



Université Cadi Ayyad  
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 :

**Impact du chrome VI sur le traitement des eaux usées dans  
la station d'épuration de Marrakech (Maroc)**

Réalisé par :

**ELLOUZI Zineb  
HALOUALI Fatima-ezzahra**

Encadrées par :

Mr Mohamed El Mehdi **SAIDI**: Faculté des Sciences et Techniques – Marrakech

Mr Yassine **BISSI**: Chef de département de la STEP – Marrakech

**Soutenu : Le 16 /06/2015**

**Devant le jury composé de :**

Mr **BENKEDOUR** : Faculté des Sciences et Techniques – Marrakech

Mr **SAIDI Mohamed El Mehdi** : Faculté des Sciences et Techniques – Marrakech

### Remerciements

Au terme de ce travail, qui a été réalisé au sein de la STEP, il nous tient à cœur de dire merci à Dieu qui est notre premier stimulateur et d'exprimer notre gratitude à tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, ont contribué à son élaboration.

Nous exprimons nos vives gratitudee à notre encadrant Mr. SAIDI El Mehdi, professeur à la FST de Marrakech pour ses conseils et renseignements, pour sa disponibilité pour avoir accepté de nous encadrer. Merci infiniment Monsieur.

Nos profonds remerciements, le corps professoral et administratif de la Faculté des sciences et technique de Marrakech, pour leur dévouement à améliorer la qualité de notre formation.

En premier lieu nous s'adressons à Mr. Rachid BENCHIKHI directeur général de la RADEEMA, nos remerciements pour son soutien et encouragements.

Nous remercions également Mr. Driss KANDAH, chef de département Exploitation Assainissement.

Nous tenons à exprimer notre remerciement et gratitude à Mr Salaheddine MOUNTASSIR , directeur d'exploitation, qui nous a permis l'occasion d'acquérir cette admirable expérience.

Nous tenons à remercier le chef de division STEP et réutilisation Mr. BISSI Yassine notre encadrant au sein de la STEP, nos remerciements pour son soutien et encouragements.

Plus spécialement, nos remerciements s'adressent à Mr. AL MANSOUR Tarik chef de service traitement des eaux pluviaux STEP d'avoir nous profiter de sa large expérience et qui a fait preuve d'une grande patience et disponibilité à notre égard et qui nous a permis, grâce à ses conseils constructifs, de mener à bien notre stage.

Nous remercions extrêmement Mr. M. DRIOUCH Abdelouahid Technicien de la RADEEMA pour sa générosité et sa bienveillance.

Dédicaces :

*À toute nos familles, pour leurs éducation, leurs patience, leurs énormes sacrifices à nous offrir une vie pleine de joie et d'amour, leurs soutiens et encouragements ; que Dieu les gardent.*

### Résumé

Marrakech, surnommée la perle du sud, est la capitale touristique du Maroc. La ville compte plus de 24 golfs et espaces verts. Le besoin annuel en eau d'irrigation est d'environ 38 millions de m<sup>3</sup> en 2015. Vu que Marrakech –Tensift est définie comme étant une région de stress hydrique. L'eau est considérée comme un facteur limitant à son développement urbain et touristique. C'est dans cette vision que la Régie Autonome de Distribution de l'eau de Marrakech a pensé à pousser le traitement des eaux usées de la ville au niveau de sa station d'épuration à fin de fournir une ressource renouvelable en eau évaluée à 33 millions de m<sup>3</sup> par an permettant un compromis entre les deux exigences contradictoires précitées, à savoir le développement de la ville et la préservation de ses ressources en eau.

Les eaux provenant de la STEP Marrakech étant riche en nutriments permettent une irrigation de qualité pour les pelouses vertes des golfs, mais des teneurs élevées en chrome VI présentent dans les eaux usées ; ont un impact sur l'activité des bassins biologiques dont leur fonctionnement présente le cœur du traitement. L'influence de ces bassins provoque la perturbation des chaînes bactériologiques, ce qui conduit à la déconstruction de l'Acide Désoxyribonucléique (ADN) des micro-organismes. Et par conséquent un arrêt du traitement sera produit, ce qui rend la station hors service pendant une longue durée.

Dans la recherche d'une solution qui soit efficace, adaptée aux spécificités de chaque golf et économiquement acceptable, nous nous proposons d'étudier les impacts du chrome VI sur les performances épuratoires de la STEP, ainsi que leur effets sur les micro-organismes présents dans la boue activée.

Nous avons détaillé une solution potentielle au problème. La construction des petites stations de traitement des eaux usées permettent d'unifier les réseaux d'assainissement des tanneries de la ville de Marrakech en effectuant la déchromatation basée sur la réduction des sels du chrome VI toxique en chrome III qui est moins toxique et précipitable en hydroxyde de chrome.

## Table des matières

<b>I.</b>	<b>Introduction générale :</b> .....	<b>1</b>
<b>II.</b>	<b>Cadre générale :</b> .....	<b>2</b>
	<b>II.1 Présentation de la RADEEMA :</b> .....	<b>2</b>
	<b>II.1.1 .Historique :</b> .....	<b>2</b>
	<b>II.1.2. Missions et rôles de la RADEEMA :</b> .....	<b>2</b>
	<b>II.1.3. Mission et actions entreprises:</b> .....	<b>2</b>
	<b>II.1.4. Organigramme :</b> .....	<b>3</b>
	<b>II.2 Présentation de la STEP Marrakech :</b> .....	<b>4</b>
	<b>II.2.1 Situation géographique :</b> .....	<b>4</b>
	<b>II.2.2 Choix du site :</b> .....	<b>4</b>
	<b>II.2.3 Objectif de la station d'épuration :</b> .....	<b>5</b>
	<b>II.2.4 Aspects généraux de la station :</b> .....	<b>5</b>
	<b>II.2.5 Performances attendues du traitement :</b> .....	<b>5</b>
<b>III.</b>	<b>Chapitre 1 : Les étapes de traitement et d'épuration des eaux usées dans la STEP de Marrakech :</b> .....	<b>6</b>
	<b>III.1 Introduction :</b> .....	<b>6</b>
	<b>III.2 Filières de traitement au niveau de la station d'épuration de Marrakech :</b> .....	<b>6</b>
	<b>III.2.1 Filière eau :</b> .....	<b>6</b>
	<b>III.2.2 Filière boue :</b> .....	<b>16</b>
	<b>III.2.2.5 Déshydratation :</b> .....	<b>21</b>
	<b>III.2.3 Filière biogaz :</b> .....	<b>22</b>
<b>IV.</b>	<b>Chapitre 2 : Etude bibliographique :</b> .....	<b>24</b>
	<b>IV.1 Introduction :</b> .....	<b>24</b>
	<b>IV.2 Approche Juridiques et législatives :</b> .....	<b>24</b>
	<b>IV.2 Les métaux lourds :</b> .....	<b>26</b>
	<b>IV.2.1 Les sources des métaux lourds :</b> .....	<b>26</b>
	<b>IV.3 Le Chrome :</b> .....	<b>26</b>
	<b>IV.3.1 Etats de valence du chrome :</b> .....	<b>27</b>
	<b>IV.3.2 Sources du chrome dans les eaux usées :</b> .....	<b>27</b>
	<b>IV.4 Les impacts du chrome :</b> .....	<b>28</b>
	<b>IV.4.1 Procédés de l'élimination du chrome VI par réduction :</b> .....	<b>28</b>
<b>V.</b>	<b>Chapitre 3 : Etude des impacts du chrome VI sur ce traitement</b> .....	<b>29</b>
	<b>V.1 Introduction :</b> .....	<b>29</b>
	<b>V.2 Les variations de la concentration du chrome dans le mois du Mai 2013 :</b> .....	<b>30</b>
	<b>V.3 Sources de pollution et causes des variations :</b> .....	<b>31</b>
	<b>V.3.1 Source de pollution :</b> .....	<b>31</b>

<b>V.4 Les impacts du chrome VI sur les performances épuratoires de la STEP (Résultats et discussion) :</b>	<b>32</b>
<b>IV.4.1 Paramètres organiques :</b>	<b>32</b>
<b>IV.4.2 Paramètres physico-chimiques :</b>	<b>33</b>
<b>V.5 Résultats et discussions :</b>	<b>34</b>
<b>V.5.1 Les performances de la STEP :</b>	<b>34</b>
<b>V.5.2 Interprétations :</b>	<b>45</b>
<b>V.5.3 Effets du chrome VI présent dans la boue activée sur les microorganismes:</b>	<b>46</b>
<b>V.6 Recommandations pour minimiser l'aspect quantitatif et les effets du chrome sur le traitement des eaux usées dans la STEP de Marrakech.</b>	<b>46</b>
<b>V.6.1 La déchromatation :</b>	<b>46</b>
<b>V.6.2 La construction des petites stations :</b>	<b>48</b>
<b>V.6.3 Sonde de détection :</b>	<b>48</b>
<b>V.7 Conclusion :</b>	<b>48</b>
<b>VI. Conclusion général :</b>	<b>49</b>
<b>VII. Références bibliographiques :</b>	<b>50</b>

## Liste des figures

<b>Figure 1 : Organigramme de la RADEEMA. ....</b>	<b>3</b>
<b>Figure 2 : Situation géographique de la station d'épuration de Marrakech (Google). ....</b>	<b>4</b>
<b>Figure 3 : Pré-grille.....</b>	<b>7</b>
<b>Figure 4 : Dégrillage grossier.....</b>	<b>8</b>
<b>Figure 5 : Dégrillage fin .....</b>	<b>8</b>
<b>Figure 6 : L'évacuation de déchets vers les bennes de décharge .....</b>	<b>8</b>
<b>Figure 7 : Le dessableur/ déshuile .....</b>	<b>9</b>
<b>Figure 8 : Coupe longitudinal d'un décanteur primaire.....</b>	<b>10</b>
<b>Figure 9 : Décanteur primaire .....</b>	<b>10</b>
<b>Figure 10 : Le bassin d'aération (ou bassin biologique) .....</b>	<b>12</b>
<b>Figure 11 : Clarificateur. ....</b>	<b>13</b>
<b>Figure 12 : bassins de coagulation-floculation. ....</b>	<b>14</b>
<b>Figure 13 : Le filtre à sable. ....</b>	<b>15</b>
<b>Figure 14 : Désinfection ultra-violet.....</b>	<b>15</b>
<b>Figure 15 : Schéma descriptif de l'origine des boues primaires et secondaires. ....</b>	<b>17</b>
<b>Figure 16 : Coupe longitudinal d'un épaisseur gravitaire. ....</b>	<b>18</b>
<b>Figure 17 : Épaisseur .....</b>	<b>18</b>
<b>Figure 18 : Coupe longitudinal d'un Flottateur .....</b>	<b>19</b>
<b>Figure 19 : Flottateur .....</b>	<b>19</b>
<b>Figure 20 : Coupe longitudinal d'un digesteur anaérobie .....</b>	<b>20</b>
<b>Figure 21 : Digesteur.....</b>	<b>20</b>
<b>Figure 22 : Le filtre à bande. ....</b>	<b>21</b>
<b>Figure 23 : boue destinée à la décharge.....</b>	<b>21</b>
<b>Figure 24 : Le désulfuriseur .....</b>	<b>22</b>
<b>Figure 25 : Les deux cogénérateur .....</b>	<b>23</b>
<b>Figure 26 : Le stockeur de gaz (gazomètre) .....</b>	<b>23</b>
<b>Figure 27 : Les deux torchères.....</b>	<b>23</b>
<b>Figure 28 : Histogramme de concentration du chrome VI du mois Mai 2013.....</b>	<b>30</b>

<b>Figure 29 : Histogramme de la variation du rendement d'élimination de l'azote total NGL en fonction des concentrations du chrome VI au mois du Mai. ....</b>	<b>41</b>
<b>Figure 30 : Histogramme de la variation du rendement d'élimination de l'azote Kjeldahl NTK en fonction des concentrations du chrome VI au mois du Mai. ....</b>	<b>43</b>
<b>Figure 31 : Histogramme de la variation du rendement d'élimination de l'ammonium en fonction des concentrations du chrome VI au mois du Mai. ....</b>	<b>45</b>
<b>Figure 32 : Diagramme de Pourbaix du chrome dans l'eau, l'acide perchlorique ou l'hydroxyde de sodium, à 25°C, <math>[Cr^{3+}] = 10 \mu m</math>. ....</b>	<b>47</b>

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1 : Caractéristiques de l'influent à l'entrée de la station. ....</b>	<b>5</b>
<b>Tableau 2 : Performances attendues du traitement.....</b>	<b>6</b>
<b>Tableau 3 : montrent les différentes étapes du dégrillage. ....</b>	<b>7</b>
<b>Tableau 4 : comporte les caractéristiques de deux canaux désableurs-dégraissseurs rectangulaires. ....</b>	<b>9</b>
<b>Tableau 5 : les caractéristiques d'un décanteur primaire. ....</b>	<b>10</b>
<b>Tableau 6 : les dimensions d'un bassin d'aération (bassin biologique).....</b>	<b>12</b>
<b>Tableau 7 : les dimensions d'un clarificateurs. ....</b>	<b>13</b>
<b>Tableau 8 : Les caractéristiques d'une épaisseur. ....</b>	<b>18</b>
<b>Tableau 9 : Les caractéristiques d'un Flottateur.....</b>	<b>19</b>
<b>Tableau 10 : Les caractéristiques d'un digesteur. ....</b>	<b>20</b>
<b>Tableau 11 : Analyses des variations de la concentration du chrome à l'entrée de la STEP dans le mois Mai.....</b>	<b>30</b>
<b>Tableau 12 : Toutes les caractéristiques du chrome. ....</b>	<b>32</b>
<b>Tableau 13 : Analyses des eaux à l'entrée du traitement secondaire de la STEP pendant le mois Mai 2013. ....</b>	<b>36</b>
<b>Tableau 14 : Analyses des eaux de la sortie du traitement secondaire pendant le moi Mai 2013. .....</b>	<b>37</b>
<b>Tableau 15 : Rapports DCO/DBO5 à l'entrée et à la sortie du traitement secondaire. ....</b>	<b>38</b>
<b>Tableau 16 : les pourcentages des rendements d'élimination de NGL (mg N/l) en fonction des concentrations du chrome VI au mois Mai 2013.....</b>	<b>39</b>
<b>Tableau 17 : les pourcentages des rendements d'élimination de NTK (mg N/l) en fonction des concentrations du chrome VI au mois Mai 2013.....</b>	<b>42</b>
<b>Tableau 18 : les pourcentages des rendements d'élimination de (NH4+) (mg N/l) en fonction des concentrations du chrome VI au mois Mai 2013. ....</b>	<b>44</b>

## Liste des abréviations

**RADEEMA** : Régie Autonome de Distribution d'Eau et d'Electricité de Marrakech

**STEP** : Station de Traitement des Eaux Polluées

**Cr** : Chrome

**UV** : Ultra-violet

**DBO5** : Demande Biologique en Oxygène en Cinq jours

**DCO** : Demande Chimique en Oxygène

**NGL**: L'azote global

**NTK**: L'azote Kjeldahl

**IP** : Indicateurs de Pollution

**N. Organique** : Azote Organique

**B. Nitrifiantes** : Bactéries nitrifiantes

## **I. Introduction générale :**

Au cours de ces dernières décennies, le Maroc a connu une évolution progressive touchant tous les secteurs ; démographique, économique et touristique, ce qui a causé plusieurs problèmes socio-économiques et surtout environnementaux liés à la rareté des précipitations, aux risques sanitaires, à la carence du pouvoir réglementaire et d'assainissement. La ville de Marrakech est parmi les villes les plus influencées par ces problèmes. Pour cela Il est nécessaire d'en garantir la disponibilité dans le temps au moyen de formes d'exploitation durables qui permettent de faire face aux exigences actuelles sans menacer l'équilibre environnemental. C'est dans ce sens que la régie autonome de distribution de l'eau de Marrakech a pensé à se doter de sa propre station de traitement des eaux polluées (STEP) qui permet la recharge de la nappe phréatique et même fournir une ressource renouvelable en eau un potentiel de 33 millions de m<sup>3</sup> par an qui couvrent 85% de la demande en eau des golfs de la ville.

