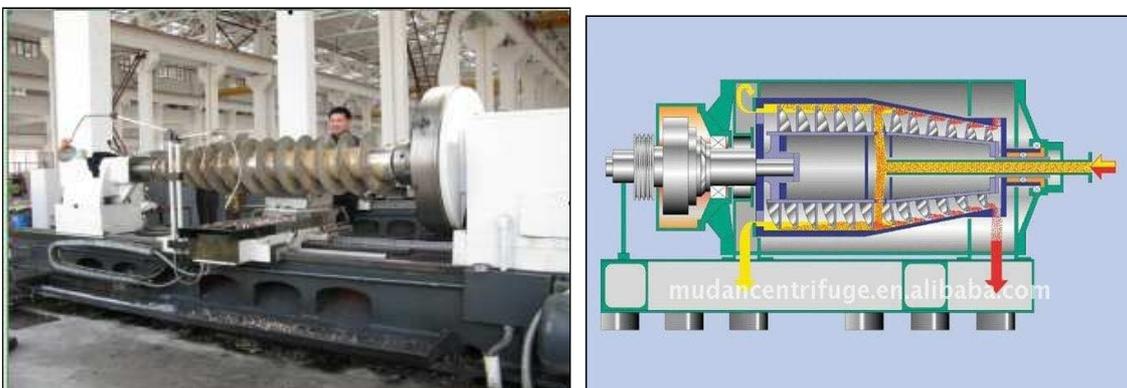


Fig.30 : centrifugeuse

2. La déshydratation par séchage :

Le séchage est un des procédés de traitement des boues qui consiste à éliminer une grande partie ou en totalité l'eau par évaporation. Il est rendu nécessaire par les limitations rencontrées de la déshydratation mécanique des boues. Les boues ont un comportement spécifique qui influe sur les procédés thermiques de séchage. Ce comportement dépend de la siccité atteinte.

De manière générale, la chaleur se transmet de trois manières différentes : la conduction, la convection et le rayonnement. Appliqués aux boues, ces modes de transmission de chaleur vont se traduire par des technologies différentes parmi lesquelles:

Le séchage solaire : Le séchage solaire repose sur la mise en contact, sous une serre, d'un air régulièrement renouvelé et d'une boue étalée sur une dalle béton et brassée mécaniquement. Entre l'entrée et la sortie de la serre, l'air s'enrichit en vapeur d'eau, aux dépens de la boue qui s'assèche. Un système de ventilation assure le renouvellement de l'air afin d'évacuer la vapeur d'eau issue de la boue. La quantité d'eau évaporée dépend à la fois des caractéristiques de l'air (température, humidité), et de celles de la boue (température, humidité, propriétés mécaniques).

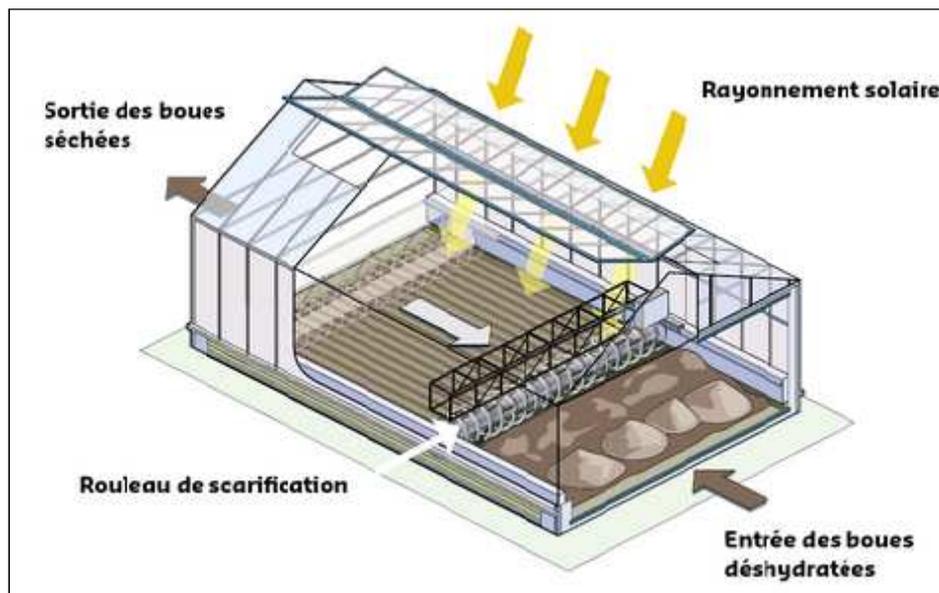


Fig.31 : serre de séchage

Le séchage thermique : On se basant sur deux méthodes : directe et indirecte, Le séchage thermique est utilisé pour atteindre des teneurs en matières sèches au voisinage de 90 à 95%.

Séchage direct :

Dans ce type de sécheur la boue est mise en contact direct avec la source de chaleur qui peut être de l'air chaud ou de la vapeur surchauffée.

Séchage indirect :

La boue est séparée de la source de chaleur qui est constituée de parois chauffées par un fluide caloporteur.

Cette opération présente de nombreux avantages, tant en amont d'une valorisation énergétique que d'une valorisation agricole :

- Réduction de la masse et du volume, et par conséquent diminution des coûts de stockage, manutention et transport.
- Obtention d'un granulé facilement manipulable.
- Transformation de la boue en un combustible dont le pouvoir calorifique dépend du niveau de siccité.
- Stabilisation et hygiénisation du produit lorsque la température de séchage est suffisamment haute.

3. La déshydratation par filtre à bande :

La technique de filtre à bande a connu un intérêt croissant ces dernières années, surtout pour le traitement des boues issues de stations urbaines ou industrielles de petite et moyenne importance. Elle doit essentiellement son développement aux progrès accomplis dans la floculation des boues par l'emploi mesuré des polymères organiques de synthèse les mieux adaptés.

Le filtre à bande est particulièrement indiqué dans les cas où il est nécessaire d'obtenir une réduction sensible de la teneur d'eau dans la boue, Il est généralement installé en aval des lignes de traitement des boues.

À l'aide d'un polymère, la boue est floculée avant d'entrer dans le filtre à bandes. Quand il est ensuite pompé sur la bande, une étape de filtration est réalisée. Le suivant est une étape de presse étendu, dans lequel l'eau est pressée à travers la bande, La bande presseuse emprisonnera la boue, déjà suffisamment consistante, sur la première partie de la bande filtrante et l'essorage se poursuivra par l'application de pressions progressivement plus fortes, à l'aide de rouleaux agissant sur la bande presseuse. Éventuellement les boues tomberont de la bande en forme d'un gâteau. Ce gâteau est solide et légèrement humide, ce qui permettra une réduction importante sur les coûts de transport.

En utilisant les matériels performants de la dernière génération, on peut sur les boues organiques hydrophiles (boues biologiques urbaines et industrielles) obtenir une siccité de gâteau de 25 % avec une consommation de flocculant cationiques (polymère) de 5 kg/t MS de la boue.

