

## MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

DÉPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE

LICENCE EN SCIENCE ET TECHNIQUE

**EAU & ENVIRONNEMENT**

**Exploration des différentes étapes de traitement des eaux  
usées dans la STEP de Marrakech et l'étude de performance  
de la sortie secondaire II**

Réalisé par :

**LAHBOUBI NOURELHOUDA & MALKI FATIHA**

Encadré par:

Pr. Ali RHOUJJATI

Mr. Abdelouahid DRIOUCH

**Soutenu le : 10 juin devant la commission d'examen composé de :**

Pr. Ali RHOUJJATI

FST MARRAKECH

Pr. Jalal MOUSTADRAF

FST MARRAKECH

Pr. Mustapha EL GHORFI

FST MARRAKECH

Année universitaire : 2023/2024

## REMERCIEMENTS

*Nous exprimons notre profonde gratitude à nos parents et nos familles pour leur soutien sans faille et leur encouragement tout au long de notre cursus universitaire.*

*Nous tenons à exprimer notre sincère gratitude au professeur **Ali Rhoujjati** pour son encadrement attentif, ses conseils avisés et son soutien continu tout au long du projet.*

*Nous exprimons également notre gratitude envers l'équipe d'accueil, la Régie Autonome de Distribution d'Eau et d'Électricité de Marrakech (RADEEMA), pour avoir rendu possible ce stage à la Station des eaux usées de Marrakech (SFEF). Nous tenons à remercier Mr Mahmoud Bouattane chef de SFEF, Mr Yassine Bissi chef de département « Exploitation Assainissement » et tout le personnel de la station d'épuration et de traitement des eaux usées pour leur accueil, leur assistance et leur engagement à nous former et nous informer tout au long de notre stage. En particulier, nous remercions chaleureusement Mme Nezha Mesoudi, notre encadrant Mr Driouch Abdelouahid pour leurs conseils précieux, leur coordination et leur suivi attentif pendant toute la durée de notre stage. Nos remerciements vont également aux membres des laboratoires RADEEMA et WATERLEAU pour leur accueil chaleureux et leur aide précieuse dans la compréhension des aspects techniques de notre projet.*

*Nous souhaitons témoigner notre sincère reconnaissance à nos enseignants du département des sciences de la Terre pour leur dévouement constant envers notre formation. Leurs connaissances, leur enthousiasme et leur soutien ont été une source d'inspiration et de motivation tout au long de notre cursus académique. Nous adressons également nos remerciements à tous les membres du jury qui évalueront notre travail*

---

## Résumé

---

Cette étude se focalise sur les processus de traitement des eaux usées, en mettant particulièrement en lumière la performance de la sortie secondaire de l'eau. Une analyse détaillée des étapes de traitement est exposée, mettant en évidence l'importance du traitement secondaire dans l'élimination des polluants de l'eau pour préserver l'environnement et la santé publique, et assurer la production d'eau traitée de qualité pour la réutilisation. Ce traitement, réalisé dans sept bassins biologiques, repose sur l'action de populations de micro-organismes aérobies capables de dégrader les polluants dissous dans l'eau.

Les analyses effectuées dans les laboratoires de la station de traitement et d'épuration des eaux usées, notamment WATERLEAU et RADEEMA, visent à déterminer divers paramètres tels que DBO5, DCO, MES, permettant d'évaluer le niveau de pollution à chaque étape du traitement et d'apprécier les performances de la station d'épuration. De plus, ces analyses servent à surveiller la conformité des rejets aux normes environnementales et à identifier les sources de contamination.

Une étude de la qualité des eaux, en particulier au niveau du traitement secondaire II pendant les mois de février, mars et avril, est menée en se basant sur les analyses des laboratoires. Les résultats obtenus mettent en évidence la variation de la concentration des polluants avant et après le traitement secondaire, fournissant ainsi une indication claire de l'efficacité de ce processus dans la réduction des niveaux de pollution.

Une comparaison entre les caractéristiques des eaux usées à l'entrée et à la sortie du traitement est effectuée en les confrontant à deux ensembles de normes distincts, tout en tenant compte du rendement d'élimination pour évaluer l'efficacité du traitement. Les résultats indiquent une haute performance du traitement secondaire II, garantissant un traitement efficace des eaux usées et une qualité d'eau conforme aux normes environnementales.

---

## Liste des figures

---

Figure 1: La RADEEMA Marrakech.....	2
Figure 2: Organigramme de la RADEEMA.....	5
Figure 3: Carte de la localisation de la STEP (RADEEMA) .....	6
Figure 4: La STEP de Marrakech .....	7
Figure 5: Vue générale de la STEP.....	8
Figure 6: Eaux usées .....	10
Figure 7: Les étapes du traitement des eaux usées .....	12
Figure 8: Grille.....	13
Figure 9: Dessableur-déshuileur .....	13
Figure 10: Décanteur primaire.....	14
Figure 11: Bassins biologiques en serpent .....	15
Figure 12: Clarificateur .....	16
Figure 13: Filtre à sable.....	17
Figure 14: Désinfection Ultra-Violet .....	17
Figure 15: Les étapes du traitement des boues .....	18
Figure 16: épaisseur .....	19
Figure 17: Flotteur .....	19
Figure 18: Digesteur.....	20
Figure 19: Les étapes du traitement du biogaz .....	21
Figure 20: Gazomètre.....	22
Figure 21: Cogénérateur.....	22
Figure 22: Les trois torchères de la STEP.....	23
Figure 23: Méthode d'échantillonnage .....	26
Figure 24: Turbidimètre .....	27
Figure 25: pH mètre .....	28
Figure 26: Matériels pour la manipulation de nitrite .....	30
Figure 27: Matériels pour la manipulation de nitrate.....	31
Figure 28: Matériels pour la manipulation de phosphore .....	32
Figure 29: Matériels pour la manipulation de DCO .....	33
Figure 30: Thermo réacteur .....	33
Figure 31: Matériels pour la manipulation de DBO5 .....	34
Figure 32: Matériels pour la manipulation de MES.....	36
Figure 33: Dessiccateur .....	37
Figure 34: La manipulation de VD30 .....	37
Figure 35: Concentration (MES) à l'entrée et sortie de traitement secondaire II .....	41
Figure 36: Concentration (DCO) à l'entrée et sortie de traitement secondaire II .....	42
Figure 37: Concentration (DBO5) à l'entrée et sortie de traitement secondaire II .....	43
Figure 38: Concentration (MES) à l'entrée et sortie de traitement secondaire II .....	44

Figure 39: Concentration (DCO) à l'entrée et sortie de traitement secondaire II .....	45
Figure 40: Concentration (DBO5) à l'entrée et sortie de traitement secondaire II .....	46
Figure 41: Concentration (MES) à l'entrée et sortie de traitement secondaire II .....	47
Figure 42: Concentration (DCO) à l'entrée et sortie de traitement secondaire II .....	48
Figure 43: Concentration (DBO5) à l'entrée et sortie de traitement secondaire II .....	49

---

### Liste des tableaux

---

Tableau 1: Périmètre d'action de la RADEEMA .....	4
Tableau 2: Différents composés de la STEP .....	9
Tableau 3: Les exigences de la sortie secondaire II .....	39
Tableau 4: La charge polluante entrante du traitement secondaire II .....	40
Tableau 5: Les analyses d'entrée de traitement secondaire II .....	51
Tableau 6: Les analyses de sortie de traitement secondaire II .....	52

---

### Liste des abréviations

---

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

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

**EU** : Eaux Usées.

**MS** : Matière Sèche.

**MO** : Matière organique.

**UV** : Ultra-Violet.

**pH** : potentiel d'Hydrogène.

**DCO** : Demande Chimique en Oxygène.

**DBO5** : Demande Biochimique en Oxygène.

**MES** : Matière En Suspension.

**MES v** : Matière En Suspension volatile.

**VD30** : Volume Décanté pendant 30 min.

**IM** : Indice de Mohlman.

---

## Table des matières

---

<b>Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre 1 : Présentation de la RADEEMA et de la STEP .....</b>	<b>2</b>
1 Présentation de la RADEEMA : .....	2
1.1 Cadre juridique : .....	2
1.2 Historique : .....	3
1.3 Métiers : .....	4
2 Présentation de la STEP .....	6
2.1 Situation géographique : .....	6
2.2 Choix de site pour la STEP : .....	6
2.3 Objectifs : .....	7
2.4 Les différentes composantes de la STEP : .....	7
<b>Chapitre 2 : Généralités sur les eaux usées et leur traitement au niveau de la STEP .....</b>	<b>10</b>
1 Les eaux usées : .....	10
1.1 Définition : .....	10
1.2 Origines des eaux usées : .....	10
1.2.1 Eaux usées domestiques : .....	10
1.2.2 Eaux usées agricoles : .....	11
1.2.3 Eaux usées industrielles : .....	11
1.2.4 Eaux usées pluviales : .....	11
1.3 Les matières polluantes : .....	11
1.3.1 Les produits chimiques : .....	11
1.3.2 Les matières décantables ou flottantes : .....	11
1.3.3 La matière organique : .....	12
1.3.4 Les microorganismes : .....	12
2 Les étapes de traitement des eaux usées : .....	12
2.1 Filière eau : .....	12
2.1.1 Prétraitement : .....	12
2.1.2 Traitement primaire : .....	14
2.1.3 Traitement secondaire : .....	14
2.1.4 Traitement tertiaire : .....	17
2.2 Filière de boue : .....	18

2.2.1	L'épaississement : .....	18
2.2.2	Flottation : .....	19
2.2.3	Digestion : .....	19
2.2.4	Déshydratation : .....	20
2.2.5	Séchage : .....	20
2.3	Filière biogaz : .....	21
2.3.1	Désulfuration : .....	21
2.3.2	Stockage dans les gazomètres : .....	21
2.3.3	Valorisation du biogaz par cogénération : .....	22
2.3.4	Torchères : .....	23
2.4	Filières de désodorisation : .....	23
2.4.1	La désodorisation biologique : .....	23
2.4.2	La désodorisation physico-chimique : .....	24
3	<i>La réutilisation des eaux usées</i> : .....	<b>24</b>
	<b>Chapitre 3 : Les différentes analyses des eaux usées réalisées au sein de la STEP</b> : .....	<b>25</b>
1	<i>Introduction</i> : .....	<b>25</b>
2	<i>Prélèvement et échantillonnage</i> : .....	<b>25</b>
3	<i>Analyses physico-chimiques</i> : .....	<b>26</b>
3.1	La température : .....	26
3.2	La turbidité : .....	26
3.3	Le pH : .....	27
3.4	La conductivité : .....	28
3.5	Nitrite : .....	29
3.6	Nitrate : .....	30
3.7	Phosphore : .....	31
4	<i>Analyses organiques</i> : .....	<b>32</b>
4.1	Demande chimique en oxygène (DCO) : .....	32
4.2	Demande biochimique en oxygène (DBO5) : .....	34
4.3	Les matières en suspension(MES) : .....	35
4.4	MESv : .....	36
4.5	VD30 : .....	37
4.6	Indice de Mohlman : .....	38
	<b>Chapitre 4 : L'étude de performance de la sortie secondaire II de la STEP</b> .....	<b>39</b>
1	<i>Introduction</i> : .....	<b>39</b>

2	<i>Le traitement secondaire II</i> : .....	40
3	<i>Résultats</i> : .....	40
4	<i>Conclusion</i> : .....	49
	<b><i>Conclusion générale</i></b> .....	<b>50</b>
	<b>Annexes</b> .....	<b>51</b>
	<b>Bibliographie</b> .....	<b>53</b>

---

## *Introduction*

---

Les eaux usées sont des eaux polluées issues de différentes origines industrielles, domestiques ou agricoles. Ces eaux peuvent contenir une variété de contaminants, tels que des produits chimiques, des métaux lourds et des substances toxiques. Pour réduire leur impact sur l'environnement, elles doivent être traitées dans des stations d'épuration et de traitement des eaux usées afin de limiter la pollution des eaux souterraines, de prévenir la dégradation des écosystèmes aquatiques et de garantir la sécurité de la santé publique.

Parmi les stations qui se trouvent au Maroc pour ce type de traitement, on trouve la Station d'Épuration et de Traitement des Eaux Usées de Marrakech (STEP), où divers polluants sont séparés ou dégradés par des processus physiques, chimiques et biologiques. Comme solution efficace, le projet de réutilisation des eaux usées épurées se présente comme un meilleur choix.

Notre stage de projet de fin d'études s'est déroulé au sein de la Station d'épuration des eaux usées (STEP) de la ville de Marrakech, où nous avons eu l'opportunité d'examiner de près les différentes phases de traitement des eaux usées, ainsi que les analyses effectuées en relation avec celle-ci.

L'objectif de cette étude consiste à explorer les différentes étapes de traitement des eaux usées et à étudier la performance de la sortie secondaire II de l'eau en analysant la qualité de l'eau traitée à cette phase à l'aide d'analyses des paramètres physico-chimiques et organiques.

## **1 Présentation de la RADEEMA :**

La Régie autonome de Distribution d'Eau et d'Electricité de Marrakech (RADEEMA) assure la distribution de l'eau potable, de l'électricité et du service d'assainissement liquide dans la ville de Marrakech sur un territoire de plus de 24000 ha et une population dépassant 1000 000 d'habitants. C'est une régie Communale à assise territoriale qui est investie de la mission de service public à caractère industriel et commercial, caractérisée par les principes de continuité de service, d'adaptabilité aux évolutions technologiques, économiques et sociales, ainsi que par l'égalité des usages (Figure 1).



*Figure 1: La RADEEMA Marrakech*

### **1.1 Cadre juridique :**

L'assise juridique de cet établissement public à caractère communal, doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière repose principalement sur :

- ✓ Le dahir n°1-59-315 du 23 juin concernant les collectivités locales.
- ✓ Le décret n°2-64-394 du 29 septembre 1964 relatif aux régies communales dotées de la personnalité civile et de l'autonomie financière.
- ✓ Le règlement intérieur date du 31 décembre 1970.
- ✓ Le dahir n°1-03-195 du 11 novembre 2003 portant promulgation de la loi n° 69-00 relative au contrôle financier de l'Etat sur les entreprises publiques et autres organismes.

- ✓ Le dahir n°1-02-124 du 13 juin 2002 portant promulgation de la loi n°62-99 formant code de juridiction financière.
- ✓ Le règlement de marché de la RADEEMA.
- ✓ Les cahiers de charges d'exploitation des services de distribution d'eau et d'électricité et de l'assainissement liquide.
- ✓ Le statut de personnel des entreprises de production, de transport et de distribution d'électricité.
- ✓ Le décret du premier Ministre 2-89-61 du 10 Rabie (2) 1410 (10 Novembre 1989) fixant les règles applicables à la comptabilité des établissements publics, BO N° '4023 du 6 Jomadah (1) 1410 (6 décembre 1989).