Dans le cadre de notre projet de fin d'études, nous avons eu l'occasion d'effectuer un stage dans la station de traitement des eaux usées de la ville de Marrakech, afin de suivre les divers traitements que subissent les eaux usées et les problèmes rencontrés au cours de ces traitements. Le présent projet consiste à évaluer les performances du traitement biologique de la STEP de Marrakech et l'impact des métaux lourds en particulier le chrome VI sur ce traitement. Puis que l'eau favorise plusieurs réactions chimique elle transporte des métaux lourds, et les insère dans les chaînes alimentaires (algues, poisson, etc.) en provoquant une toxicité qui se développe par bioaccumulation dans les organismes.

## II. Cadre générale :

### II.1 Présentation de la RADEEMA :

#### II.1.1 .Historique :

La RADEEMA, ou Régie Autonome de Distribution d'Eau et d'Electricité de la ville de Marrakech a été créée le premier janvier 1971 et ceci en vertu du décret n° 2-64-394 du 29 Septembre 1964 relatif aux Régies communales.

Elle a pris en charge la gestion du service de l'assainissement liquide de la communauté urbaine de la ville de Marrakech le 1er Janvier 1998

#### II.1.2. Missions et rôles de la RADEEMA :

A cause de la croissance démographique que connaît la ville de Marrakech, le grand projet de la RADEEMA a visé le secteur de l'assainissement, afin de s'attaquer au problème sanitaire dans le milieu urbain, dû à la pollution des eaux domestiques, industrielles, ...etc. Ses principaux objectifs sont manifestés dans la sécurisation de l'alimentation en eau et en électricité, la protection de l'environnement, des eaux souterraines et des eaux superficielles et la lutte contre les maladies et les contaminations.

#### II.1.3. Mission et actions entreprises:

La mission de la RADEEMA et sa préoccupation majeure est d'accompagner le développement important que connaît la ville de Marrakech, assurer la sécurité de l'approvisionnement et la gestion des services rendus à la clientèle.

Le volet environnement et écologique est au centre des actions engagées par la RADEEMA notamment le traitement et la réutilisation des eaux usées.

## II.1.4. Organigramme :

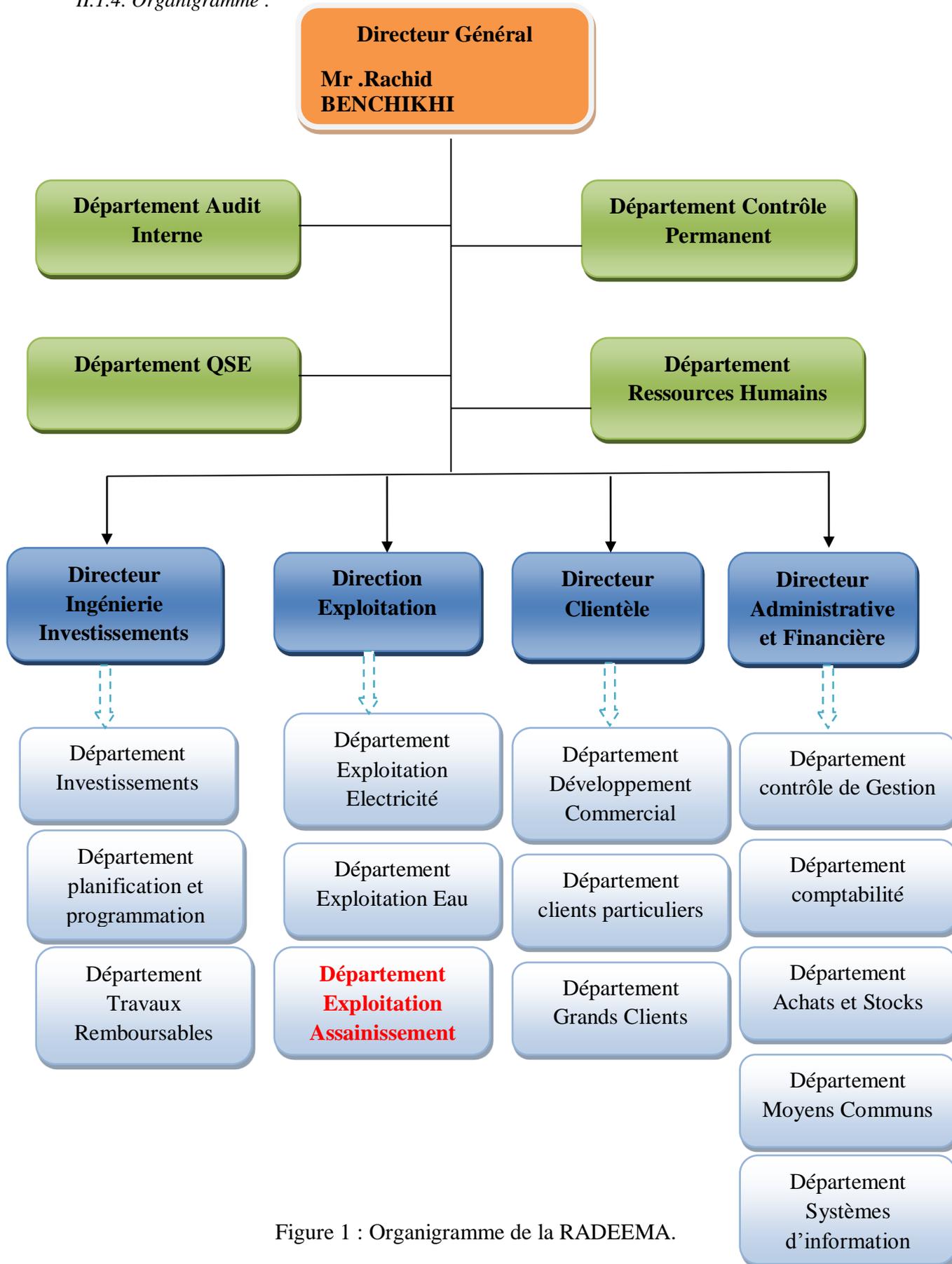


Figure 1 : Organigramme de la RADEEMA.

### II.2 Présentation de la STEP Marrakech :

#### II.2.1 Situation géographique :

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



**Figure 2 : Situation géographique de la station d'épuration de Marrakech (Google).**

#### II.2.2 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.2.3 Objectif de la station d'épuration :

- ✓ L'économie de l'eau par l'usage d'une ressource alternative
- ✓ Mobilisation de 33 millions de m<sup>3</sup> d'eau pour l'irrigation des espaces verts sauvegarde des ressources en eau conventionnelles
- ✓ La Protection des ressources contre la pollution.

### II.2.4 Aspects généraux de la station :

La station d'épuration de Marrakech est une station à traitement tertiaire avec stabilisation biologique des boues. Elle a été conçue pour traiter la totalité des eaux résiduaires de la ville de Marrakech pour une utilisation dans l'irrigation des espaces verts et golfs situés au nord, à l'est et au sud de la ville ainsi que pour la palmeraie de Domaine OULJA au nord de la ville.

Selon les rapports mensuels de la station, le tableau suivant donne les caractéristiques de l'influent à l'entrée de la station :

Tableau 1 : Caractéristiques de l'influent à l'entrée de la station.

Équivalents habitants	1 300 000
DBO5 (Kg /j)	58 100
DCO (Kg /j)	120 000
MES (Kg/j)	53 000
Débit de pointe journalier (m <sup>3</sup> /j)	184 896
Débit moyen journalier	100 000

### II.2.5 Performances attendues du traitement :

Les paramètres de qualité de l'eau à l'entrée de la station et à la sortie de chaque étape de traitement sont indiqués sur le tableau suivant :

Tableau 2 : Performances attendues du traitement.

Paramètre de qualité	Entrée STEP	Traitement primaire	Traitement secondaire	Traitement tertiaire
MES (mg /l)	584	200	30	5
DBO5 (mg /l)	640	430	30	10
NTK (mg /l)	120	120	5	5
PT (mg /l)	22	22	20	10
Germes fécaux	107 U/L	107U/L	106U/L	2.103U/L

### III. Chapitre 1 : Les étapes de traitement et d'épuration des eaux usées dans la STEP de Marrakech :

#### III.1 Introduction :

On s'intéresse plus particulièrement à la station d'épuration des eaux usées de la ville de Marrakech sur le traitement qui porte sur quatre filières : filière eau, boues, biogaz et filière de traitement des Odeurs.

#### III.2 Filières de traitement au niveau de la station d'épuration de Marrakech :

##### III.2.1 Filière eau :

Le traitement de la filière eau passe par les étapes suivantes :



### III.2.1.1 Prétraitement :

Le prétraitement a pour mission de protéger les étapes ultérieures de traitement contre les risques de débouchage et d'abrasion ou causer des dommages aux équipements, s'ils ne sont pas éliminés. Ces opérations sont : le dégrillage, le dessablage et le dégraissage.

#### a) Dégrillage :

A l'entrée de l'ouvrage de prétraitement, il y a une *fosse à bâtards* de volume 4,5 m<sup>3</sup> qui sert à piéger les corps grossiers afin d'alléger la pression sur les éléments en aval. Où son curage est fait manuellement par un opérateur à l'aide d'un *grappin*. Permet d'éliminer les gros déchets (morceau de bois, partie d'arbre...).

Le dégrillage est classé en trois catégories selon l'écartement entre barreaux de grille :

Tableau 3 : montrent 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. -peu d'entretien -installation simple et rapide -faible consommation d'électricité
Dégrilleur moyen	80	-Automatique, vertical -il retient les éléments volumineux	
Dégrilleur fin	10	-Automatique, vertical -il retient les éléments les plus fins	



Figure 3 : Pré-grille

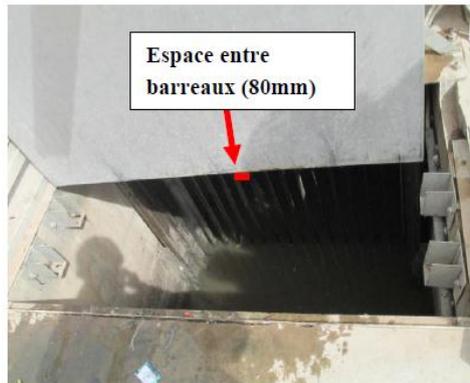


Figure 4 : Dégrillage grossier

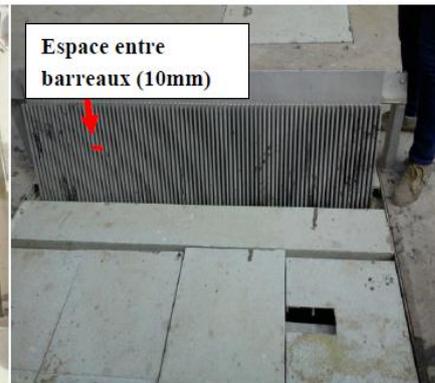


Figure 5 : Dégrillage fin

Les déchets récupérés par les grilles sont évacués vers la benne menue d'une vis spirale qui permet de pousser les ordures vers les bacs de décharges (*figure6*).



Figure 6 : L'évacuation de déchets vers les bennes de décharge

### b) Dessablage-dégraissage :

Cette étape a pour but d'extraire des eaux brutes et de retenir dans un ouvrage spécifique les grains ayant une granulométrie supérieure à  $200 \mu\text{m}$  (ex : les sables, les graviers, les particules minérales plus ou moins fines), dont les huiles et autres graisses, moins denses que l'eau, ont une tendance naturelle à remonter à la surface.

L'injection des microbulles d'air permet d'accélérer la flottation des graisses en les séparant des sables décantables. Les sables sont récupérés par pompage puis collectés pour être déposés en charge publique alors que les graisses sont raclées en surface et acheminées vers l'unité de traitement des graisses.