Les avantages de la filtration à bande :

- Réduire les volumes de boues transportées.
- Faible consommation de polymère.
- La possibilité de réutilisation des boues pour éviter la mise en décharge.
- la réduction des volumes des boues afin de minimiser l'espace occuper au cas de la mise en décharge ainsi que le nombre de voyage vers cette dernière.
- Qualité des boues intermédiaires, la siccité dépasse les 20 %.



Fig.32: Filtre à bande

III. Facteurs de qualité des boues :

Les analyses suivantes sont très importantes pour le suivi de la qualité d'une boue :

1. La concentration (g/l) :

Il s'agit de La concentration en matières sèches exprimée généralement en g/L pour des boues liquides. Elle est obtenue par séchage à 105 °C pendant 24h d'un échantillon de boue ensuite pesée.

Mode opératoire :

- Pesés des coupelles :

Les échantillons sont placés dans des cupules en aluminium. Ces coupelles sont pesées à vide, on obtient le poids P1.

- Volume d'échantillon :

Un certain volume V d'échantillon (100 ml) est placé dans chaque cupule, qui est alors placée à l'étuve à 105° pendant toute la nuit. Le lendemain les échantillons sont mis dans le dessiccateur une demi-heure. Ils sont ensuite pesés, on obtient le poids P2.

- Calcul des MS :

$$MS = \frac{P2-P1}{V} * 1000$$

2. La siccité (%):

Lorsque la concentration en matière solide devient trop importante, l'échantillon devient pratiquement solide (il n'est pas possible de mesurer précisément un volume) on mesure alors la siccité, qui correspond au pourcentage de matière sèche dans l'échantillon frais.

Mode opératoire :

- Pesée des coupelles :

Les échantillons sont placés dans des cupules en aluminium. Ces coupelles sont pesées à vide, on obtient le poids P1.

- Pesée de l'échantillon :

Une certaine quantité d'échantillon (100g) est placée dans chaque coupelle, qui sont alors pesées on obtient le poids P2. Les sont alors placés à l'étuve à 105° pendant toute la nuit. Le lendemain les échantillons sont mis dans le dessiccateur une demi-heure. Ils sont ensuite pesés, on obtient le poids P3.

- Calcul de la siccité :

$$S = \frac{P3-P1}{P2-P1} * 100$$

B. présentation, analyse des données et discussion des résultats

La siccité

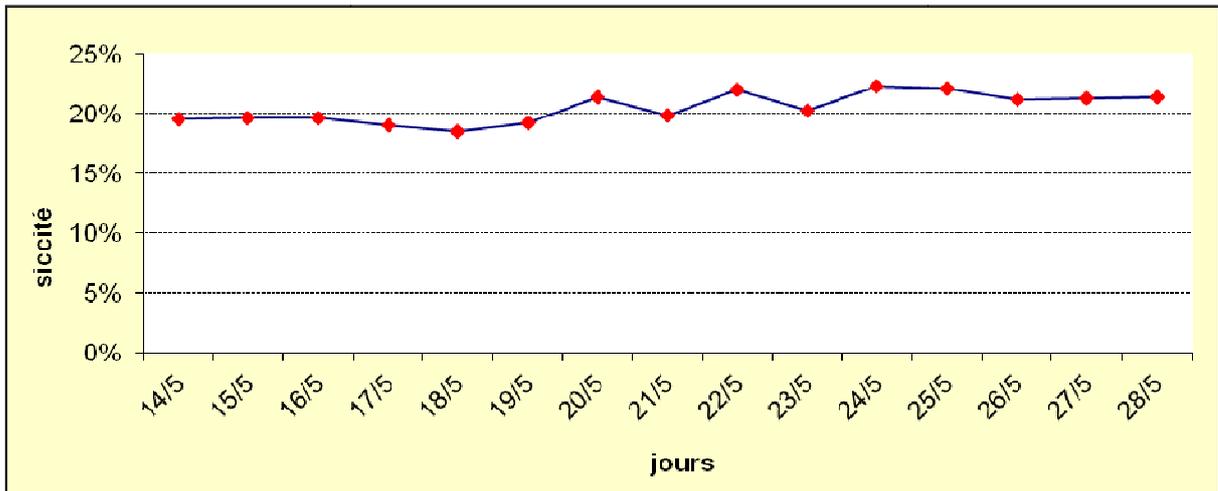


Fig.32 : la siccité des boues déshydratées

La siccité obtenue durant les 15 jours de notre suivi varie entre 18,49% et 22,33% donc une humidité entre 81,51 et 77,67. La présence d'une quantité importante de l'eau signifie que la boue contient une grande majorité des agents pathogènes.

La mise en décharge d'une boue pareille risque de libérer une quantité importante de lixiviat et par conséquent de polluer la nappe donc il faut atteindre une siccité de 25% pour minimiser se risque de contamination et aussi minimiser les coûts de transport et l'espace occupé.

Pour remédier à ce problème de siccité nous avons proposé deux hypothèses.

1. Première hypothèse :

On propose de remédier à ce problème par un test au niveau du polymère injecté au niveau de la déshydratation pour essayer d'identifier le type de polymère qui donnera la meilleure siccité avec une consommation de polymère optimale.

Dans la station on utilise deux types de polymères (CP46 et S40), pour l'amélioration de la siccité on a procédé à un test pour déterminer le quelle de ces deux types donnera une meilleur siccité avec un dosage réduit.

- Objectif :

Comparaison des performances des polymères S40 et CP46 et détermination du taux de traitement optimum en vue d'une déshydratation sur boues digérées.

- Mode opératoire :

Préparation de la solution du polymère :

Préparation de deux solutions-mères à 3 g/l. - Temps de maturation : 1h

Volume de boue dans chaque béccher : 150 ml

Agitation à 160 tr/min au cours de l'injection pour favoriser la dispersion

Une fois la solution préparé on fait le dosage de 150 ml de boue digérés avec différentes volumes de polymères.

L'objectif de ce test consiste à faire transvaser chaque échantillon dans deux bécchers afin d'obtenir une bonne floculation.

Après avoir déshydraté chaque échantillon à l'aide d'un torchant on calcule leurs siccité, les résultats obtenues sont présenter dans les tableaux suivants :

Tab.1 : les résultats obtenus avec le polymère CP46

type de polymère	CP46									
Volume (ml)	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Siccité (%)	12,935	13,685	15,149	15,494	14,448	15,213	15,503	16,016	17,505	17,590
Turbidité(NTU)	22,1	29,7	16,3	17,4	37,5	27,2	34,5	55	38,8	51,3
LPE/ (18m ³ Bo/h)	864	1008	1152	1296	1440	1584	1728	1872	2016	2160

type de polymère	S40									
Volume (ml)	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Siccité (%)	14,281	18,461	17,618	17,107	16,774	17,639	18,179	20,030	19,844	17,036
Turbidité(NTU)	58	19	16,6	35,9	29,5	23,4	22,9	19,5	24,9	24
LPE/ (18m ³ Bo/h)	864	1008	1152	1296	1440	1584	1728	1872	2016	2160

Tab.2 : les résultats obtenues avec le polymère S40



Fig.33 : aspect de la floculation

Analyse et interprétation :

Au vu des ces quelques manipulations, il semble que le polymère S40 soit plus adapté à la boue digérée actuellement reçue sur la station, tant par la qualité du surnageant obtenu que par la siccité limite que l'on peut en tirer (20,03%). D'autre part, les floccs semblent de meilleure tenue et auront une meilleure aptitude à se filtrer dans les filtres à bandes.

