



Université Cadi Ayyad - Marrakech
Faculté des Sciences et Techniques
Département des Sciences de la Terre



Mémoire de Fin d'Etudes

LICENCE Es SCIENCES ET TECHNIQUES

« Eau et Environnement »

Intitulé :

Vérification de la fiabilité des méthodes d'analyses alternatives au sein du Laboratoire de Contrôle d'Assainissement de la RADEEMA (Marrakech)



Réalisé par :

Naima SABER

Encadrée par :

- Mohamed El Mehdi Saidi (Faculté des Sciences et Techniques)
- Yassine BISSI: Chef de département - STEP de Marrakech

Février 2016

Année universitaire 2015-2016

REMERCIEMENT

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu de nous avoir guidé et donné la force et la volonté pour atteindre mon objectif.

En premier lieu, je tiens sincèrement à témoigner toute notre gratitude envers **Mme Karima BENAZOUZ**, notre encadrante professionnelle au sein du Laboratoire de Contrôle des Eaux Usées à la STEP, pour sa confiance, ses explications, et ses précieux conseils.

Mes remerciements, les plus sincères à Monsieur **SAIDI El Mehdi**, professeur de l'enseignement supérieur à la Faculté des Sciences et Technique et mon directeur de mémoire par toute ma reconnaissance pour diriger ce travail avec aimabilité et compétence, et auquel il a participé activement, sa grande disponibilité, sa compréhension, tout au long de ce travail.

Je tiens à exprimer toutes mes profondes gratitude à Madame **Yamina BOURGEOINI**, le chef de la Filière « Eau et Environnement » de la Faculté des Sciences et Technique pour son soutien et sa disponibilité.

Je tiens à remercier aussi **Mr. BENCHIKHI Rachid**, le Directeur Général de la RADEEMA d'avoir accepté ma demande de stage.

Je remercie également **Mr. Driss KANDAH**, le chef de département Exploitation Assainissement.

Je tiens à remercier le chef de département de la STEP et réutilisation **Mr. BISSI Yassine** mon encadrant au sein de la STEP, mes remerciements pour son soutien et encouragements.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance et toutes mes pensées de gratitude à **Mr. Tarik AL MANSOURE**, qui m'a accompagné de près durant tout ce travail, pour sa disponibilité, son soutien et les conseils précieux qu'il m'a prodigués tout au long de la réalisation de ce projet.

Mes remerciements vont aussi à **Mr. Abdelouahid DRIOUCH** pour sa générosité, et ses remarques pendant toute la période du stage, à **Mr. Karim ERRAYSSONY**, technicien de Laboratoire pour ses efforts et son aide et toute l'équipe de la RADEEMA qui m'a accueilli au début de ce stage

Enfin je profite l'occasion pour remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet de fin d'étude.

DEDICACE

Je dédie ce travail à :

Ma mère, source de tendresse et d'amour pour son soutien tout le long de m vie scolaire et
personnelle.

Mon père, qui m'a toujours soutenu et qui a fait tout possible pour m'aider

Mes frères et mes sœurs, que j'aime beaucoup.

Ma grande famille.

Mes cher ami (e) s, et enseignants

Tout qui a collaboré de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Que dieu leur accorde la santé et la prospérité.

INTRODUCTION GENERALE

À l'exemple de nombreux autres pays, le Maroc est confronté à un double déficit environnemental à savoir : le tarissement de ses ressources hydriques et une hausse de la demande d'eau. Pire encore, les rivières et les Oueds n'échappent pas à la pollution due aux rejets urbains et industriels ce qui menace les écosystèmes et la santé humaine.

Pour faire face à cette situation, le Maroc a adopté une stratégie rigoureuse traduite par le lancement du plan national d'assainissement en 2005 qui fixe des objectifs ambitieux en matière d'assainissement liquide et d'épuration des eaux usées.

Dans le cadre de mon projet de fin d'étude, j'ai choisi de réaliser mon stage au sein de la station d'Épuration (STEP) de Marrakech gérée par la Régie Autonome de Distribution d'Eau et d'Électricité de Marrakech (RADEEMA).

Afin d'assurer une bonne qualité des eaux épurées, la RADEEMA a installé son propre Laboratoire de Contrôle des Eaux Usées au sein de la STEP, et qui a pour mission la réalisation des analyses physico-chimiques et bactériologiques de différents paramètres dès le réseau d'assainissement, et jusqu'aux complexes golfiques en passant par l'épuration de ces eaux au niveau de la STEP.

Mon travail au cours de ce stage consiste à vérifier la fiabilité des méthodes alternatives utilisées au sein du Laboratoire de Contrôle des Eaux Usées de la RADEEMA.



Chapitre 1

Généralités

I. Présentation de l'organisme d'accueil : RADEEMA



Figure 1 : siège de la RADEEMA

I.1 historique :

La Régie Autonome de Distribution d'Eau et d'Électricité de Marrakech (RADEEMA) est un établissement public à caractère communal, doté de la personnalité civile et d'autonomie financière.

Le 26 Décembre 1970 : Suite aux délibérations du conseil communal de la ville de Marrakech, il a été décidé de créer à partir du premier janvier 1971, la Régie Autonome de Distribution d'Eau et d'Electricité de Marrakech, dénommée RADEEMA.

Le premier janvier 1998 : la RADEEMA a pris en charge la gestion du service de l'assainissement liquide suite aux décisions de la communauté urbaine de Marrakech.

La mission de la RADEEMA et sa préoccupation majeure est d'accompagner le développement important que connaît la ville de Marrakech, assurer la sécurité écologique est notamment le traitement et la réutilisation des eaux usées, le renforcement des infrastructures de base, la sécurisation de l'alimentation en eau et en électricité, la lutte contre la pollution du milieu récepteur, la protection de l'environnement et la généralisation de l'accès aux services assurés et ça dans le cadre de l'initiative nationale du développement humain.

I.2 Organigramme :

L'ossature générale de la RADEEMA est articulée autour de quatre directions et quatre départements rattachés directement à la direction générale comme montré dans la figure 2.

