

Laboratoire Géoressources-Unité de Recherche
Associée Au CNRST (URAC 42)

Mémoire de fin d'étude
Licence Sciences et Techniques
Eau et Environnement
Intitulé:

L'impact des sulfures sur le traitement des eaux usées et le milieu naturel



Réalisé par :

- Loubna AKOUDAD & Houda EDDYANI

Encadré par :

- Khalid ELAMARI : Professeur de la Faculté des sciences et techniques Marrakech
- Khaoula ELMEJDOUBI : Chef de laboratoire de STEP Marrakech

Soutenu le 16 juin 2015 devant le jury composé de :

- Khalid ELAMARI : Professeur de la Faculté des sciences et techniques Marrakech
- Abdellatif SAIDI : Professeur de la Faculté des sciences et techniques Marrakech

REMERCIEMENTS

Dans un esprit de respect, nous tenons à exprimer notre gratitude et nos sentiments les plus sincères et distingués à notre professeur [Mr. Khalid EIAMARI](#) qui est sacrifié un temps précieux en vue d'orienter notre réflexion et qui a mis à notre disposition tous les idées nécessaires à la réussite de notre stage. Merci infiniment Monsieur.

Nous voudrions de même, exprimer notre gratitude la plus profonde à [Mme.Khaoula ELMEJDOUBI](#), notre encadrante au sein de la STEP, nos remerciements pour son soutien et encouragements.

Nos remerciements sont également à [Mr. Abdellatif SAIDI](#) professeur à la FST de Marrakech et membre de jury qui a laissé ses multiples occupations pour se donner la peine à examiner notre travail.

Enfin nous ne saurons terminer sans exprimer notre reconnaissance à tous nos formateurs [Fatima Zahra ZAROUAL](#), [Karima AZDAG](#) et [Nezha EL-MAJDOUBI](#) qui ont épargné un grand effort pour nos connaissances théoriques et pratiques.

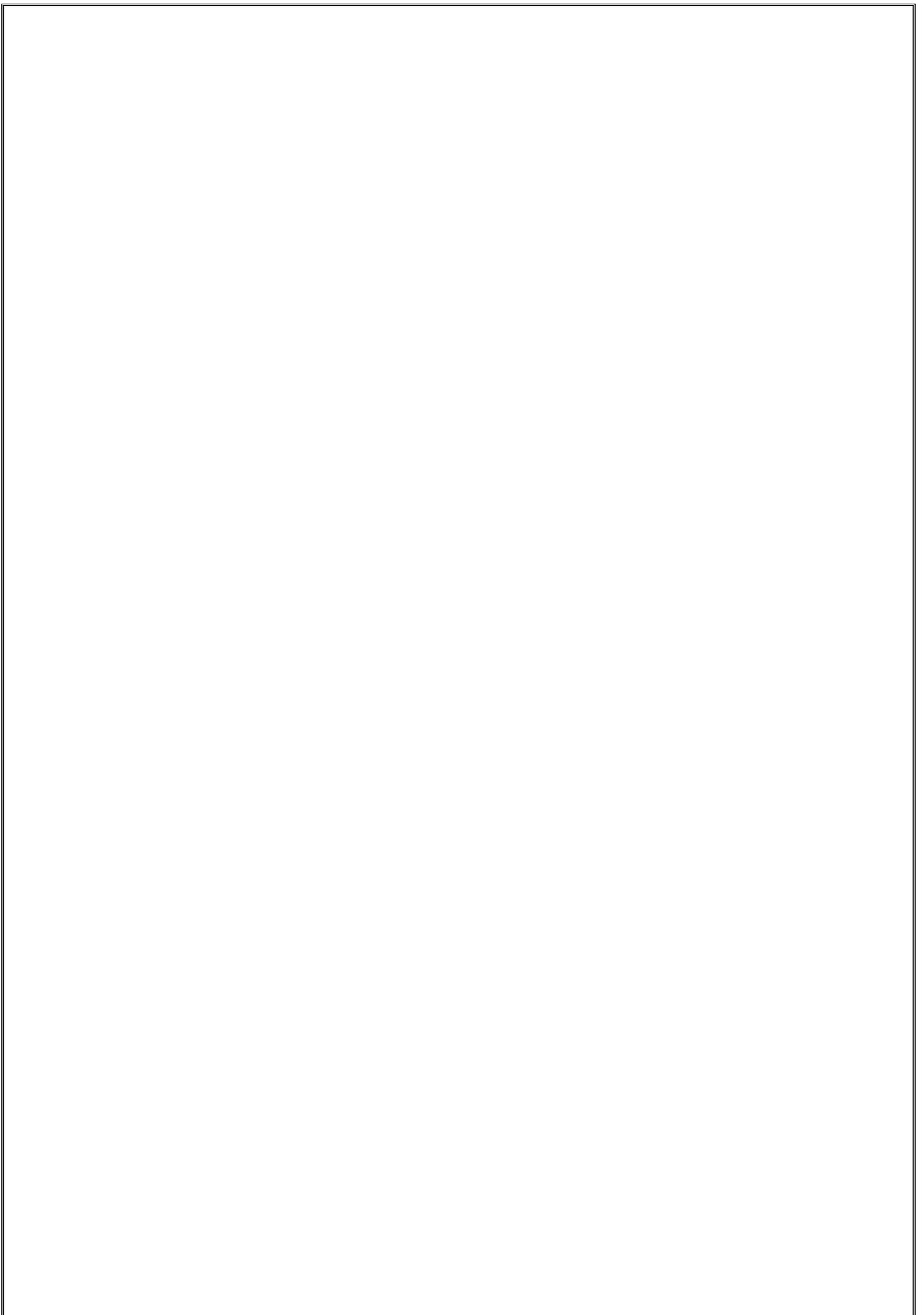
Nous tenons aussi à remercier tous les enseignants de la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech.

Dédicace

Nous dédions cet humble travail avec grand amour, sincérité et fierté :

A nos chers parents, source de tendresse, de noblesse et d'affection.

A nos frères et sœurs, en témoignage de la fraternité, avec nos souhaits de bonheur de santé et de succès. Et à tous les membres de nos familles.



RESUME

Dans le cadre de notre étude, nous nous sommes intéressées à l'impact des sulfures sur le traitement des eaux usées au niveau de la STEP Marrakech et sur le milieu naturel moyennant des analyses sur l'eau et sur la boue. L'objectif est de suivre l'évolution des sulfures dans les différentes étapes de traitement de l'eau et de la boue et de proposer des solutions permettant de diminuer ses impacts sur le traitement des eaux usées et sur le milieu naturel.

Les résultats obtenus montrent que :

-Il y'a une forte concentration en sulfures dans l'eau brute et ceci pour tous les jours de la semaine, excepté les jours Fériés « samedi et dimanche ». Alors que, pour les eaux secondaire et tertiaire, la concentration des sulfures est généralement très faible.

-L'impact des sulfures sur les étapes de traitement réside essentiellement dans le développement des bactéries filamenteuses sulfurées qui se nourrissent sur les sulfures et utilisent l'oxygène des sulfates pour leur respiration cellulaire, ce qui perturbe le fonctionnement des bactéries dégradant la matière organique nécessitant un milieu bien aéré.

-Les analyses effectuées sur la boue montrent que l'ajout des graisses dans les digesteurs permet d'obtenir un biogaz facile à traiter.

- L'impact des sulfures sur le traitement de la boue est visualisé par la corrosion du matériel et l'odeur néfaste provoquant des maladies respiratoires.

-L'élimination de H_2S au cours de la désulfuration permet d'avoir un biogaz propre pour produire de l'énergie électrique mais, engendre une pollution de l'atmosphère.

SOMMAIRE

➤	Résumé.....	1
➤	Sommaire.....	4
➤	Liste des abréviations.....	5
➤	Liste des tableaux	6
➤	Liste des figures	7
➤	Liste des photos.....	8
➤	Introduction générale.....	9

Partie 1 :

Etude bibliographique

Chapitre 1 : Généralités.....

I. Introduction

II. Assainissement.....

III. Eaux usées.....

IV. Type des eaux usées.....

a) Eaux usées industrielles.....

b) Eaux pluviales.....

c) Eaux de ruissellement dans les zones agricoles.....

d) Eaux usées domestiques.....

V. Conclusion.....

Chapitre 2 : Principaux types de traitement des eaux usées.....

I. Introduction.....

II. Epuration par culture fixe.....

III. Epuration par culture libre

a) Lagunage.....

b) Boues activées.....

IV. Conclusion.....

Chapitre 3 : Généralités sur le sulfure.....17

I. Introduction.....18

II. Source du sulfure dans les eaux usées.....18

III. Impact lié à la présence des sulfures dissous sur les différentes étapes de traitement d'eau et de la boue.....18

a) Prétraitement et traitement primaire.....18

b) Traitement secondaire18

c) Traitement tertiaire19

IV. Impact d'hydrogène de sulfure et le soufre sur l'environnement.....19

a) Sur l'homme.....19

b) Sur l'environnement.....19

V. Solutions proposées pour diminuer l'impact des sulfures sur l'eau et sur l'environnement.....20

VI. Conclusion.....20

Partie 2 :

Etude pratique sur l'impact des sulfures sur le traitement des eaux usées et sur le milieu naturel

Chapitre 1 : Présentation de la station d'épuration des eaux usées (STEP) Marrakech22

I. Introduction.....23

II. la STEP Marrakech23

III. Circuit de la STEP Marrakech et le suivi de sa qualité.....24

a) Circuit de la ligne eau et son suivi au laboratoire.....24

b) Circuit de la ligne boue et son suivi au laboratoire.....32

c) Circuit de la ligne biogaz et son suivi au laboratoire.....35

IV. Impact de la STEP Marrakech.....36

V. Normes marocaines pour les rejets36

VI. Conclusion.....	36
----------------------------	-----------

<u>Chapitre 2: Analyses sur les sulfures</u>	37
-----------------------------------------------------------	-----------

I. Introduction.....	38
II. Evolution dans l'eau brute	38
III. Evolution des sulfures dans les eaux secondaire et tertiaire	40
IV. Evolution des sulfures et sulfates de la boue.....	41

V. Conclusion.....	43
---------------------------	-----------

<u>Chapitre 3: Suivi de l'étape de la désulfuration.....</u>	44
---------------------------------------------------------------------	-----------

I. Introduction.....	45
II. Analyse du gaz brute.....	45
III. Analyse du gaz traité.....	46

IV. Conclusion.....	48
----------------------------	-----------

➤ CONCLUSION GENERALE.....	49
➤ REFFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	50
➤ ANNEXES.....	51
✚ Présentation de WATERLEAU.....	51
✚ Organigramme.....	52

LISTE DES ABREVIATIONS

STEP : Station d'Épuration des Eaux Polluées

AGV : Acide Gras Volatile

DBO₅ : Demande Biologique en Oxygène en 5 jours

DCO : Demande Chimique en Oxygène

NO₃⁻ : nitrates

NO₂⁻ : nitrites

NH₄⁺ : ammonium

MES : Matière En Suspension

S⁰ : Soufre élémentaire

SO₄²⁻ : Sulfate

S²⁻ : Sulfure

NaHs : Sodium

MS : Matières sèches

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Effet du sulfure d'hydrogène sur la santé humaine

Tableau 2 : Différentes étapes du dégrillage

Tableau 3: Normes marocaines pour les rejets

**Tableau 4 : Evolution des sulfures dans l'eau brute pendant la première décade du mois
mai 2015**

**Tableau 5 : Concentration des sulfures dans l'eau secondaire et l'eau tertiaire pendant
la deuxième décade du mois mai 2015 en mg/l**

Tableau 6 : Concentration des sulfures dans la boue en mg/l

Tableau 7 : Concentration des sulfates dans la boue en mg/l

Tableau 8 : Analyses du gaz brut

Tableau 9 : Analyses du gaz traité

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Présentation des installations de la STEP Marrakech

Figure 2 : Localisation de la STEP dans la ville de Marrakech

Figure 3 : Déroulement du traitement tertiaire

Figure 4 : Cheminement de la ligne biogaz

Figure 5 : Evolution des sulfures dans l'eau brute

Figure 6 : Concentration des sulfures dans l'eau secondaire et l'eau tertiaire pendant la deuxième décade du mois mai 2015 en mg/l