La régie est administrée par un conseil d'Administration présidé par le Wali de la ville de Marrakech et un comité de Direction. L'ensemble des services de la RADEEMA sont gérés par un directeur général.

Le conseil d'Administration est composé des élus et des représentants des Ministères de l'intérieur et de L'Economie et Finances.

## **1.2 Historique :**

- La société d'électricité de Marrakech est constituée le 27 Juin 1922,
- Le 17 Juillet 1964, la ville de Marrakech a signé un protocole pour le rachat de la concession, laquelle fut confiée à la société Marocaine de Distribution (SMD).
- Le 26 Décembre 1970 et suite aux délibérations du conseil communal de la ville de Marrakech, il a été décidé de créer, à partir du premier janvier 1971, la butions régie Autonome de distribution d'Eau et d'électricité de Marrakech, dénommée RADEEMA et ce, en vertu du décret n°2-64-394 du 29 Septembre 1964 relatif aux régies communales.
- Le premier janvier 1998, la RADEEMA a pris en charge la gestion du service de l'assainissement liquide suite aux délibérations de la communauté urbaine de Marrakech.
- Avril 2009, mise en service de la première phase de la station d'épuration des eaux usées de Marrakech.
- Le 09 Juillet 2010, la RADEEMA est passée au contrôle d'accompagnement en substitution du contrôle préalable conformément aux dispositions de l'article 18 de la loi 69.00 pour un mandat de 2 ans, soit 2010-2012.

- Le 29 Décembre 2011, inauguration de la deuxième phase de la station d'épuration des eaux usées de Marrakech par S.M le Roi Mohammed 6.
- 2012 : Premier triple certification QSE, soit ISO 9001 v 2008, ISO 14001 v 2004, OHSAS 18001 v 2007.
- 2013-2016 : 2ème mandat du contrat de programme avec l'état.
- 2016 : Renouvellement de la triple certification QSE dans ses nouvelles versions, soit ISO 9001 v 2015, ISO 14001 v 2015 et OHSAS 18001 v 2007.
- 2017-2019 : 3ème mandats du contrat de programme avec l'Etat.
- 2018 : Mise en exploitation de l'unité de séchage solaire des boues issues de la STEP.
- 2020(Mars) : COVID 19- Gestion de Pandémie et Généralisation des mesures préventives.
- 2020(Aout) : Signature du nouveau contrat de programme 2020-2022.

### 1.3 Métiers :

La RADEEMA assure la distribution de l'eau potable et de l'électricité ainsi que la gestion du service public d'assainissement liquide (Tableau 1).

*Tableau 1: Périmètre d'action de la RADEEMA*

Assainissement		Eau Potable		Electricité	
Population	Abonnés domestiques	Population	Abonnés domestiques	Population	Abonnés domestiques
991083	<b>313610</b>	<b>991083</b>	<b>313610</b>	<b>965237</b>	<b>277998</b>

La RADEEMA (Figure 2) assure les missions suivantes :

- ✓ La distribution d'eau potable et d'énergie électrique conformément aux dispositions des cahiers de charge et des normes en vigueur.
- ✓ Le service d'assainissement liquide conformément aux dispositions des cahiers de charges et des normes en vigueur.
- ✓ Le traitement des eaux usées collectées, notamment dans l'objectif de permettre une réutilisation des eaux usées aux fins d'irrigation des espaces verts.
- ✓ L'exploitation et l'entretien des réseaux, des équipements et des ouvrages.

- ✓ La réalisation des études et des travaux d'infrastructure, de renouvellement et d'extension.
- ✓ La réalisation des branchements et des raccordements.
- ✓ L'organisation et la gestion des services publics d'eau, d'électricité et d'assainissement sur les plans techniques, administratif, comptable et commerciale.

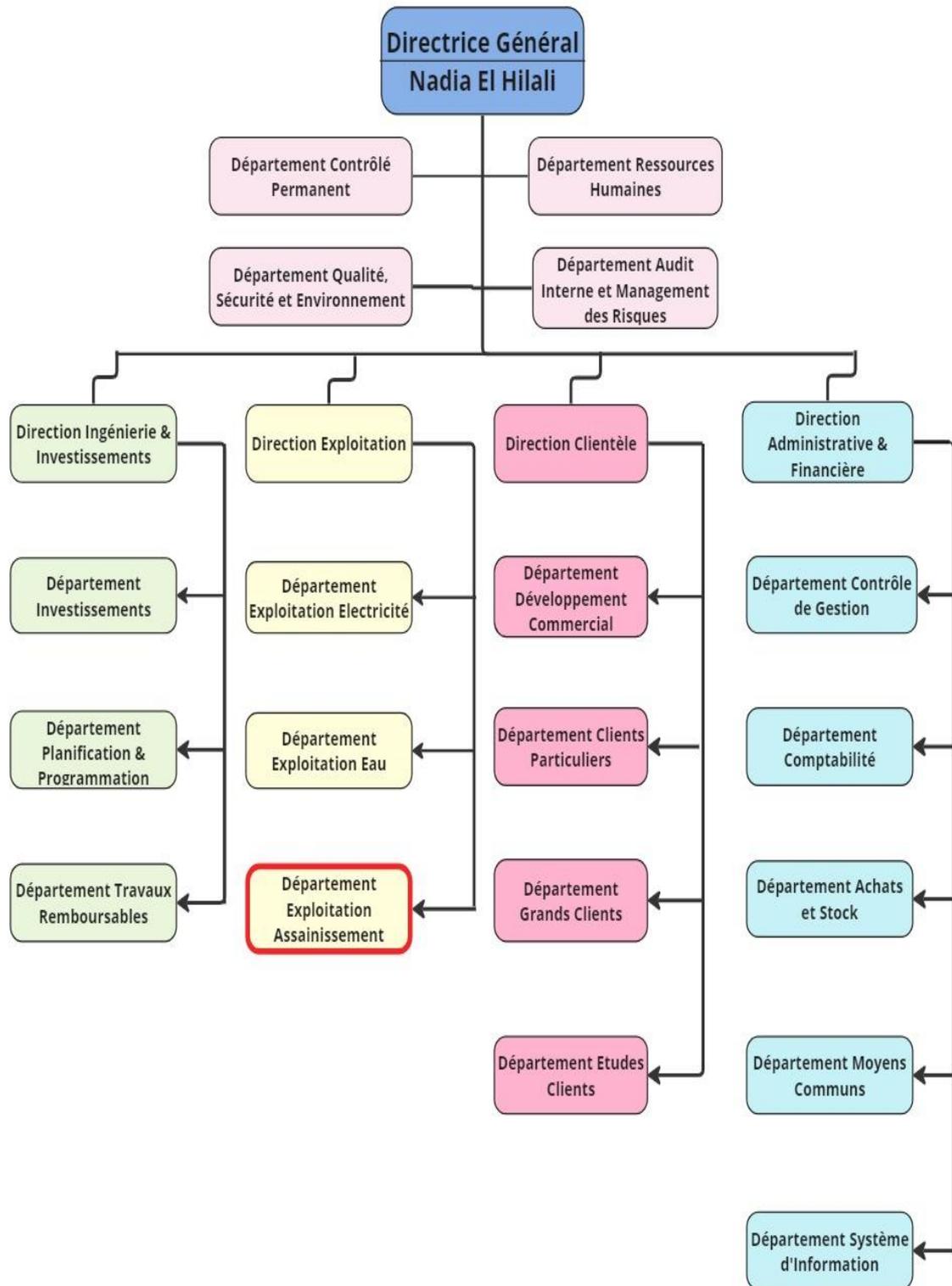
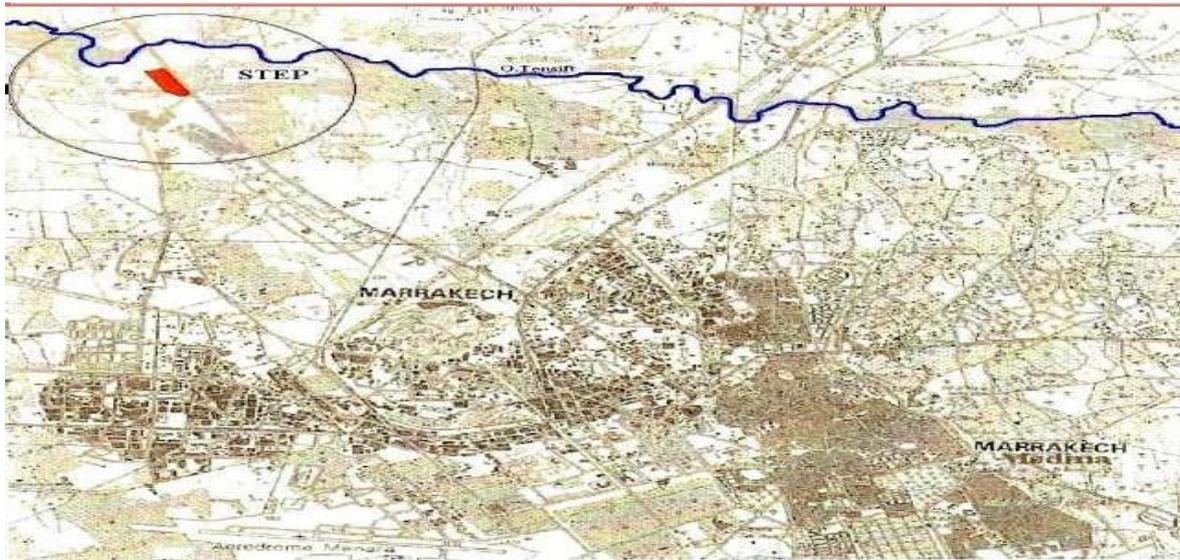


Figure 2: Organigramme de la RADEEMA

## 2 Présentation de la STEP

### 2.1 Situation géographique :

La station d'épuration des eaux usées de Marrakech est située à 13km sur la route nationale N°7 (Axe Marrakech-Safi) au nord-ouest de la ville de Marrakech, et est délimitée par la rive de l'oued Tensift au nord. La superficie totale du site est d'environ 18 ha (Figure 3).



*Figure 3: Carte de la localisation de la STEP (RADEEMA)*

### 2.2 Choix de site pour la STEP :

Le choix du site est basé sur deux facteurs (Figure 4) :

- ✓ **Facteur topographique** : la STEP est située dans un endroit où la côte est la plus basse, ce qui permet la collecte et le transport gravitaire des eaux usées. De plus, le site est proche de la décharge publique pour l'évacuation des déchets des boues déshydratées et du prétraitement.
- ✓ **Facteur climatique** : la STEP est installée à l'entrée nord de la ville, en parallèle avec la direction du vent, afin de disperser les odeurs produites lors du traitement des EU et ainsi éviter qu'elles n'affectent la population.



*Figure 4: La STEP de Marrakech*

### **2.3 Objectifs :**

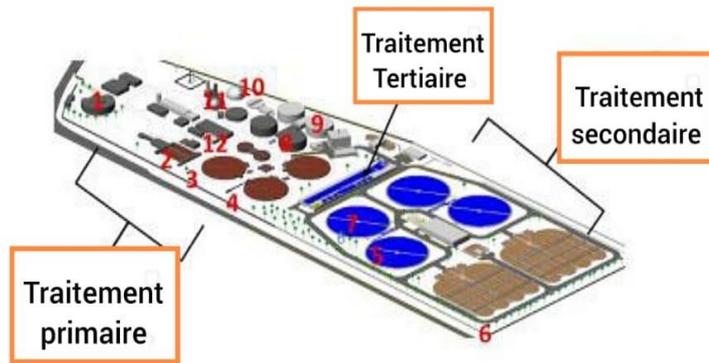
La STEP est un projet de traitement des eaux usées qui s'inscrit dans le cadre de la protection de l'environnement et de la gestion des ressources en eau. Parmi ses objectifs, on peut citer :

- Préservation de l'environnement contre la pollution.
- Production d'énergie renouvelable (thermique et électrique).
- Réduction de la consommation de la nappe phréatique pour l'irrigation.
- Élimination des rejets d'eaux usées brutes dans le milieu naturel.

### **2.4 Les différentes composantes de la STEP :**

La STEP est composée de trois phases de traitement (Figure 5) :

- ✓ Phase de traitement primaire.
- ✓ Phase de traitement secondaire.
- ✓ Phase de traitement tertiaire.



**Figure 5: Vue générale de la STEP**

Le tableau ci-dessous décrit les différentes étapes et équipement numérotés que l'on peut observer sur la figure 5.

Chaque numéro correspond à une étape ou à un équipement sur la (Figure 5), illustrant le processus complet de traitement des eaux usées.

- **Bâtiment administratif :** (1) Gestion de la station.
- **Dégrillage :** (2) Élimination des gros déchets.
- **Dessablage et déshuilage :** (3) Retrait du sable et des huiles.
- **Décanteur circulaire gravitaire 1 :** (4) Séparation des solides et des liquides.
- **Décanteur 2 :** (5) Deuxième étape de décantation.
- **Bassin biologique :** (6) Traitement biologique des eaux usées.
- **Coagulation - Floculation, Dessablage, Désinfection UV, Injection chlore :** (7) Divers processus de purification et désinfection.
- **Épaississeur :** (8) Épaississement des boues.
- **Digesteur :** (9) Traitement des boues et production de biogaz.
- **Gazomètre :** (10) Stockage du biogaz.
- **Torchères :** (11) Combustion de gaz en excès.
- **Déshydratation de la boue :** (12) Retrait de l'eau des boues.

**Tableau 2: Différentes composés de la STEP**

<b>1</b>	<b>Bâtiment administratif</b>
<b>2</b>	Dégrillage
<b>3</b>	Dessablage et déshuilage
<b>4</b>	Décanteur circulaire gravitaire 1
<b>5</b>	Décanteur 2
<b>6</b>	Bassin biologique
<b>7</b>	Coagulation – Flocculation. Dessablage. Désinfection UV. Injection chlore.
<b>8</b>	Epaississeur
<b>9</b>	Digesteur
<b>10</b>	Gazomètre
<b>11</b>	Torchères
<b>12</b>	Déshydratation de la boue

## 1 Les eaux usées :

### 1.1 Définition :

Les eaux usées sont des eaux chargées en substances toxiques solubles ou non qui proviennent principalement d'activités humaines, industrielles ou agricoles, ainsi que des activités domestiques, et parvenant dans des canalisations d'évacuation des eaux usées (Figure 6).

La pollution de l'eau est une modification nocive des propriétés physico-chimiques et biologiques qui sont produites par les activités humaines qui les rendent impropres à l'utilisation normale.



*Figure 6: Eaux usées*

### 1.2 Origines des eaux usées :

#### 1.2.1 Eaux usées domestiques :

Les eaux résiduaires domestiques sont principalement générées par les activités habituelles effectuées dans les foyers, par exemple des toilettes, des éviers de cuisine, des douches, des baignoires et des lave-linge. Il convient de souligner que ces eaux peuvent être porteuses d'une diversité de contaminants, notamment des matières organiques, des résidus chimiques, des métaux lourds...