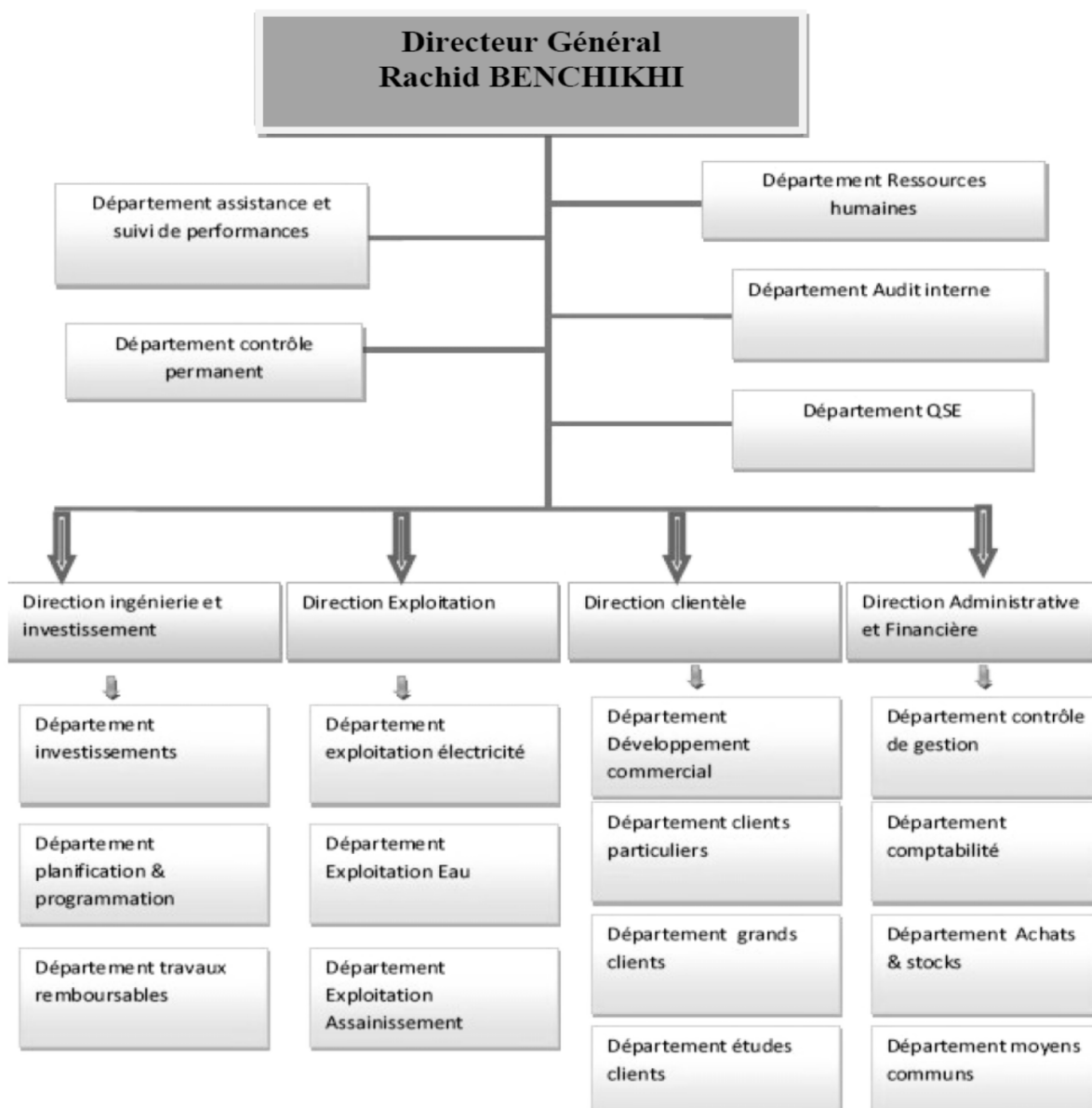


Figure 2 : Organigramme de la RADEEMA

II. Présentation de la STEP de Marrakech

La station de traitement des eaux usées de Marrakech a été réalisée en octobre 2008 en collaboration avec le ministère d'eau et d'environnement. Elle est appuyée sur une technologie innovante, ce qui représente une deuxième mondiale. Elle a pour but de collecter les eaux usées, puis de les épurer par traitement à boues activées avant de pouvoir les rejeter dans le milieu naturel sans risquer de polluer l'environnement, ou encore avant de les réutiliser en irrigation des golfs.



Figure 3 : Vue générale de la STEP de Marrakech

II.1.Situation géographique :

La station d'épuration des eaux usées de Marrakech est située au nord de la ville sur le lit majeur de l'Oued Tensift et s'allonge sur la route nationale n°7 à la direction de Safi, sa superficie est de 17 Ha. Cette station fonctionne selon la technique des boues activées et permet de traiter la quasi-totalité des eaux résiduaires urbaines de la ville de Marrakech.

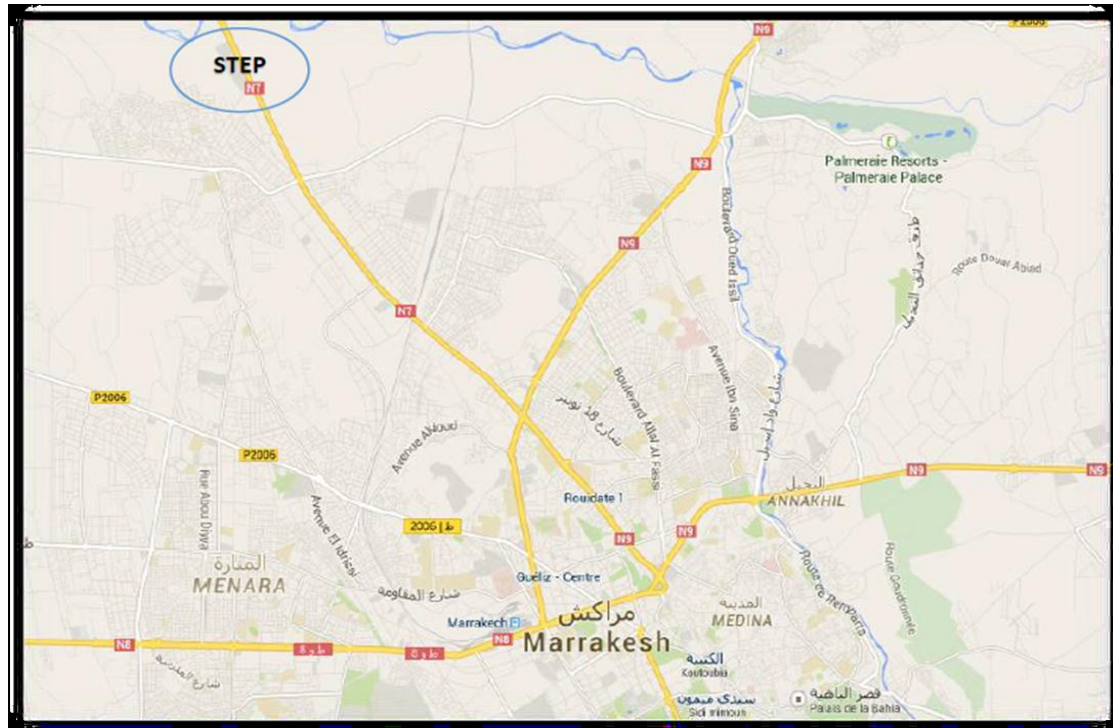


Figure 4 : la situation géographique de la STEP de la ville Marrakech (Google)

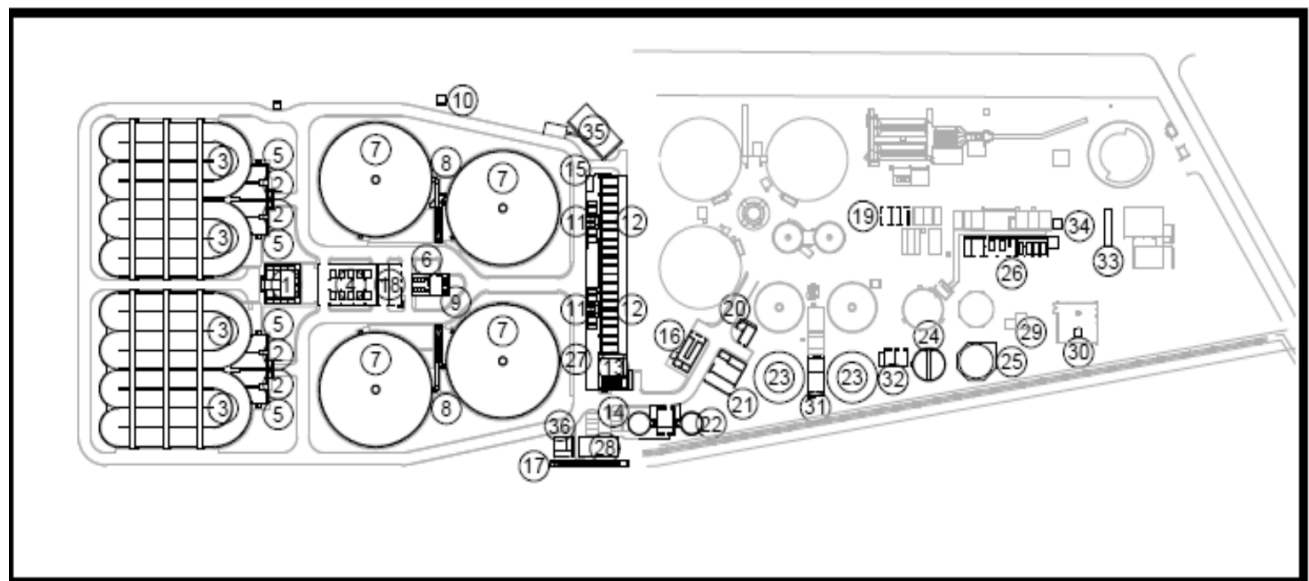
II. 2 Objectifs de la STEP de Marrakech

- ☐ Protection de l'Environnement et préservation des ressources en eau.
- ☐ Mobilisation d'une ressource renouvelable de 33 Millions m³ d'eau/an
- ☐ Accompagnement du développement urbain et touristique.
- ☐ Valorisation de biogaz.