Figure 7 : Concentration moyenne des sulfures en mg/l

Figure 8 : Concentration moyenne des sulfates en mg/l

Figure 9 : Evolution du biogaz non traité H₂S et CH₄ pendant la première décade du mois mai 2015

Figure 10 : Evolution du biogaz traité H₂S et CH₄ pendant la première décade du mois mai 2015

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : Evacuation des déchets vers les bennes de décharge

Photo 2 : Dessablage / Déshuilage

Photo 3 : Décanteur

Photo 4 : Bassin biologique

Photo 5 : Clarificateur

Photo 6: Effluent vers oued Tensift

Photo 7 : DBO₅ pour les différentes eaux

Photo 8 : Appareil de filtration

Photo 9 : Turbidimètre

Photo 10 : Epaisseurs

Photo 11 : Flotateur

Photo 12 : Digesteurs

Photo 13 : Déshydratation

Photo 14 : Matière sèche

Photo 15 : Volume de boue décanté en 30 min

INTRODUCTION GENERALE

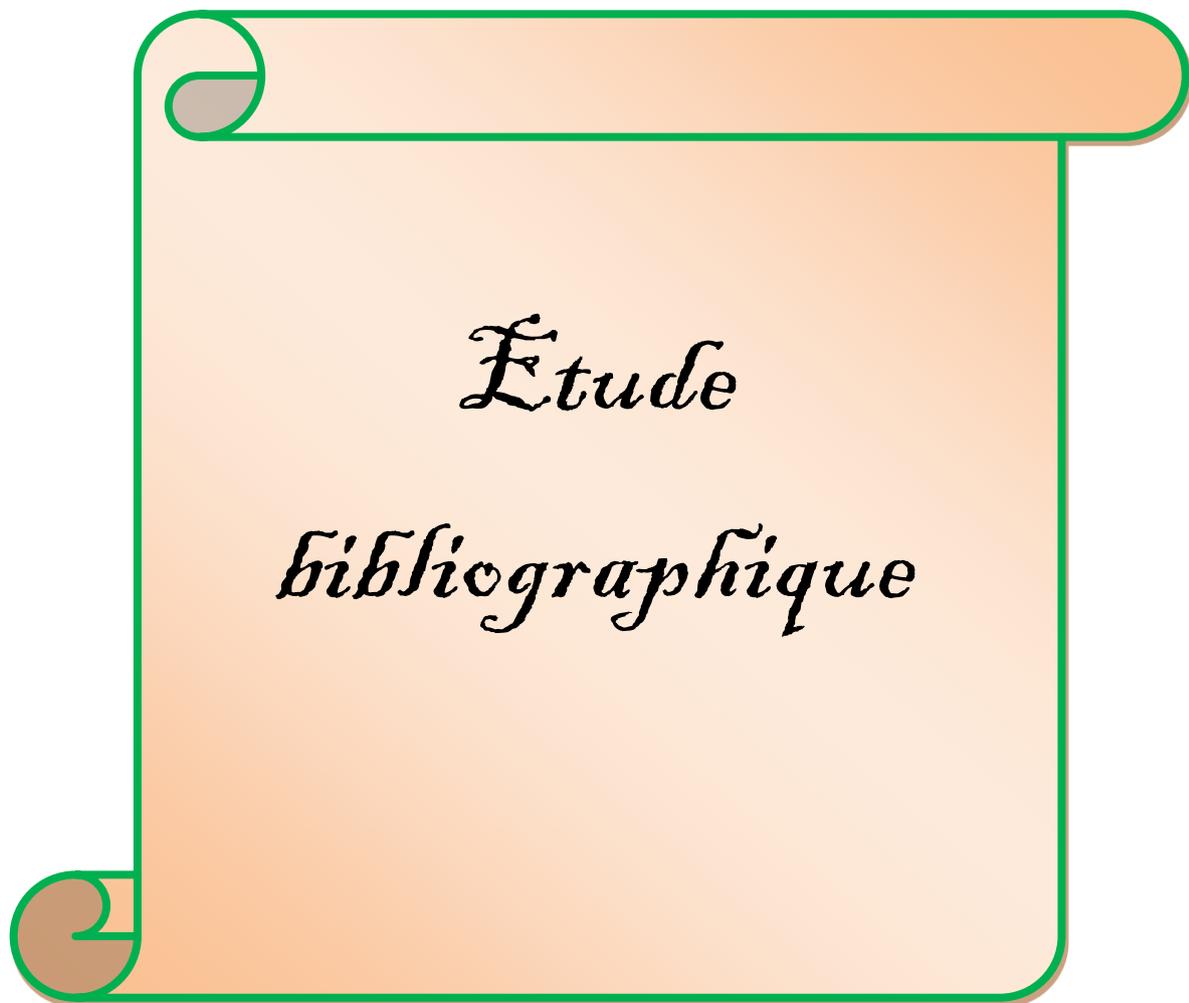
Au cours de ces dernières années, le Maroc a connu une grande agglomération à croissance démographique, économique et touristique exponentielle, ce qui a causé plusieurs problèmes environnementaux, socio-économiques et d'assainissement.

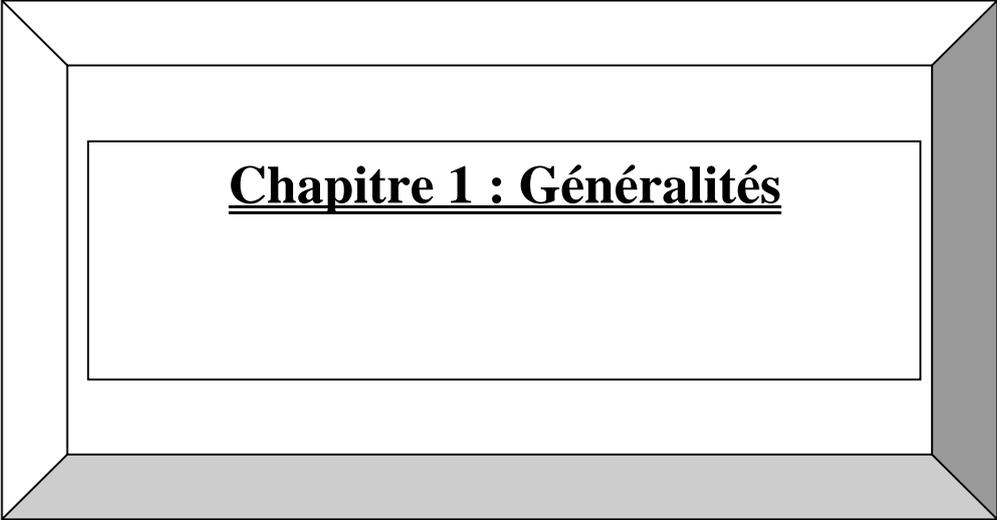
La ville de Marrakech est classée parmi les villes les plus touchées par ces problèmes en raison de l'accroissement de la demande en eau pour la consommation humaine; industrielle et agricole en plus des années de sécheresse répétées à l'échelle nationale, ce qui a poussé les décideurs à considérer les eaux usées comme une ressource hydrique appréciable pouvant remédier à cette insuffisance en eau. Cette pratique visant à épurer la totalité des eaux usées de Marrakech et qui, outre la préservation du milieu écologique, aura d'autres avantages tels que garantir un volume d'eau épurée, au lieu de l'eau potable, pouvant servir dans l'irrigation des complexes golfs.

L'objectif de ce travail, dans le cadre de notre stage de fin d'études, est de suivre les différentes étapes de traitement des eaux usées et comprendre le protocole de control de leur qualité en laboratoire par différentes techniques d'analyses. Ces techniques consistent à faire l'analyse des différents composés chimiques sur l'eau brute, les différentes eaux et sur la boue de chaque étape de traitement. Une attention particulière a été réservée aux sulfures dans le but de savoir leur impact sur le traitement de l'eau ainsi, déduire leurs effets sur l'environnement. Des solutions permettant de réduire ce composé chimique dans l'eau et dans la nature seront par la suite suggérées.

Pour atteindre ces objectifs, ce travail a été focalisé sur :

Une étude bibliographique sur les eaux usées ; les principaux types de traitement de ces eaux et un ensemble de généralités sur les sulfures. Dans une deuxième partie, on a fait une présentation du circuit de la STEP ainsi que les différentes analyses effectuées au laboratoire pour tester la performance de la STEP afin de finir par l'étude des sulfures et son suivi dans chaque étape de traitement de l'eau et de la boue qui nous a permis d'avoir une idée générale sur son évolution et par conséquent déduire son impact sur le control et la qualité de l'eau, de la boue et sur le milieu naturel.





Chapitre 1 : Généralités

I. Introduction

Notre sujet comprend un certain nombre de termes tels que l'assainissement ; eaux usées et leur types. Il est donc intéressant de les définir :

II. Assainissement

L'assainissement désigne l'ensemble des moyens de collecte, de transport et de traitement d'épuration des eaux usées avant leur rejet dans la nature. On parle d'assainissement collectif pour une station d'épuration traitant les rejets urbains. L'assainissement est dit autonome dans le cas d'une station d'épuration qui traite les rejets industriels (www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/).

III. Eaux usées

Une eau usée, appelée encore eau résiduaire ou effluent est une eau qui a subi une détérioration après usage. La pollution des eaux dans son sens le plus large est défini comme «Tout changement défavorable des caractéristiques naturelles (biologiques ou physico-chimiques) dont les causes sont directement ou indirectement en relation avec les activités humaines ». (http://www.memoireonline.com/11/13/7765/m_Traitement-des-eaux-usees-domestiques-par-biodenitrification--effet-du-nitrate3.html).

IV. Type des eaux usées

Suivant l'origine de substances polluantes contenues on distingue quatre catégories d'eaux usées :

a) Eaux usées industrielles :

Sont classées dans les eaux industrielles tous les rejets correspondant à une utilisation de l'eau autre que domestique. Les caractéristiques de ces eaux sont extrêmement variables et directement liées au type d'industrie. En plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elle peut également contenir des produits toxiques, des solvants, des micropolluants organiques, des hydrocarbures, des produits chimiques (acides, bases...), des métaux lourds (mercure, cadmium, ...), des molécules de synthèse (pesticides, ...), des produits radioactifs et, de la chaleur (eaux de refroidissement, ...)

(http://www.memoireonline.com/11/13/7765/m_Traitement-des-eaux-usees-domestiques-par-biodenitrification--effet-du-nitrate3.html)

b) Eaux pluviales :

Eau pluviale est le nom que l'on donne à l'eau de pluie après qu'elle ait touché le sol ou une surface construite ou naturelle susceptible de l'intercepter ou de la récupérer. L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles), puis, en ruisselant, des résidus déposés sur les toits et les chaussées des villes (huiles de vidange, carburants, résidus de pneus et métaux lourds...). Lorsque le système d'assainissement est dit "unitaire", les eaux pluviales sont mêlées aux eaux usées domestiques. En cas de fortes précipitations, les contraintes de préservation des installations d'épuration peuvent imposer un déversement de ce mélange très pollué dans le milieu naturel (http://www.memoireonline.com/11/13/7765/m_Traitement-des-eaux-usees-domestiques-par-biodenitrification--effet-du-nitrate3.html)

c) Eaux de ruissellement dans les zones agricoles

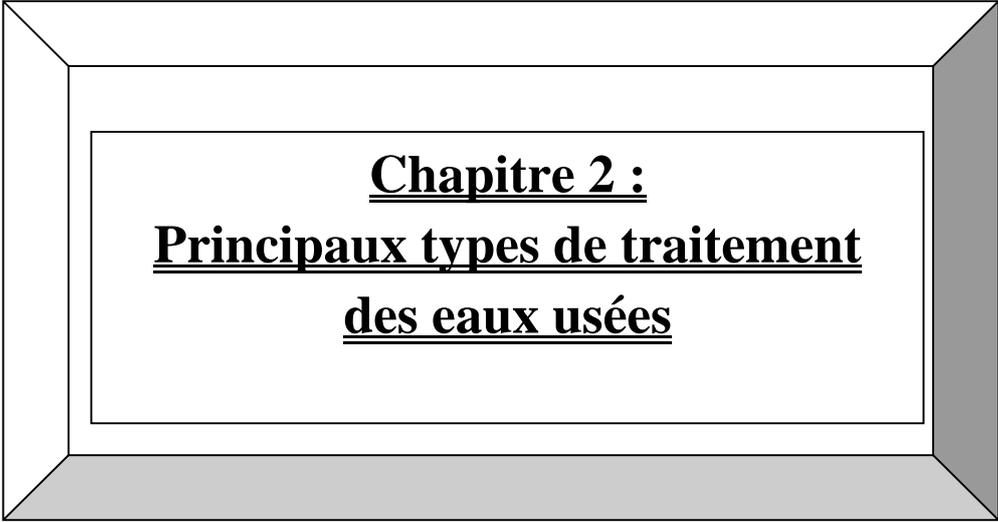
Il s'agit de rejets liquides agricoles issus du ruissellement d'eau d'irrigation qui entraîne des engrais, des pesticides, des herbicides ou des rejets organiques dus à un élevage important ([Degremont, 1989](#)).

d) Eaux usées domestiques

Désignent les eaux résiduaires qui proviennent des différents usages domestiques. Elles sont essentiellement porteuses de polluants organiques. La composition de ces eaux est à peu près la même pour toutes les habitations (www.projetbabel.org).