### **1.2.2 Eaux usées agricoles :**

Ces eaux proviennent principalement des activités agricoles telles que l'irrigation des cultures. Elles contiennent une source significative de contamination, largement due à l'utilisation d'engrais, de pesticides et d'autres produits chimiques dans les pratiques agricoles.

### **1.2.3 Eaux usées industrielles :**

Elles proviennent principalement des rejets industriels, tels que ceux des usines, ainsi que des activités commerciales. Ces eaux représentent un risque pour la vie de tous les êtres vivants en raison de la présence d'une variété de contaminants, tels que les produits chimiques et les métaux lourds.

### **1.2.4 Eaux usées pluviales :**

Les eaux de pluie qui s'écoulent sur les surfaces après la précipitation des pluies. Au cours de leur écoulement, ces eaux peuvent transporter diverses substances polluantes et des déchets urbains.

## **1.3 Les matières polluantes :**

### **1.3.1 Les produits chimiques :**

Les produits chimiques englobent plusieurs composés chimiques, parmi lesquels les métaux lourds tels que le Zinc, le Cadmium et le Plomb. Ces produits chimiques peuvent provenir de diverses sources telles que les activités industrielles, agricoles ou domestiques, et leur présence peut poser des risques pour l'environnement et pour la santé humaine. Ils nécessitent donc des procédés de traitement spécifiques pour les éliminer.

### **1.3.2 Les matières décantables ou flottantes :**

Elles sont des particules lourdes telles que les boues ou légères comme les graisses qui composent les EU. Ces deux types de matières nécessitent un prétraitement afin de les éliminer efficacement des EU.

### 1.3.3 La matière organique :

La MO est constituée de composés carbonés dérivés d'activités biologiques ou végétales, fournissant ainsi une source essentielle de nutriments et d'énergie pour les organismes vivants dans les écosystèmes aquatiques.

### 1.3.4 Les microorganismes :

Les microorganismes sont des organismes vivants de taille microscopique (bactéries, champignons et les protozoaires...) qui jouent un rôle crucial dans les processus biologiques et chimiques qui se déroulent dans l'eau tels que la transformation des éléments nutritifs, la dégradation de la matière organique, des nutriments et des polluants présents dans l'eau.

## 2 Les étapes de traitement des eaux usées :

### 2.1 Filière eau :

Les différentes étapes de traitement des eaux usées (Figure 7) :

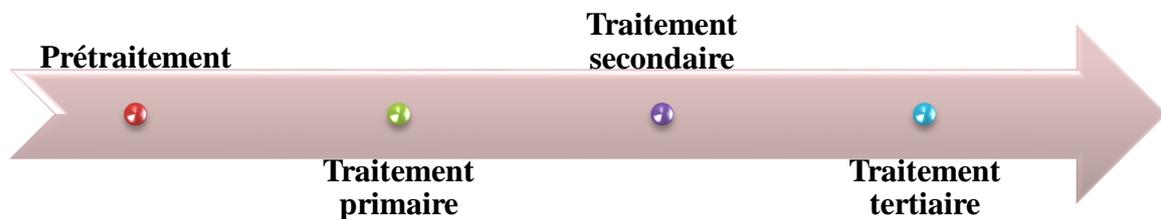


Figure 7: Les étapes du traitement des eaux usées

#### 2.1.1 Prétraitement :

Le prétraitement des eaux usées a pour but d'éliminer tous les éléments pouvant gêner ou retarder le fonctionnement du traitement. Il est constitué d'un dégrillage, d'un dessablage et d'un dégraissage.

- ✓ **Dégrillage** : c'est un processus mécanique qui consiste à éliminer les matières solides de grande taille telles que les morceaux de bois, plastiques, papiers... L'eau brute passe d'abord par une fosse, puis une pré-grille manuelle qui capture les gros débris solides et

les graviers. Ensuite, elle traverse quatre lignes de dégrillage, dont trois sont automatiques et une est manuelle, permettant ainsi un dégrillage grossier suivi d'un dégrillage fin. Les déchets sont à la fin extraits à l'aide d'un râteau motorisé et automatisé, et qui vont être compressés avant d'être évacués dans des bennes pour les transporter vers la décharge publique (Figure 8).



*Figure 8: Grille*

- ✓ **Dessableur-déshuileur :** À l'intérieur des dessableurs-déshuileurs, deux processus distincts sont mis en place. Tout d'abord, les particules plus lourdes telles que les sables et les graviers décantent au fond du bassin sous l'action de la gravité et sont ensuite extraites à l'aide d'une pompe (Figure 9). Ensuite, les huiles et les graisses, qui sont plus légères que l'eau, ont naturellement tendance à remonter à la surface. Pour accélérer ce processus, de fines bulles d'air sont injectées dans l'eau, permettant ainsi aux graisses de flotter en surface. Un pont racleur est ensuite utilisé pour rassembler les graisses flottantes et les acheminer vers l'unité de traitement des graisses.



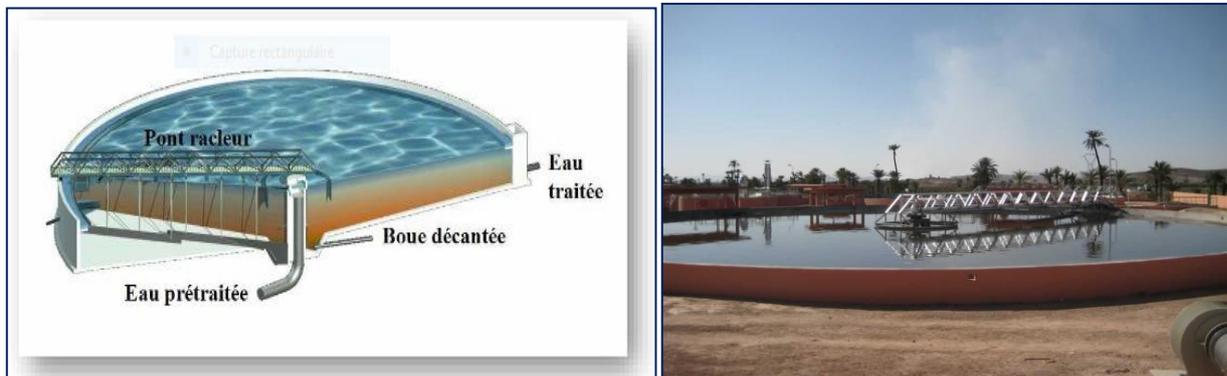
**Bassins rectangulaires  
de dessablage  
dégraissage**

**Pompe injective d'air**

*Figure 9: Dessableur-déshuileur*

### 2.1.2 Traitement primaire :

Dans le processus de décantation du traitement primaire, quatre décanteurs cylindriques sont utilisés, dont trois sont situés dans la section existante et un dans la section d'extension. L'eau sortante de prétraitement, contenant encore de la matière en suspension, est dirigée vers ces décanteurs pour permettre le dépôt des particules en suspension sous forme d'une boue primaire sous l'effet de la gravité. La boue décantée est ensuite récupérée par un raclage et pompée vers le traitement secondaire, tandis que les graisses sont flottées à la surface et également récupérées par un raclage pour être dirigées vers le traitement des graisses. L'eau provenant des décanteurs est dirigée vers un canal d'évacuation, par lequel elle est ensuite conduite vers le répartiteur du traitement secondaire (Figure 10).



**Figure 10: Décanteur primaire**

### 2.1.3 Traitement secondaire :

Cette étape comprend la dégradation de la matière organique dans sept bassins biologiques et la séparation de la boue de l'eau dans sept clarificateurs :

#### a) La dégradation de la matière organique :

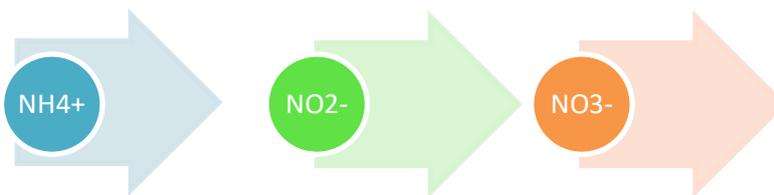
- **Existante** : ce processus se déroule au sein de quatre bassins biologiques en forme de serpent qui consiste à éliminer les derniers polluants grâce à des micro-organismes aérobies qui vont dégager la matière organique formant ainsi une boue activée. Pour optimiser l'efficacité des micro-organismes, on met en place des conditions aérobies pour favoriser leur activité métabolique et assurer une dégradation efficace de la matière organique (Figure 11).



*Figure 11: Bassins biologiques en serpent*

Un aspect crucial de ce processus est l'élimination de l'azote, qui se déroule par des bactéries qui effectuent :

- ✓ **La nitrification** : consiste à convertir l'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) en nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) puis en nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ).



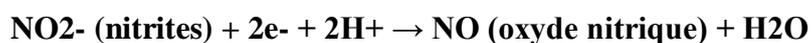
- ✓ **La dénitrification** :

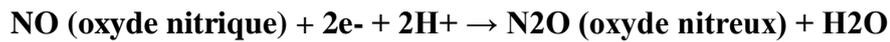
La dénitrification est un processus microbiologique par lequel les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) sont réduits et finalement transformés en gaz d'azote ( $\text{N}_2$ ), qui est libéré dans l'atmosphère. Ce processus est essentiel dans le cycle de l'azote, aidant à maintenir l'équilibre de l'azote dans l'environnement. Les Étapes de la dénitrification sont :

1. Réduction des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) en nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) : Les bactéries dénitrifiantes utilisent des enzymes pour convertir les nitrates en nitrites.

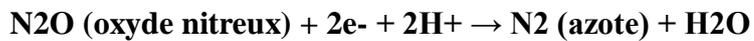


2. Réduction des nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) en oxyde nitreux ( $\text{N}_2\text{O}$ ) : Les nitrites sont ensuite réduits en oxyde nitreux.





3. Réduction de l'oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O) en azote gazeux (N<sub>2</sub>) : Enfin, l'oxyde nitreux est réduit en azote gazeux, qui est libéré dans l'atmosphère.



- **Extension** : il existe trois bassins sous forme rectangulaire où s'effectue une élimination du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), par les micro-organismes aérobies qui utilisent l'oxygène pour dégrader la matière organique.

#### b) Les clarificateurs :

L'eau provenant des bassins d'aération est introduite dans sept clarificateurs, où elle est laissée en repos pour séparer la boue qui se décante au fond des clarificateurs. Une grande partie de cette boue retourne vers les bassins biologiques pour assurer la continuation du traitement biologique, et l'autre partie est transférée au flot-tâteur afin de rejoindre la file boueuse. Une partie de l'eau traitée sera rejetée dans les oueds, tandis que l'autre partie passera au traitement tertiaire (Figure 12).



*Figure 12: Clarificateur*

#### 2.1.4 Traitement tertiaire :

Le traitement tertiaire vise à éliminer les micro-organismes pathogènes tels que les bactéries, les virus et les particules en suspension. L'eau produite est spécifiquement destinée à l'irrigation des golfs, des espaces verts...

- **Filtre à sable** : consiste à éliminer définitivement les particules en suspension résiduelles dans l'effluent déjà purifiés. À une vitesse lente, l'eau est dirigée vers un système de filtration où les particules en suspension sont capturées par les particules de sables dans le chenal d'alimentation (Figure 13).



*Figure 13: Filtre à sable*

- **Désinfection aux rayons ultraviolets** : Après la filtration à sable, l'eau subit une désinfection par des lampes qui donnent des rayons UV pour éliminer totalement les micro-organismes pathogènes (Figure 14).



*Figure 14: Désinfection Ultra-Violet*

- **Chloration** : c'est la dernière étape de traitement qui garantit la qualité de l'eau lors du stockage avant la distribution. Des pompes injectent une quantité bien calculée de chlore selon le taux des bactéries existantes, ce qui permet la destruction des micro-organismes.

## 2.2 Filière de boue :

La boue est un mélange de matières organiques et inorganiques, de micro-organismes, d'eau et de divers composants solides qui se forment lors du traitement des eaux usées, et pour garantir la sécurité environnementale, la STEP de Marrakech met en œuvre des technologies avancées pour assurer un traitement efficace et durable des boues.

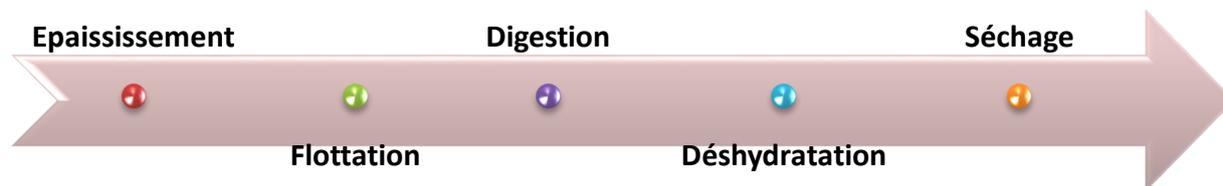
En général, lors du traitement des eaux usées, on distingue deux catégories de boues :

**Les boues primaires** : elles sont produites lorsque les eaux usées sont décantées dans les décanteurs primaires.

Par la suite, elles sont dirigées vers l'épaississeur afin de diminuer leur concentration en eau.

**Les boues secondaires** : elles sont issues principalement des clarificateurs et elles sont recyclées pour maintenir le processus de traitement, tandis que l'autre partie est dirigée vers les flotteurs.

Le traitement des boues passe par les étapes suivantes (Figure 15) :



*Figure 15: Les étapes du traitement des boues*

### 2.2.1 L'épaississement :

Les boues primaires sont transportées vers trois épaississeurs dont le rôle est d'augmenter le taux de succion des boues (MS) en retirant une partie de l'eau qu'elles contiennent. Pour ce faire, un coagulant est injecté pour accumuler les particules de boue, lesquelles tombent au fond des épaississeurs par gravité. Une fois épaissies, elles sont ensuite transférées vers les digesteurs (Figure 16).



*Figure 16: épaisseur*

### **2.2.2 Flottation :**

Les boues secondaires sont transportées vers quatre flotteurs où elles sont mélangées avec un polymère pour l'agglomération, facilitant ainsi le traitement. Ensuite, l'eau et des bulles d'air sont injectés, provoquant leur flottation, puis elles sont raclées avant d'être envoyées vers la digestion (Figure 17).



*Figure 17: Flotteur*

### **2.2.3 Digestion :**

En digestion anaérobie ou en fermentation, la décomposition des matières organiques présentes dans la boue provenant des épaisseurs, s'effectue à une température de 37°C en

absence d'O<sub>2</sub> et à l'abri de la lumière par l'action conjointe de plusieurs micro-organismes. Ce processus génère un mélange gazeux de « biogaz » et de boue digérée, avec une concentration de 30 g/l en MS, qui est ensuite placée dans un stockeur ou homogénéisée avec des agitateurs. La désulfuration, visant à éliminer le sulfure d'hydrogène « H<sub>2</sub>S » qui est un gaz très toxique et inflammable pour les équipements utilisant le biogaz, est utilisée pour purifier le biogaz produit par les digesteurs. Le biogaz ainsi traité peut-être stocké dans un gazomètre, une partie excédentaire brûlée à l'aide de torchères, ou utilisé selon les besoins (Figure 18).