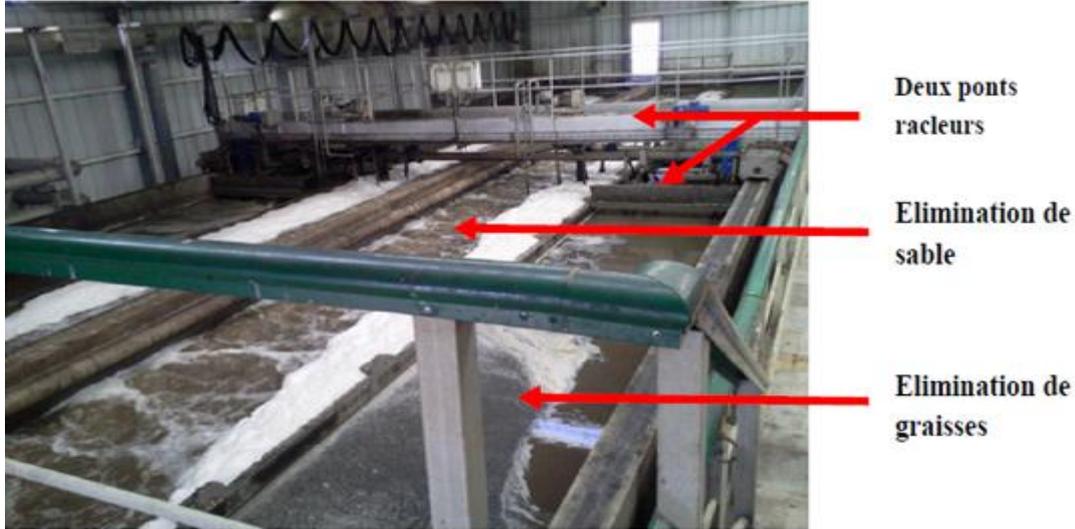


Figure 7 : Le dessableur/ déshuile

Tableau 4 : comporte les caractéristiques de deux canaux dessableurs-dégraisseurs rectangulaires.

Longueur	25 m
Largeur	8 m
Volume	600 m <sup>3</sup>
Surface unitaire	200 m <sup>2</sup>
Surface totale	400 m <sup>2</sup>
Volume total	1200

### III.2.1.2 Traitement primaire :

Le traitement primaire consiste en une décantation primaire. Les eaux prétraitées sont acheminées vers le répartiteur afin de les distribuer de manière égale entre les 3 décanteurs circulaires (de 39m de diamètre, d'une capacité de 3 500 m<sup>3</sup> chacun). La capacité totale des décanteurs est de 12000 m<sup>3</sup>. Le temps de séjour est de 2 h 30 mn. Les décanteurs vont, par gravitation, séparer l'eau de la matière en suspension (>1,5 mm). À l'issue de l'unité de décantation primaire, il y a trois sorties : eaux traitées, boues primaires et graisses. Les eaux

traitées passent par un chenal de sortie (*Venturi*) avant d'être déchargées vers la deuxième étape. Rendement épuratoire : 66 % pour MES et 33 % pour DBO5.

Le décanteur est de type circulaire-conique au fond de pente 15°.

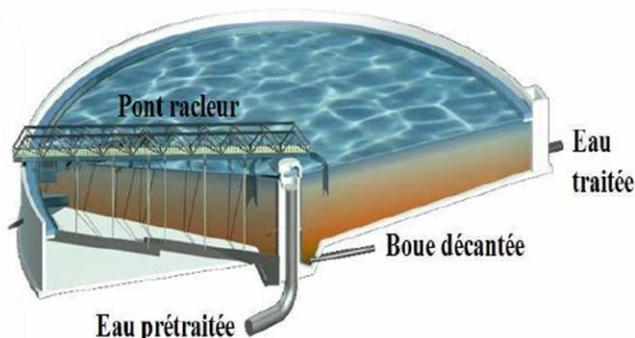


Figure 8 : Coupe longitudinal d'un décanteur primaire

Figure 9 : Décanteur primaire.

Tableau 5 : les caractéristiques d'un décanteur primaire.

Diamètre unitaire	39 m.
Surface unitaire	1195 m <sup>2</sup> .
Surface totale.	3585 m <sup>2</sup>
Volume unitaire	3500 m <sup>3</sup> .
Volume totale	10 500 m <sup>3</sup> .
Longueur de déversoir par décanteur	123 ml.
Longueur totale	<i>III</i> .

### III.2.1.3 Traitement secondaire :

Le traitement secondaire possède deux phases : le traitement biologique et la clarification qui permet d'éliminer la matière dissoute dans l'eau (minérale et organique) et le dégazage de l'azote. Dont les eaux provenant des décanteurs sont récupérées par le répartiteur secondaire (chambre1). C'est une fosse destinée au transport de l'influent mélange à la boue

recyclée vers le traitement aérobie. Le débit moyen est de 90 750 m<sup>3</sup> Après le sélecteur, l'eau est dirigée vers les bassins biologiques. Avec un temps de séjour très court.

a) *Traitement biologique :*

➤ *Bassins biologiques (bassins d'aérations) :*

Le traitement biologique des eaux usées est en fonction des activités biologiques, par les procédés des boues activées qui ont lieu dans des bassins d'aération. Le bassin d'aération comporte quatre chenaux, dans lesquels circule le liquide mixte. Son aération est assurée par des supprimeurs.

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.

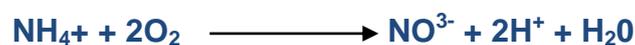
▪ *La nitrification :*

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. Elle s'effectue en deux étapes par l'activité des micro-organismes autotrophes :

-Oxydation de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en NO<sub>2</sub><sup>-</sup> : c'est l'œuvre essentiellement des germes Nitrosomonas,

-Oxydation de NO<sub>2</sub><sup>-</sup> en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> : les bactéries responsables de cette deuxième réaction, appartiennent principalement au genre Nitrobacter. 0

L'oxygène étant ajouté par les supprimeurs. La nitrification se fait selon la réaction suivante :



▪ *La dénitrification :*

Est la technique par laquelle les nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) sont transformés en azote gazeux (N<sub>2</sub>) et en oxygène (O<sub>2</sub>) dans des conditions anoxiques (sans oxygène). Au cours du processus de la dénitrification, les organismes responsables de la libération du carbone peuvent utiliser les nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) et les nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) comme source d'oxygène. On parle

de la boue activée lors de la présence d'une masse active d'organismes qui consomme et concentre de la matière organique. Elle est recirculée vers le réacteur biologique. Le mélange composé du retour des boues et des eaux usées est appelé liquide mixte. La dénitrification est assurée selon la réaction suivante :



Figure 10 : Le bassin d'aération (ou bassin biologique)

Ce bassin d'aération est de type carrousel, ils sont au nombre de quatre avec un réseau de diffuseurs de type tubulaire (1152 paire au total).

Tableau 6 : les dimensions d'un bassin d'aération (bassin biologique).

Dimension	
Volume actif	16034 m <sup>3</sup>
Longueur	76,6 m
Largeur	38 m
Surface	2620 m <sup>2</sup>
Niveau d'eau	6,12 m

Deux transmetteurs potentiel redox, deux transmetteurs oxygène dissous, 1152 paires de diffuseurs tubulaires (aération aux bulles fines) sont inclus dans chaque bassin.

Ensuite les eaux vont être stabilisées dans un bassin plus calme, afin que les gaz piégés entre les particules puisse s'échapper.

Après le dégazage, les eaux sont récupérées par le répartiteur secondaire (chambre 2) qui va le distribué vers les bassins de décantation secondaire (clarificateur) qui possèdent une double surverse.

*b) Clarification (décantation secondaire) :*

La clarification se fait dans des clarificateurs 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.

Tableau 7 : les dimensions d'un clarificateurs

Dimension	
Volume actif	10100 m <sup>3</sup>
Surface	2525 m <sup>2</sup>
Niveau d'eau	4,00 m
Diamètre	56,7 m



Figure 11 : Clarificateur.

*III.2.1.4 Traitement tertiaire :*

Vu les dépenses supplémentaires qu'engendre le traitement tertiaire, la STEP de Marrakech ne procède à ce traitement qu'en cas de demande pour l'irrigation des golfs. Ce traitement est basé sur une coagulation, floculation, suivies d'une filtration sur des lits de sables puis une désinfection à l'UV.

### a) *Coagulation-Floculation:*

Ce processus se passe dans les bassins de coagulation-floculation, il facilite l'élimination des particules solides en suspension et des particules colloïdales. Il est donc utilisé dans l'étape d'une séparation solide-liquide.

➤ La coagulation :

Est la déstabilisation de particules colloïdales par addition d'un réactif chimique appelé coagulant.

➤ La Floculation :

Est l'agglomération de particules déstabilisées en micro-floc et ensuite en flocons plus volumineux que l'on appelle flocons. On peut rajouter un autre réactif appelé floculant ou adjuvant de floculation pour faciliter la formation de flocons.



Figure 12 : bassins de coagulation-floculation.

### b) *Filtration sur lit de sable :*

C'est une méthode d'épuration biologique qui assure le passage de l'eau à traiter à travers des lits de sables (figure13). Ces lits sont au nombre de 20 à une capacité unitaire de 27,5 m<sup>3</sup>. Au niveau de ce parcours, la qualité de l'eau est améliorée considérablement par la diminution du nombre de microorganismes (bactéries, virus, kystes), par l'élimination de matières en suspension et colloïdales et par des transformations dans sa composition chimique. A la surface du lit se forme une mince couche appelée "membrane biologique". Cette mince couche superficielle est essentielle, car elle effectue le déroulement du processus d'épuration.

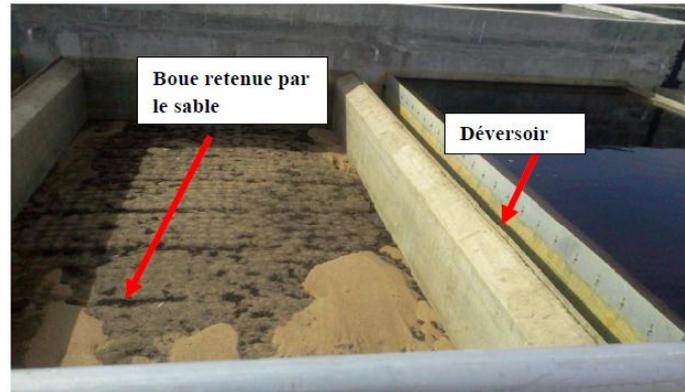


Figure 13 : Le filtre à sable.

### c) Désinfection à l'Ultra-violet :

Le traitement par la lumière ultraviolette (UV) 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.

Les systèmes types de désinfection par traitement UV comprennent la circulation de l'eau à travers 2 canaux ayant 2 bancs chacun et contenant 256 lampes UV. Durant le passage de l'eau dans le récipient, les micro-organismes sont exposés à une énergie lumineuse ultraviolette dont la puissance est de 250W qui endommage les molécules génétiques, et empêchent les micro-organismes de se multiplier.



Figure 14 : Désinfection ultra-violet.

### d) Chloration :

C'est un élément très réactif, et de ce fait il forme rapidement des composés avec les autres substances, c'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. Le chlore est utilisé sous la forme suivante : chlore gazeux contenu dans 16 tanks est de 800 litres chacune, l'injection se fait par deux rampes.

### IV.2.2 Filière boue :

Le traitement de la boue passe par les étapes suivantes :



Ces traitements réalisés en station d'épuration permettent la dégradation et la séparation des pollutions de l'eau (particules, substances dissoutes, microorganismes) par des paramètres physico-chimiques et biologique. Ces opérations conduisent à la production de boues qui est le principal sous-produit du cycle de traitement de l'eau. On distingue deux types de boue à traiter :

#### a) Boue primaire :

C'est une boue qui provient de la décantation primaire qui se caractérise par une densité très importante, elle est composée principalement de matière organique. Il s'agit de boues fraîches, c'est-à-dire non stabilisées (forte teneur en matière organique) et fortement fermentescibles.

#### b) Boue secondaire :

Ce sont des boues activées issues d'un traitement secondaire, qui proviennent des clarificateurs et qui sont caractérisées par une faible densité qui leur confère un pouvoir de flottation.

Elles sont récupérées après la décantation secondaire (clarificateur), ce sont des boues fraîches biologiques, sous forme de floccs de bactéries. Leur pouvoir fermentescible dépend du temps de séjour dans le système d'aération-décanteur secondaire.

c) *Boue mixte* :

Constituer d'un mélange de boues primaires et secondaires, leur composition est dépendante de la quantité de boues primaires et secondaires produites. Très fermentescibles, ces boues subissent un traitement de stabilisation

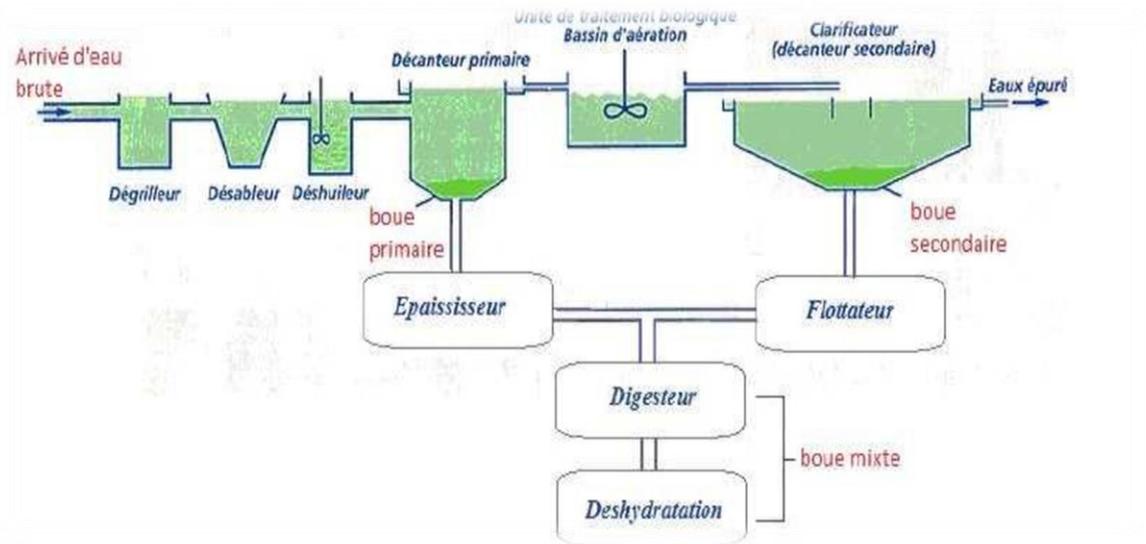


Figure 15 : Schéma descriptif de l'origine des boues primaires et secondaires.