V. Conclusion

La station d'épuration des eaux usées utilise un ensemble de techniques qui permettent le traitement des eaux usées domestiques et industriels raccordés assainissement et également les eaux pluviales, soit pour les recycler dans le milieu naturel soit pour irriguer les golfs de Marrakech.



Chapitre 2 :
Principaux types de traitement
des eaux usées

I. Introduction

Le traitement des eaux usées dans les stations de traitement biologique et d'épuration fait appel à différentes techniques : soit la culture fixe ou la culture libre, cette dernière se fait par lagunage ou boues activées (www.micro-station.mon-assainissement.fr).

II. Epuration par culture fixe

Une station est dite à culture fixe quand elle contient au sein de son bioréacteur des supports solides où les micro-organismes responsables du traitement des eaux sont fixés.

Le support bactérien est un lit fixé en mouvement. Ce lit est sous forme de disques partiellement immergés et équipés d'un axe de rotation en leur centre. La rotation est faite par l'intermédiaire d'un moteur électrique. La rotation permet aux micro-organismes d'être cycliquement immergés dans les eaux à traiter et exposés à l'oxygène atmosphérique, permettant ainsi d'assurer les conditions nécessaires à leur développement. La transmission peut se réaliser par une courroie ou une chaîne (www.waterleau.com)

III. Epuration par culture libre

Les dispositifs à culture libre permettent d'assurer le traitement des eaux usées suivant le principe d'une dégradation aérobie des eaux usées par des micro-organismes en culture libre (bactéries). Les stations agissent par une oxygénation forcée qui développe de manière importante des bactéries aérobies. Ces micro-organismes dégradent les matières polluantes de l'eau. Le système d'aération est généré par un suppresseur, un compresseur ou turbine

a) Lagunage

Une station de lagunage est une succession de trois bassins de rétention peu profonds dans lesquels l'eau s'écoule lentement par gravité. Dans chacun de ces bassins, stagne une tranche d'eau où évolue un écosystème particulier. Les eaux usées collectées par les égouts sont acheminées vers le lagunage.

Avant de se déverser dans le premier bassin, les eaux sont débarrassées de gros objets, des sables, des graviers, des huiles et des graisses. Arrivées dans le bassin, les matières organiques vont se séparer en deux catégories : celles qui vont se déposer au fond du bassin et qui seront traitées par des bactéries de fond et, celles qui resteront en suspension dans l'eau et qui seront traitées par des bactéries de pleine eau. La digestion par les premières bactéries produit des sels nutritifs et du gaz de digestion (méthane et hydrogène sulfuré). Les sels nutritifs restent sur place et les gaz s'évaporent. Quant aux secondes bactéries, elles produisent des sels minéraux et du gaz carbonique.

Dans le deuxième bassin, l'eau arrive chargée de bactéries de pleine eau, productrices de gaz carbonique et des sels minéraux. Les sels minéraux et gaz carbonique rencontrent de minuscules algues qu'ils nourrissent sous l'action du soleil. Il se dégage alors de l'oxygène qui favorise la multiplication des algues (www.waterleau.com)

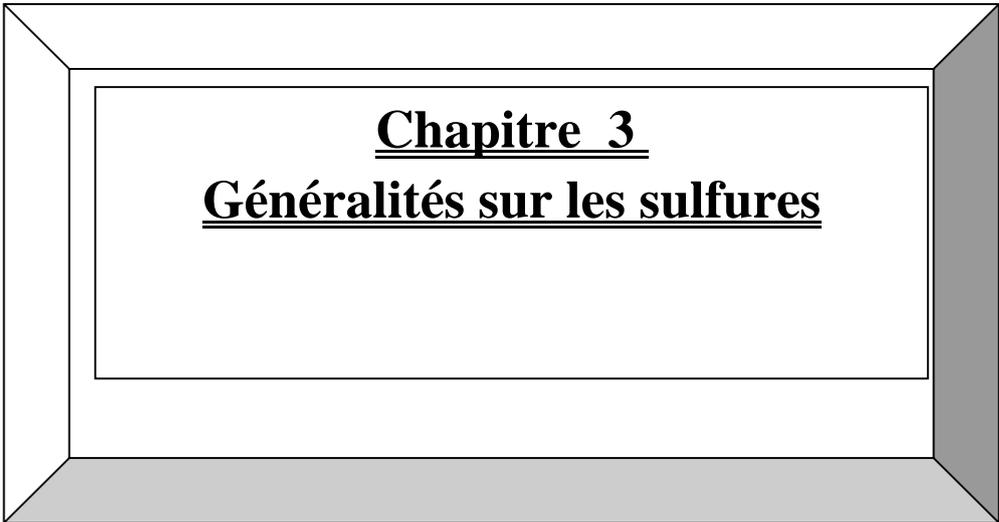
Le troisième bassin accueille le reste des bactéries de pleine eau, des sels minéraux restants et les minuscules algues. Ce milieu est favorable au développement de la faune bactérienne, et utilise l'oxygène produit par celles-ci.

b) Boues activées :

Les boues activées sont utilisées comme épurateur biologique dans le traitement des eaux usées. Elles sont composées essentiellement de micro-organismes flocculants, est mélangées avec de l'oxygène dissous et de l'eau usée. C'est ainsi que les micro-organismes de la boue activée entrent constamment en contact avec les polluants organiques des eaux résiduaires, ainsi qu'avec l'oxygène, et sont maintenus en suspension. L'aération des eaux résiduaires a lieu dans des bassins en béton appelés bassins d'aération ou bassins à boues activées. Afin de maintenir une biomasse suffisante, la boue est recyclée par pompage dans le bassin de décantation secondaire (www.environnement-bio.com).

IV. Conclusion

D'après les différents types de traitement cités, la culture libre en particulier la boue activée est la méthode utilisée pour l'épuration des eaux usées dans la STEP de Marrakech. Cette méthode est basée sur des bactéries dégradant la matière organique dans les bassins biologiques au cours du traitement secondaire appelés aussi les bassins d'aération.



Chapitre 3
Généralités sur les sulfures

I. Introduction

Le sulfure est un nom général faisant référence à des composés binaires formés par le soufre principalement avec des éléments non métalliques (exemples : CS₂, H₂S, Na₂S) (<http://www.futurasciences.com/magazines/matiere/infos/dico/d/chimie-sulfure-10470/>).

Le soufre est un élément chimique non métallique. Ses valences les plus courantes sont -2, +4 et +6. Le degré d'oxydation -2 est connu sous le nom de sulfure. Le sulfure se trouve à l'état naturel dans les minerais, le pétrole et les gisements de charbon. Dans la plupart des cas, le cuivre, le plomb, le zinc, le nickel et autres métaux non précieux existent sous forme de sulfures simples ou complexes. Les sulfures de fer sont souvent associés à ces minerais (**Conseil national de recherches du Canada 1977**).

II. Source du sulfure dans les eaux usées

Les sulfures sont également produits par les bactéries sulfato-réductrices au cours de la dégradation anaérobie des déchets contenant des protéines, des algues, des dépôts naturels de matière organique et du soufre contenu dans les fongicides, les pesticides et les fertilisants. Les sulfures sont également présents dans les déchets industriels des raffineries, des usines pétrochimiques, des usines de gaz, des usines de papier, des usines d'eau lourde et des tanneries (**McKee, J.E. et Wolf, H.W 1963**).

III. Impact lié à la présence des sulfures dissous sur les différentes étapes de traitement d'eau et de la boue

a) Prétraitement et traitement primaire

La présence des sulfures dissous dans l'eau usée engendre des sérieux problèmes d'odeurs et de corrosion dans le réseau d'assainissement. Le sulfure dissous se rencontre sous forme d'un mélange d'ion hydrosulfure et de sulfure d'hydrogène gaz (H₂S) et en présence d'oxygène, le sulfure d'hydrogène est converti en acide sulfurique par le biais des bactéries capables d'oxyder les sulfates, ce qui favorise la corrosion.

L'hydrogène sulfuré corrode le cuivre, des alliages à base de cuivre comme le laiton ; certains bronzes ; le fer et l'argent pour former des sulfures métalliques noirs. Il peut en effet être catastrophique sur l'équipement électrique des stations.

b) Traitement secondaire

La concentration élevée des sulfures dans le bassin d'aération de boues activées favorise aussi la croissance excessive des bactéries filamenteuses sulfurées, tels que **Beggiatoa thiotrix**. Ces dernières utilisent le sulfure comme source d'énergie et l'oxydant en soufre. La présence de ces micro-organismes filamenteux réduit la capacité de compactage et de décantation de la boue activée, ce qui se manifeste par le phénomène de gonflement de la boue.

En général, les sulfures dissous proviennent de la décomposition anaérobie de la matière organique contenant le soufre et aussi de la réduction des sulfates inorganiques. Dans un environnement anaérobie les bactéries sulfato-réductrices utilisent l'ion sulfate comme source d'oxygène pour leur respiration, elles convertissent ainsi les sulfates en sulfures dissous. Ceci se produit dans les sédiments des égouts gravitaires et les stations primaires des stations d'épuration.

c) Traitement tertiaire

Le sulfure est présenté par une concentration très faible qui ne dépasse pas 1mg/l dans le traitement tertiaire. Par conséquent, il ne pose pas de grands problèmes dans cette phase.

IV. Impact d'hydrogène de sulfure et le soufre sur l'environnement

a) Sur l'homme

L'ingestion de sulfures alcalins cause des nausées, des vomissements et des douleurs épigastriques ainsi qu'une irritation des muqueuses. Une dose de 10 à 15 g de sulfure de sodium serait fatale pour l'homme.

La toxicité aiguë du sulfure d'hydrogène absorbé par inhalation comprend des effets respiratoires, cardiaques et nerveux. Les principaux effets toxiques sont liés à l'inactivation des enzymes ou par la liaison du sulfure avec des cofacteurs métalliques comme le Fe^{2+} , le Mg^{2+} ou le Cu^{2+} (Tableau1) (<http://www.jenntech.fr/francais/dataperio/s.htm#ixzz3aV6MPz5V>)

Tableau 1 : Effet du sulfure d'hydrogène sur la santé humaine

[H ₂ S] (en ppm)	Effet du sulfure d'hydrogène sur les humains
4	Odeur modérée, facilement détectable
10	Irritation des yeux
27	Odeur désagréable
100	Toux, irritation des yeux, perte de l'odorat au bout de 2-15 minutes
200-300	Inflammation des yeux et irritation de l'appareil respiratoire au bout d'une heure
500-700	Perte de conscience et mort éventuelle au bout de 30-60 minutes

b) Sur l'environnement :

Les substances sulfuriques peuvent avoir aussi un impact négatif sur le milieu naturel :

- Changement de la qualité de l'air ;
- Changement de la qualité des eaux douces;

- Modifications des sols;
- Perturbation de la faune;
- Un dérangement de la population liée à sa mise en place;

V. Solutions proposées pour diminuer l'impact des sulfures sur l'eau et sur l'environnement

La lutte contre le sulfure pourrait commencer à la source d'eau brute ; dans la chaîne de procédés ou encore dans le système de distribution.