*Figure 18: Digesteur*

#### **2.2.4 Déshydratation :**

La boue traitée dans la station d'épuration est soumise à un processus de déshydratation visant à réduire sa teneur en eau. Après avoir été épaissie et mélangée à des polymères dans un flocculateur, elle est ensuite injectée dans des filtres à bandes pour augmenter sa concentration en solides. Le produit final, une boue déshydratée qui est mise dans des bennes pour l'évacué vers la décharge publique, mais puisqu'elle est riche en matière organique, peut être utilisée comme fertilisant agricole.

#### **2.2.5 Séchage :**

Permet de rendre la boue solide par le séchage sous l'action des rayons solaires. Donc elle devient totalement déshydratée, ce qui facilite le stockage et aussi le transport de ces boues, mais le problème, c'est que cet état consomme beaucoup d'énergie.

## 2.3 Filière biogaz :

Le biogaz suit la succession suivante (Figure 19) :

Les biogaz, notamment le méthane ( $\text{CH}_4$ ), le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) et ( $\text{H}_2\text{S}$ ), résultant de la dégradation de la matière organique dans les digesteurs, passent par plusieurs étapes de traitement avant d'être utilisés comme source d'énergie.



*Figure 19: Les étapes du traitement du biogaz*

### 2.3.1 Désulfuration :

C'est un processus utilisé pour éliminer le sulfure d'hydrogène ( $\text{H}_2\text{S}$ ) présent dans les biogaz produits lors de la dégradation de la matière organique dans les digesteurs. Le ( $\text{H}_2\text{S}$ ) est un composé toxique et corrosif qui doit être éliminé avant que le biogaz ne soit utilisé ou rejeté dans l'environnement, et aussi pour éviter tout danger sur les moteurs cogénérateurs. Ce processus consiste à laver le gaz avec de l'eau, de la soude ( $\text{NaOH}$ ) et des nutriments. Le sulfure se solubilise dans l'eau, puis après un processus de séchage, il se forme du sulfure solide, qui peut être réutilisé dans l'industrie.

### 2.3.2 Stockage dans les gazomètres :

Après la désulfuration du biogaz, il peut être conservé en toute sécurité dans deux gazomètres de 2000  $\text{m}^3$ , à température ambiante et pression atmosphérique, en attendant d'être exploité comme source d'énergie renouvelable (Figure 20).



*Figure 20: Gazomètre*

### **2.3.3 Valorisation du biogaz par cogénération :**

L'utilisation du biogaz comme source d'énergie se fait à l'aide d'un cogénérateur. Ce dispositif permet de produire à la fois de l'énergie thermique nécessaire au chauffage des digesteurs, ainsi que plus de 40% d'électricité autonome (Figure 21).



*Figure 21: Cogénérateur*

### 2.3.4 Torchères :

En cas d'excès de gaz ou de biogaz qui ne peut être stocké ou utilisé, il est courant de les brûler dans des torchères de manière contrôlée et sécurisée, avant de les rejeter dans l'environnement, réduisant ainsi les émissions de polluants dans l'atmosphère (Figure 22).



*Figure 22: Les trois torchères de la STEP*

## 2.4 Filières de désodorisation :

La filière de désodorisation est un processus mis en place pour réduire les nuisances olfactives générées par les stations d'épuration des eaux usées et ainsi limiter les désagréments pour les habitants vivant à proximité.

Ce processus d'élimination de l'odeur nécessite le traitement des éléments causals  $H_2S$  et  $NH_3$ . Ce traitement est réalisé selon deux étapes :

### 2.4.1 La désodorisation biologique :

La désodorisation biologique repose sur l'utilisation de micro-organismes tels que les bactéries, les champignons... qui dégradent les composés odorants et les transforment en substances inodores ou moins odorantes.

### **2.4.2 La désodorisation physico-chimique :**

Elle se fait principalement par absorption, où les composés odorants sont séparés du mélange gazeux par un solvant liquide. Ce processus implique le transfert des molécules odorantes de la phase gazeuse à la phase liquide au sein de colonnes de contact, favorisant ainsi leur élimination.

### **3 La réutilisation des eaux usées :**

Les eaux usées traitées constituent une source précieuse qui peut être réutilisée à diverses fins après avoir subi un processus de traitement. Une fois traitées, ces eaux sont stockées dans une lagune de grande capacité avant d'être pompées vers différentes stations de pompage le long d'un parcours de 90 Km, couvrant la ville de Marrakech. De là, elles sont dirigées vers 14 golfs pour l'arrosage du gazon et aussi ces eaux sont utilisées pour l'irrigation des espaces verts et des jardins de la ville.

La réutilisation des eaux usées traitées contribue à la préservation des ressources en eau et à la protection de l'environnement en réduisant la demande en eau potable et en fournissant une solution durable pour l'irrigation des espaces verts.

---

### *Chapitre 3 : Les différentes analyses des eaux usées réalisées au sein de la STEP :*

---

#### **1 Introduction :**

Après le traitement des eaux usées au sein de la STEP, les laboratoires situés dans la station d'épuration des eaux usées effectuent une analyse quotidienne aux paramètres physico-chimiques et bactériologiques, depuis l'entrée jusqu'à la sortie de l'eau traitée. Cette évaluation vise à déterminer la concentration en (MES), en (DBO5), en (DCO), ainsi que les niveaux de cuivre, de nickel et de sulfure..., afin d'évaluer le niveau de pollution dans chaque phase de traitement et le rendement d'élimination des pollutions pour donner une bonne appréciation de la performance épuratoire de la STEP.

#### **2 Prélèvement et échantillonnage :**

La STEP de Marrakech est équipée de 5 préleveurs automatiques permettant de constituer un échantillon composite de 24h de l'effluent à analyser pendant les différentes étapes de traitement des eaux usées (Figure 23). Chaque préleveur est équipé de 24 flacons, qui sont remplis par l'eau chaque heure pour garantir un suivi continu de la qualité de l'eau. Il est recommandé de les réaliser dans un délai maximal de 24h pour éviter toute altération des concentrations de l'échantillon. Après 24 h, le personnel chargé du prélèvement prépare un échantillon composite en mélangeant les 24 flacons pour le délivrer aux deux laboratoires de la « RADEEMA » et de l'exploitation de la STEP « WATERLEAU ».



**Flacons d'eaux brutes**



**Préleveur**



**Flacons des différentes étapes de traitement**

*Figure 23: Méthode d'échantillonnage*

### **3 Analyses physico-chimiques :**

#### **3.1 La température :**

La température, en tant que paramètre physique de l'eau, exerce une influence significative sur la solubilité des sels et surtout des gaz dans l'eau ainsi que sur la vitesse des réactions chimiques et biochimiques.

La température est mesurée par une sonde thermométrique qui est insérée dans l'échantillon. La lecture est faite après que le thermomètre atteint la stabilisation.

#### **3.2 La turbidité :**

La turbidité est la réduction de la transparence de l'eau due à la présence de matière non dissoute minérale ou organique sous forme colloïdale en suspension dans les eaux usées.

La mesure de la turbidité se fait à l'aide d'un turbidimètre, et l'unité de mesure est : UTN (Unité de Turbidité Néphélométrique) (Figure 24).

- **NTU<5** : eau clair
- **5<NTU<30** : eau légèrement trouble
- **50< NTU** : eau trouble



*Figure 24: Turbidimètre*

### 3.3 Le pH :

Le pH (potentiel hydrogène) est une des caractéristiques fondamentales de l'eau qui donne une indication de l'acidité d'une substance. Il est déterminé à partir de la quantité d'ion d'hydrogène hydronium ( $H^+$ ) ou d'ion hydroxyde ( $OH^-$ ) contenus dans la substance. Quand le pH est égal à 7, l'eau est considérée comme neutre et la quantité des ions ( $H^+$ ) et ( $OH^-$ ) est égale, mais si le PH varie entre 1 et 7, l'eau est considérée comme basique et la quantité de ( $OH^-$ ) est supérieure par rapport à celle de ( $H^+$ ). Au-dessous de 7, l'eau est acide et les ions ( $H^+$ ) sont en quantité supérieure.

Le pH est l'un des paramètres chimiques importants qui sert au contrôle de la qualité de l'eau à l'entrée de la station (STEP).

**Principe** : la méthode est basée sur l'utilisation d'un pH-mètre. Le pH mètre est un voltmètre un peu particulier qui se caractérise par une très grande impédance d'entrée en raison de la forte résistance présentée par l'électrode de mesure (Figure 25).



*Figure 25: pH mètre*

### **Mode opératoire :**

L'étalonnage étant réalisé et l'appareil ayant acquis son régime de marche :

- + Dégager l'électrode de son support.
- + Rincer l'extrémité de l'électrode avec l'eau distillée.
- + Essuyer l'extrémité de l'électrode.
- + Replacer l'électrode sur son support.
- + Rincer le vase, l'électrode avec l'eau distillée, puis avec l'échantillon.
- + Remplir le vase de mesure avec l'échantillon.
- + Immerger l'électrode avec précaution et agiter.
- + Lire directement le Ph lorsque la valeur s'est stabilisée.

### **3.4 La conductivité :**

Elle traduit l'aptitude que possède l'eau à laisser passer le courant électrique. Le transport des charges se faisant par l'intermédiaire des ions contenus dans l'eau, la conductivité d'une eau sera d'autant plus importante que sa minéralisation sera élevée. Il existe une relation entre la conductivité et la minéralisation d'une eau, d'où l'intérêt que présente la mesure de la conductivité pour connaître la minéralisation d'une eau.

L'unité de conductivité utilisée en chimie des eaux est le microsiemens  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

**Principe :** la mesure de la conductivité est équivalente à celle de la résistance d'une colonne d'eau, opérée à l'aide d'un conductivimètre, qui est essentiellement un résistivimètre spécialisé. Étant donné que la conductivité dépend de la température, toute évaluation de cette grandeur doit être effectuée à une température spécifiée et stabilisée, généralement fixée à 20°C.

**Mode opératoire :**

- + L'analyse s'effectue sur un prélèvement d'eau dont le volume doit être suffisant pour prolonger la sonde de conductivité.
- + Rincer soigneusement la cellule de mesure à l'eau distillée et l'essuyer.
- + Immerger la cellule dans l'eau.
- + Agiter la sonde légèrement.
- + Lire les résultats.
- + Après chaque série de mesures, rincer l'électrode à l'eau déminéralisée.

### 3.5 Nitrite :

Les nitrites peuvent être abondants dans l'eau sous la forme d'acide nitreux non ionisé. La première forme qui apparaît dans certaines conditions de température et de PH, est la plus toxique pour les organismes vivants.

Puisque le test classique de nitrite est trop long pour l'utiliser pour un test de plusieurs échantillons, un test en cuve est utilisé dans le laboratoire, des tubes qui contiennent tous les réactifs, il suffit d'ajouter l'échantillon à tester (Figure 26).

**Mode opératoire** (Figure 26) :

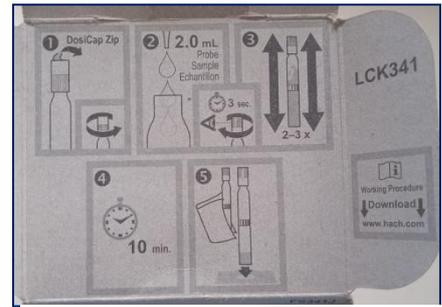
- + On ajoute 2 ml de l'échantillon filtré au kit.
- + On inverse la position du bouchon.
- + On le laisse 3 min.
- + On mélange l'ensemble et on le laisse 10 min.
- + On lit la valeur de la concentration sur le spectrophotomètre.



**Spectrophotomètre**



**Kits de nitrite**



**La méthode à suivre**

**Figure 26: Matériels pour la manipulation de nitrite**

### 3.6 Nitrate :

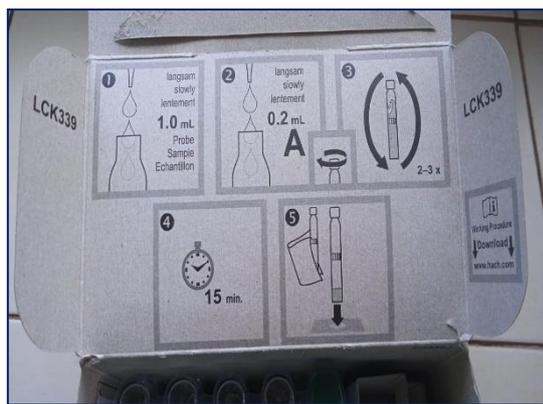
Les nitrates sont des ions générés lors du cycle de l'azote, particulièrement solubles dans l'eau et à l'origine de la pollution aquatique. Leur conversion en nitrites, aux effets toxiques reconnus, représente un danger pour l'environnement.

#### Mode opératoire (Figure 27) :

- ✚ Prélever 1 ml à l'aide d'une pipette jaugée de l'échantillon mère.
- ✚ Introduire ce 1 ml dans un bécher
- ✚ Compléter à 30 ml avec de l'eau distillée
- ✚ Ajouter le réactif (nitrate) à cette eau
- ✚ Faire une agitation pendant 3 min
- ✚ Laisser la solution reposer pendant 2 min
- ✚ Après avoir d'enlevé 5 ml, ajouter le réactif (nitrate 25), faire une agitation légère et laisser la solution se reposer pendant 10 min
- ✚ Lire le résultat sur le spectrophotomètre.



kits de nitrate



Méthode à suivre

*Figure 27: Matériels pour la manipulation de nitrate*

### 3.7 Phosphore :

Le phosphore est mesuré sous forme de phosphore total (Pt), comprend l'analyse des fractions minérales, telles que les phosphates provenant des produits lessiviels, ainsi que des fractions organiques, issues de sources humaines ou industrielles. Cette approche permet d'évaluer l'efficacité du traitement biologique des effluents et les risques associés à l'eutrophisation des eaux stagnantes.

#### Mode opératoire (Figure 28) :

- ✚ Prélever 1 ml de l'échantillon mère à l'aide d'une pipette.
- ✚ Introduire ce 1 ml dans un bécher.
- ✚ Compléter à 10 ml avec de l'eau distillée.
- ✚ Ajouter le réactif (phosphore PGT) à cette eau.
- ✚ Faire une agitation légère.
- ✚ Laisser la solution se reposer pendant 2 min.
- ✚ Lire le résultat sur le spectrophotomètre.