II. 3 Choix du site

Le choix du site est motivé, par sa côte la plus basse qui permet la collecte et le transport gravitaire des eaux usées, et 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.

II.4 Les différentes composantes de la STEP



N° DE ZONE

- | | |
|--|---|
| 1. Répartiteur | 18. Sous station électrique SS2 |
| 2. Sélecteur - Zone de contact | 19. Sous station électrique SS1 |
| 3. Bassin boues activées | 20. Désodorisation biologique |
| 4. Local surpresseurs | 21. Désodorisation physico-chimique |
| 5. Dégazage | 22. Flottateurs |
| 6. Recirculation & extraction des boues | 23. Digesteur |
| 7. Clarificateur | 24. Stockage des boues digérées |
| 8. Venturi - Canal de comptage | 25. Gazomètre |
| 9. Relevage des eaux clarifiées | 26. Déshydratation des boues |
| 10. Surverse des eaux clarifiées vers l'oued | 27. Poste eau industrielle |
| 11. Bassin de coagulation & floculation | 28. Atelier magasin |
| 12. Filtration sur sable | 29. Extension désulfuration |
| 13. Canal désinfection UV | 30. Torchère |
| 14. Canal désinfection chlore | 31. Bâtiment digesteurs |
| 15. Stockage $FeCl_3$ & polymère | 32. Chaudière + pompes boues |
| 16. Local chloration | 33. Pont peseur |
| 17. Sortie des eaux filtrées vers pompage | 34. Fosse eaux de retour (boues) |
| | 35. Locaux sociaux |
| | 36. Stockage eau incendie & eau potable |

Figure 5 : Plan général de la STEP de Marrakech

III. Les étapes de traitement et d'épuration des eaux usées dans la STEP de Marrakech

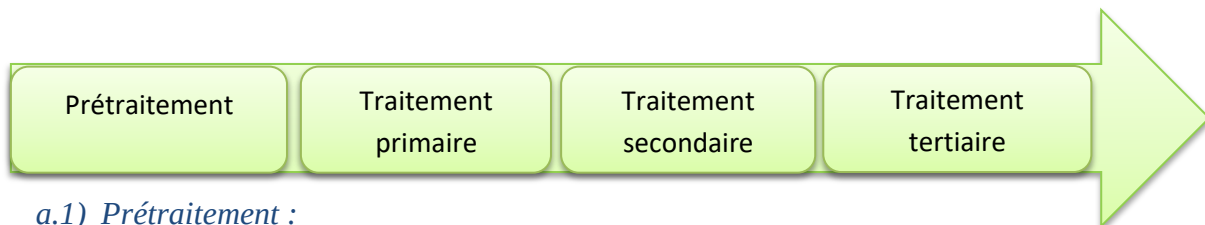
Les eaux usées provenant de la ville de Marrakech sont rassemblées dans un déversoir à El Azzouzia (environ 2 km de la STEP). L'eau est acheminé gravitairement par la suite à l'aide d'un collecteur jusqu'à l'entrée de la station, pour commencer le processus d'épuration. Ce processus se compose de quatre filières :

- **Filière eau** : Assure la dépollution des eaux usées ;
- **Filière boue** : Traitement des boues ;
- **Filière biogaz** : traitement, valorisation et stockage du méthane ;
- **Filière de désodorisation** : élimination des composés organiques volatils et odeur.

III.1 Description des différents traitements de la STEP de Marrakech

a) *Filière eau* :

La filière eau se compose de quatre traitements principaux :



a.1) *Prétraitement* :

Le prétraitement est un procédé qui permet d'éliminer tout ce qui pourrait gêner les étapes ultérieures de traitement, voir endommager les équipements, comme sables, graviers, les graisses et les huiles. Il est composé des éléments suivants :

- a.1.1 **Dégrillage** : pour éliminer des corps étranger ;
- a.1.2 **Dessablage** : extraction des sables ;
- a.1.3 **Dégraissage** : extraction des graisses et des huiles.

✓ **Dégrillage :**

Avant la prégrille, une fosse à batard de volume 4,5 m³ est installée pour piéger les corps grossiers (squelettes d'animaux, troncs d'arbres....). Son curage est fait manuellement par un opérateur à l'aide d'un grappin.



Figure 6 : Fosse à batard

Dans la STEP de Marrakech Le dégrillage se fait en trois étapes :

- a) Un pré dégrillage ;**
- b) Un dégrillage grossier ;**
- c) Un dégrillage fin.**

La différence entre ces dégrillage est l'espacement entre les barreaux des grilles :



Figure 7 : Pré-dégrillage, dégrillage grossier et dégrillage fin

Tableau 1: Les différentes étapes du dégrillage

Dégrilleurs	Espacement entre barreaux (mm)	Caractéristiques	Caractéristiques communes
Pré-dégrilleur	200	Manuel, incliné de 60° Grille de protection	-construction tout en acier inoxydable. -construction simple, solide qui dure dans le temps. -installation simple et rapide. -faible consommation d'électricité.
Dégrilleur grossier	80	Automatique, vertical Il retient les éléments volumineux	
Dégrilleur fin	10	Automatique, vertical Il retient les éléments les plus fins	

Les déchets collectés par le racleur au niveau des dégrilleurs fins et grossiers sont acheminés vers une vise qui déverse ces déchets dans une benne pour être ensuite transportés vers la décharge.



Figure 8 : le vise déversant les déchets dans la benne

Après avoir éliminé les déchets, l'eau sera acheminée vers le dessableur, où il y aura une répartition des sables et des graisses.

✓ Dessablage/Dégraissage :

L'élimination des sables et des graisses s'effectue simultanément dans deux bassins combinés d'une capacité de 600 m³ pour chacun.

- Un dessablage sépare l'eau et le sable. Ce dernier est un composé inorganique à base de silice, qui peut provoquer l'érosion des pompes, des tuyaux et des vannes, tandis que les graisses peuvent perturber le fonctionnement des bassins d'aération.

Le procédé utilisé pour se débarrasser des sable est celui de remise en suspension, en effet des bulles d'air sont injectées au milieu du bassin permettant de maintenir les sable en suspension, ensuite une pompe aspire l'eau chargé des grains de sable pour qu'il soit filtré et le sable sera lavé avant d'être envoyé à la décharge publique.

- Un dégraissage favorise, la flottation des huiles et des graisses qui sont séparées par raclage de surface et envoyés vers l'unité de traitement des graisses.