Le sulfure d'hydrogène est ordinairement éliminé de l'eau par aération et par oxydation chimique. Les dispositifs d'aération utilisés dans les usines d'épuration sont des systèmes mécaniques simples aux tours d'aération à garnissage qui sont plus complexes. On a constaté que l'élimination optimale du sulfure d'hydrogène par aération survenait à un pH inférieur à 6. Généralement, on peut obtenir grâce aux méthodes précitées des concentrations de sulfure d'hydrogène de 0,05 mg/L.

Les oxydants employés dans l'oxydation du sulfure comprennent : le chlore ;le permanganate de potassium et l'ozone.

L'apport de nitrates de calcium dans les eaux usées inhibe totalement la formation de sulfures dissous et de H₂S .L'apport de nitrates va permettre de maintenir les effluents à l'état d'anoxie dans lequel le processus de formation d'H₂S est totalement bloqué (**Ministère de la santé et du bien être social 1995**).

VI. Conclusion

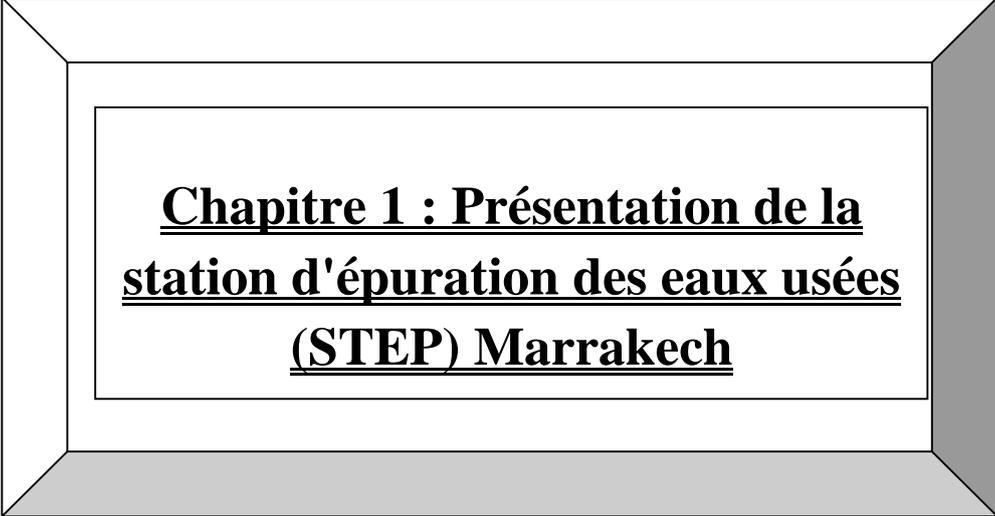
Le sulfure est un composé chimique qui a des impacts négatifs sur les différentes étapes du traitement de l'eau et de la boue et également sur l'homme et l'environnement. Ces impacts se traduisent soit par la corrosion du matériel soit par l'odeur néfaste engendrant des maladies respiratoires graves soit par le développement des bactéries qui se nourrissent sur les sulfures. L'élimination des sulfures peut se faire soit par aération, oxydation chimique ou l'ajout des nitrates de calcium dans l'eau brute.



Partie 2 :



*Étude pratique :
Étude de l'impact des
sulfures sur le traitement
des eaux usées et sur le
milieu naturel*



Chapitre 1 : Présentation de la
station d'épuration des eaux usées
(STEP) Marrakech

I. Introduction

La STEP de Marrakech (**Figure 1**) est une usine de traitement des eaux usées (domestique, industrielles, pluviales). Ces eaux qui arrivent à la STEP par un réseau d'assainissement, sont soumises à un traitement, avant de les rejeter dans le milieu naturel ou bien pour irriguer les stations des golfs. Afin de diminuer les risques qu'elles présentent pour l'homme et l'environnement. La STEP a un débit moyen estival de 118.000 m³/jour et un débit accepté en temps de pluie de 9828 m³/h. Ces objectifs sont :

- Elimination des rejets dans le milieu naturel d'eau usée à l'état brut ;
- Sauvegarde des ressources en eau ;
- Elimination des nuisances olfactives ;
- Réduction des émissions des gaz à effets de serre ;
- Economie de l'eau par l'usage d'une ressource alternative.

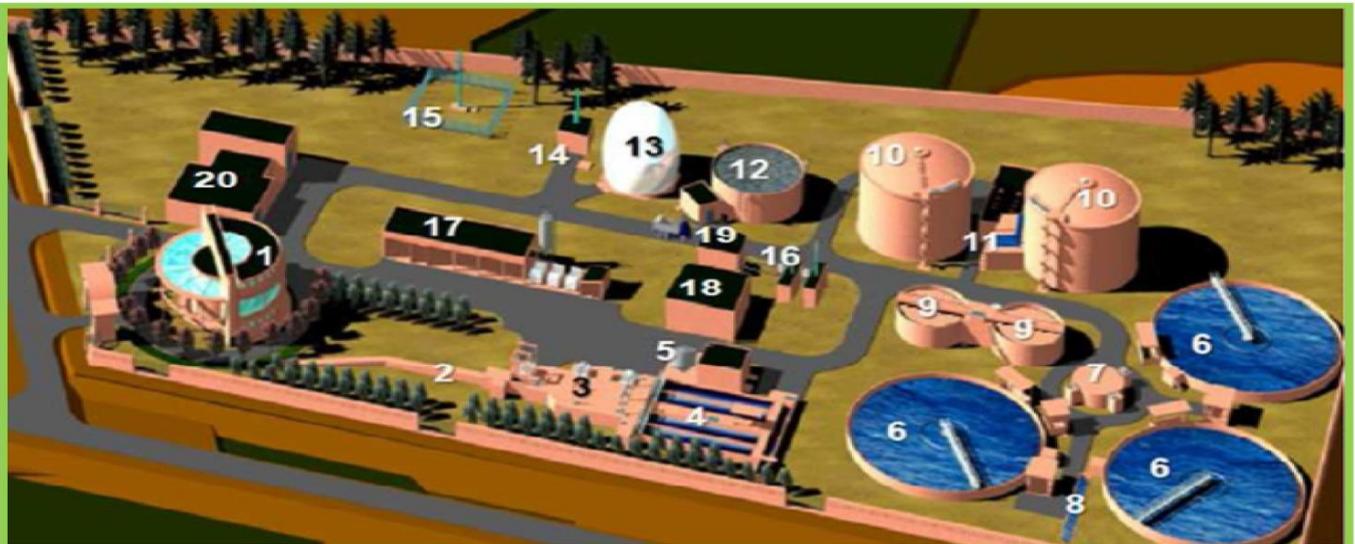


Figure 1 : Présentation des installations de la STEP Marrakech

1 : Batiment administratif; 2 : Entrée des eaux brutes; 3 : Dégrillage; 4 : Dessablage défraissage; 5 : Traitement des sables; 6 : Décanteurs; 7 : Répartiteurs; 8 : Sortie eaux traitées; 9 : Epaisseurs; 10 : Digesteurs; 11 : Traitement des graisses; 12 : Stockeur; 13 : Gazomètre; 14 : Désulfuration; 15 : Torchère; 16 : Cogénération; 17 : Déshydratation; 18 : Sous station; 19 : Chaufferie; 20 : Atelier

II. La STEP Marrakech

La station d'épuration des eaux usées de la ville de Marrakech (**Figure 2**) est orientée selon un axe Nord/sud, parallèle à la route de Safi, sur le lit majeur de l'Oued Tensift à proximité du pont longeant la RN7, sur une superficie de 17 ha . Elle est limitée 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,
- La route des ferrailleurs et le douar Azib layadi au Sud.
- 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 des grilles.



Figure 2 : Localisation de la STEP dans la ville de Marrakech

III. Circuit de la STEP Marrakech et le control de la qualité au laboratoire

a) Circuit de la ligne eau et son suivi au laboratoire

a-1- Circuit de la ligne eau

Le traitement des eaux usées est un procédé élaboré pour protéger l'environnement et la santé de l'homme. Ce traitement passe par les étapes suivantes : Prétraitement, Traitement primaire, Traitement secondaire et Traitement tertiaire

a-1-1 Prétraitement

Le prétraitement est une étape qui consiste en un certain nombre d'opérations physiques ou mécaniques destinées à extraire le maximum d'éléments dont la nature et la dimension constitueraient une gêne ultérieurement. Ces opérations sont : le dégrillage, le dessablage et le déshuilage.

✓ Dégrillage.

Au cours du dégrillage, les eaux usées passent au travers d'une grille dont les barreaux plus ou moins espacés, retiennent les matières les plus volumineuses charriées par l'eau brute, qui pourraient nuire à l'efficacité des traitements suivants ou en compliquer leur exécution.

Il existe 4 lignes de dégrillage dont 3 automatiques et une manuelle (**Tableau 2**).

Tableau 2 : Différentes étapes du dégrillage

Dégrilleurs	Espacement entre barreaux (mm)	Caractéristiques	Caractéristiques Communes
Pré-dégrilleur	200 	Manuel, incliné de 60°	-construction tout en acier inoxydable. -construction simple, solide qui dure dans le temps.
Dégrilleur Moyen	80 	Automatique, Vertical	-peu d'entretien -installation simple et rapide
Dégrilleur fin	10 	Automatique, Vertical	-faible consommation d'électricité

Les déchets récupérés par les grilles sont évacués vers la benne de décharge avant d'être mis en décharge dans la décharge publique de Marrakech (**Photo 1**).



Photo 1: Evacuation des déchets vers les bennes de décharge

✓ **Dessablage**

Cette étape est essentielle pour prévenir les problèmes d'usure prématurée et même de bris d'équipements causés par les sédiments transportés par les eaux usées.

Le dessablage repose sur le simple principe de la décantation. C'est à dire qu'à l'intérieur des deux déssableurs-déshuileurs, l'eau s'écoule lentement ; les sables, et autres matières plus denses que l'eau se déposent à la base de l'ouvrage (**Photo 2**).

Les huiles et autres graisses, moins denses que l'eau, ont une tendance naturelle à remonter à la surface. Pour accélérer ce phénomène, l'eau est aérée, pour émulsionner les graisses.

Il existe deux lignes doubles de dessablage, de 200 m² de surface unitaire et de 600 m³ de volume unitaire.

Photo 2 : Dessablage/ Déshuilage

a-1-2 Traitement primaire



Les eaux pré-traitées sont acheminées vers le répartiteur afin de les distribuer de manière égale entre les 3 décanteurs primaires de 1000 m² de surface unitaire, qui ont pour rôle la décantation de la matière en suspension par des procédés physiques qui permettent de rassembler les matières en suspension. Ainsi, les particules les plus lourdes vont tomber plus facilement vers le fond du bassin (**Photo 3**).

Les matières en suspension décantant au fond des décanteurs primaires vont constituer la boue primaire, cette dernière est envoyée vers les épaisseurs pour être concentrée et avoir une teneur en matière en suspension >70 g/l. L'eau claire récupérée à la surface est envoyée vers les répartiteurs de la deuxième phase, ensuite aux bassins biologiques.



Photo 3 : Décanteur

a-1-3 Traitement secondaire

Le traitement secondaire comprend deux phases : le traitement biologique et la clarification :

✓ **Traitement biologique :**

Le traitement biologique des eaux usées dépend des activités biologiques, par les procédés des boues activées qui ont lieu dans des bassins d'aération (**Photo 4**). Son aération est assurée par des surpresseurs.

Les bactéries présentes dans les eaux usées jouent un rôle dans la dégradation de la matière polluante dissoute dans l'eau. Pour accélérer cette opération on doit créer les conditions de vie convenables pour leur prolifération.

Deux procédés sont adoptés pour l'élimination de l'azote à la STEP de Marrakech : la nitrification et la dénitrification.

- **La nitrification** : c'est l'oxydation de l'ammonium (NH_4^+) en nitrates (NO_3^-). Cette réaction se fait dans le bassin d'aération dans des conditions aérobies. L'oxygène étant ajouté par les surpresseurs. La nitrification se fait selon la réaction suivante :



- **La dénitrification** : c'est le processus par lequel les nitrates (NO_3^-) sont convertis en azote gazeux (N_2) et en oxygène (O_2) dans des conditions anoxie.