**Kits de phosphate**



**La méthode à suivre**

**Figure 28: Matériels pour la manipulation de phosphore**

#### **4 Analyses organiques :**

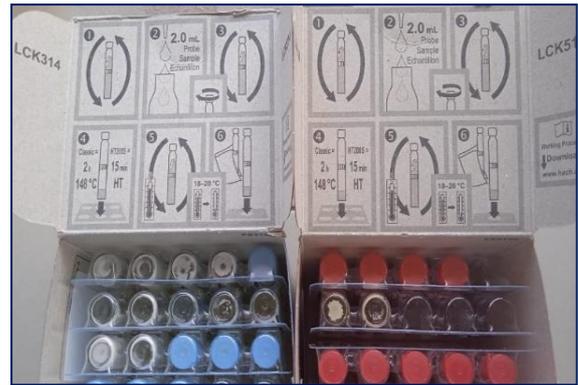
##### **4.1 Demande chimique en oxygène (DCO) :**

DCO (demande chimique en oxygène) est une mesure qui indique la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder les substances organiques et minérales présentes dans l'eau. Cela permet de déterminer le niveau de pollution dans les eaux usées avant et après le traitement, pour contrôler l'activité des micro-organismes et aussi le fonctionnement de la STEP.

**Manipulation :** les analyses sont réalisées à l'aide d'une méthode plus avancée, connue sous le nom de test en cuve. Ce test se base sur l'utilisation des cuves qui contiennent des réactifs préparés à l'avance pour simplifier le processus. Il suffit de suivre les étapes fournies sur l'emballage pour mener à bien l'analyse (Figure 29).



**Kits de DCO**



**La méthode à suivre**

**Figure 29: Matériels pour la manipulation de DCO**

**Mode opératoire** (Figure 29) :

- ✚ Mélanger l'échantillon pour avoir une solution homogène.
- ✚ Pipeter 2 ml d'échantillon avec précaution.
- ✚ Fermer la cuve et nettoyer l'extérieur de celle-ci.
- ✚ Mélanger.
- ✚ Chauffer dans le thermo-réacteur (Figure 30) classique pendant 2h à 145°C, ou 15 min à 170°C.
- ✚ Sortir la cuve chaude, retourner 2 fois avec précaution.
- ✚ Laisser refroidir à température ambiante dans le support de la cuve.
- ✚ Lire les résultats dans le spectrophotomètre.



**Figure 30: Thermo réacteur**

## 4.2 Demande biochimique en oxygène (DBO5) :

La demande biochimique en oxygène (DBO5) est un indice de pollution d'eau qui permet d'évaluer la fraction biodégradable de la charge polluante carbonée des eaux usées. Celle-ci est souvent mesurée par la méthode DBO5, qui évalue la quantité d'oxygène consommée par les micro-organismes pendant une période de cinq jours à une température de 20°C et dans l'obscurité. Plus la DBO est élevée, plus la charge polluante organique des eaux usées est importante.

### Mode opératoire (Figure 31) :

- ✚ Rincer la bouteille qui sert à l'analyse avec de l'échantillon.
- ✚ A l'aide de la verrerie appropriée (fiolle jaugée, puis éprouvette, puis pipettes), remplir la bouteille avec le volume défini précédemment.
- ✚ Ajouter l'inhibiteur de dénitrification : un inhibiteur spécifique qui a été ajouté à certains échantillons pour éliminer les bactéries introduites lors du traitement secondaire dans les bassins biologiques.
- ✚ Placer un capuchon en caoutchouc sur le col de la bouteille, y placer 2 pastilles d'hydroxyde de potassium pour empiéger le CO<sub>2</sub>.
- ✚ Incubation : placer les flacons à l'étuve à 20°C et à l'obscurité pendant 5 jours.
- ✚ Mesure au temps 5 jours : doser l'O<sub>2</sub> dissous dans le flacon 20 préparation de l'échantillon, ce dernier doit être à 20 au moment où la mesure de DBO5 démarre.



Incubateur



Bouteilles contiennent de l'échantillon

*Figure 31: Matériels pour la manipulation de DBO5*

### **Paramètre influant sur la mesure de DBO5 :**

- La température doit être de 20°C.
- Le temps doit être de 5 jours.
- Obscurité.
- Un agitateur magnétique qui est utilisé pour l'homogénéité de l'échantillon.

### **4.3 Les matières en suspension(MES) :**

Les matières en suspension comprennent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau. Elles incluent les argiles, les sables, les limons... Elles peuvent perturber l'écosystème en réduisant la transparence de l'eau dans le milieu récepteur, ce qui limite la photosynthèse des plantes aquatiques. Cette méthode est utilisée quand il y a moins de matière solide dans les échantillons.

**Principe :** séparation des matières en suspension par filtration en fibre de verre : les échantillons sont passés à travers un filtre qui sera ensuite séché, donc on ne mesure pas les sels contenus dans l'échantillon. On obtient une concentration en g/l (Figure 32).

Le séchage doit être à 105°C.

**Mode opératoire** (Figure 32) :

La détermination doit être effectuée le plus tôt possible après le prélèvement de l'échantillon.

L'échantillon soumis à l'essai doit, si nécessaire, avoir été débarrassé des matières grossières par passage sur un tamis.

La mesure des matières en suspension se fait après la filtration et le séchage à 105°C pendant 24 heures. La filtration consiste à prendre des volumes connus d'échantillons d'eau pré-mélangée qui ont été filtrés sur des filtres secs standards en fibre de verre, sur lesquels les particules trop grosses pour passer ont été retenues, et les composés dissous peuvent passer sans contraintes. Les filtres sont ensuite séchés à 105°C.

**Les étapes de manipulation :**

- ✚ Pesage des filtres à vide pour obtenir P1.

- ✚ Filtration de l'échantillon à l'aide d'une machine à pompe aspirante pour accélérer le filtrage.
- ✚ Séchage du filtre dans une étuve à 105°C qui va sécher les filtres de l'eau et laisser juste la matière solide.
- ✚ Enlever les filtres de l'étuve après 24 heures.
- ✚ Pesage du filtre avec la MES.
- ✚ Calcul de MES en g/l par la relation suivante :

$$\underline{\underline{MES = (P2-P1) * 1000 / V}}$$



*Figure 32: Matériels pour la manipulation de MES*

#### 4.4 MES<sub>v</sub> :

Une fois que la mesure de MES a été effectuée, nous passons à la mesure de la MES<sub>v</sub> en utilisant les mêmes filtres qui vont être exposés à une température de 550°C pendant 2 h dans un four à moufle afin d'éliminer la MO. Ensuite, on les pèse à nouveau (P3). La concentration en MES<sub>v</sub> exprimée en pourcentage de MES et calculée selon la formule suivante :  $MES_v = (P2 - P3) / v * 100$

**Remarque :** les filtres doivent être placés dans un dessiccateur (Figure 33) pendant la manipulation pour ne pas perturber le poids des filtres.



*Figure 33: Dessiccateur*

#### 4.5 VD30 :

Ce test concerne les sept bassins biologiques, pour suivre le processus de décantation dans les clarificateurs. Cela se fait en remplissant des éprouvettes avec les échantillons d'eau du traitement secondaire jusqu'à 750 ml et on ajoute la boue de l'extension jusqu'à 1000 ml, ensuite on les laisse reposer pendant 30 minutes, pour permettre aux particules en suspension de se déposer par gravité (Figure 34). En mesurant le volume de matières décantées, cette valeur exprime le volume de boue activée décantée pendant 30 min.



*Figure 34: La manipulation de VD30*

#### 4.6 Indice de Mohlman :

IM ou de boue évalue la capacité des boues à se décanter. Cet indice définit le volume de boue activée décantée pendant 30 min par rapport à la concentration en MES de cette boue. IM est exprimé en ml/g de MES, calculé en divisant le VD30 par la concentration en MES selon la formule suivante :

$$\text{IM} = \frac{\text{VD30}}{\text{MES}}$$

- IM compris entre 80 et 150 indique une bonne capacité de décantation.
- IM moins de 50 suggère des boues granuleuses.
- IM supérieure à 200 indique un gonflement des boues, ce qui favorise la prolifération excessive de bactéries filamenteuses.

## 1 Introduction :

Au niveau des rejets de la sortie secondaire II de la station d'épuration des eaux usées « STEP » de Marrakech, deux normes sont applicables. D'abord les exigences imposées pour toutes les stations à l'échelle nationale par la loi 36-15 sur l'eau au Maroc, promulguée par le dahir n° 1-95-154 du 18 Rabii I 1416 (16 aout 1995), stipulent que « **les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques de tout déversement doivent être conformes aux valeurs limites de rejets fixées par arrêtés conjoints des autorités gouvernementales chargées de l'intérieur, de l'eau, de l'environnement, de l'industrie et de toute autre autorité concernée** ».

Cette loi établit des limites pour certains paramètres tels que MES, DCO, DBO5 avec les valeurs suivantes : **MES < 100 mg/l, DCO < 500 mg/l et DBO5 < 100 mg/l**. La deuxième norme correspond aux exigences contractuelles spécifiques qui ont été établies entre le maître d'ouvrage « RADEEMA » et l'exploitant de la STEP Marrakech. Ces exigences contractuelles doivent répondre aux caractéristiques suivantes : **MES < 30mg/l, DCO < 125 mg/l et DBO5 < 30 mg/l** (Tableau 3).

On observe que les exigences contractuelles de la STEP de Marrakech sont réduites par rapport aux caractéristiques fixées par la Loi 10-95.

Il est important que l'exploitant de la station d'épuration respecte les exigences légales et aussi les exigences contractuelles pour garantir un niveau de protection de l'environnement plus élevé.

*Tableau 3: Les exigences de la sortie secondaire II*

Paramètre	Valeurs contractuelles (mg/l)	Valeurs limites réglementaires (mg/l)
<b>DBO5</b>	<b>30</b>	<b>100</b>
<b>DCO</b>	<b>125</b>	<b>500</b>
<b>MES</b>	<b>30</b>	<b>100</b>

Dans ce chapitre, nous évaluerons l'efficacité du traitement secondaire en analysant les résultats des paramètres tels que la DCO, la DBO5 et les MES, durant les mois février, mars et avril. Ces analyses seront comparées aux normes marocaines pour déterminer si le traitement est conforme aux exigences en matière de qualité de l'eau.

## 2 Le traitement secondaire II :

Le traitement secondaire II est assuré par l'alimentation des bassins biologiques avec l'eau primaire et une partie des boues récupérées. Il existe trois bassins sous forme rectangulaire où s'effectue une élimination du dioxyde de carbone (CO2).

L'eau provenant des bassins d'aération est introduite dans trois clarificateurs, où elle est laissée en repos pour séparer la boue qui se décante au fond des clarificateurs de l'eau (Tableau 4).

*Tableau 5: La charge polluante entrante du traitement secondaire II*

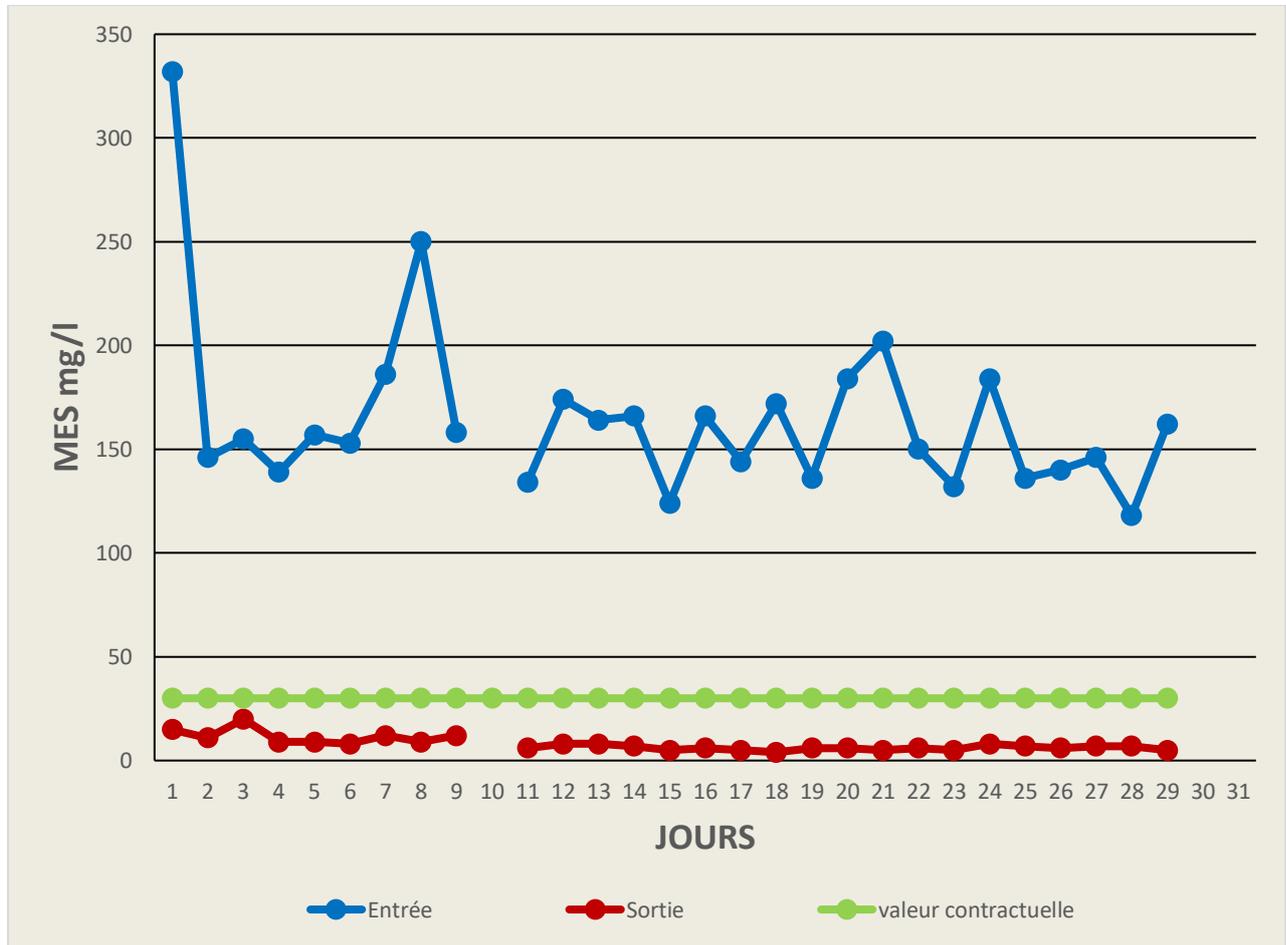
	Volume totale de l'effluent secondaire	Débit moyen journalier
Février	923 733,38 m3/ mois	31 852,9 m3/j
Mars	849 215,51 m3/mois	27 394 m3/j
Avril	937 680,42 m3/mois	31 256 m3/j

## 3 Résultats :

### ➤ Mois de Février :

On remarque que les valeurs de la matière en suspension (MES) à l'entrée varient entre 118 mg/l et 332 mg/l avec une moyenne de 165 mg/l. À la sortie, la moyenne descend à 8 mg/l. Celle-ci est inférieure aux garanties contractuelles avec une valeur maximale de 19,6 mg/l et