Tableau 2 : Caractéristiques de l'ouvrage de dessablage/dégraissage

Nombre d'unités	2 unités doubles
Nombre de ponts	1 pont par unité double
Surface utile	200m ²
Volume unitaire	600m ³



Figure 9 : Dessableur/Dégraisseur

a.2) Traitement primaire (Décantation primaire) :

C'est une technique de décantation très simple permet de séparer les particules non retenues par le prétraitement dont la densité est supérieure à celle de l'eau par gravité. Il s'agit essentiellement d'un processus physique qui permet, par une force de gravité, de séparer les MES facilement décantables, de la fraction liquide. Les eaux prétraitées passent dans trois décanteurs (figure10) afin de permettre la sédimentation des MES. Leur accumulation forme une couche appelée "boues primaires". À l'issue de l'unité de décantation primaire, il y a 3 sorties : eaux traitées, boues primaires et graisses.



Figure 10 : Décanteur primaire

Tableau 3 : Caractéristiques du décanteur

Nombre d'unités	3
Surface totale	3500m²
Surface unitaire	1191m²

a.3) Traitement secondaire :

Il s'agit d'un traitement biologique qui fait appel à une grande variété des micro-organismes principalement des bactéries dont l'objectif est l'élimination de la pollution carbonée, azotée et phosphorée. Ces micro-organismes convertissent la matière organique biodégradable contenue dans l'eau usée en produits simples et en biomasse.

La biomasse microbienne appelée «boues activées » a un rôle primordial dans le traitement des eaux usées.

Ce traitement biologique s'effectue à deux niveaux du bassin d'aération et s'accomplit au niveau du clarificateur.

✓ **Bassins d'aération :**

Le bassin d'aération comporte quatre chenaux de type carrousel, dans lesquels circule la liqueur mixte venant des décanteurs primaire et aérée par les surpresseurs. Cette étape permet d'éliminer une grande partie du carbone et d'azote constituant la partie majeure de la matière organique amenée à la STEP.

Les bactéries présentes dans les eaux usées permettent la dégradation de la matière polluante dissoute dans l'eau. Où il faut créer les conditions de vie convenables pour réaliser leur prolifération et pour accélérer cette opération.

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'azote ammoniacal en nitrite puis en nitrate, cette réaction se déroule dans le bassin d'aération dans des conditions aérobies en deux étapes :

1. **La nitritation** : Ce fait par les Nitrosomonas en milieu aérobique selon la réaction suivante :



2. **La nitratation** : Ce fait par les Nitrobacter en milieu aérobique selon la réaction suivante :



Réaction global de la nitrification :



▪ **La dénitrification :**

Est l'étape dans laquelle les nitrates (NO_3^-) sont transformés en azote gazeux (N_2) et en oxygène (O_2) dans des conditions anaérobies. Au cours du processus de la dénitrification, les organismes responsables de la libération du carbone peuvent utiliser les nitrates (NO_3^-) et les nitrites (NO_2^-) comme source d'oxygène. La dénitrification est assurée selon la réaction suivante :



Figure 11 : Bassin d'aération

✓ **Clarificateurs :**

La liqueur mixte de chaque carrousel s'écoulent vers la deuxième chambre de répartition qui va alimenter quatre clarificateurs secondaires de manière égale. C'est là où s'effectue la séparation des eaux épurées de la boue activée, (décantation secondaire). Les boues issues de cette étape (boues secondaires) sont envoyées vers les flottateurs pour subir un traitement supplémentaire.



Figure 12 : clarificateur

a.4) Traitement tertiaire :

Les traitements tertiaires visent à éliminer la fraction des polluants non traités par les traitements primaires ou secondaires comme le phosphore résiduel ou les micropolluants biologiques (micro-organismes) ou chimiques (molécules) encore présents dans les eaux traitées.

Les eaux épurées en sortie du traitement biologique ne peuvent être utilisées directement pour l'irrigation des espaces verts. Il est donc impératif de compléter le traitement secondaire par un traitement tertiaire comportant la Coagulation, la Flocculation, la Filtration sur le sable (figure13), afin d'éliminer les dernières matières en suspension (MES) qui restent dans l'effluent épuré, la désinfection pour obtenir une eau destinée à l'irrigation de point de vue microbiologique. Cette désinfection se fait par rayonnement UV (figure 14) et /ou un traitement de chloration, cette dernière a lieu grâce à un système de dosage, le chlore est ajouté à l'eau, afin d'effectuer une désinfection résiduelle.



Figure 13 : Filtres à sable



Figure 14 : Désinfection UV

b) filière boue :

Le traitement de la boue passe par les étapes suivantes :



La ligne eau produit deux types de boues :

- **La boue primaire** issue de la décantation primaire et qui subit un traitement d'épaississement par la suite. Ce type de boue se caractérise par une densité très importante, elle a donc tendance à se décanter.

- La boue secondaire issue de la décantation secondaire dite aussi boue activée qui provient des clarificateurs et se caractérise par une faible densité qui lui confère un pouvoir de flottation.

La boue mixte (mélange des deux boues primaire et secondaire) est acheminée vers quatre digesteurs (figure 15) et qui subit par la suite une digestion anaérobie.



Figure 15 : Le digesteur de la STEP de Marrakech

Le traitement des boues se fait pour les raisons suivantes :

- Réduction de volume (déshydratation des boues).
- Réduction de masse (stabilisation aérobie-anaérobie).
- Augmentation de la fraction solide des déchets.

i. Épaississement gravitaire :

L'objectif de cette étape est de réduire la quantité d'eau pour diminuer le volume des boues pour les étapes suivantes de traitement. Cet épaississement se fait simplement par voie gravitaire dans un concentrateur.

ii. Flottation :

Vu la densité des boues secondaires, l'élimination de l'eau de ces boues se fait par flottation en ajoutant du polymère afin d'améliorer la séparation de l'eau et des boues. Ces boues flottées s'agglomèrent à la surface du flottateur.



Figure 16 :

Épaississeurs

Flottateur

iii. Digestion anaérobie :

La méthanisation, est un procédé qui consiste à transformer la matière organique en énergie par des bactéries en l'absence d'oxygène, pour produire du biogaz composé majoritairement de méthane (CH_4) et dioxyde de carbone (CO_2), tout en réduisant le taux de matières organiques de nombreux déchets ou sous-produits biodégradables.

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. La boue digérée est déversée dans le stockeur avant de passer par la déshydratation.

iv. Stockage :

La boue digérée au niveau du digesteur est transférée vers le stockeur pour être stockée. La boue est agitée pour préserver l'homogénéité pendant 2 jours de stockage afin de gérer le fonctionnement de la déshydratation.

v. Déshydratation :

La boue digérée et stockée sera envoyée vers cinq filtre-à-bande pour la déshydratation. Ces filtres à bandes, ont la fonction de presser la boue passant à travers leurs bandes afin de la sécher.

L'objectif du filtrage sous pression est d'augmenter la siccité des boues afin de faciliter son transport vers la décharge publique de Marrakech, et éviter les problèmes qu'elles peuvent engendrer dans l'état liquide.



Figure 17 : Unité des filtres à band

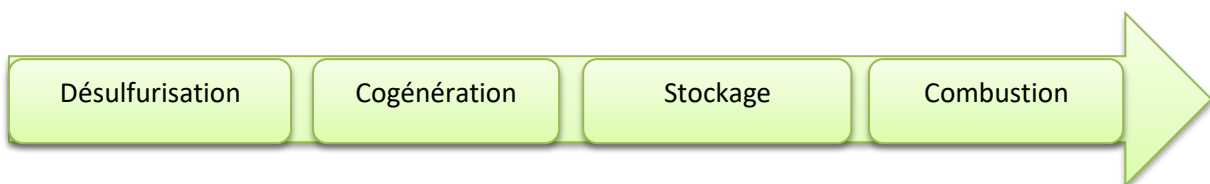


Figure 18 : La boue destinée à la décharge.

c) Filière biogaz :

Ce traitement s'intéresse à la formation du biogaz, à son traitement, à son stockage ainsi que sa valorisation en l'utilisant dans la production de l'électricité.