### III.2.2.1 Epaisseur (boues primaires) :

Les boues primaires extraites des décanteurs primaires est envoyée par une tuyauterie conduit vers des épaisseurs gravitaires de boues primaires. La répartition est assurée par deux déversoirs et deux batardeaux permettent l'isolement de chaque épaisseur. C'est un dispositif cylindro-conique d'un volume unitaire de 600m<sup>3</sup> qui comprend un racleur du fond qui pousse, dans un lent mouvement de rotation, les matières solides déposées sur le fond de la cuve jusqu'au cône d'évacuation central.

Ces boues primaires sont épaissies selon le principe de la décantation pendant une durée de 3h pour augmenter leur concentration à une moyenne de 70 g/l et elles sont dirigées vers le centre de l'épaisseur par un raclage au fond pour les extraire vers le digesteur. La surverse des eaux s'écoule vers le poste toutes eaux.

La STEP est équipé par deux ouvrages d'épasseurs de type gravitaire, chacun est composé de:



Figure 16 : Coupe longitudinal d'un épaisseur gravitaire.

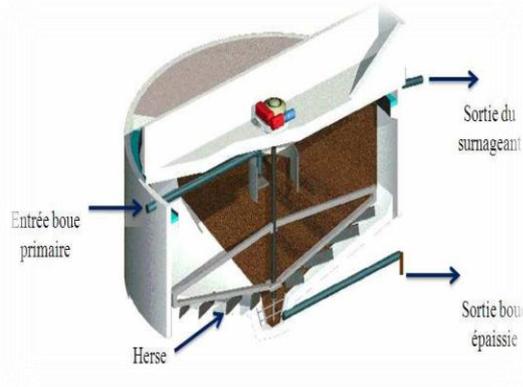


Figure 17 : Épaisseur

Tableau 8 : Les caractéristiques d'une épaisseur.

Diamètre	15m
Surface unitaire	177 m <sup>2</sup>
Volume unitaire	600 m <sup>3</sup>
Hauteur cylindrique	3,5 m

### III.2.2.2 Flottateur (boues secondaire) :

Les boues activées sont envoyées vers deux flottateurs, de forme cylindrique et d'un volume unitaire de 275m<sup>3</sup>. Ils sont composés d'une cloison verticale positionnée entre l'axe central et un bord du flottateur assure une séparation dans l'appareil. Les boues préalablement conditionnées avec du polymère (avec une concentration de 2 g/l) sont admis dans le flottateur via une cheminée centrale assurant le mélange avec de l'eau pressurisée.

Les boues flottées s'agglomèrent à la surface du flottateur jusqu'à former une couche épaisse (Cette remontée est favorisée par l'action de microbulles d'air injectées dans l'eau à traiter). Celles-ci sont récupérées via une coupe tournante se déplaçant sur la périphérie de la cuve.

La STEP est équipée par deux flottateurs, chacun est composé de :

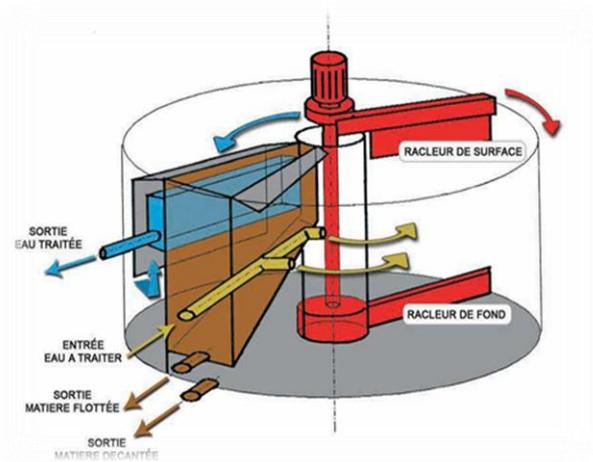


Figure 18 : Coupe longitudinal d'un Flottateur



Figure 19 : Flottateur

Tableau 9 : Les caractéristiques d'un Flottateur.

Dimension	
Volume actif	282 m <sup>3</sup>
Diamètre	10,7 m
Profondeur	3,67 m
Surface	90 m <sup>2</sup>
Niveau d'eau	3,14 m

### III.2.2.3 Digesteurs (boues mixte) :

Les boues mixtes (boues primaire + boues secondaire) arrivant au digesteur vont subir une digestion anaérobie à une température de 37°C pendant une durée de 21 jours, selon quatre phénomènes :

La STEP est équipé par deux ouvrages de digestion anaérobie de type mésophile, chaque digesteur est composé de :

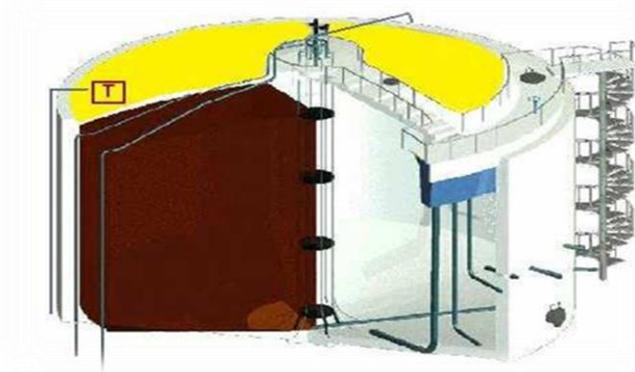


Figure 20 : Coupe longitudinale d'un digesteur anaérobie



Figure 21 : Digesteur

Tableau 10 : Les caractéristiques d'un digesteur.

Volume unitaire	6000 m <sup>3</sup>
Volume total	12000 m <sup>3</sup>
Diamètre	24 m
Hauteur cylindrique	12,25 m

### III.2.2.4 Stockeur :

La boue digérée s'écoule gravitairement des digesteurs vers un stockage de boues digérées de forme circulaire, de volume de 850 m<sup>3</sup>, sans couverture et équipée de trois

agitateurs submersibles assurant l'homogénéité de la boue digérée afin d'éviter leur fermentation. Le réservoir joue également le rôle de stockage intermédiaire avant la déshydratation. Un local de pompage est installé à proximité dans lequel se trouvent les pompes d'alimentation des filtres à bande.

### III.2.2.5 Déshydratation :

La boue digérée stockée sera envoyée vers trois filtre-à-bande pour la déshydratation. L'unité de déshydratation est équipée de trois filtres à bandes (2 en service et 1 de secours), ils ont la fonction de presser la boue passant à travers leurs bandes afin de la sécher. L'objectif du filtrage est d'augmenter la siccité des boues en la faisant passer de 3 à 30% (valeur requise par le cahier de charge) afin de faciliter son transport, et éviter les problèmes qu'elles peuvent engendrer dans l'état liquide. Cependant, cette valeur est difficile à atteindre à l'usage des filtres seuls, c'est pour cela qu'une unité d'ajout de polymère a été mise en service en amont des filtres pour faciliter le séchage. Les boues sont enfin transportées vers la décharge publique (à 2 Km de la station).



Figure 22 : Le filtre à bande.



Figure 23 : boue destinée à la décharge

### III.2.3 Filière biogaz :

Au niveau de la STEP, le biogaz suit le cheminement suivant :



Le biogaz provenant de la stabilisation anaérobie est un mélange composé essentiellement de méthane ( $\text{CH}_4$ ) et de gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ) mais également en moindre proportion d'eau, d'azote, d'hydrogène sulfuré, d'oxygène ainsi que de composés aromatiques organo-halogénés et de métaux lourds à l'état de traces.

Du fait que le biogaz contient des taux plus ou moins élevés de soufre ( $\text{H}_2\text{S}$ ) qui a des effets nocifs tels que : la corrosion, l'endommagement des installations ...etc. Une partie du biogaz provenant des digesteurs va être comprimées puis réinjectées dans ces derniers, et l'autre partie va subir une désulfuration en éliminant le soufre par lavage (*figure24*).

Le biogaz produit au sein de la station a une composition hétérogène, il comporte :

- $\text{CH}_4$ : 70% ( $\pm 5\%$ ) ;
- $\text{CO}_2$ : 30% ( $\pm 5\%$ ) ;
- $\text{H}_2\text{S}$ : 3000 ppm ;
- $\text{N}_2$  : < 1 % V.



Figure 24 : Le désulfuriseur

Le biogaz désulfuré suit deux chemins ; en premier lieu vers les cogénérateurs (*figure25*) dont l'utilité est manifestée par la production de la chaleur qui sert au chauffage de la boue au niveau des digesteurs. Ainsi il assure une autosuffisance de 45 % de l'électricité utilisée au niveau de la STEP, finalement il est stocké dans de grands réservoirs circulaires à double membrane appelés gazomètres (*figure26*).



Figure 25 : Les deux cogénérateur



Figure 26 : Le stockeur de gaz (gazomètre)

Dans le cas où les gazomètres sont pleins, le biogaz en excès va subir une combustion au niveau de la torchère (*Figure 27*).



Figure 27 : Les deux torchères

Toutes les opérations de traitement au niveau de la STEP de Marrakech sont supervisées par le département de traitement et de contrôle, qui surveille l'ensemble des opérations de traitement des eaux et des boues dans la station avec l'organisation des interventions, la régulation et la maintenance. Le niveau d'automatisation de la station permet de contrôler et de commander à distance la plupart des équipements à l'aide des superviseurs. La station est équipée également d'un laboratoire de contrôle de la qualité de l'eau permettant d'évaluer les performances épuratoires de la STEP.

#### IV. Chapitre 2 : Etude bibliographique :

##### IV.1 Introduction :

Le but de cette analyse bibliographique est de montrer les différents impacts des métaux lourds et du chrome VI sur les performances de la STEP.

##### IV .2 Approche Juridiques et législatives :

**Arrêté conjoint du ministre de l'intérieur, du ministre de l'énergie, des mines, de l'eau et de l'environnement, du ministre de l'industrie, du commerce et des nouvelles technologies et du ministre de l'artisanat n° 2942-13 fixant les valeurs limites générales de rejet dans les eaux superficielles ou souterraines. (B.O. n° 6202 du 7 novembre 2013).**

Le présent arrêté modifie les valeurs limites générales des rejets visées à l'article 12 du décret susvisé n° 2-04-553, et s'applique à tout déversement non soumis à des valeurs limites spécifiques de rejet. Il est publié au Bulletin officiel en 2013 et va entrer en vigueur le 1er janvier 2018.

Tableau 1 : l'Arrêté conjoint du ministre de l'intérieur, du ministre de l'énergie, des mines, de l'eau et de l'environnement, du ministre de l'industrie, du commerce et des nouvelles technologies et du ministre de l'artisanat n° 2942-13 du (7 octobre 2013) fixant les valeurs limites générales de rejet dans les eaux superficielles ou souterraines.

Paramètres	Valeurs limites générales de rejet dans les eaux superficielles ou souterraines.
Température (°C)	30
Ph	5.5-8.5
MES (mg/l)	30
Azote kjeldhal (mg N/l)	40
Phosphore total (mg P/l)	2
DCO (mg O <sub>2</sub> /l)	120
DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /l)	40
Chlore actif (Cl <sub>2</sub> ) (mg/l)	1
Dioxyde de chlore (ClO <sub>2</sub> ) (mg/l)	0.05
Aluminium (Al) (mg/l)	10
Détergents (anionique, cationique et ionique) (mg/l)	2
Conductivité électrique (uS/cm)	2700
Salmonelles/5000 ml	Absence
Vibrions cholériques/5000 ml	Absence
Cyanures libres (CN <sup>-</sup> ) (mg/l)	0.1
Sulfates (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) mg/l	500
Sulfures libres (S <sup>2-</sup> ) (mg/l)	0.5
Fluorures (F <sup>-</sup> ) (mg/l)	3
Indice de Phénols (mg/l)	0.5
Hydrocarbures par Infra-rouge (mg/l)	20
Huiles et graisses (mg/l)	20
Antimoine (Sb) (mg/l)	0.1
Argent (Ag) (mg/l)	0.5
Arsenic (As) (mg/l)	0.5
Baryum (Ba) (mg/l)	0.5
Cadmium (Cd) (mg/l)	0.2
Cobalt (Co) (mg/l)	0.1
Cuivre total (Cu) (mg/l)	3
Mercure total (Hg) (mg/l)	0.01
Plomb total (Pb) (mg/l)	1
Chrome total (Cr) (mg/l)	0.5
Chrome hexavalent (Cr <sup>6+</sup> ) (mg/l)	0.1
Etain total (Sn) (mg/l)	2
Manganèse (Mn) (mg/l)	1
Nickel total (Ni) (mg/l)	5
Sélénium (Se) (mg/l)	0.05
Zinc total (Zn) (mg/l)	5
Fer (Fe) (mg/l)	5
AOX	5

### IV.2 Les métaux lourds :

Les métaux lourds sont des polluants engendrés par l'activité humaine qui ont un fort impact toxicologique. Particulièrement le chrome. Ils sont multiples et dépendent du contexte dans lequel on se situe ainsi que l'étude à réaliser. D'un point de vue scientifique, les métaux lourds peuvent être également définis comme : tout métal ayant une densité supérieure à 5 peut être toxique pour les systèmes biologiques. Dans le traitement des déchets liquides, parmi les métaux lourds indésirables auquel on s'intéresse principalement est : le chrome (Cr), qui est associé aux notions de pollution et de toxicité.

#### IV.2.1 Les sources des métaux lourds :

Les métaux lourds sont retrouvés de nombreux niveaux: métallurgie, chimie, pharmacie, énergie, etc. Les origines anthropiques des métaux sont diverses, on peut citer notamment l'industrie du traitement de surface (galvanoplastie, peintures...) est une source de pollution par les métaux lourds. La part la plus importante de pollution industrielle apportée par cette activité est celle par les métaux (36 %). Les métaux lourds sont aussi issus des combustions car on les trouve, à l'état de traces, dans le charbon et le fioul. Ils se retrouvent dans les cendres et dans les cheminées. Dont les industries doivent rendre au milieu une eau non toxique, respectant des valeurs seuils en constituants. (Source : "l'eau et les ateliers de traitement de surfaces" par M. Joy de la société d'études et de recherches en traitements de surfaces).