Les performances obtenues avec un taux de traitement de 26ml/150ml de boue semblent être la meilleure aptitude à la décantation et également sur la qualité du surnageant.

La siccité reste toujours inférieure à 25% donc le type de polymère injecté n'est pas le seul facteur responsable de la faible teneur de la siccité.

2. Deuxième hypothèse :

Durant cette étude, nous avons suivi l'évolution des paramètres influençant la siccité des boues au niveau de la déshydratation tels que la concentration des boues épaissies, les boues flottées et les boues digérés.

Les concentrations idéal pour atteindre la siccité espérer :

- Boues Epaissies : 70 g/l
- Boues Flottées : 45g/l
- Boues Digérée : 36 g/l

La concentration des boues :

- la boue épaissie :

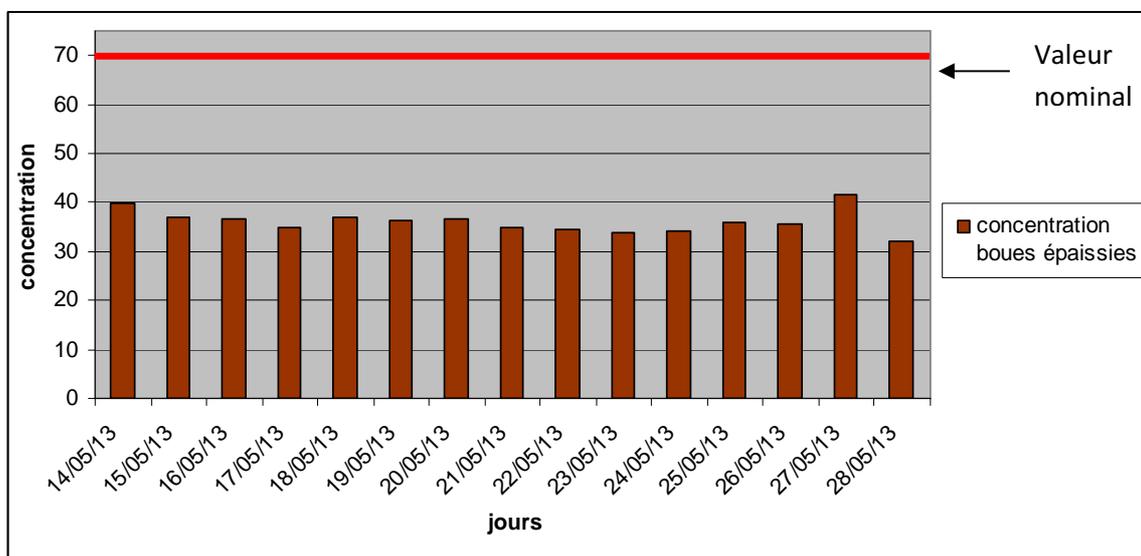


Fig.34 : variation journalière de la concentration des boues épaissies

L'épaississement est la première étape de traitement des boues issues de la décantation primaire elle consiste à diminuer leurs volume ainsi qu'augmenter leurs concentrations afin de les envoyées vers des digesteurs pour qu'elles soient digérées

D'après le graphique ci-dessus nous remarquons que les concentrations des boues épaissies sont très faibles, ces valeurs des concentrations montre des variations qui passent de 31,9 g/l

comme valeur minimale le 28/5, jusqu'à 41,9g/l le 27/5 comme valeur maximale. Même avec cette concentration on ne dépasse pas la valeur optimale souhaité dans un épaisseur qui est de l'ordre de 70 g/l, cette faible concentration est due à un mauvais traitement au niveau de l'épaisseur.

- la boue flottée :

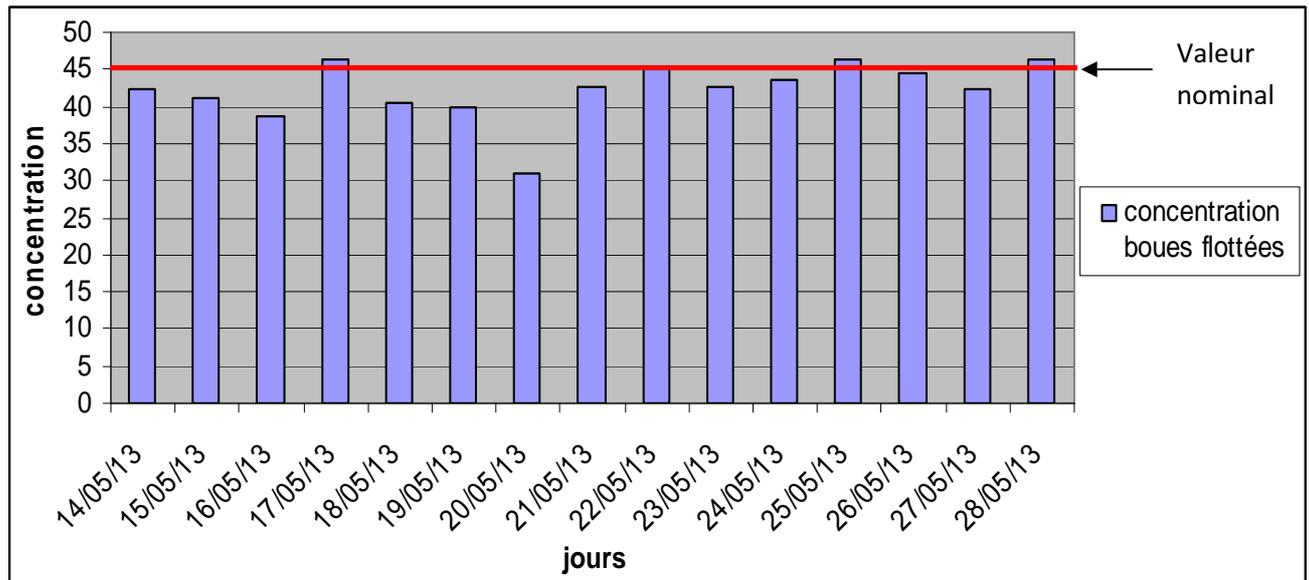


Fig.35 : variation journalière de la concentration des boues flottées

En ce qui concerne les concentrations de boues flottées on remarque qu'ils sont assez bonnes elles varient entre 31,12 et 46,3 sachant que la valeur optimal dans le fottateur est de l'ordre de 45 ce qui nous renseigne sur le bon fonctionnement de cet ouvrage et le bon dosage du polymère qui doit être de l'ordre de 2g /l et également le type de polymère injectés ainsi que le débit d'eau sur-pressé qui assure une bonne floculation et la flottation des boues.