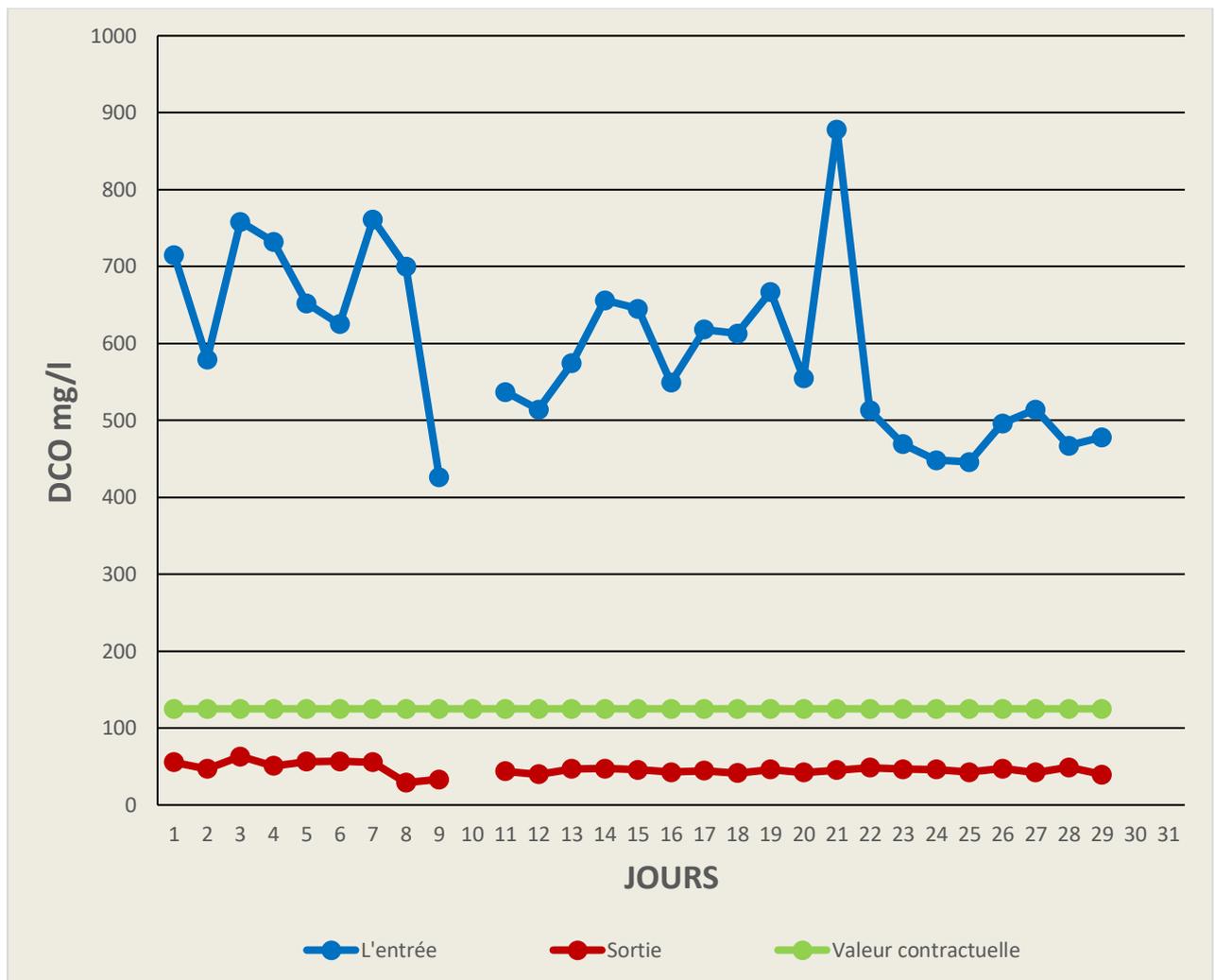
minimale de 4,4 mg/l, avec un rendement élevé de (92%) qui indique que le traitement est efficace (Figure 35).



**Figure 35: Concentration (MES) à l'entrée et sortie de traitement secondaire II**

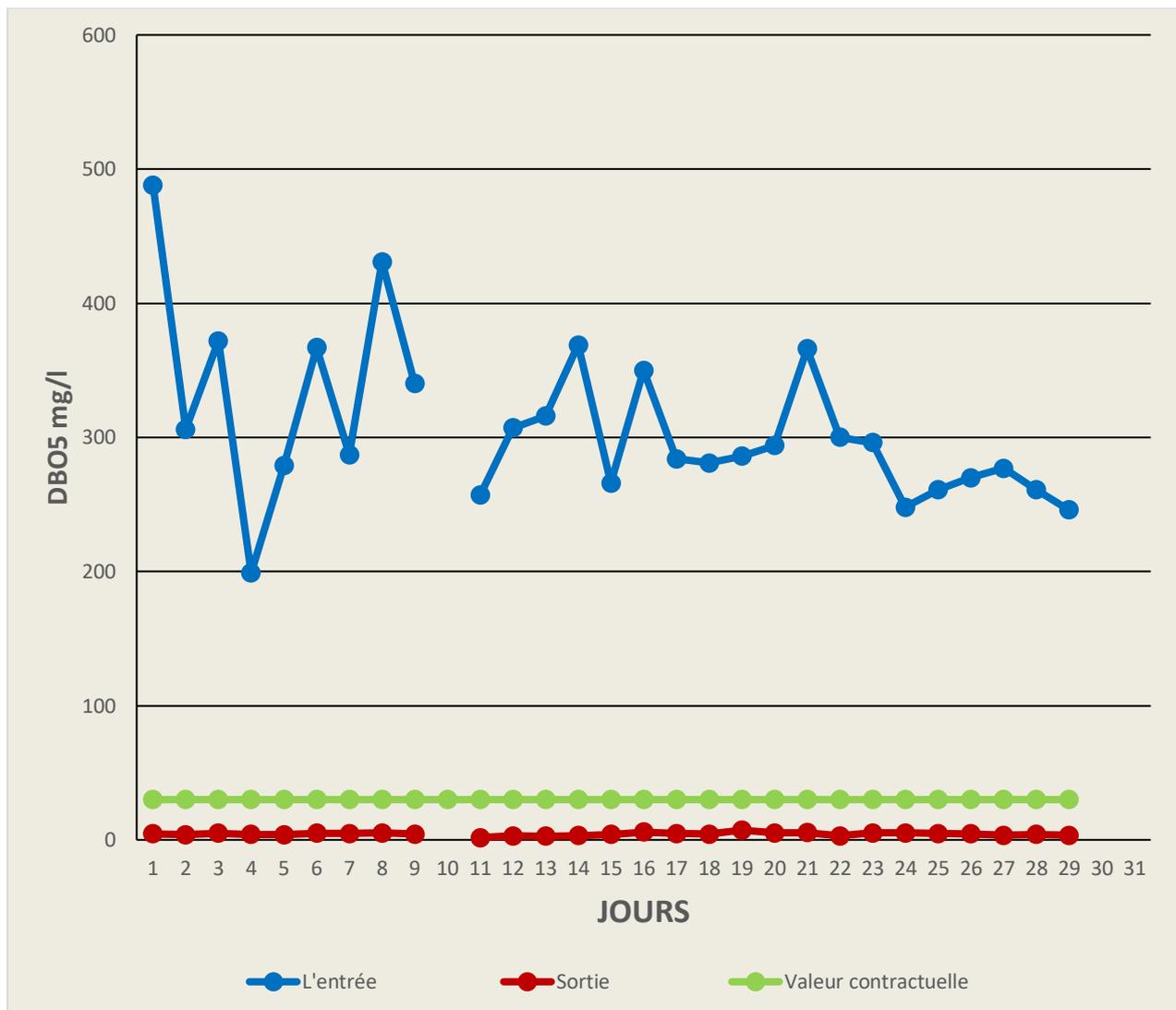
Les données à l'entrée de (DCO) montrent une variation de 426 mg/l à 878 mg/l, avec une valeur moyenne de 592 mg/l qui a diminué après le traitement (sortie) à 46,3 mg/l en respectant les garanties contractuelles en allant de 29 mg/l vers 63,2 mg/l comme valeur maximale.

La valeur du rendement est importante (95%) indique une bonne élimination des polluants et confirme ainsi l'efficacité du traitement (Figure 36).



**Figure 36: Concentration (DCO) à l'entrée et sortie de traitement secondaire II**

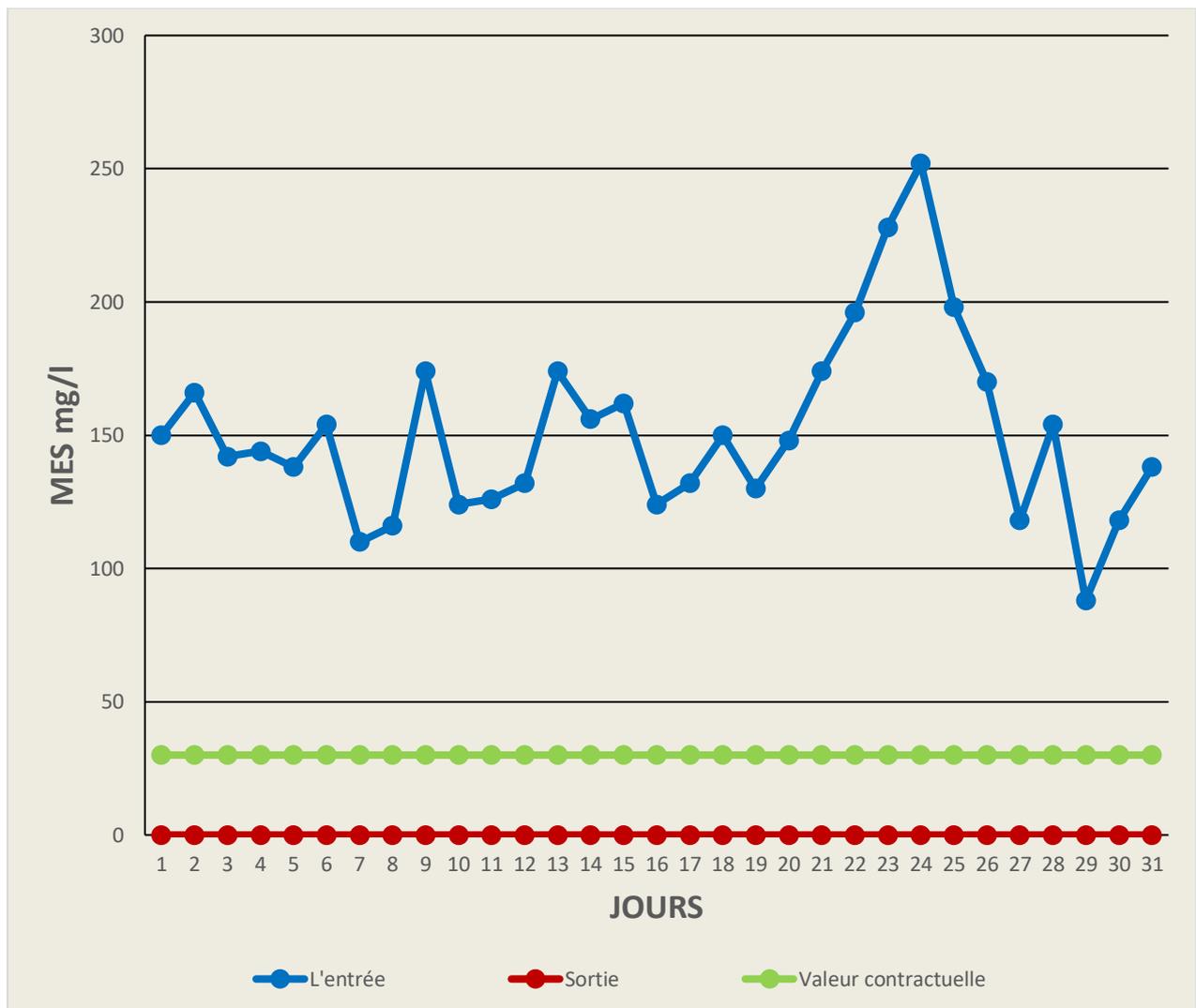
On observe clairement qu'à l'entrée, les valeurs de (DBO5) varient entre 199 mg/l et 488 mg/l avec une moyenne de 307 mg/l pour obtenir après le traitement ces valeurs : 2 mg/l comme valeur minimale, 7 mg/l comme valeur maximale avec une moyenne de 4 mg/l. Ces résultats sont conformes aux exigences contractuelles, avec une valeur moyenne de rendement de (99%) dépasse largement les attentes, ce qui indique une excellente performance et une efficacité de traitement (Figure 37).