Au niveau de la STEP, le biogaz suit les étapes suivantes :



Le biogaz de la station d'épuration est récupéré au niveau des digesteurs. Il est composé principalement de méthane CH_4 et de dioxyde de carbone CO_2 . Ce biogaz contient également de l'hydrogène sulfuré H_2S , nuisible en général pour les moteurs à gaz, et il est produit par un processus de fermentation anaérobie des matières organiques.

Après la production du biogaz au niveau des digesteurs, il subit un traitement afin d'éliminer les sulfures.

1) Désulfuration :

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

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

La phase 2 : la dégradation du sulfure se fait par un processus biologique, utilisant des bactéries qui dégradent les molécules H_2S en coupant les liaisons H-S

Une fois le biogaz est purifié il va être stocké dans deux gazomètres pour une utilisation ultérieure dans la Cogénération.

2) Cogénération :

La cogénération est le consommateur principal du biogaz. Elle se compose de quatre moteurs à gaz indépendants permettant de brûler $349 \text{ Nm}^3/\text{h}$ de biogaz, produisant 834 kWh d'énergie électrique (environ 45 % des besoins de la station). L'énergie thermique produite par la cogénération est récupérée pour assurer le réchauffement des boues du digesteur via les échangeurs de chaleur du refroidissement de l'eau du moteur et des gaz d'échappement.



Figure 19 : Cogénération de gaz.

3) Stockage : gazomètre

Les deux gazomètres ont pour rôle le stockage du biogaz afin d'être valorisé en produisant de l'énergie.

Dans le cas où les gazomètres sont pleins, le biogaz en excès va subir une combustion au niveau des torchères.



Figure 20 : Gazomètre

4) Combustion : Les torchères

L'excès de biogaz non consommé est brûlé au niveau des deux torchères. Pour des raisons de sécurité, ces torchères permettent de brûler l'ensemble de la production de biogaz de la station, soit 750 m³/h.

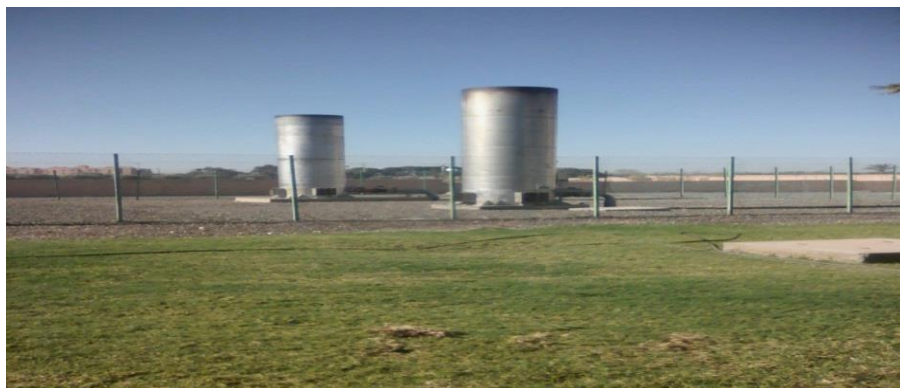


Figure 21 : Torchères

d) Filière auxiliaire de désodorisation :

Afin d'éviter la propagation des odeurs dans les ouvrages de la STEP, et pour assurer un environnement de travail sain et sécurisé, tous les risques de dégagement des gaz malodorants seront minimisés par l'implantation de deux installations de traitement des odeurs: désodorisation biologique et désodorisation physico-chimique.



Figure 22 : Désodorisation physico-chimique et biologique

Chapitre 2

**Vérification de la
fiabilité des Méthodes
Alternatives**

IV.1 Les objectifs du laboratoire de contrôle

La STEP est une installation de type industriel, dont le fonctionnement repose principalement sur la stimulation des processus naturels biologiques (dégradation) et l'utilisation des phénomènes physiques (décantation, flottation, etc.). Les fortes variations physico-chimiques et biologiques au sein de la station sont susceptibles de perturber son fonctionnement.

La RADEEMA s'est dotée de son propre laboratoire de contrôle placé à la STEP dès le mois de Mai 2012 pour les objectifs suivants :

- + Contrôler la qualité des eaux usées du réseau d'assainissement ;
- + Suivre les rendements épuratoires de la STEP ;
- + Assurer une bonne qualité des eaux épurées destinées à l'irrigation des golfs et des espaces verts.



Figure 23 : Laboratoire de Contrôle des eaux usées

IV.2 Les niveaux d'intervention du laboratoire de la STEP

- **Au niveau du réseau d'assainissement :**

Le laboratoire effectue des prélèvements et des analyses des paramètres de pollution et des éléments toxiques aux points demandés afin de détecter les sources responsables des rejets non conformes afin de protéger la STEP de ces rejets.

- **Au niveau de la STEP :**

Le laboratoire effectue des prélèvements quotidiennement (échantillons composites de 24 heures) à la sortie des différents ouvrages de la filière eau (depuis l'entrée et jusqu'à la sortie de la STEP) afin de contrôler la qualité des différents traitements.

- **Au niveau des complexes golfiques :**

En plus des prélèvements quotidiens effectués à la sortie du traitement tertiaire, des prélèvements bimensuels sont effectués à l'amont de chaque complexe golfique afin de contrôler la qualité des eaux livrées.

IV.3 Qualité des eaux brutes et traitées

La station d'épuration de la ville de Marrakech a une capacité minimale de 1050 l/s et une capacité de traitement de 1 300 000 équivalent habitant, avec un réseau de réutilisation de 80 km de conduites pour assurer l'irrigation de 22 complexes golfiques.

Afin de satisfaire ces clients, et de protéger le milieu récepteur, la RADEEMA a des exigences de traitement bien stricts, le tableau ci-dessous présente ces consignes de chaque étape du traitement.

Tableau 4 : Performances attendues du traitement (cahier de charge de la STEP)

Paramètres de qualité	Eaux brutes	Traitement primaire	Traitement secondaire	Traitement tertiaire
DBO ₅ (mg/l)	640	430	30	10
MES (mg/l)	584	200	30	5
NTK (mg/l)	120	120	5	5
Pt (mg/l)	22	22	20	10

V. Problématique

Vu le nombre important des analyses à effectuer au niveau du laboratoire de contrôle des eaux usées de la RADEEMA, et à cause des contraintes des moyens humains du laboratoire, ce dernier a choisi les méthodes alternatives afin de pouvoir effectuer toutes ses tâches.

Mais, la RADEEMA suit un plan de Qualité, sécurité et environnement depuis l'année 2012, et Certifiée Iso 9001, Iso 14001 et Iso 18001 en 2013, c'est dans ce cadre que le laboratoire des Eaux usées doit vérifier et valider ces méthodes alternatives.

VI. Méthodes d'analyses alternatives :

VI.1 Méthode alternative

Les méthodes d'analyses alternatives qui sont des méthodes commerciales permettent de suivre la qualité analytique, pour un type d'eau donnée. Elles présentent plusieurs avantages :

- ★ **Rapidité d'analyse et/ou de réponse ;**
- ★ **Facilité d'exécution et/ou d'automatisation ;**

Ces méthodes alternatives sont très utilisées pour l'analyse des eaux usées au laboratoire de la RADEEMA de Marrakech vu de leur rapidité et facilité d'exécution, mais la question se pose sur leur fiabilité.

VI.2 Echantillonnage

L'évaluation des caractéristiques de pollution se fait sur des échantillons qui sont correctement prélevés. Les analyses du laboratoire n'ont pas de valeur si l'échantillon n'est pas vraiment représentatif des conditions ou de la qualité réellement existante dans la pratique. En matière d'eaux usées, les difficultés d'échantillonnages sont accrues car le débit et la composition instantanée varient fortement en fonction du temps. Pour cela, il est important de réaliser des échantillons moyens sur 24 h avec une mesure de débit et un prélèvement chaque heure à l'aide d'un préleveur automatisé et réfrigéré, asservi au débit pour déterminer le flux journalier de pollution.