Dans le processus de dénitrification, les organismes responsables de la libération du carbone peuvent utiliser les nitrates (NO_3^-) et les nitrites (NO_2^-) comme source d'oxygène. Une masse active d'organismes qui consomme et concentre de la matière organique est appelée boue activée. La dénitrification se fait selon la réaction suivante (www.waterleau.com)



Photo 4 : Bassin biologique

✓ Clarification

La clarification se fait dans des clarificateurs (**Photo 5**) qui sont des ouvrages circulaires équipés d'un pont racleur où s'effectue la séparation par décantation des floccs biologiques issus des bassins d'aération. Les eaux clarifiées qui sortent des bassins ne sont plus nocives et peuvent être déversées sans aucun souci dans l'Oued Tensift.



Photo 5 : Clarificateur

a-1-4 Traitement tertiaire

La STEP ne procède ce traitement tertiaire (**Figure 3**) qu'en cas de demande d'eau pour l'irrigation des golfs, ce traitement consiste en une coagulation, floculation, suivies d'une filtration sur des lits de sables. Ensuite, l'eau traitée est désinfectée par les rayons ultraviolets et par le chlore pour éliminer le reste de la matière organique. Si il n'y a pas de demande de la part de la RADEEMA pour faire ce traitement tertiaire, l'effluent final est déversé dans l'oued Tensift (**Photo 6**).



Photo 6: Effluent vers oued Tensift

✓ Coagulation-floculation

La Coagulation-floculation facilite l'élimination des solides en suspension et des particules colloïdales. L'étape d'une séparation solide-liquide :

- **La coagulation** : c'est la déstabilisation de particules colloïdales par addition d'un réactif chimique appelé coagulant (chlorure ferrique).

- **La floculation** : c'est l'agglomération de particules déstabilisées en micro-floc et ensuite en flocons plus volumineux que l'on appelle floccs. On peut rajouter un autre réactif appelé floculant (polymère anionique) ou adjuvant de floculation pour faciliter la formation de floccs.

✓ Filtration sur lit de sable

C'est une méthode d'épuration biologique qui consiste à faire passer l'eau à traiter à travers des lits de sable (20 filtres à sable).

✓ Désinfection par les rayons ultraviolets

Le traitement par les rayons ultraviolets est une technologie établie de désinfection de l'eau en raison de sa très grande capacité à tuer ou à inactiver de nombreuses espèces de micro-organismes pathogènes. La désinfection par rayonnement ultraviolet est efficace contre les bactéries, les parasites protozoaires, et à fortes doses, peut aussi être efficace contre la plupart des virus.

✓ Désinfection par le chlore

Le chlore est un agent oxydant fort qui réagit facilement avec plusieurs substances organiques et inorganiques trouvées dans les eaux usées. Il est particulièrement efficace pour détruire les bactéries.



Figure 3 : Déroulement du traitement tertiaire

a-2- Suivi de la ligne eau au laboratoire

La station dispose d'un laboratoire permettant d'effectuer les analyses nécessaires sur les eaux usées pour caractériser leur qualité et déterminer les performances de la STEP. Dans le cadre de ce travail, nous amenées à nous familiariser avec ces techniques d'analyses pour pouvoir mieux comprendre le déroulement du traitement au niveau de la STEP. Les analyses effectuées au sein du laboratoire de la STEP sont : DBO5, DCO, MES, les composés chimiques, métaux lourds et la turbidité.

a-2-1- DBO5 : La demande biochimique en oxygène (mg O₂/l)

La DBO5 est la quantité d'oxygène qui est utilisée pour la dégradation des matières organiques décomposables par les processus biochimiques induits par des microorganismes, exprimée en (mg O₂/l) (**Photo 7**). La détermination de la DBO5 sert à :

- évaluer la concentration des polluants organiques dans les entrées et sorties de stations d'épuration biologiques ;
- déterminer les besoins en O₂ des bassins de boues activées.

Le rapport DBO5 / DCO varie de 0.01 à 0.7. Ce rapport a une importance déterminante pour la définition de la chaîne d'épuration d'un effluent. En effet, une valeur importante du rapport DBO5/DCO implique la présence d'une grande proportion de matières biodégradables. Inversement, une valeur faible de ce rapport indique qu'une grande partie de la matière organique n'est pas biodégradable.



Photo 7: DBO₅ pour les différentes eaux

a-2-2- DCO : La demande chimique en oxygène (mg O₂/l)

Dans les stations d'épuration, la DCO est un indicateur fiable des performances du traitement. Elle s'exprime en milligramme par litre (mg/l) d'oxygène et correspond effectivement à la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder dans des conditions opératoires définies, les matières organiques présentes dans un échantillon donné.

Cette analyse permet la détermination de la charge polluante d'une eau usée en matières organiques avant et après un traitement physique, chimique ou biologique afin de contrôler le fonctionnement d'une STEP et l'activité des microorganismes. Cette analyse se fait par méthode rapide en utilisant des kits .

a-2-3- MES : Les matières en suspension (mg/l)

Un échantillon représentatif est filtrés à travers une membrane filtrante ayant une porosité nominale de 1,5 µm (**Photo 8**), Les matières retenues sur le filtre sont séchées à 105°C puis pesées avec le filtre. La masse de matières en suspension est obtenue en faisant la différence entre la masse du filtre incluant les résidus séchés et la masse initiale du filtre, tout en tenant

compte du volume filtré. La quantité de matières en suspension volatiles est obtenue par la différence entre la masse du résidu calciné à 550°C et celui du résidu séché à 105°C.



Photo 8 : Appareil de filtration

a-2-4- Les composés chimiques et métaux lourds

Les composés chimiques et les métaux lourds sont également mesurés par les kits LCK, à savoir : le phénol, le sulfure, le sulfate, le sulfite, le chrome, l'ammonium, le nitrate, le nitrite, l'azote total, le phosphate total, l'ortho phosphate, le nickel et le cuivre.

a-2-5- La turbidité

La turbidité est une caractéristique optique de l'eau, à savoir sa capacité à diffuser ou absorber la lumière incidente. La turbidité est due à la présence de particules en suspension dans l'eau. L'échantillon d'eau est introduit dans un flacon de mesure normalisé et mesuré dans un turbidimètre (**Photo 9**), qui mesure et calcule le rapport entre la lumière transmise et la lumière diffusée à 90°.



Photo 9 : Turbidimètre

b) Circuit de la ligne boue et son suivi au laboratoire

b-1- Circuit de la ligne boue

Les boues d'épuration sont constituées de bactéries mortes et de matière organique minéralisée.

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. Le traitement se fait pour réduire le volume et les transformer en un produit valorisable.

Le traitement de la boue se déroule en étapes suivantes : épaissement, flottation, la digestion, stockage de la boue et la déshydratation.

b-1-1- Epaissement

Il s'agit de la première étape de traitement des boues qui sont extraites des 3 décanteurs primaires et envoyées vers les deux unités d'épaissement. La boue décantée est pompée du fond des bassins vers le tamisage et puis vers la digestion. **(Photo 10)**



Photo 10 : Epaisseurs

b-1-2- Flottation

La flottation est la première étape du traitement des boues secondaires, qui permet de concentrer les boues extraites du système secondaire avant de les envoyer vers la digestion. Les boues extraites par la station de pompage et les flottants des dégazeurs arrivent dans les deux unités de la flottation **(Photo 11)**.



Photo 11 : Flotateur

b-1-3- Digestion et stockage de la boue

C'est la phase où se déroule la fermentation des déchets à forte teneur en matière organique dans les digesteurs (**Photo 12**). La digestion préalable des boues et des déchets avant incinération permet :

- La réduction des quantités à déshydrater et incinérer ;
- La réduction des quantités d'eau à évaporer (économie d'énergie) ;



Photo 12 : Digesteurs

b-1-4- Déshydratation

La déshydratation (**Photo 13**) permet de diminuer la teneur en eau des boues. La filtration par filtres à bandes consiste en une compression et un cisaillement des boues entre deux toiles.



Photo 13 : Déshydratation

b-2-Suivi de la ligne boue au laboratoire

La boue est un mélange de matière minérale, matière organique et d'une grande variété de bactéries et autres micro-organismes vivant sous des conditions aérobies, ou anaérobies produits par la station d'épuration à partir des effluents liquides.

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

b-2-1-La matière sèche (MS)

C'est la méthode utilisée quand il y a trop de matière solide dans l'échantillon pour pouvoir le filtrer. L'eau de l'échantillon est évaporée à 105 °C et sa matière sèche est mesurée.

Lorsque la proportion de matière solide dans l'échantillon augmente encore, l'échantillon n'est plus vraiment liquide : il n'est pas possible de mesurer un volume. On pèse donc l'échantillon. Après évaporation on a également un poids de matière sèche. La proportion de matière sèche dans l'échantillon frais correspond à la siccité (**Photo 14**).



Photo 14 : Matière sèche

b-2-2- Volume de boue décanté en 30 minutes (VD30)

Ce paramètre est utilisé seulement lors de l'analyse d'une boue (aérobie) activée. Pour la détermination du volume de boue, on prend 1 litre de boue que l'on laisse décanté 30 minutes dans une éprouvette. On peut voir ensuite une ligne de séparation entre le surnageant (eau claire) et la couche de boue en-dessous. Après une demi-heure de sédimentation, on mesure le volume de boue présente dans le cône (en ml). Le résultat est exprimé en ml/voir (**Photo 15**).



Photo 15 : volume de boue décanté en 30 min

b-2-4- Acides Gras Volatiles (AGV)

La détermination de la concentration en acides gras volatils permet de s'assurer que les réactions de dégradation se déroulent correctement au niveau des digesteurs anaérobies. On exprime généralement les AGV en mg/l.

c) Circuit de la ligne biogaz et son suivi au laboratoire

c-1-Circuit de la ligne biogaz

Le biogaz venant des digesteurs (ou de la phase 1) passe par un traitement biologique et physico-chimique au niveau de la désulfuration pour éliminer le H₂S. Le biogaz désulfuré suit deux chemins : en premier lieu vers les co-générateurs dont l'utilité est manifestée par la production de la chaleur qui sert au chauffage de la boue au niveau des digesteurs. Et par conséquent il assure la production de 50 % de l'électricité utilisée au niveau de la STEP. Finalement il est stocké dans de grands réservoirs circulaires à double membrane appelés gazomètres. Dans le cas où les gazomètres sont pleins, le biogaz en excès va subir une combustion au niveau de la torchère.

Au niveau de la STEP, le biogaz suit le cheminement suivant (Figure 4) :

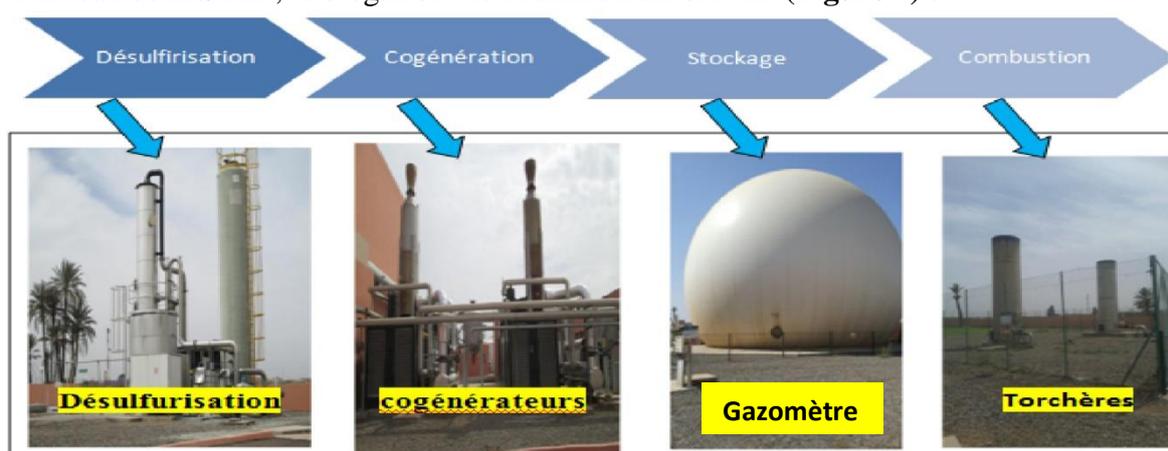


Figure 4: Cheminement de la ligne biogaz

c-2- Suivi de la ligne biogaz à l'usine et au laboratoire

La mesure du biogaz se fait par un détecteur qui donne les valeurs des différents gaz (CH₄, H₂S, O₂, CO₂) et au laboratoire par la mesure de la conductivité ; le pH ; la température ; le potentiel redox et la concentration des sulfates du gaz traité biologiquement par les bactéries en présence de l'eau qui donne une solution sur laquelle on fait les mesures et le gaz traité chimiquement par l'ajout de la soude qui donne aussi une solution.