**Figure 37: Concentration (DBO5) à l'entrée et sortie de traitement secondaire II**

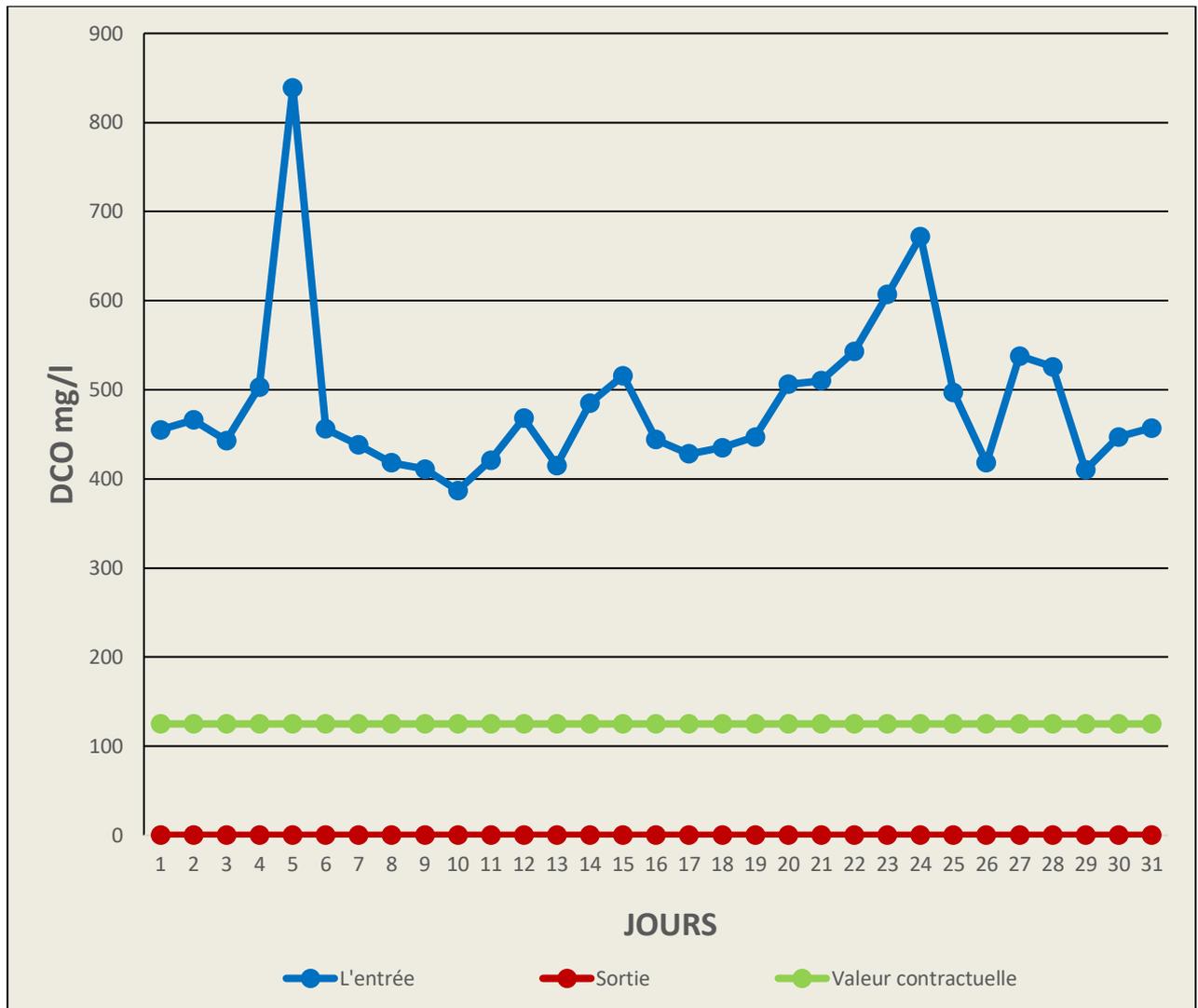
➤ **Mois de mars :**

On observe que les valeurs de (MES) enregistrées à l'entrée varient entre 88mg/l et 252 mg/l pour une moyenne de 151 mg/l. À la sortie de traitement secondaire II, les valeurs varient entre 1 mg/l et 26 mg/l, marquant une moyenne de 8 mg/l. Cette dernière est inférieure aux garanties contractuelles, avec un rendement d'élimination atteint (95%), ce qui indique une performance remarquable, démontrant ainsi l'efficacité du traitement (Figure 38).



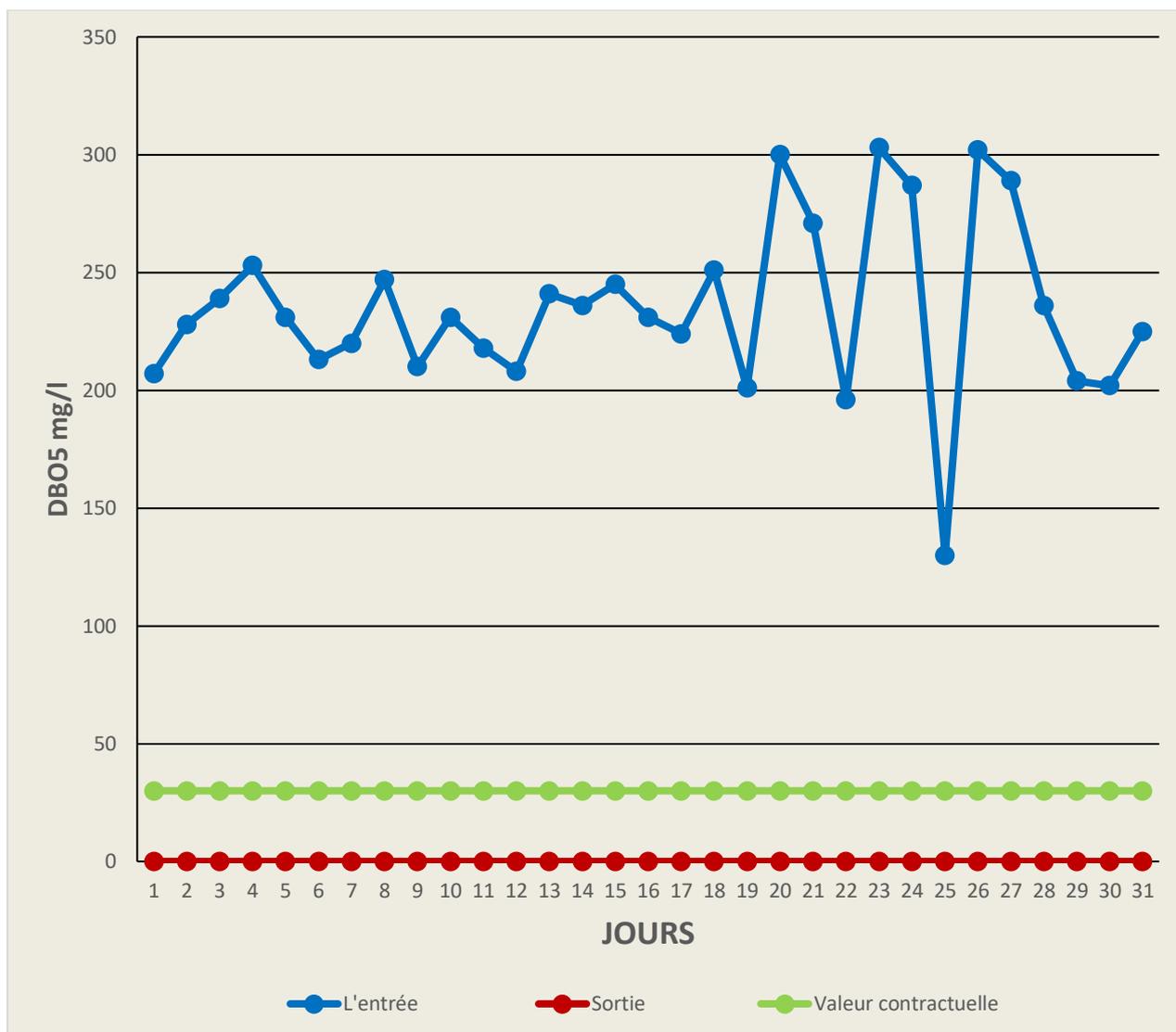
**Figure 38: Concentration (MES) à l'entrée et sortie de traitement secondaire II**

La concentration de DCO à l'entrée du traitement, variant de 387 mg/l à 839 mg/l, avec une moyenne de 484 mg/l. À la sortie du traitement, ces valeurs diminuent pour atteindre une moyenne de 45,5mg/l, qui est inférieure aux garanties contractuelles. a valeur minimale est 34 mg/l et la valeur maximale est 60 mg/l, indiquant un rendement d'élimination de (90%). Ces résultats indiquent une réduction significative de la charge organique dans les processus de traitement (Figure 39).



**Figure 39: Concentration (DCO) à l'entrée et sortie de traitement secondaire II**

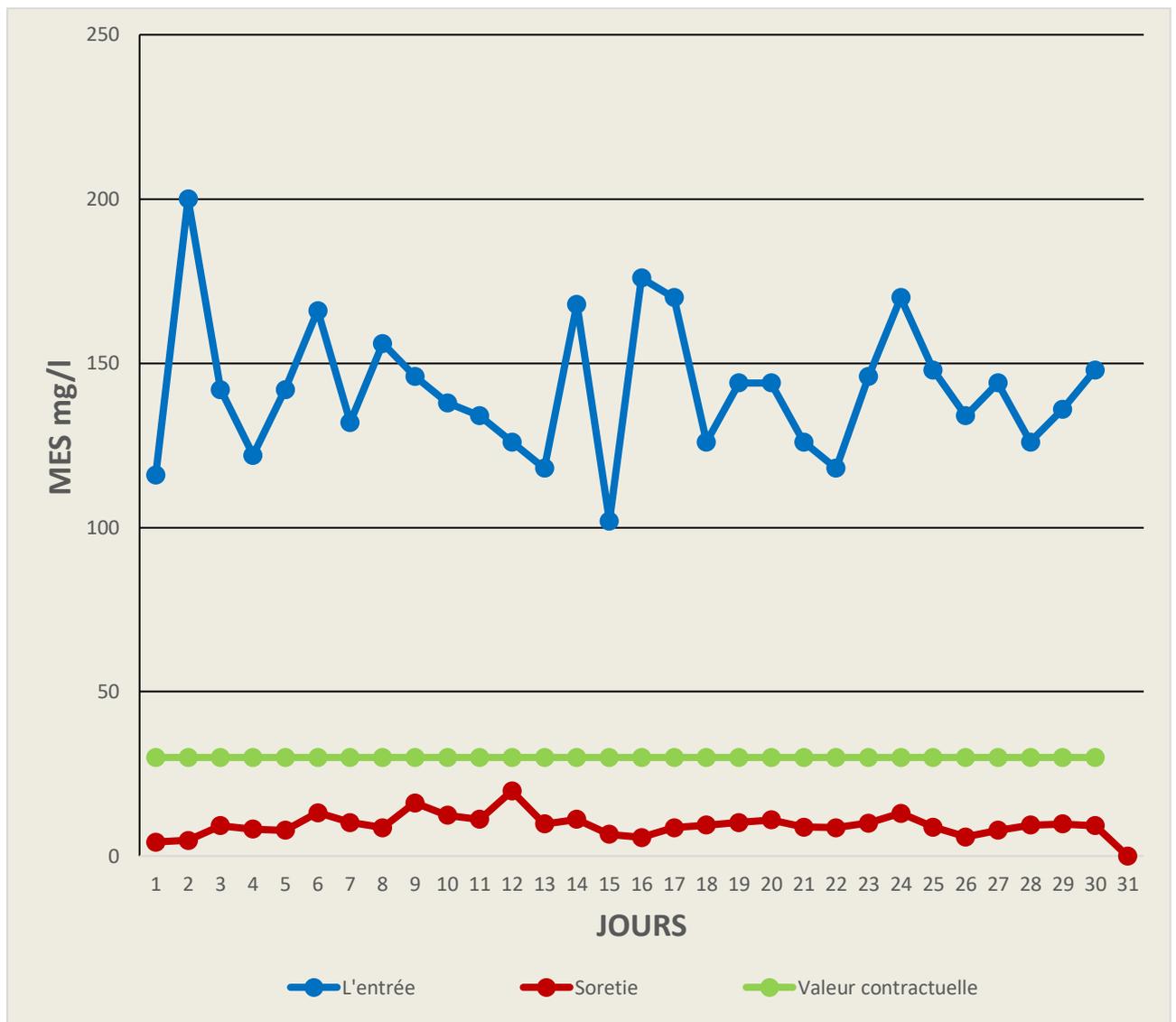
On remarque que les concentrations de DBO5 à l'entrée du traitement sont comprises entre 130 mg/l et 303 mg/l, avec une moyenne de 235 mg/l. Après le traitement secondaire II, ces concentrations arrivent à 2 mg/l comme valeur minimale et 24 mg/l comme valeur maximale, avec une valeur moyenne de 4,7 mg/l qui respecte les exigences contractuelles, marquant ainsi un rendement d'élimination efficace de (90%) (Figure 40).



**Figure 40: Concentration (DBO5) à l'entrée et sortie de traitement secondaire II**

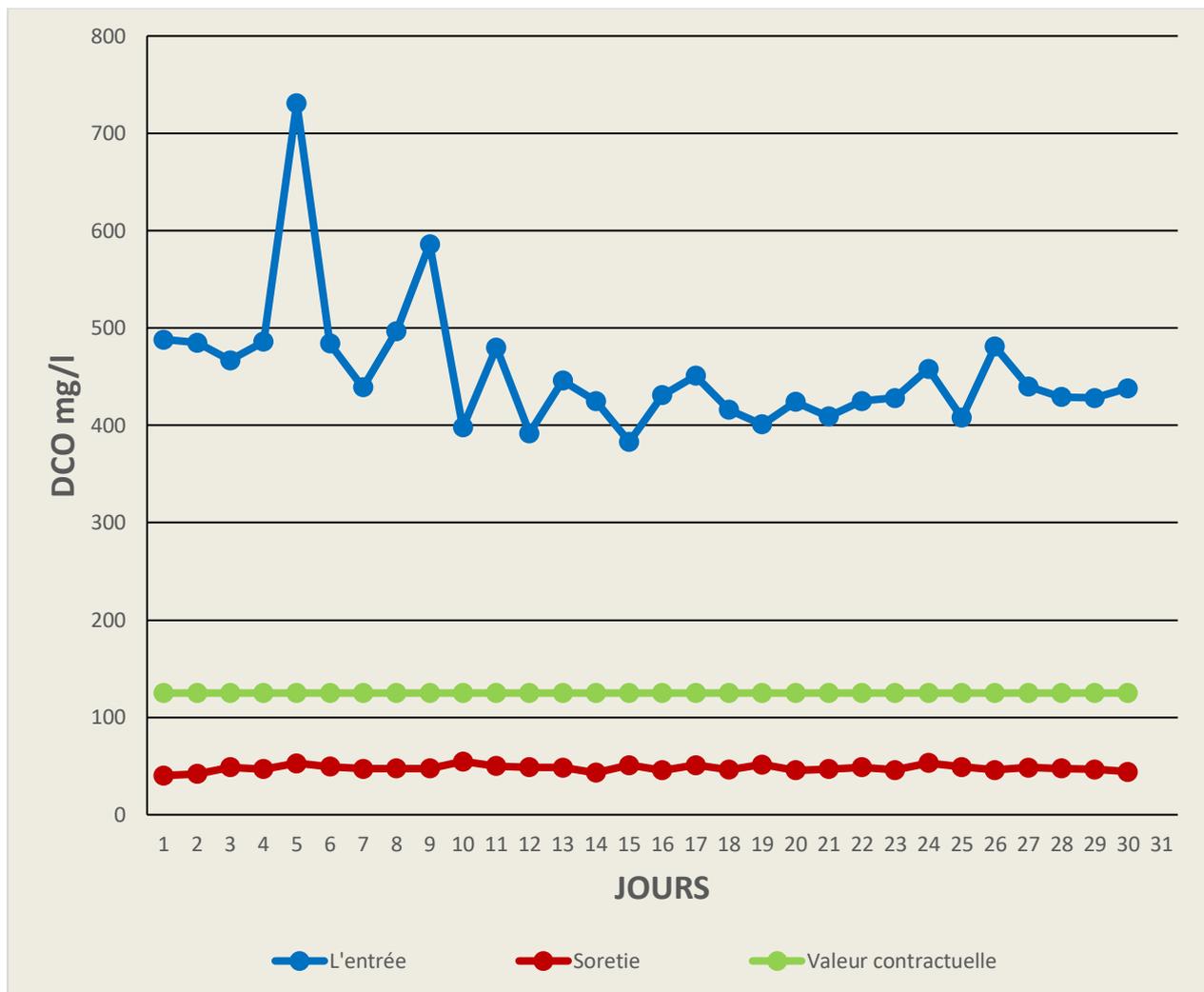
➤ **Mois d'Avril :**

Les valeurs de (MES) observées à l'entrée, comprises entre 102 mg/l et 200 mg/l, avec une valeur moyenne de 142 mg/l. Ces valeurs sont réduites à la sortie du traitement, atteignant une moyenne de 9,6 mg/l inférieure aux garanties contractuelles, avec des valeurs maximale et minimale de 20 mg/l et 4 mg/l avec un rendement d'élimination élevé de (93%) qui montre une très bonne performance du traitement, confirmant ainsi son efficacité (Figure 41).