-la boue digérée :



Fig.36 : variation journalière de la concentration des boues digérées

On remarque que la concentration de la boue mixte varie entre un minimum de 27,25 g/l et un maximum de 32,64 g/l respectivement pour le 14/5 et le 28/5 sachant que la concentration favorable pour la digestion doit être de 36 g/l (valeur nominale).

La concentration des boues digérées est fonctions de celle de boues flottées et épaissies puisque cette dernières n'est pas dans les normes c'est normal de trouver de faibles valeurs de concentration.

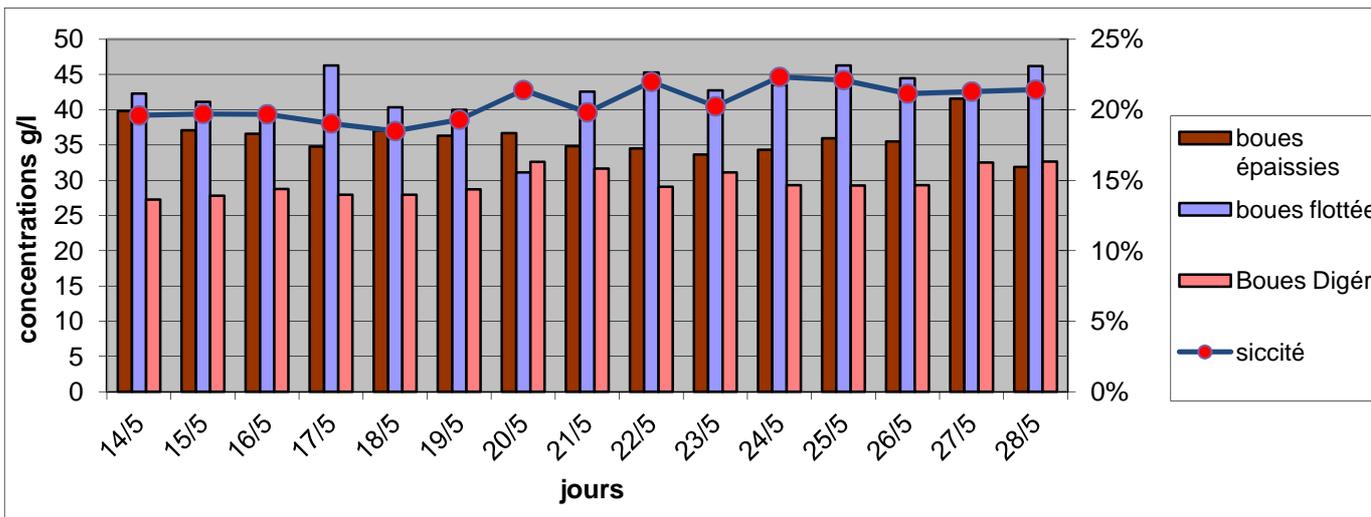


Fig.37 : variation de la siccité en fonction des BF, BE, BD

La figure regroupe toutes les analyses précédentes elle reflète l'évolution de la siccité en fonction de la concentration des boues épaissie, flottée et digérée. On remarque que la siccité n'atteint pas la valeur souhaitable.

La variation de la siccité est directement liée à la modification du fonctionnement de l'épaississeur et le flottateur ainsi que le digesteur.

Ce qui nous a amené à effectuer l'analyse de concentration des boues épaissies, des boues flottées, et des boues digérées.

Suit aux résultats concernant les concentrations des boues on déduit que l'épaississeur est la source du problème rencontré malgré les bonnes concentrations des boues flottées.

Au niveau de la boue épaissie les variations des concentrations sont principalement dues à une surcharge des boues provenant des décanteurs qui influencent le fonctionnement de l'épaississeur.

Les Solutions adoptées :

Pour essayer de résoudre le problème au niveau de la concentration des boues épaissies la société WATERLEAU procède de la façon suivante :

- augmenter le temps de séjour :

Augmenter le temps de séjour pour essayer d'améliorer la concentration des boues, mais il ne faut pas dépasser certaines limites pour ne pas causer la fermentation des boues

- l'ajout de polymères :

L'ajout d'un sac de polymère pendant deux à trois jours ce qui donne une bonne floculation de la boue et par conséquent l'augmentation de la concentration des boues épaissies.

Les Solutions envisageables :

Suite aux analyses effectuées et pour une meilleure qualité de la boue après déshydratation , nous proposons :

- injection du coagulant FeCl_3 :

Le chlorure ferrique joue le même rôle des polymères mais avec des résultats plus fiables.

- La réduction du débit des pompes d'alimentations :

Réduire le débit de pompage pourrait peut-être permettre d'obtenir des conditions de fonctionnements satisfaisants Pour éviter une suralimentation de l'épaississeur.

- L'ajout d'un troisième épaisseur :

Actuellement la station comporte 2 épaisseurs ayant pour rôle la réduction du volume de La boue provenant du décanteur et augmenter la concentration afin d'aboutir a une concentration de 70 g/l. nous avons suggéré d'ajouter un troisième épaisseur, de façon à ce que chaque décanteur envoie la boue décanté vers un épaisseur par conséquent, la diminution de la charge envoyé aux deux épaisseurs.

Le déversement des boues d'épurations telles qu'elles sont, dans la nature sans traitement effectif présente une source de pollution de l'environnement, ainsi que la contamination des ressources en eaux. C'est pour cela il est recommandable de les valoriser afin de les exploiter pour profiter de ces composition comme source d'énergie ou comme fertilisants pour l'agriculture.

Chapitre III

Valorisation des boues

La destination finale des boues d'épuration des eaux résiduaires urbaines et industrielles est souvent affaire de circonstances.

Actuellement trois destinations ultimes sont possibles et pratiquées à l'échelle industrielle :

- ❖ la valorisation quand elle est possible des boues :
 - réutilisation agricole (par épandage des boues liquides, après compostage ou après séchage thermique sous forme de granulés)
 - la mise en décharge, en respectant les normes.
 - l'incinération des boues seules ou éventuellement combinées aux ordures ménagères.

Il convient évidemment, pour guider le choix du schéma d'élimination finale des boues à adopter, de tenir compte d'impératifs technico- économiques (économie en énergie, fiabilité des différentes opérations unitaires de la chaîne de traitement et de l'organisation mise en œuvre, facilité et souplesse d'exploitation) sans négliger pour autant des raisons écologiques et psychologiques, qui peuvent faire abandonner un schéma d'élimination, même s'il est viable sur le plan technique et économique. Le choix de la destination des boues devra être fait, en outre, d'une manière compatible avec la préservation de l'environnement et avec les impératifs de la réglementation en vigueur qui est assez complexe et dense.

I. Valorisation agricole et recyclage

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

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

On recherchera, dans certains cas, les éléments fertilisants (surtout azote et phosphore), dans d'autres plutôt la matière organique ou encore le calcium pour les terrains à tendance acide. Par ailleurs, l'utilisation agricole des boues suppose la réalisation d'une bonne stabilisation biologique (par voie aérobie ou anaérobie) afin de supprimer les risques des mauvaises odeurs et d'éviter « l'effet dépressif » sur les cultures en diminuant le rapport carbone assimilable/azote assimilable.