VI.3 Mode opératoire des prélèvements

L'échantillonnage est réalisé par un préleveur automatique installé aux différents niveaux de la STEP (entrée, sortie du traitement secondaire et celle du traitement tertiaire). Avant chaque prélèvement on doit d'abord régler la température à 4°C, le débit ainsi que le nombre de prélèvement (24 échantillons par jour). Il faut régulièrement vérifier le bon fonctionnement des préleveurs.

Durant mon stage l'ensemble des paramètres physico-chimiques analysés sont « MES, DBO₅, NO₃⁻, NO₂⁻, Pt, NGL, DCO, Ph, Cr, Ni, Cu, Sulfures », dont « Cr, Phénols, Sulfures, Cu, Ni » sont effectués sur les échantillons des eaux brutes, par contre le dosage des nitrates et nitrites est réalisé uniquement sur les échantillons des eaux secondaires et tertiaires vu le processus de nitrification et de dénitrification qui ne s'effectue qu'au niveau des bassins biologiques.

VI.4 Transport et conservation

Les échantillons sont transportés au laboratoire dans une glacière équipée de blocs réfrigérants et à l'abri des rayonnements solaires afin de maintenir les échantillons à une température de 4 °C.

Les échantillons sont conservés dans le réfrigérateur dès leur réception au laboratoire, et soumis à l'analyse le jour même.



Figure 24 : Préleveur automatique.

VII. Analyses physico-chimiques :

Les analyses sont effectuées quotidiennement sur des échantillons composites de 24 heures prélevés automatiquement toutes les heures afin de suivre la performance du traitement des eaux épurées. Les échantillons sont prélevés au niveau de trois points : à l'entrée de la STEP, la sortie de traitement secondaire et la sortie de traitement tertiaire.

a) La température :

La température est déterminée à l'aide d'un thermomètre à mercure, et doit être mesurée in situ.

b) Le potentiel d'hydrogène :

La mesure du pH des eaux usées donne une indication sur l'alcalinité ou l'acidité de ces eaux. C'est un agent important pour la croissance des micro-organismes qui ont généralement un pH optimal variant de 5,5 à 8,5. **(Cahier de charge de la STEP)**

Des valeurs de pH inférieures à 5 ou supérieures à 8,5 affectent directement la viabilité et la croissance des micro-organismes.

Le pH doit être impérativement mesuré sur le terrain à l'aide d'un pH-mètre.

c) La conductivité :

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant électrique, c'est un indicateur direct de sa salinité. La conductivité est également fonction de la température de l'eau : elle est plus importante lorsque la température augmente. La mesure est faite à l'aide d'un conductimètre sur le terrain.

d) Les matières en suspension :

Les matières en suspension représentent l'ensemble des particules minérales et organiques contenues dans les eaux. Leur composition dépend de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie, de régime d'écoulement des eaux, de la nature des rejets. (**Recueil de normes françaises des eaux méthodes d'essais, 2^{ème} édition (1983) (AFNOR)**)

La présence de MES dans l'eau provoque sa turbidité.

Mode opératoire :

- Sécher un filtre en microfibre de verre, de porosité 1.2 µm à 105°C jusqu'à masse constante, laisser refroidir en dessiccateur et peser.
- noter sa masse M_0 ;
- Placer le filtre dans l'équipement de filtration après humidification par l'eau distillée et mettre en marche le dispositif d'aspiration ou de pression ;
- Verser progressivement l'échantillon sur le filtre jusqu'à ce que le récipient soit vidé : 50 ml pour échantillon brut, 500 ml pour l'échantillon clarifié et 1000 ml pour l'échantillon désinfecté ;
- Récupérer le filtre puis le placer dans une étuve à 105 °C pendant 24h ;
- Après 24h récupérer le filtre, laisser refroidir en dessiccateur.
- Noter sa masse M_1 .

Le taux de MES exprimé en (mg/l) est donné par l'expression :

$$\text{MES} = (M_1 - M_0) \frac{1000}{V}$$

Où :

V : Le volume en litre d'échantillon utilisé ;

M_2 : La masse en mg du disque filtrant avant utilisation ;

M_1 : La masse en mg du disque filtrant après utilisation ;

Pour le dosage de MES, nous avons utilisé la méthode par filtration sur disque filtrant de $1,2\mu\text{m}$. Le filtre est séché à 105°C puis pesé après dessiccation.



Figure 25 : Filtration sous vide

e) Demande biochimique en oxygène (DBO5)

Cette technique permet de mesurer (en laboratoire sur 5 jours à 20°C dans l'obscurité) la quantité d'oxygène consommée par le processus naturel de décomposition de la matière organique dégradable présente dans un litre d'eau en utilisant la méthode manométrique. Cette méthode fait appel à l'utilisation d'appareils manométriques permettant de suivre la dépression créée par la consommation de l'oxygène par les micro-organismes, en récipient fermé et en fonction du temps.

Mode opératoire :

- Rincer le flacon avec l'échantillon, remplir soigneusement ;
- Mettre le barreau magnétique dans le flacon ;
- Insérer le godet à soude dans le goulot de la bouteille ;
- Mettre 2 comprimés de soude dans le godet à soude avec une pince ;
- Fermer hermétiquement le flacon avec l'OxiTop ;

Mémoire de fin d'étude

- Commencer la mesure, presser simultanément les touches M et S pendant 2 secondes.
L'afficheur indique 00 ;
- Garder le flacon avec l'OxiTop 5 jours à 20 °C ;
- Après avoir atteint la mesure de température, l'OxiTop (manomètre) démarre automatiquement la mesure de consommation en oxygène.

Le tableau 5 : les facteurs de dilution correspondant à chaque quantité de l'échantillon.

Quantité	Facteur de dilution
432 ml	1
365 ml	2
250 ml	5
164 ml	10
97 ml	20
43.5 ml	50
22.7 ml	100



Figure 26 : Oxitop

f) La demande chimique en oxygène (DCO) :

La demande chimique en oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène, exprimée en milligrammes (mg) qui est consommée par les matières oxydables contenue dans un litre d'eau quelles que soit leur origine organique ou minérale et dans les conditions de l'essai.

Le principe de la méthode est basé sur l'oxydation des matières oxydables par excès de bichromate de potassium en présence d'acide sulfurique concentré. (AFNOR)

Mode opératoire :

- Prendre 3 cuves de DCO contenant les réactifs commercialisés ;
- Il existe deux gammes l'une pour l'échantillon d'eau brute et l'autre pour l'échantillon d'eau secondaire et tertiaire non filtré ;
- Ajouter à chaque cuve 2 ml de l'échantillon (brut, secondaire et tertiaire) ;
- Mélanger le contenu de chaque cuve ;
- Mettre les trois cuves dans le réacteur chauffant (plaque chauffante) pendant 2h à une température de 148°C ;
- Laisser refroidir, puis effectuer les lectures au spectrophotomètre

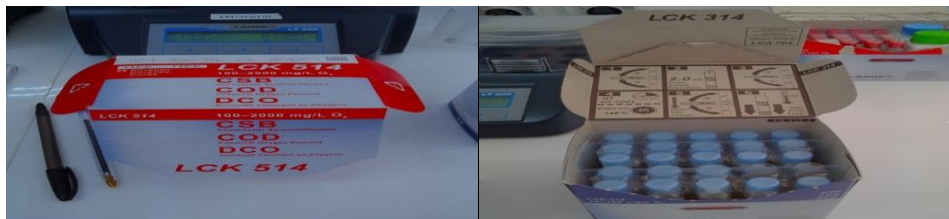


Figure 27 : Kit commercialisé pour le dosage de la DCO

g) Le phosphore total (Pt)

Le phosphore est mesuré soit sous forme de phosphore total (Pt), soit sous forme des orthophosphates (P-PO₄).