### IV.3 Le Chrome :

C'est un élément chimique de la famille des métaux de transition, dur de couleur bleu blanc. Il est soluble dans HCl et H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> mais pas dans HNO<sub>3</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ou HClO<sub>4</sub> grâce à la formation de couches protectrices. Il résiste à l'oxydation de l'air. Le chrome, est utilisé sous forme de chromite (FeOCrO<sub>2</sub>) dans l'industrie métallurgique et dans l'industrie chimique. On le trouve également sous la forme de ferrochrome, utilisé pour la production d'aciers inoxydables et d'alliages divers. Le chrome est également employé comme pigment pour la peinture, le caoutchouc, le papier, l'encre d'imprimerie, ou encore pour le tannage des peaux. Réalisé industriellement depuis 1920, le chromage est utilisé pour donner un aspect décoratif et assurer une bonne résistance à la corrosion atmosphérique. Sa solubilité est faible vis-à-vis

des phénomènes de lessivage du sol. En revanche, ses dérivés sont très utilisés notamment dans les industries chimiques avec les dichromates.

### IV.3.1 Etats de valence du chrome :

Le chrome se trouve sous plusieurs degrés d'oxydation (ou états de valence) dont les trois principaux sont :

- $\text{Cr}^0$  auquel correspond le chrome métal,
- $\text{Cr}^{3+}$  que l'on rencontre dans les sels chromiques et dans les chromites,
- $\text{Cr}^{6+}$  qui est représenté par des oxydants : les chromates et les polychromates,
- Le chrome élémentaire  $\text{Cr}^0$  est d'origine industriel car il ne se trouve pas naturellement dans l'environnement.
- Le chrome trivalent  $\text{Cr}^{3+}$  est la forme la plus abondante dans la nature : on le trouve dans des minerais, tels que la chromite, qui contient de l'oxyde chromique ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ).
- Le chrome hexavalent  $\text{Cr}^{6+}$  se trouve rarement de façon naturelle dans l'environnement, excepté dans la crocoïte ( $\text{PbCrO}_4$ ). Il est très utilisé dans l'industrie (en métallurgie et dans l'industrie chimique en tant qu'oxydant notamment). De ce fait, les chromates ( $\text{CrO}_4^{2-}$ ) et les bichromates ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ), qui sont observés dans l'environnement proviennent généralement de rejets industriels, leurs sels sont très toxiques pour l'homme et pour l'environnement.

### IV.3.2 Sources du chrome dans les eaux usées :

Le chrome pur est assez peu employé dans l'industrie, mis à part la fabrication des aciers spéciaux. Par contre, ses dérivés sont très utilisés : dans les tours de refroidissement, les fonderies d'acier et de métaux non ferreux, les opérations de finissage et de placage des métaux, les usines de verre plat et d'amiante, les installations de traitement du bois, les usines de peintures et de produits

La toxicité du chrome dépend de sa concentration et de son degré d'oxydation. Le chrome III est un nutriment essentiel pour la santé mais sa consommation en une concentration élevée peut causer l'anémie, problèmes respiratoires, système immunitaire affaibli, dommage au foie et aux reins. Il peut aussi altérer le matériel génétique et provoquer

des cancers. Il peut provoquer aussi chimiques ainsi que les installations de forage et de récupération du pétrole. (Ministre de l'environnement, Canada, 1990).

#### IV.4 Les impacts du chrome :

Des allergies cutanées dans le cas de contact avec une eau ou une poussière qui le contient.

##### ➤ *Sur la biomasse des boues activées :*

La présence du métal chrome peut être tolérée par certains micro-organismes. Par contre, à de fortes concentrations le chrome VI a des effets toxiques et mutagènes. 10 à 12 mg de chrome VI peuvent inhiber le développement de bactéries du sol alors que les mêmes concentrations en chrome III n'ont aucun effet sur ce développement. (Ross et al. 1981).

Pour la biomasse des boues activées utilisées dans le circuit du traitement biologique de la STEP de Marrakech, le chrome peut être nuisible pour les bactéries nitrifiantes autotrophes (Nitrobacters et Nitrosomonas : sont des microorganismes aérobie qui assurent la transformation de l'ammonium en nitrates) du sol qui assurent par oxydation l'une des étapes de la nitrification de l'azote ammoniacale. Le chrome peut perturber le fonctionnement des stations d'épuration des eaux usées par son influence.

#### IV.4.1 Procédés de l'élimination du chrome VI par réduction :

##### a) *Réduction par le fer II :*

Le fer II semble être le réducteur du chrome VI, il existe sous forme dissoute comme cation ou intégré dans le réseau cristallin de phases minérales telles que la biotite, la magnétite, la pyrite ...etc. (James et Bartlett, 1983).

Les études menées sur la réduction du chrome VI par le fer II ont montré que les ions  $Fe^{2+}$  en superficie du minéral réduisent le chrome VI en chrome III. (Palmer et Wittbrodt, 1991).

##### b) *Réduction par la matière organique :*

La matière organique naturelle, acides humiques ou fluvique, contenue dans les sols ou dans les eaux est également susceptible de réduire le chrome VI.

Grâce à leurs propriétés d'oxydoréduction, les matières humiques constituent un système actif d'oxydoréduction. Les acides fulviques sont de meilleurs réducteurs que les acides humiques par ce qu'ils sont moins sensibles à l'inhibition par le chrome III et que leur potentiel standard (0,5 V) est plus faible que celui des acides humiques.

En fait, en présence de Fe III, deux phénomènes pourraient se produire : le premier serait la réduction très rapide du fer III en fer II par les acides humiques. C'est le fer II formé qui réduirait le Chrome VI. Le deuxième serait la formation de complexes  $FeCrO_4^+$  qui iraient en surface des substances humique où la réaction de réduction aurait lieu.

### c) Réduction biologique :

La réduction biologique du chrome VI peut être directe ou indirecte. Il s'agit de bactéries hétérotrophes (microorganismes qui ont besoin d'une source d'énergie carbonée) et ne nécessitent pas d'oxygène pour se développer (réaction anaérobie). Ces bactéries se développent sur des biofilms ou des sédiments. Elles sont aptes à réduire le chrome VI dans des conditions réductrices.

## V. Chapitre 3 : Etude des impacts du chrome VI sur ce traitement

### V.1 Introduction :

Les bassins biologiques (boue activée) jouent un rôle principal dans la station, leur fonctionnement est considéré comme le cœur du traitement.

Une concentration élevée du chrome influence d'une façon grave sur l'activité de ces bassins par la perturbation des chaînes bactériologique ce qui conduit à la déconstruction de l'acide Désoxyribonucléique (ADN) des microorganismes.

Ce qui conduit à un arrêt du traitement par le fonctionnement de sa partie centrale, et par conséquent la station reste hors service pendant une longue durée.

En effet, tous les microorganismes présents dans la boue activée, sont affectés plus au moins par le chrome hexavalent. Un certain type de bactéries comme *Acinetobacter*, *Bacillus*, *Escherichia*, *Pseudomonas*, *Arthrobacter*, *Micrococcus*, *Ochrobactrium*, *cyanobacteria* ..., sont connues par leur tolérance au CrVI, à différentes concentrations et temps d'exposition, ainsi qu'à leurs réductions du chrome hexavalent au chrome trivalent.

### V.2 Les variations de la concentration du chrome dans le mois du Mai 2013 :

D'après l'arrêté des valeurs limites générales des rejets visées à l'article 12 du décret susvisé n° 2-04-553, la valeur limite à ne pas dépasser du chrome VI doit être inférieure ou égale à 0.1.

Tableau 11 : Analyses des variations de la concentration du chrome à l'entrée de la STEP dans le mois du Mai.

Date	Cr
01-Mai-13	0,26
02-Mai-13	0,23
03-Mai-13	0,24
04-Mai-13	0,23
05-Mai-13	0,20
06-Mai-13	0,21
07-Mai-13	0,27
08-Mai-13	0,22
09-Mai-13	0,28
10-Mai-13	0,22
11-Mai-13	0,07
12-Mai-13	0,28
13-Mai-13	0,26
14-Mai-13	0,22
15-Mai-13	0,23
16-Mai-13	0,22

Date	Cr
17-Mai-13	0,25
18-Mai-13	0,22
19-Mai-13	0,21
20-Mai-13	0,22
21-Mai-13	0,24
22-Mai-13	0,23
23-Mai-13	0,24
24-Mai-13	0,23
25-Mai-13	0,08
26-Mai-13	0,24
27-Mai-13	0,21
28-Mai-13	0,22
29-Mai-13	0,23
30-Mai-13	0,22
31-Mai-13	0,26

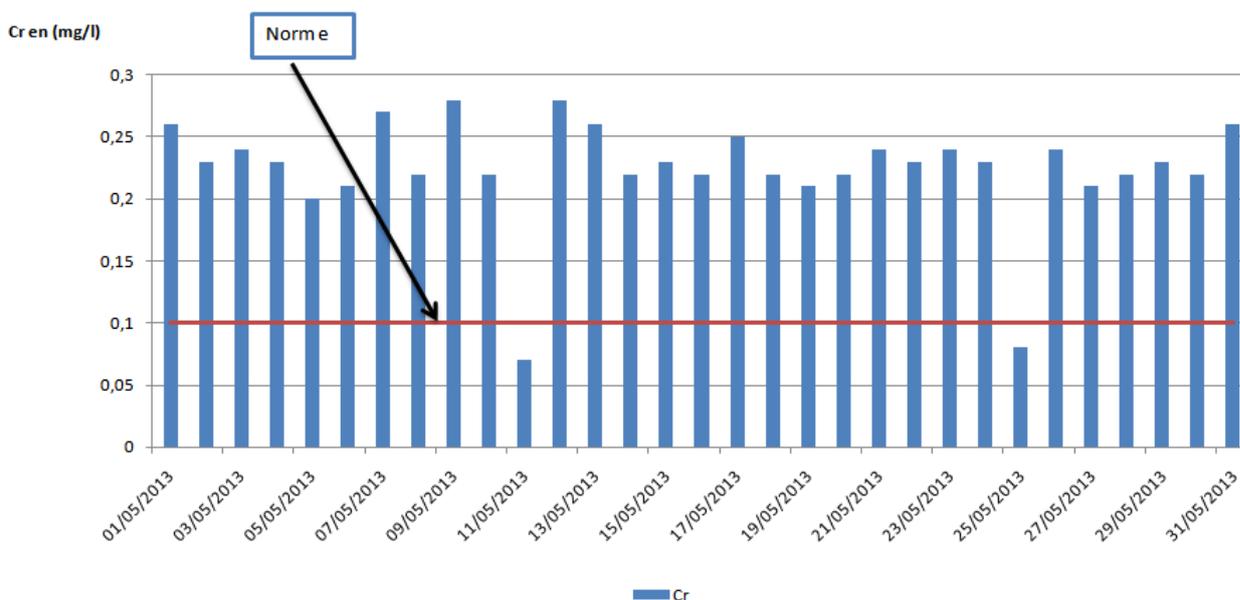


Figure 28 : Histogramme de concentration du chrome VI le mois du Mai 2013.

Les concentrations du chrome VI pendant le mois du Mai varient de façon irrégulière. Ceci est fonction de l'activité des tanneries. Les concentrations durant tout le mois ont largement dépassé les normes de rejet (0,1mg/l), seuls le 11<sup>ème</sup> et le 25<sup>ème</sup> qui présentent une conformité. La non-conformité de 94 % a perturbé le fonctionnement du traitement des eaux usées dans la STEP. Les responsables de la STEP ont été amenés à évacuer ces eaux dans l'Oued Tensift sans les faire passer dans l'usine.

### V.3 Sources de pollution et causes des variations :

#### V.3.1 Source de pollution :

Dans la ville de Marrakech la source principale du chrome présent dans les eaux est l'industrie du tannage.

Le tannage est l'opération qui consiste à transformer une peau crue, raide et putrescible en deux matières souples et imputrescibles: le cuir et la fourrure.

Dans les processus de tannage, des séries de produits chimiques sont utilisés comme les surfactants, les acides, les colorants, les huiles sulfonées, les sels et surtout des agents tannants tels que le chrome. Considérant l'utilisation de grandes quantités de produits chimiques non biodégradables.

Deux procédés de tannage existent à Marrakech: le processus classique et le tannage minéral, basé principalement sur l'utilisation du chrome. Ce dernier est le procédé le plus répandu pour le tannage à grande échelle car il agit rapidement et produit un cuir doté de propriétés physiques et chimiques.

Tableau 12 : Toutes les caractéristiques du chrome.

<b>Chromate, Jaune</b>	<b>H<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>
<b>Dichromate, orange</b>	Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup>
<b>Polychromate, rouge</b>	Cr <sub>n</sub> O <sub>3n+12</sub> <sup>-</sup>
<b>Perochromate, violet</b>	HCrO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
<b>Minerai principale</b>	Chromate de fer ou chromite
<b>Obtention de chrome pur</b>	Aluminothermie Electrolyse Iodure de chrome
<b>Utilisation principales</b>	Synthèse de l'ammoniac. Dans la fabrication d'aciers chromés, aciers inoxydables et d'alliages chromage galvanique Photographie couleur Pigments Conservation du bois Tannerie
<b>Toxicologie</b>	Le chrome métal et le chrome(III) ne sont pas toxique. Le chrome(VI) entraine d'inflammations des muqueuses et des ulcères, et il est cancérigène.

#### V.4 Les impacts du chrome VI sur les performances épuratoires de la STEP (Résultats et discussion) :

##### IV.4.1 Paramètres biologique :

###### *V.4.1.1 Demande Biochimique en oxygène (DBO5):*

La DBO5 ou demande biologique / biochimique en oxygène en cinq jours est la quantité de l'oxygène nécessaire aux micro-organismes aérobies de l'eau pour utiliser les substances qu'elle contient. Il s'agit donc d'une consommation potentielle de l'oxygène par voie biologique. Ce paramètre constitue un bon indicateur de la teneur en matières organiques biodégradables d'une eau naturelle polluée ou d'une eau résiduaire.

Elle est exprimée en (mg O<sub>2</sub>/l), sa valeur minimale normale est généralement de 5mg d'O<sub>2</sub>/l. En dessous de 2mg d'O<sub>2</sub>/l la vie aquatique est perturbée et devient difficile ou impossible.