1. Épandage

Les boues peuvent être épandues sous forme liquide (après épaissement préliminaire), soit sous forme plus ou moins déshydratée à l'état pâteux ou solide. Ce sont les boues liquides qui permettent la meilleure valorisation agronomique, dans la mesure où l'on peut les épandre facilement avec des matériels bien connus du type citerne à vidange ou à lisier. De plus, elles permettent d'apporter au sol simultanément de la matière organique, de l'azote assez rapidement assimilable, du phosphore et des oligoéléments. Toutefois, l'épandage liquide requiert des équipements de stockage importants et appropriés, ainsi que des terrains proches du lieu de production pour réduire les frais de transport. Par opposition, les boues pâteuses (issues de filtres à bande presseuse ou de centrifugeuses) posent quelques problèmes pratiques tant pour le stockage que pour l'épandage proprement dit, mais elles permettent de réduire les coûts de transport. Les boues à l'état solide (lit de séchage, filtre-pressé) permettent un stockage en tas et sont épandables avec des épandeurs à fumier habituels. Les boues doivent être épandues selon la bonne pratique agricole, car les quantités de boues à apporter dépendent essentiellement des besoins du sol et des cultures.

La limitation de l'épandage agricole peut provenir :

- du risque d'odeurs se dégageant de boues insuffisamment stabilisées ;
- des risques bactériologiques, qui ne doivent cependant pas être surestimés, car l'action microbienne du sol est importante :
- de la contamination des boues par des métaux lourds (Zn, Cd, Cu, Pb, Ni, etc.). Ce risque n'est à craindre que pour les boues des zones fortement urbanisées (ruissellement) et industrialisées. L'épandage agricole des boues est soumis à un certain nombre de contraintes, le plus souvent, le manque de débouchés des boues organiques s'explique par des raisons d'hygiène publique et de distribution en terrain agricole et par le manque d'intérêt des cultivateurs pour un produit moins facile à utiliser et de moindre valeur par rapport aux engrais chimiques à forte teneur en azote et phosphore. Pour pouvoir susciter l'intérêt des utilisateurs, il est indispensable de mettre ces boues sous une forme plus appropriée qui facilite leur mise en place.



Fig.37 : Epandage des boues

2. Compostage et séchage thermique

a. Compostage :

Peut être appliqué sur des boues urbaines déshydratées, mais se pratique de préférence conjointement avec d'autres déchets organiques, soit des matériaux secs carbonés (ordures ménagères, paille, sciures, écorces et déchets forestiers), soit des matériaux humides et azotés (matières de vidange, vinasses, lisiers, etc.).

Le compostage revient essentiellement à une décomposition aérobie thermophile des matières organiques grâce à l'activité de micro-organismes très divers.

Le mélange soumis au compostage doit avoir une humidité de 50 à 60.

La digestion thermophile engendre une élévation de température à 45-70°C, qui détruit les germes pathogènes éventuellement présents dans les boues, le compostage apporte donc un effet de stérilisation ou d'hygiénisation. Pour assurer une digestion continue, il faut recycler une fraction de la matière compostée. La durée de compostage varie (entre 2- 3 jours à 3 semaines) selon la nature des matières alimentées, l'intensité et la technologie du traitement. Il faut prévoir une période de post-digestion ou de maturation. Le pH doit être maintenu autour de 7 et les conditions aérobies sont à assurer par une aération appropriée.

Deux techniques de compostage sont utilisables :

- le compostage lent en tas sur aires, avec retournement périodique des tas constitue un procédé particulier de stabilisation biologique aérobie. Il se réalise de préférence sur des boues déjà déshydratées de façon à économiser l'approvisionnement en support de

compostage, les boues n'étant pas auto-compostables. Les boues compostées ont un aspect de « terreau » et présentent une structure solide



Fig.38 : Compostage à l'air libre

— le compostage accéléré en enceinte close, avec contrôle de la température, de l'humidité et de la composition de l'atmosphère ambiante. On utilise souvent des tambours rotatifs ou des réacteurs verticaux superposés dans lesquels la matière est retournée et véhiculée par des bras racleurs. Le compost obtenu se présente sous forme solide, à environ 35 % en masse d'humidité ; c'est un produit stable et facilement stockable. Avant de l'utiliser en agriculture, il est préférable de le faire mûrir pendant deux à trois mois. Cette période de maturation, pendant laquelle le compost est périodiquement retourné, permet de transformer en humus une partie de la matière organique résiduelle.



Fig.39 : Compostage dans une enceinte close

b. Séchage thermique des boues :

Une seconde solution pour aboutir à un produit fertilisant parfaitement stérile livré sous forme de granulés (à 85-90 % de siccité) est apportée par le séchage thermique des boues. C'est une opération purement physique par laquelle une partie plus ou moins importante de l'eau contenue dans la boue est évaporée.

C'est pourquoi les capacités des sécheurs sont exprimées en masse d'eau évaporée à l'heure. La chaleur nécessaire à l'évaporation est apportée par un fluide qui peut être ou non au contact de la boue. Dans le premiers cas, le séchage est appelé direct, sinon on parle de séchage indirect.

Par ailleurs, une installation de séchage ne peut se concevoir qu'à partir d'un traitement de boue intégrant une unité de déshydratation mécanique des boues la plus efficace possible et si l'on dispose, pour la production de la chaleur requise pour le séchage, d'un combustible au coût le plus bas possible, le plus directement utilisable et ce dans un procédé n'engendrant pas de nuisances particulières (il s'agit par exemple du biogaz issu d'une digestion anaérobie des boues fraîches).

II. Mise en décharge

La mise en décharge des boues implique obligatoirement une étude d'impact préalable permettant une évaluation des risques présentés pour l'environnement. En particulier, pour éliminer les risques de contamination des eaux superficielles et souterraines et les risques sanitaires liés aux micro-organismes (parasite, virus...), il est indispensable d'avoir une bonne connaissance:

— des facteurs liés au site de décharge envisagé (configuration géologique du site, caractéristiques pédologiques et géologiques du sol et du sous-sol, conditions locales diverses relatives à la topographie, l'environnement démographique et les conditions atmosphériques)

— des facteurs caractérisant le déchet sur le plan de sa nature et de sa composition, de sa stabilité chimique et biologique et, enfin, de son aptitude à la manutention et au stockage. Cette solution d'élimination des boues s'est heurtée très rapidement :

— à la saturation des sites de décharge à proximité des grandes agglomérations rendant nécessaires des transports de plus en plus longs et coûteux ;

— au refus par le public d'ouverture de nouvelles décharges à proximité des zones urbanisées, voire en milieu rural et, par ailleurs, au refus de bon nombre d'exploitants

d'accepter en décharge des déchets insuffisamment déshydratés, les outils de manutention étant inadaptés.



Fig.40 : Mise en décharge

III. Incinération :

Il s'agit en général de la solution d'élimination considérée comme le dernier recours, à n'utiliser que si les autres voies sont techniquement ou réglementairement impossibles (boues non valorisables, mise en décharge interdite ou trop coûteuse, car site trop éloigné du lieu de production).