III. Impact de la STEP sur l'environnement :

La station de traitement joue un rôle très important dans la protection de l'environnement et des ressources en eau :

- **La ligne eau:** produit des eaux traitées (épurées) pour l'irrigation des 13 golfs de Marrakech en plus de la palmeraie.
- **La ligne boue :** est un projet est en cours d'étude pour valoriser la boue déshydratée dans le domaine de la cimenterie.
- **La ligne biogaz :** produit du biogaz qui est la source essentielle de l'alimentation énergétique de la STEP (presque 50% de sa demande en électricité) après sa combustion au niveau de la cogénération.

En revanche la STEP a un aspect négatif qui se présente comme suit :

- La STEP répond aux nouvelles demandes (les golfs) mais elle néglige le domaine agricole ;
- La pollution de l'air : les odeurs liées à la fermentation des eaux usées provoquent des maladies respiratoires graves.

IV. Normes marocaines pour les rejets

Les normes marocaines pour les rejets (**Tableau 3**) décrivent les limites imposées par la législation marocaine pour les différents paramètres et concentrations des polluants dans les effluents industriels et pour les rejets.

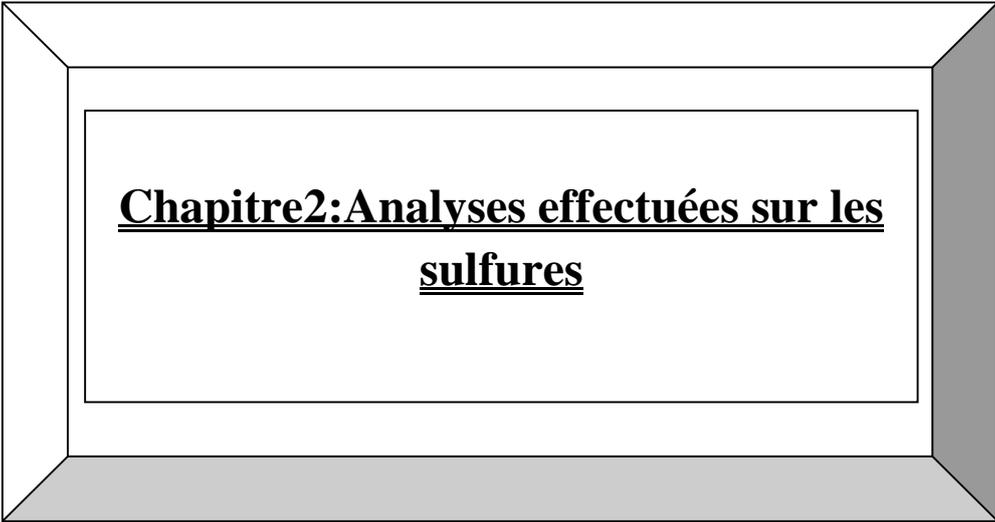
Tableau 3 : Normes marocaines pour les rejets

Paramètre	Normes marocaine pour les rejets
Sulfure, mg/l	1
Sulfates, mg/l	400
pH	6.5 – 8.5
Température, °C	< 35
DCO, mg O2/l	< 1000
Matières en suspension, mg/l	< 500
DBO5, mg O2/l	< 500

V. Conclusion

La STEP Marrakech est implantée dans la côte la plus basse de la ville. Son rôle est de traiter les eaux usées de la ville de Marrakech en vue d'éliminer les polluants avant de déverser l'eau dans l'oued Tensift. Une partie de cette eau traitée peut subir un traitement complémentaire pour la rendre utilisable dans l'irrigation des golfs de Marrakech.

Le circuit de traitement comprend le prétraitement, traitement primaire, secondaire et tertiaire.



Chapitre2:Analyses effectuées sur les
sulfures

I. Introduction

Les analyses des sulfures dans l'eau et dans la boue permettent d'avoir une idée sur son évolution, de comprendre sa cause et son effet sur les étapes de traitement et sur l'environnement pour pouvoir suggérer de bonnes solutions afin de diminuer ses impact.

Le suivi de la qualité des eaux usées lors de ce stage s'est focalisé sur :

- le suivi des sulfures dans l'eau brute lors des 10 premiers jours de Mai 2015,
- le suivi des sulfures dans les eaux secondaire et tertiaire du 11 au 20 Mai 2015 et,
- le suivi des sulfures et sulfates dans les boues du 20 au 25 Mai 2015.

L'analyse de l'eau se fait en utilisant des méthodes rapides à l'aide des kits des sulfures et des sulfates mais pour la boue on suit la même méthode après la centrifugation de l'échantillon pour faire l'analyse sur le surnagent.

II. Evolution dans l'eau brute

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 4 et la figure 5

Tableau 4 : Evolution des sulfures dans l'eau brute pendant la première décade du mois mai 2015

les jours	Les sulfures mg/l	Norme
1	2,09	1
2	1,52	1
3	0,923	1
4	2,64	1
5	2,70	1
6	1,95	1
7	2,05	1
8	2,68	1
9	1,73	1
10	1,25	1

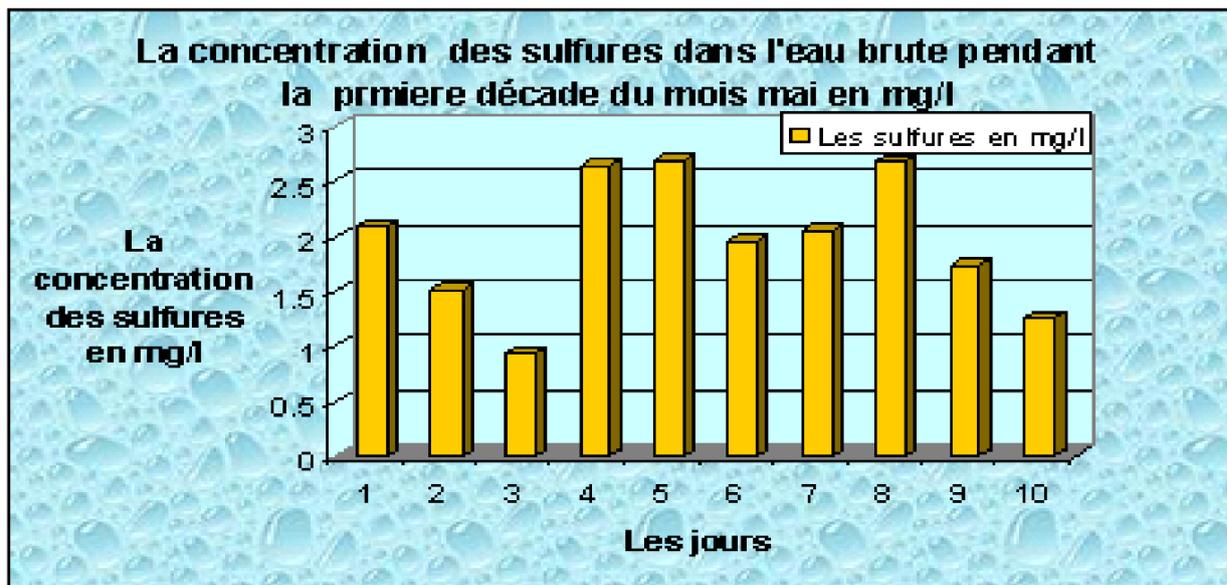


Figure 5: Evolution des sulfures dans l'eau brute

D'après le **Tableau 4** et la **Figure 5**, on remarque que les concentrations des sulfures sont élevées durant les dix premiers jours du mois de mai (supérieures aux normes marocaines de rejet (<1 mg/l O₂) excepté les jours fériés (samedi et dimanche). Cette évolution serait due à la pollution riche en sulfure rejetée par les usines, les hôpitaux... pendant les jours ouvrables.

Cette augmentation engendre une perturbation au niveau du traitement biologique des eaux usées. Généralement son effet est visualisé dans les bassins d'aérations de la boue activée où la concentration élevée des sulfures dans ces bassins favorise le développement excessive des bactéries filamenteuses sulfurées qui utilisent l'oxygène des sulfates et les transforment en sulfures.

Le développement bactérien peut être bloqué soit par l'aération de l'eau brute soit par la construction des conduites d'aération dans les décanteurs pour oxyder les sulfures et les transformer en sulfates pendant tous les jours de la semaine excepté le samedi et dimanche où la concentration moyenne en sulfures est très faible.

III. Evolution des sulfures dans les eaux secondaire et tertiaire

L'eau secondaire: est une eau obtenue après le traitement secondaire qui se caractérise par un la présence des bactéries qui dégradent la matière organique dans les bassins biologiques appelé aussi les bassins d'aération.

L'eau tertiaire : est une eau secondaire qui a subit la floculation ; la coagulation ; la filtration sur lits de sable ; désinfection par les rayons ultraviolets et désinfection par le chlore.

les résultats obtenus de l'évolution des sulfures dans ces eaux sont présentés dans le **tableau 5** et la **figure 6** montrent que :

Tableau 5 : Concentration des sulfures dans l'eau secondaire et tertiaire pendant la deuxième décade du mois mai 2015 en mg/l

Les jours	l'eau secondaire	l'eau tertiaire	Norme
11	0,23	0,11	1
12	0,26	0,12	1
13	0,3	0,22	1
14	0,34	0,24	1
15	0,28	0,12	1
16	0,11	0,09	1
17	0,09	0,02	1
18	0,27	0,11	1
19	0,2	0,14	1
20	0,25	0,09	1

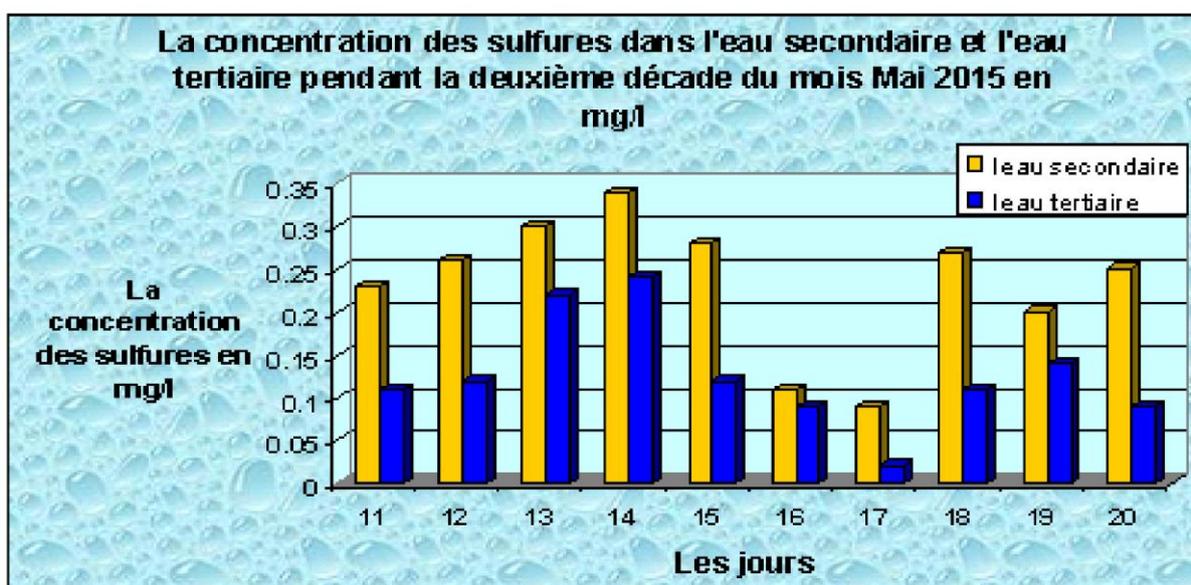


Figure 6 : Concentration des sulfures dans l'eau secondaire et tertiaire pendant la deuxième décade du mois mai 2015 en mg/l

Dans l'eau secondaire et tertiaire, la concentration des sulfures est très faible; cette faiblesse est due à une aération de l'eau pendant le traitement secondaire dans les bassins d'aérations. La chute des sulfures observée dans le 16^{ème} et le 17^{ème} jour s'explique par la même raison que celle avancée pour l'eau brute que ce sont des jours Fériés.