La mesure est faite à l'aide d'un kit commercialisé LCK 350.

Mode opératoire :

- Prendre 3 cuves de phosphate (réactif commercialisé).
- Ajouter à chaque cuve 0,4 ml de la solution de l'échantillon (brut, secondaire et tertiaire).

- Mettre les cuves dans une plaque chauffante à 100°C pendant une heure.
- Laisser refroidir, ajouter 0,5ml de produit B puis le produit C.
- Attendre 10 min, mélanger puis effectuer les lectures au spectrophotomètre.



Figure 28 : Kit commercialisé pour le dosage de phosphate



Figure 29 : Thermoréacteur

Figure 30 : Spectrophotomètre

h) L'azote global (NGL)

C'est la somme de toutes les différentes formes d'azote contenues dans un prélèvement à l'exception d'azote gazeux :

NGL = azote totale Kjeldahl (azote organique et azote ammoniacal) + azote nitreux (nitrites/ N-NO_2) + azote nitrique (nitrates/ N-NO_3).

La mesure est faite à l'aide d'un kit commercialisé LCK 338 pour l'eau brute et LCK 138 pour l'eau secondaire et tertiaire.

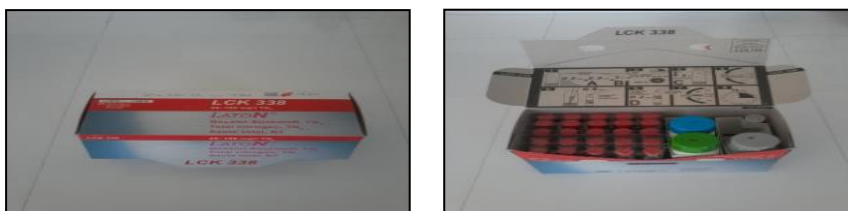
i) L'azote totale KJELDAHL (NTK ou NK)

C'est la somme de l'azote organique + ammoniacal contenu dans l'eau, ou dans le sol, ou dans les produits alimentaires. Une concentration élevée en azote Kjeldahl permet d'évaluer le niveau de pollution.

Il est déductible de l'NGL, nitrites et nitrates par calcul: $\text{NTK} = \text{NGL} - \text{NO}_2^- - \text{NO}_3^-$

Mode opératoire:

- Prendre 3 cuves de l'azote total (réactif commercialisé).
- Ajouter pour la petite gamme (16mg/l) 1,3 ml de l'échantillon (secondaire et tertiaire) + 1,3 ml du réactif A + un comprimé du réactif B.
- Pour la grande gamme (100mg/l) 0,2 ml de l'échantillon brut, + 2.3 ml du réactif A un comprimé du réactif B.
- Laisser le tout une heure dans la plaque chauffante à 100C°.
- Ajouter le produit C et mélanger.
- Ajouter 0.5 ml de l'échantillon préparé + 0.2 ml du produit D
Attendre 15 min puis effectuer la lecture au spectrophotomètre.



La grande gamme d'eau brute : 100 mg/l



La petite gamme d'eau II et III : 16 mg/l

Figure 31 : Kit commercialisé pour le dosage d'azote total

j) Le nickel (Ni)

Métal lourd du à l'effet cancérigène démontré sur les animaux.

Mode opératoire :

- Prendre une cuve de nickel (réactif commercialisé).
- Ajouter 2 ml de l'échantillon brute à la cuve avec une pipette de 1 ml.
- Mélanger la solution soigneusement.
- Ajouter 0.2 ml du produit A, et mélanger.
- Laisser 3 min.
- Faire la lecture au spectrophotomètre.



Figure 32 : Kit commercialisé pour le dosage le nickel

k) Le cuivre (Cu)

C'est un élément toxique à des concentrations > 2 mg/l. Sa présence dans les eaux provient de l'érosion des conduites ou de l'activité industrielle.

Mode opératoire

- Prendre une cuve de cuivre (réactif commercialisé).
- Ajouter 2 ml de l'échantillon brute à la cuve.
- Mélanger et laisser 3 min.
- Faire la lecture au spectrophotomètre.



Figure 33 : Kit commercialisé pour le dosage le cuivre

l) Le sulfure

Hydrogène sulfuré ou sulfure d'hydrogène, est un gaz nauséabond et toxique à forte odeur produit par la fermentation anaérobie (sans O_2) quand l'eau est trop riche en matières organiques. C'est aussi un indice de présence d'organismes pathogènes.

Mode opératoire :

- Prendre une cuve de sulfure (réactif commercialisé).
- Ajouter 4 ml de l'échantillon brute avec une pipette + 0.2 ml de produit A.
- Mélanger la solution.
- Laisser 10 min.
- Faire la lecture au spectrophotomètre.

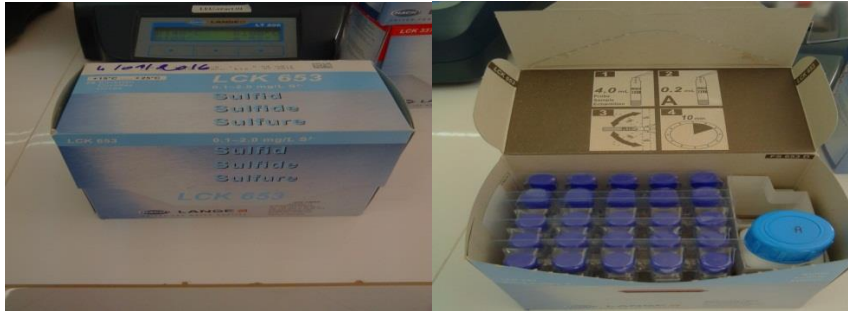


Figure 34 : Kit commercialisé pour le dosage le sulfure

m) Le phénol

Le phénol est plus lourd que l'eau et tend à se déposer. Il se dissout lentement et, même dilué, continue de former des solutions toxiques. En raison de sa forte toxicité dans l'eau, le phénol figure dans la catégorie de risque de pollution de l'eau.

Mode opératoire :

- Prendre une cuve de phénol (réactif commercialisé).
- Ajouter 2 ml de l'échantillon brute avec une pipette + 0.2 ml de produit A.
-

n) Le chrome VI

Métal très dur utilisé en traitement de surface des métaux pour améliorer leur résistance. La forme chrome VI est extrêmement toxique et cancérigène.

Mode opératoire :

- Prendre une cuve de chrome 6 (réactif commercialisé).
- Ajouter 2 ml de l'échantillon brute avec une pipette.
- Mélanger et laisser 2 min.
- Faire la lecture au spectrophotomètre.



Figure 36 : Kit commercialisé pour le dosage le chrome

o) Nitrates

Les nitrates des eaux souterraines et des cours d'eau proviennent principalement d'origine agricole en raison du recours aux engrais azotés. En second lieu



Figure 37 : Kit commercialisé pour le dosage de nitrate

p) Nitrites

Les nitrites représentent une forme moins oxydée et moins stable de l'azote. Ce sont des produits intermédiaires de la nitrification de l'ammonium par des bactéries nitrifiantes.

Mode opératoire :

Elle est basée sur l'utilisation d'un kit commercialisé LCK 341.

On prend 2 cuves relatives au dosage de nitrite (réactif commercialisé) puis on ajoute à chaque cuve 2 ml de la solution de l'échantillon filtré, après 10 min on mélange et on effectue les lectures au spectrophotomètre fourni par la société commercialisant le Kit.