L'incinération est souvent utilisée pour les stations des grandes agglomérations urbaines, pour lesquelles se pose le problème des surfaces disponibles à dégager dans les plans d'urbanisme pour l'épandage ou la décharge des déchets boueux. Elle ne se justifie sur les boues organiques industrielles que si les installations de traitement d'eaux résiduaire produisent d'importantes quantités de boues (> 20 t MS/j) dont le bilan thermique n'est pas trop défavorable.

L'incinération offre deux avantages essentiels :

— la réduction maximale du volume et de la masse des boues, par suite de la transformation des matières;

— la mise à disposition d'un produit stérile, réduit aux cendres constituées uniquement de matières minérales, qui représentent cependant environ 10 % de la masse initiale d'une boue

de siccité 25 % à 60 % de matières organiques comme le traduit le bilan simplifié de l'encadré.

Il convient de noter que l'incinération n'est pratiquée généralement que sur des boues ayant déjà subi un premier stade de déshydratation poussé (par filtration ou centrifugation), car l'élimination d'une tonne d'eau est beaucoup moins chère par des procédés mécaniques que par évaporation.

Les besoins énergétiques nécessaires à la combustion des boues aux environs de 800 °C correspondent essentiellement à l'enthalpie de vaporisation de l'eau résiduelle. Les matières organiques contenues dans les boues, constituent la seule source de chaleur récupérable. Suivant la teneur en eau de la boue à brûler et la teneur en matières volatiles des matières sèches qui la constitue, les boues peuvent être autocombustibles ou nécessiter, pour leur incinération, une chaleur d'appoint.

L'autonomie thermique de l'installation d'incinération dépend également de son rendement thermique proprement dit. Celui-ci est fonction du type de four, de l'importance de la récupération thermique sur les gaz chauds et de la désodorisation plus ou moins poussée des fumées.

1. Fours d'incinération

Sur le plan technologique, les principaux fours utilisés pour l'incinération des boues urbaines sont: les fours à soles, à lits fluidisés et, à un degré moindre et les fours sécheurs rotatifs.

a. Fours à soles étagées

Ils sont constitués d'une série de plateaux (ou soles) parcourus de haut en bas par la boue déshydratée. Le passage d'une sole à l'autre est obtenu au moyen de racleurs rotatifs mus par un arbre central vertical couplé à un groupe d'entraînement extérieur au four. Les fours travaillent à contre-courant avec, par suite, un bon rendement thermique.

La température de sortie des gaz est voisine de 350 °C et celle de la boue humide n'atteint jamais plus de 70 °C dans les étages supérieurs de séchage, de sorte qu'il y a peu d'évaporation de matières organiques malodorantes et qu'il n'y a pratiquement pas de problème à odeurs.

La boue pré-séchée, à 50-60 % (masse/volume) de MS dans les étages supérieurs, tombe sur la sole de combustion, où la température de 760 à 870 °C, en atmosphère oxydante, permet l'inflammation complète de la matière organique.

La combustion se termine sur les soles inférieures. Les cendres, refroidies au contact de l'air frais comburant, sont le plus souvent déversées sous forme pulvérulente dans une capacité d'extinction remplie d'eau.

Ce type de four, particulièrement bien adapté à l'incinération des boues urbaines, fournit des gaz de combustion peu chargés en cendres volantes. D'exploitation aisée et économique, son coût d'investissement est, par contre, relativement élevé ce qui ne le rend compétitif que pour l'incinération d'un tonnage élevé de boues, correspondant à des populations supérieures à 300 000 habitants.

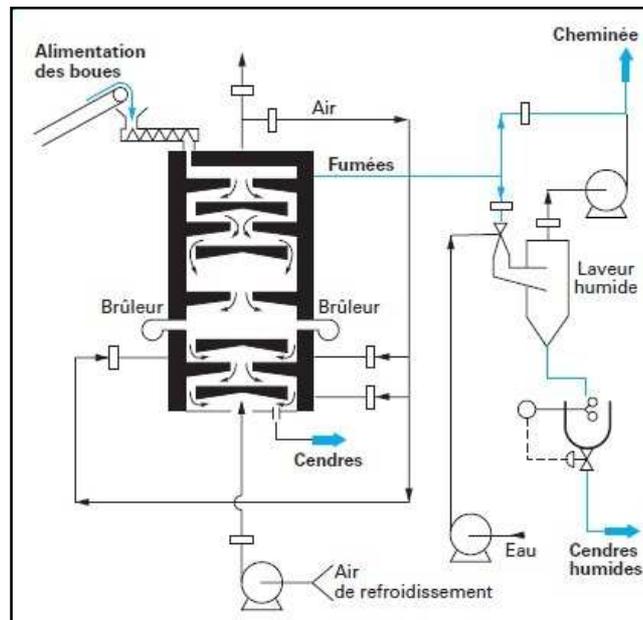


Fig.41 : Schéma de principe d'un four à soles étagées

b. Fours à lits fluidisés

Le principe de fonctionnement de ces fours consiste à introduire les boues à incinérer dans un lit de matériaux auxiliaires (généralement du sable de quelques millimètres), porté à une température de 700 à 800 °C et tenu en suspension (ou fluidisé) par un courant d'air ascendant injecté à la base du lit, à travers une grille appropriée (hauteur du lit : 0,5 à 0,8 m) à une vitesse de 1 à 2 m/s.

Les matières boueuses introduites sont maintenues dans le lit pendant un temps relativement bref, mais suffisant pour le séchage immédiat et le début de leur calcination, qui s'achève dans la zone de revanche située au-dessus, où la température atteint 800 à 850 °C.

L'air de combustion (et de fluidisation) est introduit dans l'installation au moyen d'un ventilateur après avoir été réchauffé, dans un échangeur de chaleur, à une température de l'ordre de 450 °C.

En fonction de la chaleur apportée par les boues, la température du lit fluidisé est régulée par un appoint en eau ou en combustible (fioul).

Le grand avantage de ce système de combustion est de détruire complètement toutes les matières organiques volatiles dans les gaz, en raison du réchauffage, en atmosphère oxydante, de tous les gaz et émanations à des températures de 800 °C ; il n'y a donc aucun problème d'odeur.

Cela a cependant deux conséquences aux points de vue thermique et technique :

- les gaz de fumées et les cendres sont nécessairement rejetés à une température élevée (500 à 600 °C), d'où une perte considérable de chaleur et un faible rendement thermique (de l'ordre de 40 à 45 %).

- les gaz de combustion contiennent pratiquement toutes les cendres produites, ce qui nécessite un dépoussiérage efficace, qui est réalisé par un cyclonage à sec, suivi d'une séparation humide (lavage à l'eau) ou électrostatique. Les fours à lits fluidisés, d'un coût d'investissement nettement inférieur aux fours à soles, sont particulièrement bien adaptés pour des installations moyennes (de 100 à 300 000 habitants).