**Figure 41: Concentration (MES) à l'entrée et sortie de traitement secondaire II**

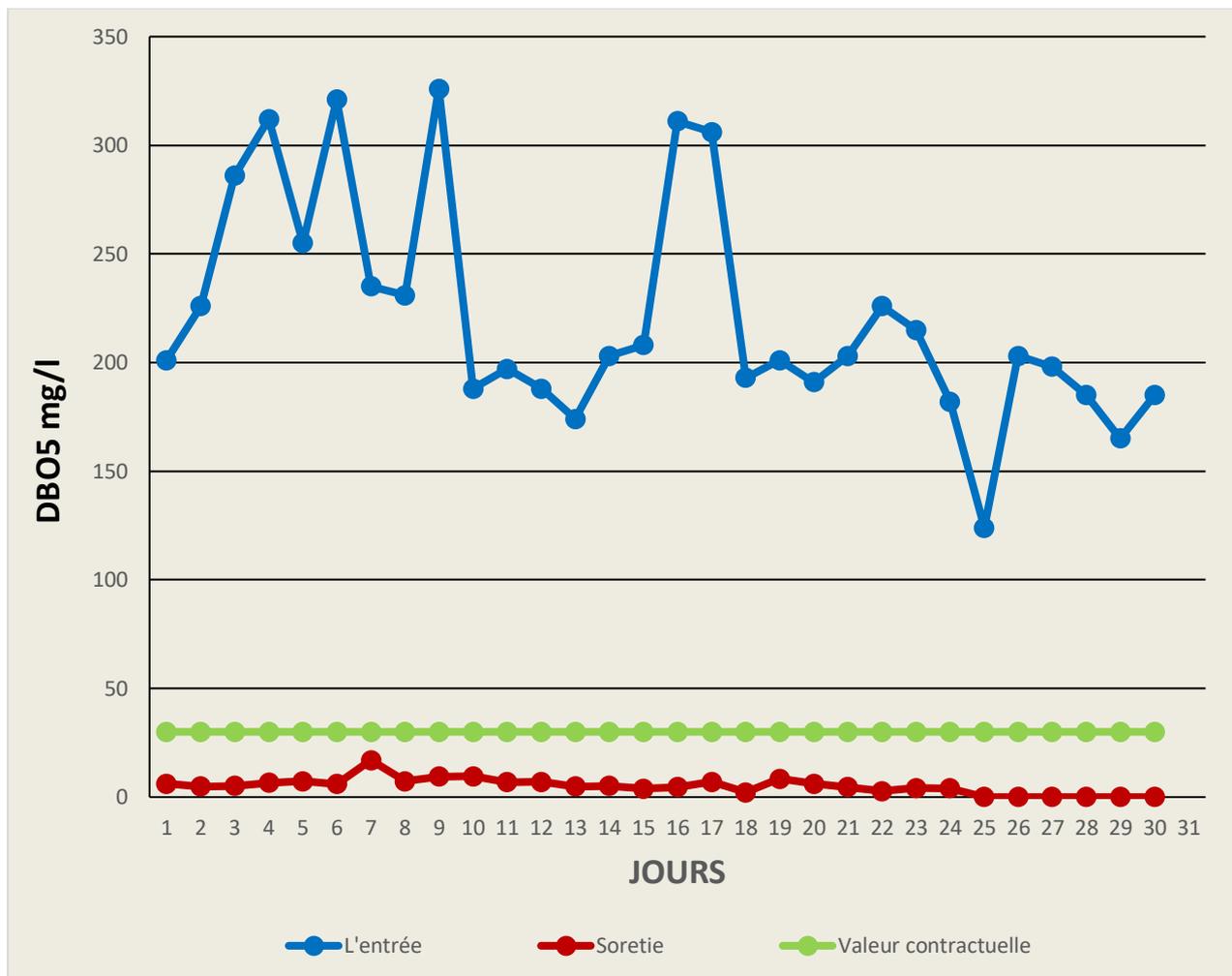
On observe que les valeurs initiales de (DCO), varient entre 383 mg/l comme une valeur minimale à 731 mg/l comme valeur maximale, avec une moyenne de 454 mg/l. Après le traitement, on a une diminution des valeurs à une moyenne de 47,8 mg/l, avec un maximal de 55 mg/l et un minimal de 40 mg/l. Ces résultats sont conformes aux garanties contractuelles, et le rendement d'élimination de (89%) indique une excellente efficacité de traitement (Figure 42).



**Figure 42: Concentration (DCO) à l'entrée et sortie de traitement secondaire II**

On observe à l'entrée une variation des valeurs de (DBO5) entre 168 mg/l et 326 mg/l, en moyenne la valeur est 232 mg/l. À la sortie de traitement secondaire II, la moyenne est 6,3 mg/l avec des valeurs : (maximale = 17 et minimale = 2). Ces valeurs, en relation avec les valeurs contractuelles indiquent que le traitement secondaire II est conforme.

Le rendement d'élimination atteint (97%), ce qui montre une performance élevée et garantit l'efficacité du traitement (Figure 43).



**Figure 43: Concentration (DBO5) à l'entrée et sortie de traitement secondaire II**

#### 4 Conclusion :

La station de traitement des eaux usées de Marrakech a été confrontée à des débits moyens durant le premier trimestre de l'année : février, mars et avril, de 31 8529 m<sup>3</sup>/j, 27 394 m<sup>3</sup>/j, 31 256 m<sup>3</sup>/j respectivement.

D'après les analyses précédentes, le traitement secondaire II est caractérisé par des valeurs conformes aux exigences contractuelles avec un rendement d'élimination excellent, démontrant une performance et une efficacité de traitement supérieures.

En général, les résultats obtenus par la STEP de Marrakech sont conformes aux normes marocaines, témoignant de son bon fonctionnement.

---

## *Conclusion générale*

---

Au fil du temps, Marrakech connaît une croissance démographique et un accroissement des investissements dans le secteur de l'eau, tels que la construction de terrains de golf. Cela entraîne une augmentation de la consommation d'eau, rendant la présence de la station d'épuration (STEP) essentielle pour la préservation des ressources hydriques. La station a enregistré des débits moyens de 31 852 m<sup>3</sup>/j en février, 27 394 m<sup>3</sup>/j en mars et 31 256 m<sup>3</sup>/j en avril, au cours du premier trimestre de l'année.

Pour atténuer l'impact des conditions climatiques entraînant de rares précipitations et une intense utilisation de l'eau dans divers secteurs résidentiels et économiques, la STEP a opté pour la réutilisation de l'eau traitée à des fins non potables, comme l'irrigation des golfs.

Dans ce travail, nous avons apporté notre contribution en évaluant l'efficacité du traitement secondaire II à travers l'analyse de certains paramètres tels que la DCO, les MES et la DBO<sub>5</sub>, effectuées en laboratoire durant les mois de février, mars et avril. L'objectif était de vérifier si les valeurs obtenues à la fin du traitement respectaient les valeurs contractuelles et les normes marocaines, garantissant ainsi une eau bien traitée, exempte de substances toxiques et prête à être réutilisée.

Les résultats de l'étude ont montré que les valeurs respectaient les normes de rejet à la sortie de la STEP, ce qui indique que le traitement était satisfaisant durant ces mois. En effet, la station de traitement des eaux usées de Marrakech se distingue par sa performance et son efficacité de traitement, grâce à des dispositifs d'épuration produisant des eaux conformes aux normes marocaines.

*Annexes :*

**Tableau 6: Les analyses d'entrée de traitement secondaire II**

Date	Février			Mars			Avril		
	DCO	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES
1	715	488	332	455	207	150	488	201	116
2	579	306	146	466	228	166	485	226	200
3	758	372	155	443	239	142	467	286	142
4	732	199	139	503	253	144	486	312	122
5	652	279	157	839	231	138	731	255	142
6	625	367	153	456	213	154	484	321	166
7	761	287	186	438	220	110	439	235	132
8	700	431	250	418	247	116	497	231	156
9	426	340	158	411	210	174	586	326	146
10				387	231	124	398	188	138
11	537	257	134	421	218	126	480	197	134
12	514	307	174	468	208	132	392	188	126
13	574	316	164	415	241	174	446	174	118
14	656	369	166	485	236	156	425	203	168
15	645	266	124	516	245	162	383	208	102
16	549	350	166	444	231	124	431	311	176
17	618	284	144	428	224	132	451	306	170
18	613	281	172	435	251	150	416	193	126
19	667	286	136	447	201	130	401	201	144
20	555	294	184	506	300	148	424	191	144
21	878	366	202	510	271	174	409	203	126
22	513	300	150	543	196	196	425	226	118
23	469	296	132	607	303	228	428	215	146
24	448	248	184	672	287	252	458	182	170
25	446	261	136	497	130	198	408	124	148
26	496	270	140	418	302	170	481	203	134
27	514	277	146	538	289	118	440	198	144
28	467	261	118	526	236	154	429	185	126
29	478	246	162	410	204	88	428	165	136
30				447	202	118	438	185	148
31				457	225	138			
<b>Moyenne</b>	592	307	165	484	235	151	454	232	142
<b>MAX</b>	878	488	332	839	303	252	731	326	200
<b>MIN</b>	426	199	118	387	130	88	383	168	102
<b>Rendement</b>	39,9%	46,4%	60,5%	53,7%	58,1%	62,4%	55,7%	56,8%	64,7%

**Tableau 7: Les analyses de sortie de traitement secondaire II**

Date	Février			Mars			Avril		
	DCO	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES
1	55,4	4,4	14,8	51,2	1,9	10	40,3	6,1	4,2
2	46,9	3,8	11,2	57,8	2,4	14,4	42	4,9	4,8
3	63,2	4,9	19,6	57,6	6,4	15,2	48,6	5,2	9,2
4	50,7	4,1	9,2	54,2	7,3	13,2	47	6,5	8,2
5	56,2	3,8	9,3	41,2	2,6	7,6	52,8	7,3	7,8
6	56,6	4,9	8,3	46,6	2,8	4,2	49,3	6	13,2
7	55,5	4,8	12	44,6	4,1	9,4	47,1	17	10,2
8	29	5,1	9,3	43,3	5,4	7,6	47,5	7,3	8,6
9	33,1	4,2	12	46,9	5,8	8,2	47,6	9,4	16,2
10				35,7	3,7	6	54,8	9,6	12,4
11	43,9	1,7	6,4	42,3	3,4	2,6	50,1	6,8	11,2
12	39,8	2,9	8,4	43,5	5	6,6	48,6	7	19,8
13	46,8	2,8	7,7	43,1	4,9	9,8	48,3	4,8	9,8
14	47,5	3,1	6,8	41,7	5,4	3,2	43	5,2	11,2
15	45,9	4,1	5,4	45,1	4,1	8	50,9	3,9	6,6
16	42,6	5,7	6	46,6	4,7	5,4	45,7	4,6	5,6
17	44,7	4,8	4,8	43,7	4,2	6	50,8	7	8,6
18	41,6	4,3	4,4	42	4,1	5,4	46,3	2,1	9,4
19	46,2	7,2	6,4	44,7	3	5	51,7	8,4	10,2
20	42,3	5,1	6,4	46,4	3,9	4,4	45,6	6,1	11
21	45,4	5,4	4,6	48,8	3,1	4,2	46,8	4,6	8,8
22	48,3	2,9	6	44,4	5,3	6	48,8	2,7	8,6
23	46,6	5,1	5,2	56,4	6,2	17	45,9	4,2	10
24	46	5,1	8,2	47,3	3,8	4,8	53,1	4	13
25	42,5	4,8	6,6	44,9	3,5	12,6	49,1	3,1	8,8
26	47,5	4,5	6,2	60,1	24	26	46	3,2	5,8
27	42,3	3,4	7	44,1	4,1	7	48,4	3,2	7,8
28	49	4	6,8	33,5	3,3	6	47,4	2,8	9,4
29	39,6	3,4	5,2	42,8	3,1	1,4	46,7	3,4	9,8
30				34,3	2,8	4,8	44,1	4,1	9,2
31				36,2	1,9	4,6			
<b>Moyenne</b>	46,3	4,3	8	45,5	4,7	8	47,8	6,3	9,6
<b>Max</b>	63	7	20	60	24	26	55	17	20
<b>Min</b>	29	2	4	34	2	1	40	2	4
<b>Rendement</b>	92%	99%	95%	90%	98%	95%	89%	97%	93%

### ***Bibliographie :***

**Alouah, M** (2017). Station d'épuration des eaux usées de Marrakech 15-34.

**Boukouta, A. & Boughdadi, S.** (2016). Performances du traitement tertiaire et problématique de la prolifération des algues dans les bassins golfiques de la ville de Marrakech. Rapport LST EE, FST, Uni Cadi Ayyad.

**Bounasser, S & Ait abdelouahed, S.** (2018). L'étude de la performance de la gestion anaérobie dans la station de traitement des eaux usées de Marrakech. Rapport LST EE, FST, Uni Cadi Ayyad.

**Dahou, A. & Hasnaoui, T,** (2021). Les analyses physico-chimiques des eaux naturelles, turbidité 8-21.

**Nemli, S** (2023). La RADEEMA fait le point sur la STEP.

**STEP.** (2023). Travaux d'extension de la capacité de traitement et exploitation de la STEP des eaux usées de la ville de Marrakech. Note process de la STEP :

**STEP.** (2024). Rapport mensuel du mois de février 2024 de la station de traitement des eaux usées de la ville de Marrakech.

**STEP.** (2024). Rapport mensuel du mois de mars 2024 de la station de traitement des eaux usées de la ville de Marrakech.

**STEP.** (2024). Rapport mensuel du mois d'avril 2024 de la station de traitement des eaux usées de la ville de Marrakech.

Valeurs Limites de Rejet à respecter par les déversements, Normes de pollution (2014) 14-25.

### ***Webographie :***

<https://aujourd'hui.ma/economie/pour-preserver-la-qualite-de-ses-eaux-actions-pour-la-depollution-industrielle-a-marrakech>

<https://faolex.fao.org/docs/pdf/mor61537.pdf>

<https://fr.slideshare.net/slideshow/433valeurslimitesderejetpdf/257882743>

<https://www.franceenvironnement.com/sous-rubrique/preleveur-automatique-d-effluents>

<https://biorock.fr/blogs/2021/8/methodes-traitement-eaux-usees#:~:text=Chez%20BIOROCK%2C%20tous%20nos%20produits,de%20toutes%20les%20microparticules%20polluantes.>