IV. Evolution des sulfures et sulfates de la boue

Les analyses qui ont été réalisées concernaient les boues produites entre 20 et 25 Mai 2015. Les résultats concernant les sulfures sont présentés dans le **tableau 6** et la **figure 7** et le cas concernant les sulfates sont désignés dans le **tableau 7** et la **figure 8**.

Tableau 6 : Concentration des sulfures en mg /l

La concentration des sulfures pendant les jours du mois Mai 2015 en mg/l							
La boue	20	21	22	23	24	25	La moyenne
boue épaissie	23	12,5	21,4	14	18,5	23,6	18,83
La boue flottée	0,03	0,11	0,38	0,48	0,4	0,43	0,30
La boue stockée 1	0,43	0,66	0,95	1,72	0,4	0,82	0,83
La boue stockée 2	0,57	0,8	0,8	0,48	0,69	0,72	0,67
La boue de digesteur 1	4,5	0,356	7,6	0,646	4,36	3	3,41
La boue de digesteur 2	4,08	0,83	10,76	2,28	7	6,96	5,32
La boue de digesteur A	8,22	2,08	0,704	1,696	8,08	5,44	4,37
La boue de digesteur B	0,39	0,348	7,8	0,484	2,34	2,08	2,24

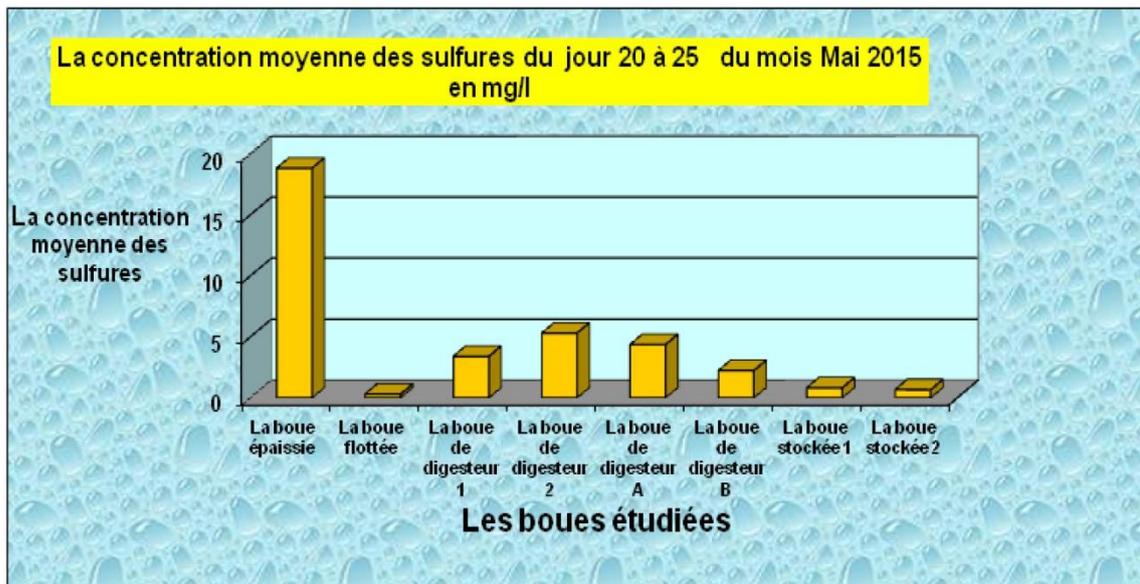


Figure 7 : Concentration moyenne des sulfures en mg/l

Ces résultats montrent que :

La boue épaissie contient la plus forte concentration des sulfures alors que, celle des sulfures de la boue stockée est presque négligeable.

La boue épaissie constitue la première boue obtenue après la décantation. Les deux boues épaissie et flottée se mélangent dans les quatre digesteurs pour produire du biogaz. Après la désulfuration physico-chimique et biologique, le biogaz est dirigé vers les stockeurs 1 et 2, ce qui implique une diminution de la concentration des sulfures dans ces derniers.

La chute de la concentration des sulfures dans la boue flottée est due à l'aération de cette boue dans les bassins biologiques avant son passage vers les flottateurs et par conséquent une oxydation des sulfures en sulfates.

La faible concentration des sulfures dans le digesteur B est engendrée par l'ajout des graisses traitées après le déshuilage, ces graisses sont considérées comme un nutriment des bactéries de la digestion, ce qui réduit la quantité des sulfures dans ce digesteur.

Parmi les problèmes engendrés par les sulfures on cite : le développement des bactéries filamenteuses dans les bassins biologiques, ce qui perturbe le milieu de vie des bactéries qui dégradent la matière organique et favorise la corrosion du matériel surtout les digesteurs.

Pour diminuer l'impact de ces sulfures, on recommande soit d'aérer la boue épaissie avant de l'envoyer vers les digesteurs soit d'ajouter les huiles dans les trois autres digesteurs.

Tableau 7: Concentration des sulfates en mg/l

La boue	La concentration des sulfates pendant les jours du mois Mai 2015 en mg/l						La moyenne
	20	21	22	23	24	25	
La boue épaissie	73,5	70,2	71	78,8	69,8	73,1	72.73
La boue flottée	156	70,7	68,8	65,2	63,1	66,3	81.68
La boue stockée 1	123	103	108	89,1	108	102	105.51
La boue stockée 2	136	177	321	97	118	130	163.16
La boue de digesteur 1	105	121	118	137	169,8	120	128.47
La boue de digesteur 2	138	141	120	119	129,6	138	130.93
La boue de digesteur A	126	81,8	128	138	173,2	120	127.83
La boue de digesteur B	107	165	123	85,4	94,2	119	115.6

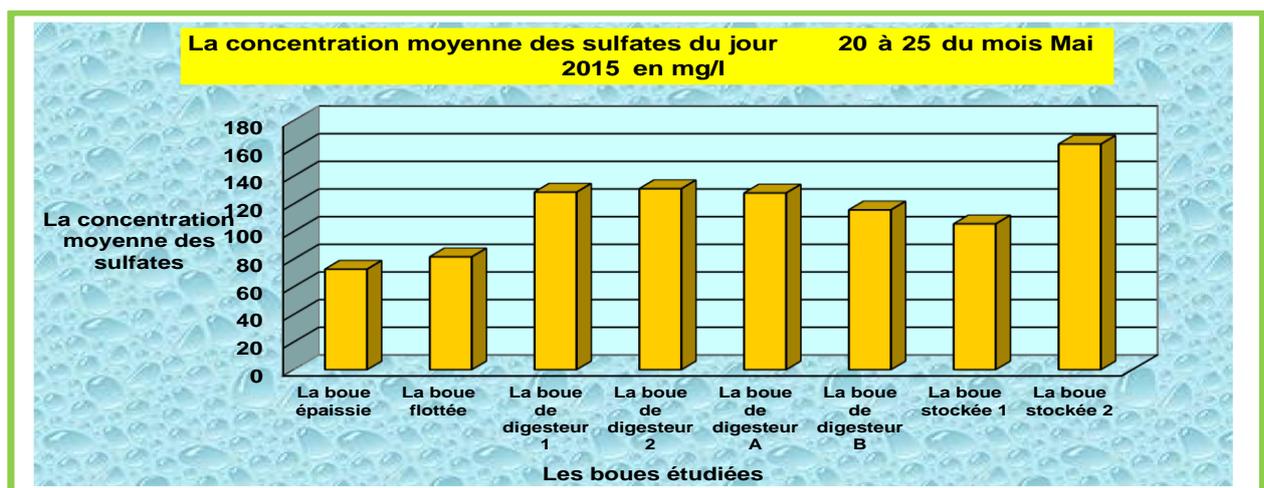


Figure 8 : Concentration moyenne des sulfates en mg /l

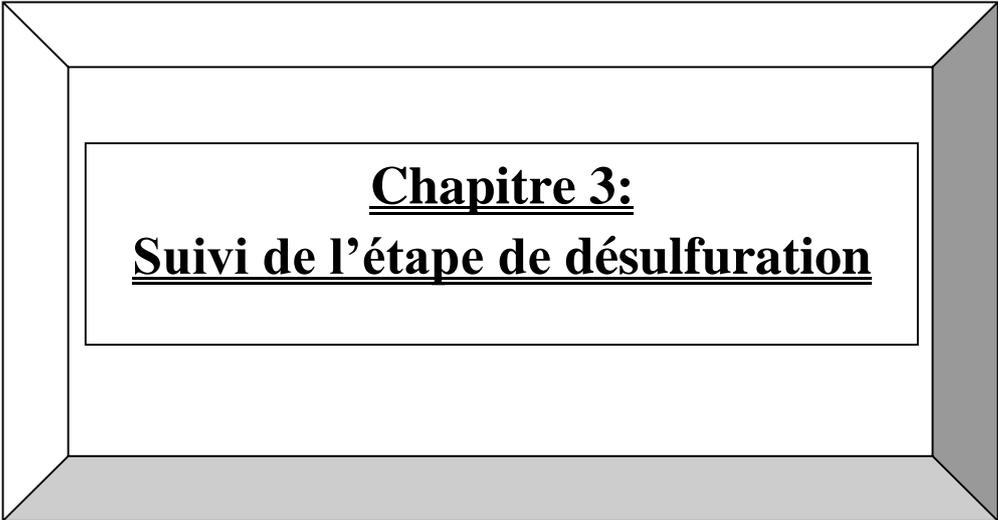
Les sulfates se concentrent dans la boue stockée 2. Cette concentration est due à une diminution des sulfures sous l'effet de l'oxydation, tandis que la concentration en sulfates est faible dans la boue épaissie et la boue flottée. En effet, le sulfure n'a encore subi aucun traitement.

L'augmentation de la concentration des sulfates dans les digesteurs est signe d'une bonne aération et un bon traitement des bassins biologiques.

V. Conclusion

Le suivi des analyses en sulfures dans les eaux brute, secondaire et tertiaire et également dans la boue, montrent que sa présence dans l'eau usée engendre des sérieux problèmes de mauvaise odeurs, de corrosion, de formation du gaz H_2S et le développement excessif des bactéries filamenteuses sulfurées dans les étapes de traitement des eaux usées.

La lutte contre ces problèmes pourrait commencer à la source d'eau brute par aération ou par oxydation chimique.



Chapitre 3: **Suivi de l'étape de désulfuration**

I. Introduction

Les gaz produits après la digestion au niveau de la STEP sont : (H_2S , CH_4 , O_2 et CO_2) et pour avoir un biogaz de bon qualité il faut faire la désulfuration; c'est-à-dire avoir un biogaz riche en CH_4 et pauvre en H_2S .

Pour suivre l'évolution du CH_4 en fonction de H_2S , on a réalisé le suivi de l'évolution de ce gaz pendant la première décennie du mois mai 2015

II. Analyse du gaz brute

Le gaz brut : C'est le gaz présent dans les digesteurs et qui n'a encore subi aucun traitement. Les résultats obtenus sont présentés dans le **tableau 8** et la **figure 9**.