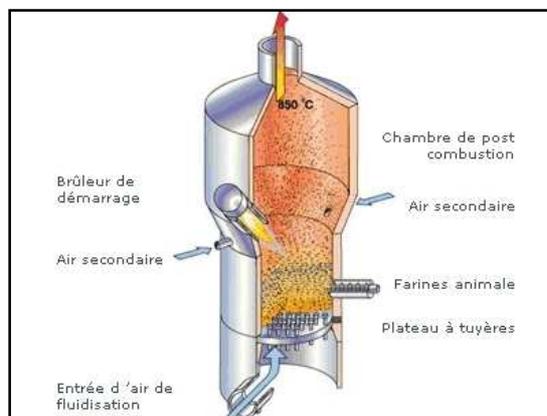


Fig.42: Schéma de principe d'un Fours à lits fluidisés

c. Fours tournants :

Très répandus dans l'industrie, ils sont surtout utilisés lorsqu'on désire combiner, dans le même appareil (de forme cylindrique légèrement inclinée sur l'horizontale), le séchage et l'incinération des boues urbaines. Le four peut fonctionner soit en sécheur, soit en incinérateur. Le rendement thermique de ces unités, fonctionnant le plus souvent à contre-courant, est excellent.

L'incinération, considérée à priori comme la solution radicale pour l'élimination des boues et déchets urbains, se heurte au double problème des coûts d'investissement et d'exploitation, au renforcement des normes de pollution atmosphérique et certainement à terme au problème du devenir des résidus solides ultimes.

La protection de l'environnement exigera en particulier le respect de certaines normes pour les fumées rejetées à l'atmosphère.

L'épuration des fumées comportera essentiellement en aval de la récupération de chaleur :

- le dépoussiérage par cyclone ou, de plus en plus, par filtre électrostatique ;
- le lavage pour la neutralisation et la captation des métaux lourds ;
- la dispersion, par une cheminée correctement dimensionnée en hauteur et vitesse d'éjection et, dans certains cas, précédée d'un échangeur de réchauffage pour éviter le panache de condensation.

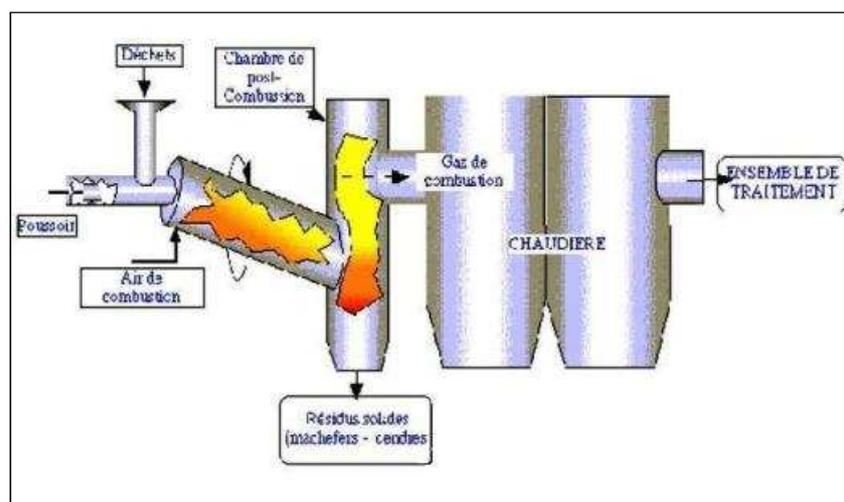


Fig.43 : Schéma de principe d'un Fours tournants

IV. Co-incinération avec les ordures ménagères

L'idée de profiter de fours d'incinération d'ordures ménagères, pour y traiter les boues de station d'épuration, peut paraître séduisante, si l'usine d'incinération d'ordures ménagères (UIOM) est à une distance raisonnable de la station d'épuration (STEP), ainsi que le transport des boues d'un site à l'autre n'augmente pas de façon exagérée les coûts d'exploitation de l'opération. Il faut, en outre, qu'il y ait un espace suffisant à l'UIOM pour stocker les boues (généralement sur 2 à 3 jours) et mettre en place l'installation d'injection des boues dans le four. La Co-incinération permet de profiter du traitement des fumées en place et de rentabiliser ainsi l'usine d'incinération d'ordures ménagères. Sur le plan technique, les boues peuvent être introduites dans un four d'ordures ménagères sous forme brute (pâteuse) après une déshydratation mécanique sur la STEP, ou sous forme de boues pré-séchées.

Pour la Co-incinération avec des boues séchées, il est nécessaire d'ajuster leur siccité à des teneurs > 65 % de matières sèches ; ainsi elles représentent un combustible voisin des ordures et on peut alors les injecter dans la trémie du four.

Le problème des boues brutes de consistance pâteuse est leur introduction et leur répartition dans le four.

La Co-incinération peut être réalisée dans des conditions satisfaisantes techniquement et économiquement car, en plus du tonnage inchangé d'ordures ménagères, on peut incinérer jusqu'à 20 % de boues brutes pâteuses et 8 à 10 % de boues séchées.

Des quantités importantes de cendres sont issues de l'incinération des boues de station d'épuration. La valorisation de ces cendres comme matière première secondaire pour l'élaboration de matériau dans le domaine du bâtiment et des travaux publics (BTP).

- Valorisation des cendres dans les produits céramiques.
- Valorisation des cendres comme filler minéral dans les revêtements bitumineux.
- Fabrication de matériaux légers à base de cendres.
- Valorisation des cendres dans le domaine de la construction.
- Réutilisation des cendres dans des produits de types « béton »

Conclusions générales

Le traitement des eaux usées a pour objectif d'éliminer les éléments indésirables qui se présentent dans cette eau. Ces particules se concentrent sous forme d'une boue primaire ou secondaire. La boue d'épuration présente un danger pour le milieu naturel.

Ces boues subissent des traitements dont le dernier c'est la déshydratation, cette étape consiste à augmenter la siccité de ces boues et par conséquent réduire le taux d'humidité.

La variation de la siccité est directement liée avec la modification du fonctionnement de l'épaississeur et le flottateur ainsi que le digesteur.

Ces résultats ont montré que les concentrations des boues on déduit que l'épaississeur est la source du problème rencontré malgré les bonnes concentrations des boues flottées.

Au niveau de la boue épaissie les variations des concentrations sont principalement dues à une surcharge des boues provenant des décanteurs qui influencent le fonctionnement de l'épaississeur

La destination actuelle des boues de la STEP est la décharge de la ville. Le comblement de cette dernière et l'impact que présentes ces boues sur l'environnement en raison de pollution de la nappe phréatique pose de gros soucis à l'état notamment pour trouver un dépôt où évacuer les boues.

La valorisation agricole des boues sera la meilleure voie sur le plan économique, ces boues seront valorisés par compostage et produits utilisables comme fertilisants pour la production agricole et on peut aussi utiliser les cendres obtenues après in cinération comme matière première au niveau du BTP.

C'est pour cela nous avons proposés des solutions pour améliorer le fonctionnement des ouvrages concernés.

- Injection du coagulant FeCl_3 .
- La réduction du débit des pompes d'alimentations.
- L'ajout d'un troisième épaississeur.