- Il est utilisable :

- Soit pour quantifier la charge polluante organique de l'eau,
- Soit pour évaluer l'impact d'un rejet sur le milieu naturel,

- Soit pour évaluer l'intensité du traitement nécessaire à l'épuration d'un rejet par un procédé biologique.
- Pour des raisons pratiques la DBO5 est mesurée :
  - Au bout de cinq jours,
  - A 20°C (température favorable à l'activité des micro-organismes consommateurs d'O<sub>2</sub>),
  - A l'obscurité (afin d'éviter toute photosynthèse parasite).

### V.4.1.2 Demande Chimique en Oxygène (DCO) :

La Demande Chimique en Oxygène est la quantité nécessaire à la dégradation chimique des matières organiques et minérales oxydables contenues dans l'eau. Certaines matières organiques sont difficilement biodégradables par les micro-organismes et pour oxyder ces matières un oxydant chimique fort est indispensable. La DCO détermine la quantité globale d'oxygène nécessaire à la dégradation de la pollution. Elle s'exprime aussi en mg d'O<sub>2</sub> /l.

### IV.4.2 Paramètres physico-chimiques :

#### V.4.2.1 Dosage Nitrites (NO<sub>2</sub>-) :

Les nitrites sont considérées comme polluants très nuisibles à la santé de l'homme et aux animaux (le taux de NO<sub>2</sub> devient nocif quand il dépasse 0.5 mg/l). Ce taux doit être contrôlé régulièrement. Un taux important survient en générale lorsque l'eau est surchargée en matière organique, et que les bactéries ne sont pas suffisantes pour les transformer en nitrates.

#### V.4.2.2 Dosage de l'Azote total (NGL) :

L'azote total dissous représente la totalité de l'azote contenu dans les formes azotées minérales et organiques en solution dans l'eau (excepté le di-azote N<sub>2</sub>).

L'azote organique dissous peut être caractérisé par des composés particuliers (urée, par exemple), des familles de composés (amines, acides aminés, protéines ...), mais

également par sa résistance à la dégradation bactérienne, c'est-à-dire qu'il peut être biodégradable ou réfractaire

### V.4.2.3 L'Azote Total Kjeldahl (NTK) :

L'Azote Total Kjeldahl (NTK) est une appellation qui désigne la somme de l'azote ammoniacal et de l'azote organique. L'azote qui se retrouve sous forme oxydée, tel que les nitrites ou les nitrates par exemple, n'est pas mesuré par cette méthode.

Les composés azotés mesurés par cette méthode proviennent principalement de la dégradation bactérienne des composés organiques provenant de l'azote.

## V.5 Résultats et discussions :

Pour pouvoir évaluer les performances de traitement des eaux usées de la STEP, spécifiquement la nitrification et la dénitrification qui ont lieu dans les bassins d'aération du traitement secondaire, nous avons effectué des études prises des rapports mensuels de la STEP à l'entrée et à la sortie de ce traitement, pendant le mois du Mai .

L'impact du chrome VI sur ces performances a été également étudié. Pour cela, des analyses quotidiennes de chrome VI dans les eaux uniquement à l'entrée de la phase du traitement secondaire ont été réalisées. Les concentrations en chrome des eaux à la sortie devraient être identiques à celle de l'entrée, puisque la STEP n'assure pas son élimination.

### V.5.1 Les performances de la STEP :

D'après les résultats obtenus présentés dans les tableaux 13 et 14. On constate que les performances de la STEP ont été bonnes durant tout le mois (inférieures aux normes de rejet contractuelle) excepté le paramètre physico-chimique NTK qui dépasse les normes pendant 19 jours ( 1 ;2 ;3 ;5 ;6 ;11 ;12 ;13 ;19 ;20 ;21 ;22 ;23 ;24 ;25 ;27 ;28 ;29 ;31).

D'après les rapports journaliers (tableau 15) on remarque que les concentrations de la DCO et la DBO5 subissent une diminution très importante de l'entrée à la sortie du traitement secondaire. Le rapport DCO/DBO5 de l'entrée est généralement biodégradable montrant que le traitement biologique a été bien passé dont les rejets sont d'origine

domestique et d'industrie agro-alimentaire biodégradables. Ce rapport à la sortie est très élevé, ce qui confirme que la dégradation des éléments biodégradables est favorable.

On remarque également que dans le 22<sup>ème</sup> jour à l'entrée, la concentration de la DCO est très élevée, ainsi que pour la concentration de la DBO5 du 16<sup>ème</sup> jour.

La diminution des concentrations de la DCO et la DBO5 et l'augmentation du rapport de la biodégradabilité montrent que le traitement biologique a été efficace. L'anomalie observée au niveau du 16<sup>ème</sup> et du 22<sup>ème</sup> jour est peut-être due aux problèmes qu'a rencontrés la STEP ce qui a perturbé le traitement biologique des eaux usées.

Tableau 13 : Analyses des eaux à l'entrée du traitement secondaire de la STEP pendant le mois Mai 2013.

Date	DCO (mgO <sub>2</sub> /l)	DBO5 (mg O <sub>2</sub> /l)	NTK (mg N/l)	NGL (mg N/l)	NO <sub>3</sub> (mg N/l)	NO <sub>2</sub> (mg N/l)	NH <sup>4+</sup> (mg N/l)
01-Mai-13	665	354	94	95	0,8	0	71
02-Mai-13	609	339	113	114	0,7	0	65
03-Mai-13	690	368	91	91	0,7	0	65
04-Mai-13	698	387	132	133	0,7	0	63
05-Mai-13	653	299	82	83	0,6	0	64
06-Mai-13	718	318	88	89	0,6	0	62
07-Mai-13	730	402	83	83	0,6	0	59
08-Mai-13	761	425	85	86	0,8	0	63
09-Mai-13	754	385	88	89	0,7	0	61
10-Mai-13	769	353	81	82	0,7	0	68
11-Mai-13	821	368	88	88	0,7	0	56
12-Mai-13	730	313	84	85	0,5	0	58
13-Mai-13	712	326	85	86	0,4	0	57
14-Mai-13	789	425	90	91	0,7	0	65
15-Mai-13	760	411	85	86	0,7	0	59
16-Mai-13	825	477	95	96	0,9	0	68
17-Mai-13	814	419	82	83	0,6	0	53
18-Mai-13	726	362	85	86	0,6	0	59
19-Mai-13	584	311	73	74	0,6	0,9	60
20-Mai-13	691	411	76	76	0,5	0	61
21-Mai-13	855	267	86	87	0,5	0	61
22-Mai-13	860	443	84	85	0,7	0	64
23-Mai-13	741	302	83	83	0,7	0	59
24-Mai-13	824	345	98	98	0,6	0	58
25-Mai-13	615	272	87	88	0,5	0	55
26-Mai-13	611	300	79	79	0,5	0	59
27-Mai-13	635	398	79	80	0,5	0	62
28-Mai-13	697	407	86	87	0,6	0	72
29-Mai-13	734	412	82	83	0,5	0	58
30-Mai-13	806	450	88	89	0,6	0	61
31-Mai-13	547	290	74	75	0,5	0	59

Tableau 14 : Analyses des eaux de la sortie du traitement secondaire pendant le moi Mai 2013.

Date	DCO (mg O <sub>2</sub> /l)	DBO5 (mg O <sub>2</sub> /l)	NTK (mg N/l)	NGL (mg N/l)	NO <sub>3</sub> (mg N/l)	NO <sub>2</sub> (mg N/l)	NH <sup>4+</sup> (mg N/l)
Garanties	<100	<20	<4	<15			
Exigences	<125	<30	<5	<20			
01-Mai-13	82	7	6,4	13	6,6	0,2	1,5
02-Mai-13	39	4	6,6	13	6,0	0,2	2,1
03-Mai-13	40	4	5,3	10	4,9	0,3	2,2
04-Mai-13	46	2	4,1	6	2,0	0,2	2,1
05-Mai-13	36	1	6,0	8	1,3	0,3	4,3
06-Mai-13	41	5	8,4	10	1,8	0,2	6,7
07-Mai-13	36	5	4,7	6	1,5	0,3	2,5
08-Mai-13	40	1	3,3	5	1,7	0,2	2,3
09-Mai-13	32	3	2,8	4	1,2	0,2	1,4
10-Mai-13	45	4	4,2	5	1,0	0,2	3,4
11-Mai-13	39	2	5,2	6	0,7	0,2	2,3
12-Mai-13	40	3	6,7	8	0,6	0,2	5,5
13-Mai-13	35	2	5,4	7	1,0	0,3	3,6
14-Mai-13	45	3	4,2	6	1,3	0,3	2,7
15-Mai-13	46	3	2,4	4	1,3	0,3	2,4
16-Mai-13	41	3	3,4	5	1,4	0,3	1,7
17-Mai-13	46	3	2,9	4	0,8	0,3	1,2
18-Mai-13	58	2	3,0	4	1,1	0,2	0,9
19-Mai-13	46	2	5,1	6	0,9	0,2	3,4
20-Mai-13	44	4	9,1	9	0,1	0,2	6,9
21-Mai-13	45	2	6,9	8	0,5	0,1	5,2
22-Mai-13	41	3	6,2	7	0,7	0,1	5,1
23-Mai-13	34	3	6,7	7	0,6	0,1	4,9
24-Mai-13	43	4	8,1	9	0,8	0,2	6,6
25-Mai-13	30	1	6,1	7	0,6	0,2	4,0
26-Mai-13	37	3	3,4	5	1,5	0,3	2,3
27-Mai-13	36	8	7,2	9	1,3	0,3	6,9
28-Mai-13	32	3	5,2	9	3,2	0,4	3,2
29-Mai-13	37	2	5,3	8	2,6	0,4	3,3
30-Mai-13	44	2	2,6	4	1,3	0,3	1,5
31-Mai-13	37	3	5,00	7	1,7	0,3	3,1

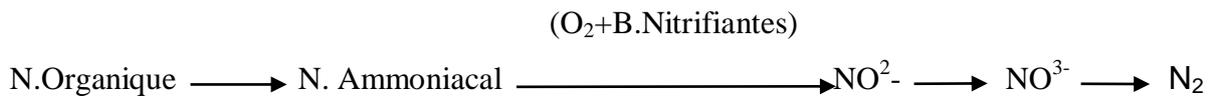
Tableau 15 : Rapports DCO/DBO5 à l'entrée et à la sortie du traitement secondaire.

Entrée traitement secondaire			
Date	DCO (mg O2/l)	DBO5 (mg O2/l)	DCO/DBO5
01-Mai-13	665	354	1,9
02-Mai-13	609	339	1,8
03-Mai-13	690	368	1,9
04-Mai-13	698	387	1,8
05-Mai-13	653	299	2,2
06-Mai-13	718	318	2,3
07-Mai-13	730	402	1,8
08-Mai-13	761	425	1,8
09-Mai-13	754	385	2,0
10-Mai-13	769	353	2,2
11-Mai-13	821	368	2,2
12-Mai-13	730	313	2,3
13-Mai-13	712	326	2,2
14-Mai-13	789	425	1,9
15-Mai-13	760	411	1,8
16-Mai-13	825	477	1,7
17-Mai-13	814	419	1,9
18-Mai-13	726	362	2,0
19-Mai-13	584	311	1,9
20-Mai-13	691	411	1,7
21-Mai-13	855	267	3,2
22-Mai-13	860	443	1,9
23-Mai-13	741	302	2,5
24-Mai-13	824	345	2,4
25-Mai-13	615	272	2,3
26-Mai-13	611	300	2,0
27-Mai-13	635	398	1,6
28-Mai-13	697	407	1,7
29-Mai-13	734	412	1,8
30-Mai-13	806	450	1,8
31-Mai-13	547	290	1,9

Sortie du traitement secondaire			
Date	DCO (mg O2/l)	DBO5 (mg O2/l)	DCO/DBO5
Garanties	< 100	< 20	
Exigences	< 125	< 30	
01-Mai-13	82	7	12,1
02-Mai-13	39	4	10,2
03-Mai-13	40	4	11,5
04-Mai-13	46	2	22,8
05-Mai-13	36	1	25,8
06-Mai-13	41	5	7,6
07-Mai-13	36	5	7,2
08-Mai-13	40	1	39,5
09-Mai-13	32	3	9,4
10-Mai-13	45	4	10,4
11-Mai-13	39	2	19,4
12-Mai-13	40	3	12,2
13-Mai-13	35	2	14,4
14-Mai-13	45	3	15,3
15-Mai-13	46	3	17,1
16-Mai-13	41	3	12,3
17-Mai-13	46	3	15,7
18-Mai-13	58	2	36,4
19-Mai-13	46	2	19,2
20-Mai-13	44	4	11,6
21-Mai-13	45	2	23,5
22-Mai-13	41	3	15,3
23-Mai-13	34	3	12,7
24-Mai-13	43	4	9,8
25-Mai-13	30	1	33,3
26-Mai-13	37	3	13,2
27-Mai-13	36	8	4,7
28-Mai-13	32	3	12,1
29-Mai-13	37	2	16,0
30-Mai-13	44	2	24,6
31-Mai-13	37	3	12,3

Le chrome VI provenant des eaux usées industrielles a un effet néfaste sur leur traitement. Généralement son effet est visualisé au niveau de la phase du traitement secondaire, et plus précisément dans les bassins d'aération. Le fonctionnement de ces bassins est assuré par les microorganismes, parmi lesquels on distingue les bactéries nitrifiantes qui assurent la transformation de NGL en nitrates  $\text{NO}_3^-$  qui permettent le dégazage de  $\text{N}_2$  et par conséquent la dégradation de la matière organique.

Le procédé de l'élimination de l'azote se passe comme suit :



Quand la concentration du chrome est assez élevée, cette phase de traitement sera perturbée, puisque le chrome VI a pour effet la destruction mutagène des bactéries nitrifiantes.

**Le pourcentage d'abattement des indicateurs de pollution est calculé par la relation Suivante :**

$$\text{Abatement de pollution \%} = \frac{\text{IP(entrée)} - \text{IP (sortie)}}{\text{IP (entrée)}} * 100$$

Tableau 16 : les pourcentages des abattements de pollution de NGL (mg N/l) en fonction des concentrations du chrome VI au mois Mai 2013.