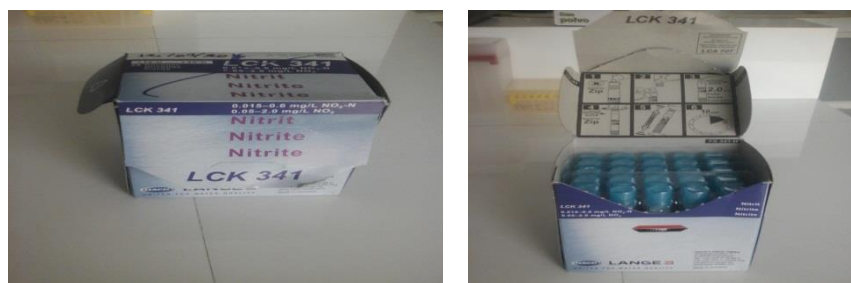


Figure 38 : Kit commercialisé pour le dosage de nitrite

VIII. Vérification des méthodes d'analyse utilisées par

Tableau 6 : Vérification des différents paramètres par les matériaux de référence certifiés ADDISTA:

Paramètre vérifié	Valeur théorique de la solution de référence	Valeur obtenue
Nitrite (mg/l)	0.3 ± 0.03	0.307
Chrome (mg/l)	0.5 ± 0.05	0.511
Cuivre (mg/l)	2 ± 0.1	2.21
Nitrate (mg/l)	6 ± 0.4	6.16
Azote total (mg/l)	6 ± 0.9	5.27
Azote total (brute) (mg/l)	60 ± 6	59.1
DCO (mg/l)	50 ± 6	43.7
Phosphate total (mg/l)	10 ± 1	9.84

Les trois valeurs mentionnées dépassent les valeurs normales alors on va procéder à l'étalonnage des matériels utilisés pour la vérification des valeurs obtenues :

❖ **Etalonnage de la plaque chauffante :**

Tableau 7 : Revérification des différents paramètres par les matériaux de référence certifiés ADDISTA après l'étalonnage de la plaque chauffante :

Paramètre vérifié	Valeur théorique de la solution de référence	Valeur obtenue
Nitrite (mg/l)	0.3 ± 0.03	0.309
Cuivre (mg/l)	2 ± 0.1	2.81
DCO (mg/l)	50 ± 6	40.9
NGL (mg/l)	6 ± 0.9	5.74
NGL (brute) (mg/l)	60 ± 6	57.9
Pt (mg/l)	10 ± 1	10.2

Les valeurs obtenues après l'étalonnage en utilisant la plaque chauffante montrent que cette dernière n'est pas responsable des valeurs qui dépassent les normes, alors on va procéder à un autre matériel appelé la micropipette. Afin de vérifier cette dernière, nous avons suivi le protocole suivant :

On prend un volume d'eau distillé par la micropipette, et le mesure dans une balance analytique à calibrer le : 15-01-2016, et nous avons obtenu les valeurs suivantes :

1 ml $\equiv$ 1.0002, 0.2ml $\equiv$ 0.2003, 0.3ml $\equiv$ 0.3009, 0.4ml $\equiv$ 0.4008, 0.5ml $\equiv$ 0.5008. Ces volumes montrant que les micropipettes donnent des volumes exacts.

Après la vérification des micropipettes, nous avons décidé de vérifier le spectrophotomètre par la comparaison avec les résultats du spectrophotomètre de WATERLEAU qui a été étalonné le :

Tableau 8 : Les résultats obtenus après l'utilisation de la micropipette :

Paramètre vérifié	Valeur théorique de la solution de référence	Valeur obtenue
Cuivre (mg/l)	2 $\pm$ 0.1	2.10
DCO (mg/l)	50 $\pm$ 6	48.2

A partir de ces résultats obtenus on conclure que le spectrophotomètre est le responsable de ces valeurs obtenus qui dépassent les normes.

**Tableau 9 : Comparaison les résultats obtenus du Cuivre et DCO entre la RADEEMA
et WATERLEA**

Date	RADEEMA			WATERLEAU		
	Cuivre	DCO		Cuivre	DCO	
					II	III
01-01-2016	4.67			3.47		
02-01-2016	3.73			3.86		
03-01-2016	4.08	76.7	48.5	3.48	64.3	48.5
04-01-2016	4.02	51.2	40.2	3.62	37.8	21.4
06-01-2016	3.74					

17-01-2016	3.98	41.1	34.7	3.62	40.2	34.6
18-01-2016	3.88	44.7	31.9	3.36	49.2	32.7
19-01-2016	4.12	52.0	48.6	3.51	46.8	34.9
21-01-2016	4.20	43.9	35.1	3.66	49.3	36.7
22-01-2016	3.68			3.06		
23-01-2016	4.21	45.7	40.5	3.81	31.6	25.9
24-01-2016	3.93	46.0	37.4	3.17	30.8	28.3

Liste des tableaux :

Tableau (1) : Les différentes étapes du dégrillage.

Tableau (2) : caractéristiques de l'ouvrage de dessablage/ dégraissage.

Tableau (3) : caractéristiques du décanteur.

Tableau (4) : Performances attendues du traitement.

Tableau (5) : Les facteurs de dilution correspondant à chaque quantité de l'échantillon.

Tableau (6) : Vérification des différents paramètres par les matériaux de référence certifiés ADDISTA.

Tableau (7) : Revérification des différents paramètres par les matériaux de référence certifiés ADDISTA après l'étalonnage de la plaque chauffante.

Tableau (8) : Les résultats obtenus après l'utilisation de la micropipette.

Tableau (9) : Comparaison les résultats obtenus du Cuivre et DCO entre la RADEEMA et WATERLEAU.

Liste des figures :

Figure 1 : Siège de la RADEEMA

Figure 2 : Organigramme de la RADEEMA

Figure 3 : Vue générale de la STEP de Marrakech

Figure 4 : Situation géographique de la STEP de la ville Marrakech

Figure 5 : Plan général de la STEP de Marrakech

Figure 6 : Fosse à batard

Figure 7 : Pré-dégrillage, dégrillage grossier et dégrillage fin

Figure 8 : Le vise déversant les déchets dans la benne

Figure 9 : dessableur/Dégraisseur

Figure 10 : Décanteur primaire

Figure 11: Bassin d'aération

Figure 12 : Clarificateur

Figure 13 : Filtre à sable

Figure 14 : Désinfection UV

Figure 15 : Le digesteur de la STEP de Marrakech

Figure 16 : Epaississeurs/Flottateur

Figure 17 : Unité des filtres à bande

Figure 18 : La boue destinée à la décharge

Figure 19 : Cogénération de gaz

Figure 20 : Gazomètre

Figure 21 : Torchères :

Figure 22 : Désodorisation physico-chimique et biologique

Figure 23 : Laboratoire de Contrôle des eaux usées

Figure 24 : Préleveur automatique

Figure 25 : Filtration sous vide

Figure 26 : Oxitop

Figure 27 : Kit commercialisé pour le dosage de la DCO

Figure 28 : Kit commercialisé pour le dosage de phosphate

Figure 29 : Thermoréacteur

Figure 30 : Spectrophotomètre

Figure 31 : Kit commercialisé pour le dosage d'azote total

Figure 32 : Kit commercialisé pour le dosage le nickel

Figure 33 : Kit commercialisé pour le dosage le cuivre

Figure 34 : Kit commercialisé pour le dosage le sulfure

Figure 35 : Kit commercialisé pour le dosage le phénol

Figure 36 : Kit commercialisé pour le dosage le chrome

Figure 37 : Kit commercialisé pour le dosage le nitrate

Figure 38 : Kit commercialisé pour le dosage le nitrite