Liste des figures

Fig.1 : Organigramme de Waterleau

Fig.2: Carte géographique du Maroc localisant Marrakech (Ministère de l'énergie et des mines, service géologique du Maroc 1957)

Fig. 3 : Carte montre le réseau d'assainissement du Marrakech. (www.radeema.ma)

Fig.4: dégrillage fin (10cm)

Fig.5: dégrillage grossier (20cm)

Fig.6: dégrillage fin (1cm)

Fig.7: déshuileur-déssableur

Fig.8: Décanteur

Fig.9: Bassin biologique

Fig.10: coagulation

Fig.11: floculation

Fig.12: Filtre à sable vide

Fig.13: Filtre à sable plein

Fig.14: Désinfection ultra violet

Fig.15: la chloration

Fig.16: Coupe transversale

Fig.17: Epaisseur

Fig.18: Clarificateur

Fig.19: principe de la flottation

Fig.20: Flottateur

Fig.21: schéma du digesteur

Fig.22: digesteur

Fig.23: stockeur

Fig.24 : filtre à bande

Fig.25: schéma d'un filtre à bande

Fig.26: désulfuration

Fig.27: Gazomètre

Fig.28: Co-générateur

Fig.29 : centrifugeuse

Fig.30 : serre de séchage

Fig.31: Filtre à bande

Fig.32 : la siccité des boues déshydratées

Fig.33 : aspect de la floculation

Fig.34 : variation journalière de la concentration des boues épaissies

Fig.35 : variation journalière de la concentration des boues flottées

Fig.36 : variation journalière de la concentration des boues digérées

Fig.37 : variation de la siccité en fonction des BF, BE, BD

Fig.37 : Epannage des boues

Fig.38 : Compostage à l'air libre

Fig.39 : Compostage dans une enceinte close

Fig.40 : Mise en décharge

Fig.41 : Schéma de principe d'un four à soles étagées

Fig.42: Schéma de principe d'un Fours à lits fluidisés

Fig.43 : Schéma de principe d'un Fours tournants

Bibliographie

- **Carte montre le réseau d'assainissement du Marrakech.**

(www.radeema.ma)

- Carte géographique du Maroc localisant Marrakech (Ministère de l'énergie et des mines, service géologique du Maroc 1957)
- **Géraldine DAUVERGNE** (2007) : Mise en place d'indicateurs de suivi et d'optimisation de stations d'épuration Charité (mémoire de fin d'étude 2007)
- **Jean-Claude BOEGLIN** : Traitements et destinations finales des boues résiduaires
- **Maozhe Chen** (2012) : Faisabilité technique et environnementale de l'utilisation dans des matériaux de construction cimentaires de cendres d'incinération de boues de station d'épuration (thèse de doctorat, École doctorale de Chimie de Lyon, 270 pages).
- **Nadia AZZOUZI** (2010): traitement et réutilisation des eaux usées épurées dans la ville de MARRAKECH (mémoire de fin d'étude, FSTG MARRAKECH 71 pages)
- service administratif et financier (document interne waterleau)
- <http://www.ademe.fr/partenaires/boues/pages/f15.htm> (12/5/2013)
- http://www.thrmagazine.info/Station-de-traitement-et-de-reutilisation-des-eaux-usees-de-Marrakech_a141.html

Annexe

Date	Boues Épaissies			Boues Flottées			Boues Digérée		Boues Déshydratées				Polymère						Ratio kg PE / Tms		
	volume boues	concentration	charge massique	Volume boues	concentration	charge massique	Ratio	Concentration	Débit	charge massique	Tonnage boues	siccité	type de	poids injecté	durée	débit eau	concentration	quantité	volume	ratio	ratio
	épaissies	boues épaissies	sortante	Flottées	boues flottées	sortante	Bp	Boues Digérée	FAB 1+2	entrante	déshydratées	%	Polymère	g	min	de dilution	g/l	préparée	injecté	théorique	calculé
unité	m3/j	g/l	T/j	m3/j	g/l	T/j	%	g/l	m3/j	T/j	T/j	%	u	g	min	l/h	g/l	kg/j	l/j	kgPE/Tms	kgPE/Tms
14/05/2013	911	39,83	36,285	724	42,29	30,618	54,24 %	27,25	719	19,593	114	19,60 %	CP46	347	2	2100	4,957	175	35554	7,83	7,89
15/05/2013	828	37,09	30,711	672	41,11	27,626	52,64 %	27,8	841	23,380	114	19,71 %	CP46	326	2	2000	4,890	175	35461	7,79	7,72
16/05/2013	465	36,59	17,014	332	38,79	12,878	56,92 %	28,77	519	14,932	105	19,68 %	CP46	371	2	2200	5,059	150	28746	7,26	7,04
17/05/2013	474	34,77	16,481	333	46,28	15,411	51,68 %	27,94	772	21,570	106	19,03 %	CP46	330	2	2000	4,950	175	38142	8,68	9,36
18/05/2013	482	37,04	17,853	351	40,36	14,166	55,76 %	27,94	622	17,379	86	18,49 %	cp46	338	2	2000	5,070	175	30493	11,01	9,72
19/05/2013	390	36,34	14,173	349	39,99	13,957	50,38 %	28,71	558	16,020	117	19,30 %	CP46	365	2	2200	4,977	175	30458	7,75	6,71
20/05/2013	343	36,7	12,588	288	31,12	8,963	58,41 %	32,61	401	13,077	67	21,40 %	CP46	346	2	2100	4,943	150	17405	10,46	6,00
21/05/2013	505	34,83	17,589	434	42,59	18,484	48,76 %	31,66	678	21,465	115	19,82 %	CP46	354	2	2100	5,057	175	30761	7,68	6,83
22/05/2013	780	34,5	26,910	699	45,3	31,665	45,94 %	29,085	786	22,861	118	21,98 %	CP46	355	2	2100	5,071	250	34651	9,64	6,78
23/05/2013	912	33,64	30,680	717	42,76	30,659	50,02 %	31,1	765	23,792	98	20,25 %	CP46	329	2	2000	4,935	200	33518	10,08	8,34
24/05/2013	1006	34,32	34,526	590	43,53	25,683	57,34 %	29,3	841	24,641	95	22,33 %	CP46	305	2	1800	5,083	150	35808	7,07	8,58
25/05/2013	834	35,97	29,999	607	46,3	28,104	51,63 %	29,25	779	22,786	128	22,11 %	CP46	335	2	2000	5,025	200	32498	7,07	5,77
26/05/2013	775	35,5	27,513	504	44,47	22,413	55,11 %	29,28	482	14,113	97	21,15 %	CP46	348	2	2100	4,971	175	26115	8,53	6,33
27/05/2013	770	41,6	32,032	620	42,46	26,325	54,89 %	32,5	432	14,040	79	21,29 %	CP46	335	2	2000	5,025	200	20614	11,89	6,16
28/05/2013	239	31,9	7,624	222	46,19	10,254	42,64 %	32,64	249	8,127	98	21,43 %	CP47	355	2	2100	5,071	100	10023	4,76	2,42

Rapport Journalier des concentrations des boues et la siccité obtenue