	Entrée du traitement secondaire	Sortie du traitement secondaire		
Date	NGL (mgN/l)	NGL (mgN/l)	Abattement de pollution %	Cr
Garanties		<15		
Exigences		<20		
01-Mai-13	95	13	86	0,26
02-Mai-13	114	13	88	0,23
03-Mai-13	91	10	89	0,24
04-Mai-13	133	6	95	0,23
05-Mai-13	83	8	90	0,20
06-Mai-13	89	10	88	0,21
07-Mai-13	83	6	92	0,27
08-Mai-13	86	5	94	0,22
09-Mai-13	89	4	95	0,28
10-Mai-13	82	5	93	0,22
11-Mai-13	88	6	93	0,07
12-Mai-13	85	8	90	0,28
13-Mai-13	86	7	91	0,26
14-Mai-13	91	6	93	0,22
15-Mai-13	86	4	95	0,23
16-Mai-13	96	5	94	0,22
17-Mai-13	83	4	95	0,25
18-Mai-13	86	4	95	0,22
19-Mai-13	74	6	91	0,21
20-Mai-13	76	9	88	0,22
21-Mai-13	87	8	90	0,24
22-Mai-13	85	7	91	0,23
23-Mai-13	83	7	91	0,24
24-Mai-13	98	9	90	0,23
25-Mai-13	88	7	92	0,08
26-Mai-13	79	5	93	0,24
27-Mai-13	80	9	88	0,21
28-Mai-13	87	9	89	0,22
29-Mai-13	83	8	90	0,23
30-Mai-13	89	4	95	0,22
31-Mai-13	75	7	90	0,26

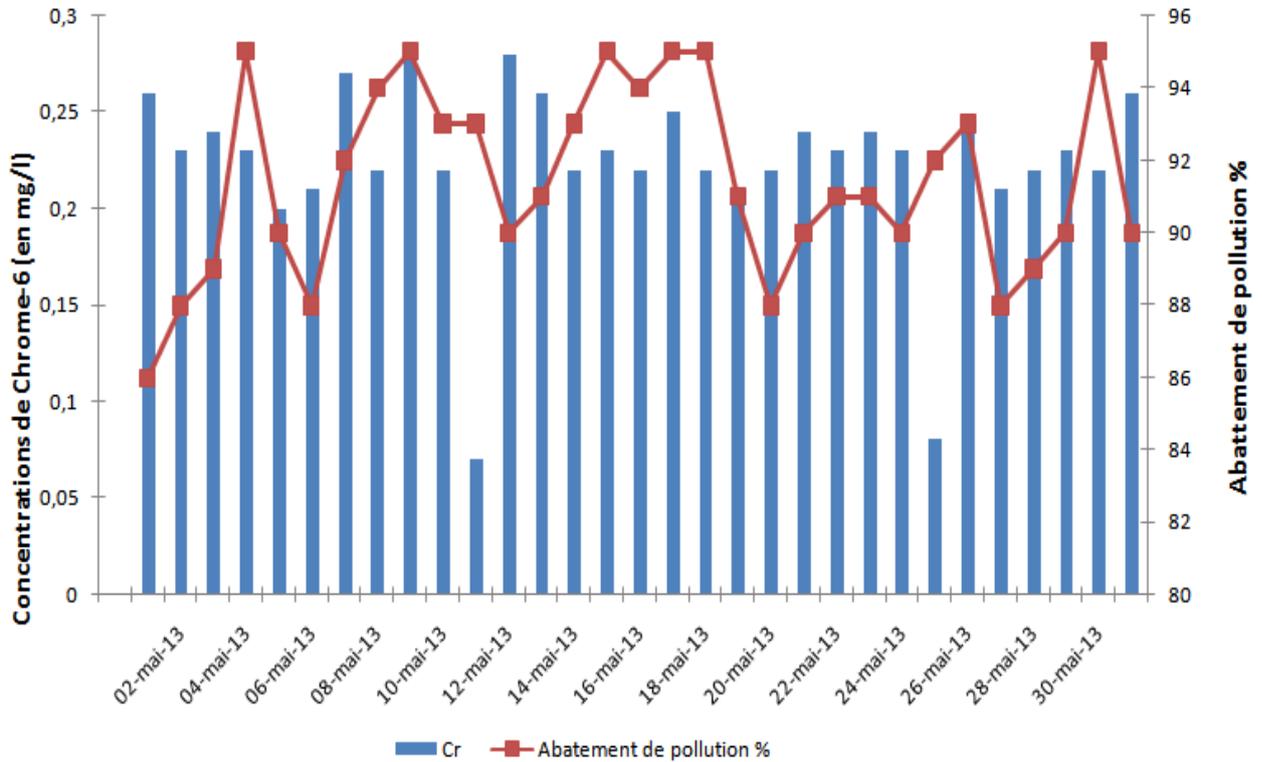


Figure 29 : Histogramme de la variation d'abattement de pollution de l'azote total NGL en fonction des concentrations du chrome VI au mois du Mai.

➤ *Commentaire :*

La figure 29 montre que l'évolution du rendement d'élimination de l'azote totale (NGL= NTK + NO<sub>2</sub> +NO<sub>3</sub>) est inversement proportionnelle aux concentrations du chrome VI. On observe que pendant les 25 jours, quand la concentration du chrome VI est élevée, le rendement d'élimination diminue sauf les jours (9, 19, 22, et 26) .On constate que pendant ces quatre jours quand la concentration du chrome augmente, celle du rendement d'élimination est également forte.

Tableau 17 : les pourcentages des abattements de pollution de NTK (mg N/l) en fonction des concentrations du chrome VI au mois Mai 2013.

	Entrée du traitement secondaire	Sortie du traitement secondaire		
Date	NTK (mgN/l)	NTK (mgN/l)	Abattement de pollution%	Cr
Garanties		<4		
Exigences		<5		
01-Mai-13	94	6,4	93	0,26
02-Mai-13	113	6,6	94	0,23
03-Mai-13	91	5,3	94	0,24
04-Mai-13	132	4,1	96	0,23
05-Mai-13	82	6,0	92	0,20
06-Mai-13	88	8,4	90	0,21
07-Mai-13	83	4,7	94	0,27
08-Mai-13	85	3,3	96	0,22
09-Mai-13	88	2,8	96	0,28
10-Mai-13	81	4,2	94	0,22
11-Mai-13	88	5,2	94	0,07
12-Mai-13	84	6,7	92	0,28
13-Mai-13	85	5,4	93	0,26
14-Mai-13	90	4,2	95	0,22
15-Mai-13	85	2,4	97	0,23
16-Mai-13	95	3,4	96	0,22
17-Mai-13	82	2,9	96	0,25
18-Mai-13	85	3,0	96	0,22
19-Mai-13	73	5,1	93	0,21
20-Mai-13	76	9,1	88	0,22
21-Mai-13	86	6,9	91	0,24
22-Mai-13	84	6,2	92	0,23
23-Mai-13	83	6,7	91	0,24
24-Mai-13	98	8,1	91	0,23
25-Mai-13	87	6,1	92	0,08
26-Mai-13	79	3,4	95	0,24
27-Mai-13	79	7,2	90	0,21
28-Mai-13	86	5,2	93	0,22
29-Mai-13	82	5,3	93	0,23
30-Mai-13	88	2,6	97	0,22
31-Mai-13	74	5,00	93	0,26

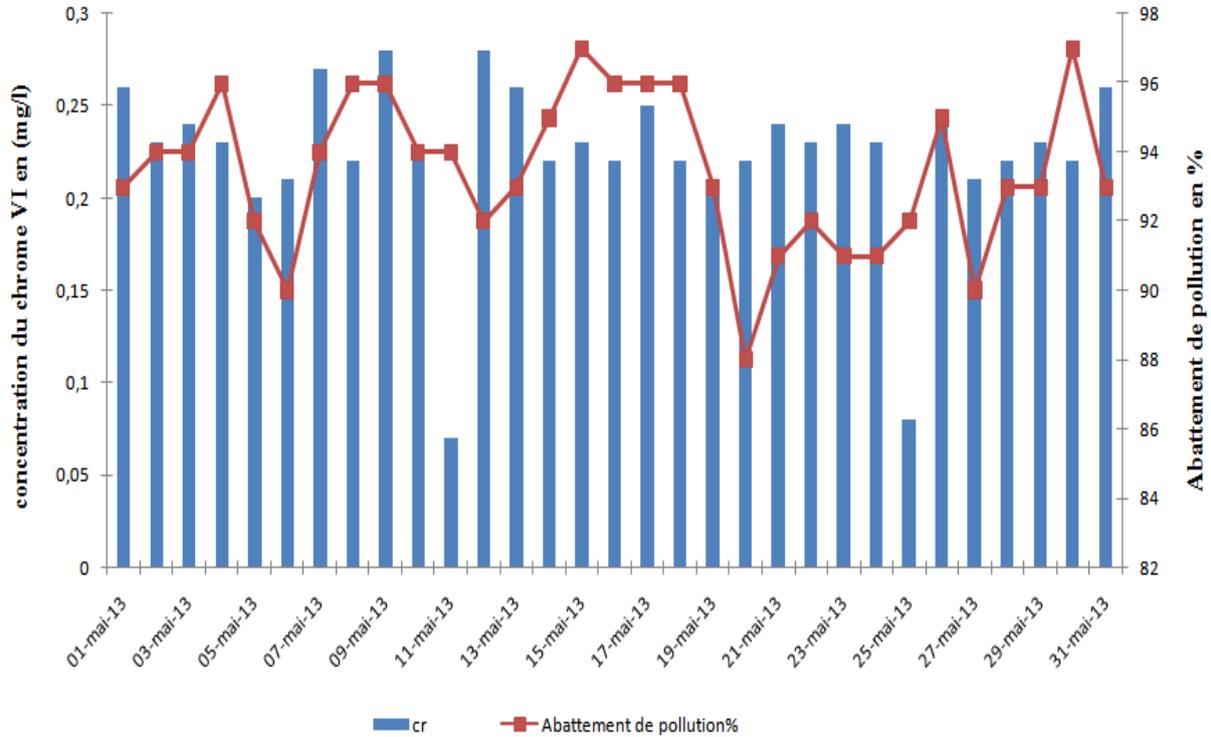


Figure 30 : Histogramme de la variation d'abattement de pollution de l'azote Kjeldahl NTK en fonction des concentrations du chrome VI au mois du Mai.

➤ *Commentaire :*

l'évolution du rendement d'élimination de l'azote Kjeldahl (NTK=  $\text{NH}_4^+$  + N. organique) présente une augmentation relative aux concentrations du chrome VI pendant les dix jours (2 ;3 ;5 ;9 ;10 ;17 ;19 ;26 ;28 ;29 ). Dont les 20 jours qui restent quand la concentration du chrome VI est élevée, le rendement d'élimination diminue.

Tableau 18 : les pourcentages des abattements de pollution de  $(NH^{4+})$  (mg N/l) en fonction des concentrations du chrome VI au mois Mai 2013.

Date	Entrée du traitement secondaire $NH^{4+}$ (mg N/l)	Sortie du traitement secondaire $NH^{4+}$ (mg N/l)	Abattement de pollution%	Cr
Garanties				
Exigences				
01-Mai-13	71	1,5	97	0,26
02-Mai-13	65	2,1	96	0,23
03-Mai-13	65	2,2	96	0,24
04-Mai-13	63	2,1	96	0,23
05-Mai-13	64	4,3	93	0,20
06-Mai-13	62	6,7	89	0,21
07-Mai-13	59	2,5	95	0,27
08-Mai-13	63	2,3	96	0,22
09-Mai-13	61	1,4	97	0,28
10-Mai-13	68	3,4	95	0,22
11-Mai-13	56	2,3	95	0,07
12-Mai-13	58	5,5	90	0,28
13-Mai-13	57	3,6	93	0,26
14-Mai-13	65	2,7	95	0,22
15-Mai-13	59	2,4	95	0,23
16-Mai-13	68	1,7	97	0,22
17-Mai-13	53	1,2	97	0,25
18-Mai-13	59	0,9	98	0,22
19-Mai-13	60	3,4	94	0,21
20-Mai-13	61	6,9	88	0,22
21-Mai-13	61	5,2	91	0,24
22-Mai-13	64	5,1	92	0,23
23-Mai-13	59	4,9	91	0,24
24-Mai-13	58	6,6	88	0,23
25-Mai-13	55	4,0	92	0,08
26-Mai-13	59	2,3	96	0,24
27-Mai-13	62	6,9	88	0,21
28-Mai-13	72	3,2	95	0,22
29-Mai-13	58	3,3	94	0,23
30-Mai-13	61	1,5	97	0,22
31-Mai-13	59	3,1	94	0,26