Tableau 8 : Analyses du biogaz non traité

les jours	H2S (ppm)	CH4 (%)	O2 (%)	CO2 (%)
01/05/2015	3556	70,7%	0,2%	28,9%
02/05/2015	3510	70,5%	0,2%	29,5%
03/05/2015	3490	70,1%	0,1%	29,1%
04/05/2015	3670	69,9%	0,6%	29,5%
05/05/2015	3387	74,5%	0,2%	28,7%
06/05/2015	3529	73,7%	0,2%	29,9%
07/05/2015	3676	74,0%	0,2%	29,5%
08/05/2015	3491	73,3%	0,1%	30,4%
09/05/2015	3060	73,5%	0,2%	27,8%
10/05/2015	3655	72,4%	0,2%	30,5%

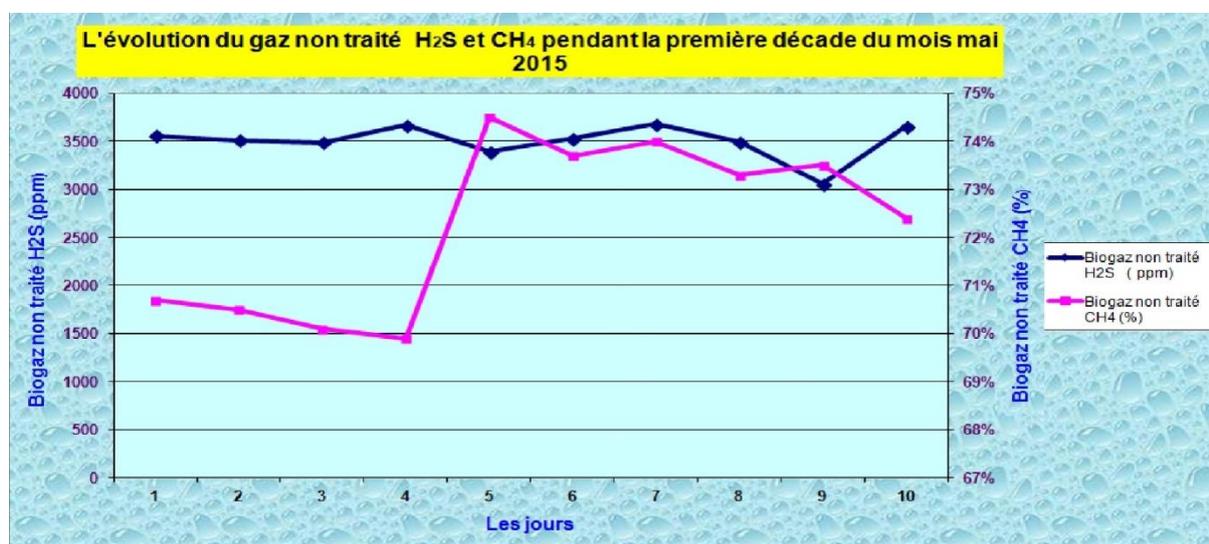


Figure 9 : Evolution du biogaz non traité H₂S et CH₄ pendant la première décade du mois mai 2015

Selon la **figure 9** et le **tableau 8**, on remarque que généralement, une concentration très élevée en H₂S génère une concentration très basse en CH₄ pendant les quatre premiers jours. On peut donc réduire la formation de H₂S dans l'infrastructure d'assainissement par le fonctionnement de l'unité de désulfuration.

L'unité de désulfuration utilise un processus physico-chimique qui consiste à asperger le gaz entrant par dessous par une douche de soude qui fait décanter les grosses molécules en particulier d'hydrogène H₂S. Le gaz qui arrive en provenance des digesteurs entre dans la désulfuration est suit un traitement qui a pour but de diminuer la teneur en H₂S d'environ 80%. Le principe de fonctionnement est basé sur des lois physiques et des réactions chimiques ainsi qu'un traitement bactérien.

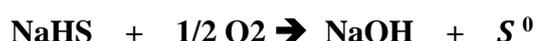
Un garnissage est placé au niveau du laveur ayant pour rôle de retenir le gaz afin d'augmenter le temps de séjour du gaz et le disperse pour un meilleur traitement.

L'eau de lavage, en provenance du bioréacteur, est pulvérisée sur le garnissage constituant une douche de soude. A cette étape le sulfure d'hydrogène passe à l'état gazeux H₂S à l'état liquide lié au sodium NaHS .



L'eau chargée en sulfure est appelée eau de processus, elle s'écoule par gravité vers le bioréacteur pour subir le traitement biologique. Les bactéries responsables de la transformation du sulfure en soufre élémentaire S⁰ sont les bactéries sulfato-oxydantes, ce qui a pour conséquence d'augmenter le pH de l'eau de processus régénéré.

Une partie de la solution formée est recyclée vers la cuve de décantation, le soufre est extrait sous forme de boue soufrée concentrée. Une quantité de la solution appauvrie quitte l'installation par voie de purge afin de réguler la salinité (www.waterleau.com).



III. Analyse du gaz traité

Le gaz traité est le résultat du gaz brut qui a subi un traitement biologique par des bactéries et un traitement chimique par l'ajout de la soude.

Les résultats d'analyses sont présentés dans le **tableau 9** et la **figure 10** :

Tableau 9 : Analyses du biogaz traité

Les jours	H2S (ppm)	CH4 (%)	O2 (%)	CO2 (%)
01/05/2015	77	72,3%	0,2%	26,3%
02/05/2015	187	71,5%	0,4%	27,2%
03/05/2015	153	71,2%	0,2%	26,8%
04/05/2015	100	69,6%	0,7%	28,2%
05/05/2015	188	74,5%	0,2%	27,2%
06/05/2015	143	70,5%	0,1%	28,2%
07/05/2015	230	75,0%	0,1%	28,1%
08/05/2015	53	75,0%	0,1%	28,8%
09/05/2015	102	75,0%	0,2%	26,2%
10/05/2015	261	69,4%	0,2%	25,7%

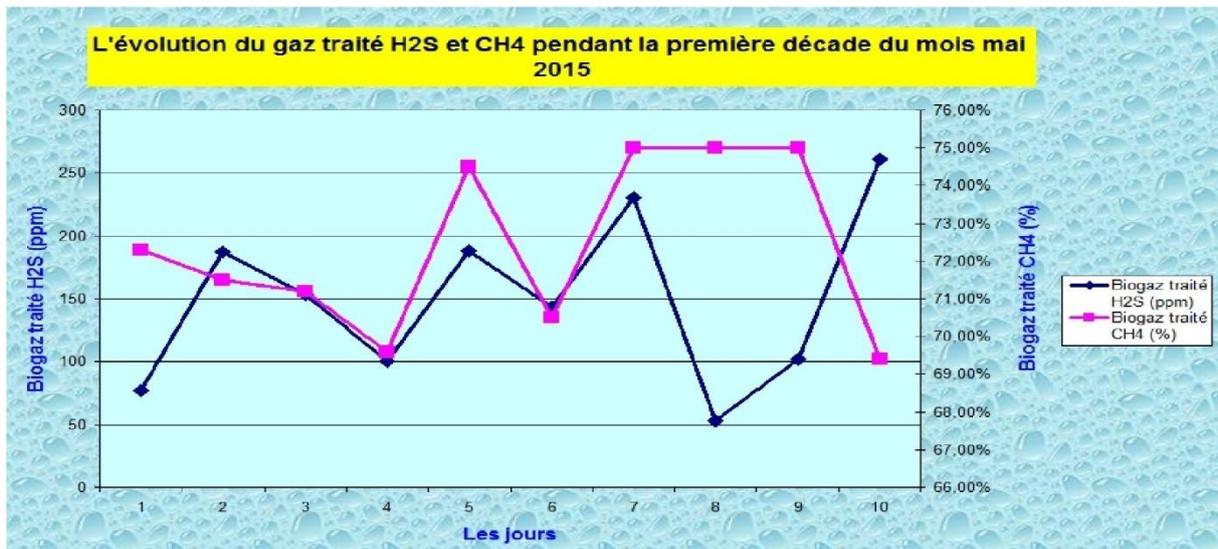


Figure 10 : Evolution du biogaz traité H₂S et CH₄ pendant la première décade du mois mai 2015

Selon le graphique (**Figure 10**) on remarque que le traitement a réduit H₂S et CH₄ est resté constant.

Après le suivi des performances de l'unité de la désulfuration lors de son fonctionnement, il résulte d'après le graphique (**Figure 10**) et les tableaux (**8 et 9**) que chaque paramètre présent dans l'unité joue un rôle important pour donner un meilleur rendement de H₂S traité. En effet la diminution de la quantité de l'air se traduit par une diminution de la quantité du sulfate. Ceci joue un rôle important sur le fonctionnement de l'unité en terme l'élimination de H₂S.

IV. Conclusion

Le suivi de l'évolution du biogaz au cours de la désulfuration qui a pour but l'élimination du H₂S montre qu'un biogaz bien traité permet la production de l'énergie électrique mais il engendre une pollution de l'air à cause de l'odeur néfaste du H₂S.

CONCLUSION GENERALE

Ce travail dans le cadre de notre stage de fin d'étude à la STEP Marrakech a permis de voir l'effet des sulfures sur le procédé de traitement et leurs impact sur l'environnement tel que : la corrosion, l'endommagement des installations, changement de la qualité de l'air et des eaux.

Le suivi des analyses en sulfures dans les eaux brute, secondaire et tertiaire et dans la boue nous a permis de les manipuler et d'observer ses impacts sur les étapes de traitement et aussi de suggérer des solutions pour les diminuer. Le suivi de la concentration en sulfure durant le mois de Mai 2015, dans l'eau, dans la boue et dans le biogaz a permis de tirer les conclusions suivantes : la présence du sulfure à fortes concentrations, perturbe le circuit de traitement de l'eau et de la boue et également du biogaz et aussi réduit la capacité de la boue activée et corrode l'équipement du réseau d'assainissement en plus la pollution de l'atmosphère par H_2S .

-La concentration en sulfures dans l'eau brute est très élevée dans tous les jours de la semaine exceptée samedi et dimanche.

-La concentration en sulfures dans les eaux secondaire et tertiaire généralement très faible.

-La concentration en sulfures et en sulfates montre que l'aération de la boue permet un bon traitement.

Ces résultats nous ont amenées à proposer l'ajout du nitrate de calcium dans les eaux usées pour minimiser la formation des sulfures dissous et de H_2S dans tous les jours de la semaine exceptée samedi et dimanche ou la concentration en sulfures est généralement faible. Cette proposition a été mise à exécution au niveau de la STEP. Les résultats s'avèrent prometteurs.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ◆ www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/
- ◆ http://www.memoireonline.com/11/13/7765/m_Traitement-des-eaux-usees-domestiques-par-biodenitrification--effet-du-nitrate3.html
- ◆ DEGREMONT (1989). Mémento technique de l'eau. 9e éd., Degrémont, Paris, France.
- ◆ www.projetbabel.org
- ◆ GHAZI N. (2007). Utilisation des technologies avancées compactes : Réacteur Biologique à Membrane et Réacteur Biologique Séquentiel pour le traitement des eaux grises en vue de leur recyclage à des fins domestiques. Thèse de troisième cycle, institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat.8p.
- ◆ www.micro-station.mon-assainissement.fr
- ◆ <http://www.futurasciences.com/magazines/matiere/infos/dico/d/chimie-sulfure-10470/>
- ◆ Conseil national de recherches du Canada. Sulphur and its inorganic derivatives in the Canadian environment. CNRC n° 15015, Comité associé des critères scientifiques concernant l'état de l'environnement, Ottawa (1977).
- ◆ McKee, J.E. et Wolf, H.W. Water quality criteria. 2^eédition. Resources Agency of California State Water Resources Control Board (1963) .
- ◆ U.S. National Research Council. Hydrogen sulphide. Committee on Medical and Biologic Effects of Environmental Pollutants, Subcommittee on Hydrogen Sulphide. University Park Press, Baltimore, MD (1979).
- ◆ www.waterleau.com
- ◆ <http://www.lenntech.fr/francais/dataperio/s.htm#ixzz3aV6MPz5V>
- ◆ Howe, K.J. et Lawler, D.F. Acid base reactions in gas transfer: A mathematical approach. J. Am. Water Works Assoc., 81(1) : 61 (1989).
- ◆ www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/

ANNEXE

Présentation de WATERLEAU

WATERLEAU est une société Belge internationale spécialisée dans les technologies du traitement de l'eau, de l'air, des déchets et la production d'énergies renouvelables.

Grace à la construction et à l'exploitation des stations d'épuration des eaux usées de Marrakech et Fès, WATERLEAU est devenu un acteur majeur dans le domaine du traitement de l'eau au Maroc d'autres projets étant réalisés ou en cours de construction.

Cette société est créée en Janvier 2000 grâce à 5 ingénieurs Belges motivés et expérimentés, dotés d'une solide expérience dans le traitement de l'eau et des eaux usées. WATERLEAU est rapidement reconnu et plébiscité pour son savoir-faire elle s'adapte aux plusieurs projets dans le monde entier. Aujourd'hui la majorité de son activité est tournée vers l'export, permettant à WATERLEAU de remporter régulièrement le trophée du Lion de l'export en Belgique.

En 2001 la palette technologique du traitement de l'air est enrichie en acquérant le département air AQ System de la société MECS (Monsanto Enviro Chem Systems, Saint Louis, Missouri, USA) dotée de longues années d'expérience et de multiples références dans ce domaine. En 2002 WATERLEAU acquiert le savoir-faire et l'expérience dans les installations de processus eau et la technologie membranaire.

ORGANIGRAMME STEP MARRAKECH

ORGANIGRAMME STEP MARRAKECH