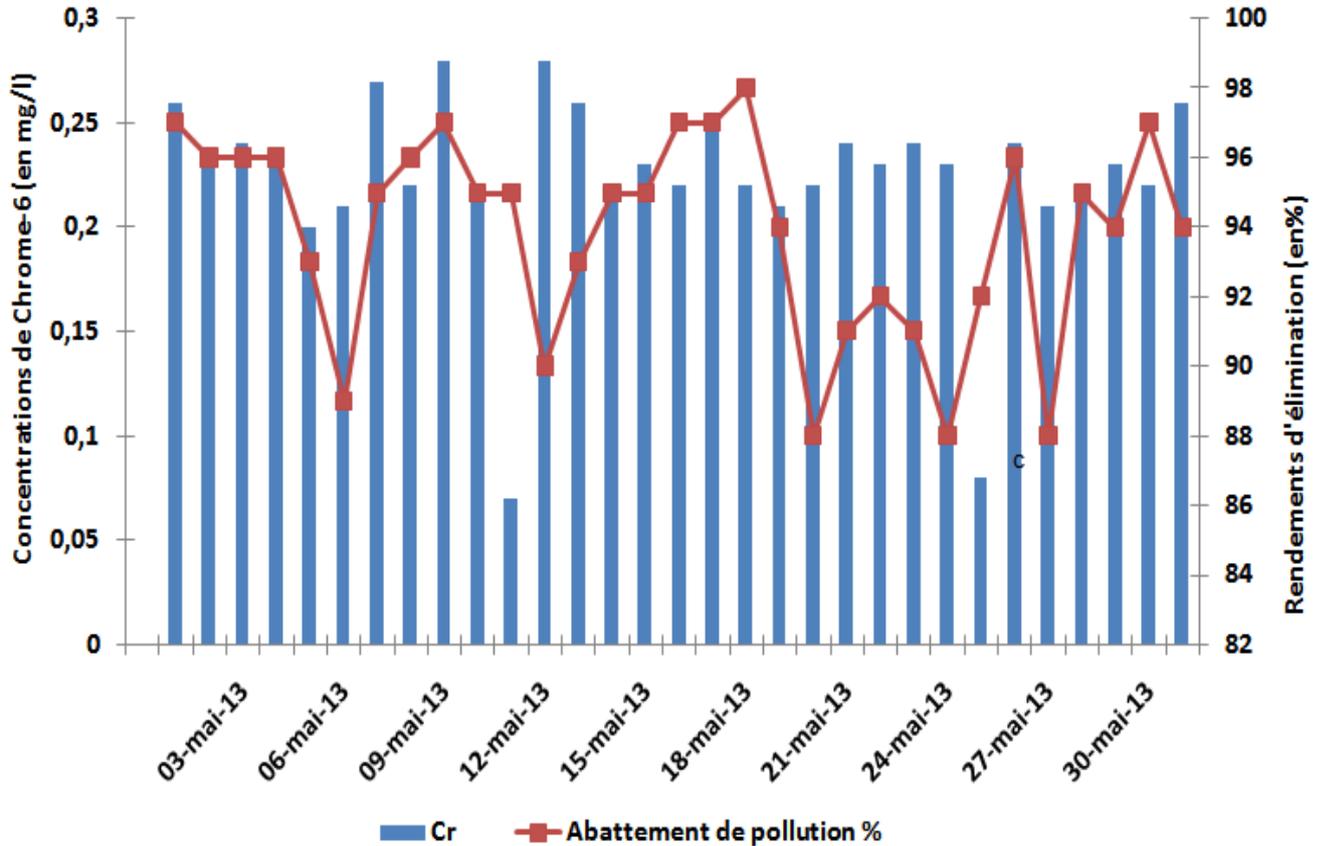


Figure 31 : Histogramme de la variation du rendement d'élimination de l'ammonium en fonction des concentrations du chrome VI au mois du Mai.

➤ *Commentaire :*

Les fluctuations du rendement d'élimination de l'azote ammoniacal  $NH_4$  sont inversement proportionnelles aux teneurs du chrome VI. Sauf les 4 premiers jours et ( 11 ;17 ;26 ;et le 28 ) qui présentent des fluctuations relatives entre le taux d'abattement du  $NH_4$  et la concentration du Chrome .

V.5.2 *Interprétations :*

D'après les résultats obtenus on peut expliquer cette proportionnalité d'augmentation du chrome et le rendement d'élimination des paramètres azotés par le fait que l'effet du chrome VI sur ce rendement est ponctuel. Il dépend du temps de destruction des bactéries nitrifiantes et aussi du temps d'accumulation du chrome où la contamination commence.

Le rendement d'élimination de NGL de NTK et de  $\text{NH}_4$  est resté élevé, malgré l'excès du chrome VI au 27, 30 et le 31 jour ; parce que cette eau n'a pas effectivement subi de traitement; elle a été évacuée directement dans l'oued Tensift (by pass), pour éviter d'affecter la biomasse.

### V.5.3 Effets du chrome VI présent dans la boue activée sur les microorganismes:

Le chrome VI permet une inhibition grave des réactions du catabolisme au niveau de la boue activée acclimaté et d'anabolisme pour le cas de la boue activée non acclimaté avec la diminution du taux d'oxydation de la matière organique.

Il influence également sur le métabolisme bactérien et la synthèse des biomolécules tel que l'Adénosine Triphosphate (ATP).

Plusieurs genres de bactérie peuvent accumuler le chrome par le transport actif du  $\text{Cr}^{\text{VI}}$  via la voie du sulfate . La plupart des cellules sont imperméables au  $\text{Cr}^{\text{III}}$  qui se trouve en un composé insoluble dans un milieu non-acide (neutre ou légèrement basique). Le  $\text{Cr}^{\text{VI}}$  est beaucoup plus mobile que le  $\text{Cr}^{\text{III}}$  , et peut facilement franchir la membrane de la cellule. Une fois dedans le  $\text{Cr}^{\text{VI}}$  est réduit en  $\text{Cr}^{\text{III}}$  , et exerce divers effets sur le cytoplasme. Cette réaction conduit à la formation de Protéine- $\text{Cr}^{\text{III}}$ -ADN et ADN- $\text{Cr}^{\text{III}}$ -ADN, qui sont fortement perturbateurs du processus de transcription.

Dans le cas où le  $\text{Cr}^{\text{VI}}$  est réduit à l'extérieur de la cellule, le  $\text{Cr}^{\text{III}}$  résultant ne peut pas traverser la membrane cellulaire. Le  $\text{Cr}^{\text{VI}}$  est très toxique pour la plupart des bactéries, toutefois le  $\text{Cr}^{\text{III}}$  est relativement inoffensif vue qu'il est insoluble et par conséquent incapable de pénétrer au sein de la cellule.

## V.6 Recommandations pour minimiser l'aspect quantitatif et les effets du chrome sur le traitement des eaux usées dans la STEP de Marrakech.

### V.6.1 La déchromatation :

C'est la solution la plus opérante, c'est un Traitement physico-chimique permet la réduction des sels de chrome hexavalent toxiques en chrome trivalent moins toxique et

précipitable en hydroxyde de chrome. La réduction du chrome hexavalent présent dans des déchets liquides et les tanneries en chrome trivalent (moins toxique) par ajout de réactifs tel que le bisulfite de sodium permet une précipitation sous forme d'hydroxydes avec addition de chaux. Dans certains cas, le chrome pourra être valorisé.

Lorsque le Cr VI est réduit à l'extérieur de la cellule, le Cr III résultant ne peut pas traverser la membrane cellulaire. Le Cr VI est très toxique pour la plupart des bactéries, toutefois le Cr III est relativement inoffensif vu qu'il est insoluble et par conséquent incapable de pénétrer au sein de la cellule.

Ce diagramme de prédominance du chrome dans l'eau :

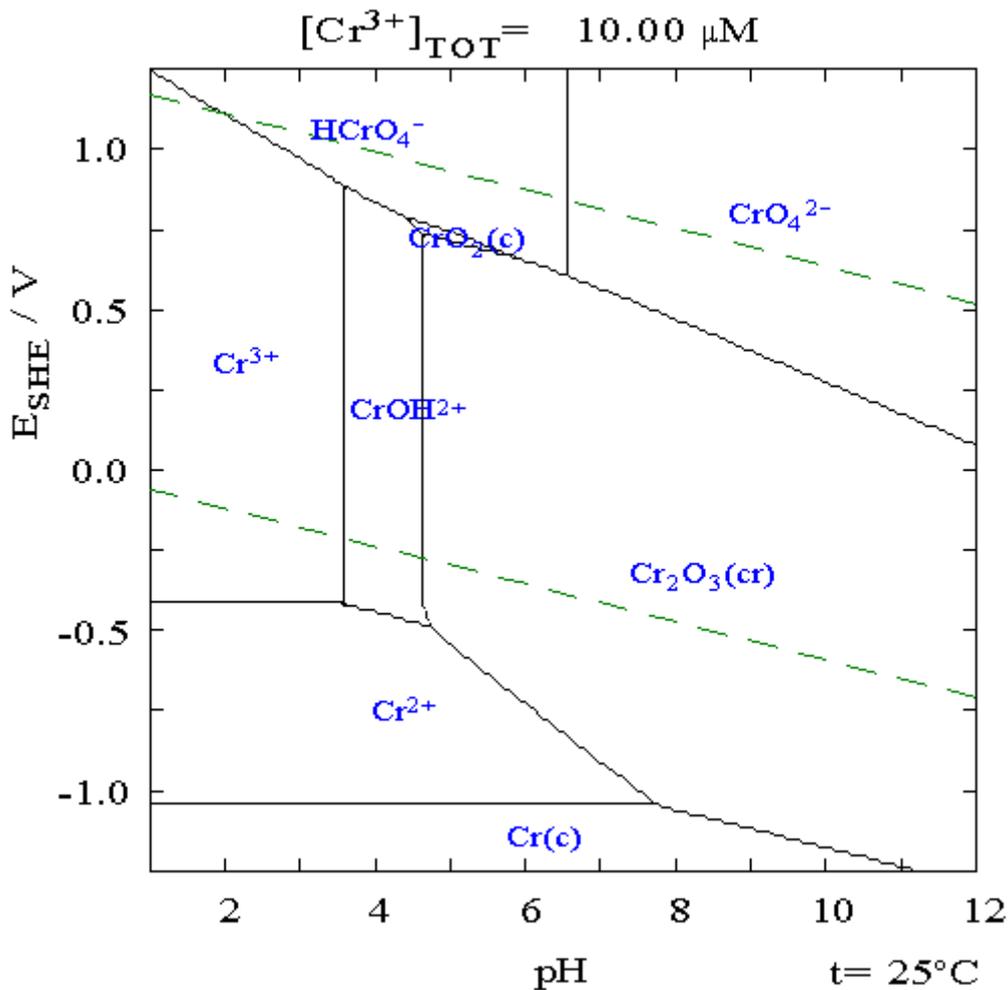


Figure 32 : Diagramme de Pourbaix du chrome dans l'eau, l'acide perchlorique ou l'hydroxyde de sodium, à 25°C,  $[Cr^{3+}] = 10 \mu M$ .

(<http://hmf.enseeiht.fr/travaux/bei/beiere/content/elimination-du-chrome>).

D'après le diagramme ci-dessus, on constate que le Cr III est prédominant dans un milieu acide à un  $\text{pH} < 4$  et à un potentiel varie entre  $-0.4$  et  $2 \text{ V}$ , ainsi que le chrome se transforme en Cr VI dans un milieu hyper basique.

### V.6.2 La construction des petites stations :

La construction des petites stations de traitement des eaux usées permettent d'unifier les réseaux d'assainissement des tanneries de la ville de Marrakech, pour l'élimination du chrome.

### V.6.3 Sonde de détection :

L'utilisation d'une sonde de détection pour mesurer la teneur du chrome VI dans les eaux usées de l'entrée, en cas de dépassement des valeurs limites la sonde envoie une alarme au programme automatique.

## V.7 Conclusion :

La station d'épuration de Marrakech a reçu des influents très chargés en polluants industriels toxiques tel que le Chrome hexavalent et les résultats des analyses des paramètres biologiques et chimiques des eaux du traitement secondaire du mois du Mai ont montré que les performances de la STEP ont été bonnes durant ce mois, sauf les jours où les concentrations du chrome VI ont beaucoup dépassé les normes de rejet. A cet effet, des by-pass partiels ou totaux (autorisés non-pénalisants) ont eu lieu lors de la réception des métaux lourds en grande quantités.

### VI. Conclusion général :

Ce stage au sein de la STEP nous a permis de nous familiariser avec les différents traitements que subissent les eaux usées au niveau de la STEP, et d'évaluer les performances de ces traitements.

L'étude bibliographique montre les différents impacts des métaux lourds en particulier le chrome VI. Ce dernier présent dans les eaux usées, issu essentiellement des industries de tannage est la forme de chrome la plus toxique. Ses effets sont nuisibles pour l'Homme et les animaux. Par leur sensibilité à ce métal, certaines bactéries, notamment celles utilisées dans le traitement biologique des eaux usées peuvent être inefficaces et le procédé de traitement se trouve indirectement influencé par la présence du chrome VI.

La carence des ressources en eau au Maroc ne fait que s'accroître, dont Les demandes en eau sont en hausse constante, en raison de la pression de l'irrigation, de la croissance démographique et du développement urbain, industriel et touristique. Parallèlement, les ressources en eau sont en diminution continue et leur qualité se dégrade. De ce fait, il est nécessaire de réduire la consommation et de préserver la ressource en eau, à travers une gestion agissante de tout le cycle de l'utilisation de l'eau, en associant l'utilisation rationnelle de ces ressources en eau naturelles à d'autres sources d'approvisionnement non conventionnelles, notamment le traitement des eaux usées.

La station d'épuration de Marrakech est une référence en termes de l'utilisation des eaux usées dans l'irrigation des pelouses vertes des golfs puis que la qualité des eaux d'irrigation est un facteur important à ne pas négliger.

Au cours de notre période de stage nous avons pu voir l'impact négatif du chrome sur les pelouses vertes des golfs, La solution qui s'avère la plus réaliste alors est de traiter le problème à la source, c'est-à-dire que toute usine qui évacue un effluent riche en chrome dans le réseau d'assainissement doit mettre en place une unité de traitement de chrome de ses effluents. Or cette solution ne peut voir le jour qu'à la présence d'une loi qui exige aux industriels des normes précises de leurs rejets. D'après la loi n° 11-03 relative à la protection et à la mise en valeur de l'environnement, il faut mettre en application effective des principes de "l'utilisateur payeur" et "du pollueur payeur" en ce qui concerne la réalisation et la gestion des projets économiques et sociaux et la prestation de services.

### VII. Références bibliographiques :

(RADEEMA, Manuel de processus(RADEEMA), 2011)

(Mowat, A. (1976).Measurement of metal toxicity by biochemical oxygen demand. Journal of Water Pollution control Federation, 48,853,866.)

(M. Joy, Source : "l'eau et les ateliers de traitement de surfaces «de la société d'études et de recherches en traitements de surfaces)

(Axe " Génie des Procédés", centre SPIN, Ecole des Mines de Saint-Etienne)

([http://www.dictionnaire-environnement.com/dechromatation\\_ID177.html](http://www.dictionnaire-environnement.com/dechromatation_ID177.html))

(<http://hmf.enseiht.fr/travaux/bei/beiere/content/elimination-du-chrome>)

(<http://fr.wikipedia.org/wiki/Assainissement#Objectifs>)

([www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire\\_environnement/](http://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/))

(<http://www.ademe.fr>)

([www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire\\_environnement/](http://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/))

(<http://www.assainissement-durable.com>)

([www.environnement-bio.com](http://www.environnement-bio.com))