



Université Cadi Ayyad Faculté des Sciences et Techniques
Marrakech



Département des Sciences de la Terre

Mémoire de projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de Licence Sciences et Techniques : EAU ET ENVIRONNEMENT.

Option exploration et exploitation des ressources en eau

Effet du chlore sur l'irrigation des pelouses vertes des golfs de Marrakech, Maroc

Réalisées Par :

AIT OMAR Noura- BENGUIRA Ihssane

Encadrées par : Mme. BENAZOUZ Karima : responsable de laboratoire de contrôle de qualité RADEEMA Marrakech

Mr. BENKADDOUR Abdelfattah FST Marrakech

Examineur : Mr. IGMOULLAN Brahim FST Marrakech

Année universitaire 2020-2021



Résumé

La chloration est une méthode de désinfection largement répandue dans le traitement des eaux. Ce traitement vise à éliminer les micro-organismes pathogènes, bactérie, virus et parasites ainsi que la majorité des germes banals moins résistants. En effet, la chloration demeure le procédé le plus utilisé en Maroc à cause de son efficacité, sa simplicité de la mise en œuvre et de son effet rémanent. Le but de notre étude est d'étudier la chloration des eaux usées traitées destinées à l'irrigation des golfs de la ville de Marrakech en déterminant les demandes en chlore de ces eaux.

Les résultats de ce travail ont montré que la chloration est mal pratiquée dans la 3^{ème} station de pompage. Dans ce cadre, nous avons fait un suivi de la qualité des eaux traitées dans cette station. Afin de trouver une solution on a proposé d'installer un chloromètre pour contrôler la concentration du chlore.

Dédicaces

Nous dédions ce travail, comme prévu de respect, de gratitude, et de reconnaissance à :

Nos parents, nos frères avec tous nos sentiments de respect, d'amour, de gratitude et de reconnaissance pour tous les sacrifices déployés pour nous élever dignement et assurer notre éducation dans les meilleures conditions de travail.

Nos meilleures amies, pour leurs aides, leurs temps, leurs encouragements, leurs assistantes et soutien.

Merci pour nous avoir toujours supporté dans nos décisions.

Merci pour tout votre amour et votre confiance, pour votre énorme support. Nous vous aimons beaucoup.

NOURA et IHSSANE

REMERCIEMENT

Au terme de ce travail, qui a été réalisé au sein de la Station de Traitement d'Eau Polluée (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. **BENKADDOUR**, professeur à la FST de Marrakech et madame **BENNAZOUZ** responsable de laboratoire de contrôle de qualité pour leurs conseils et renseignements, pour leurs disponibilités et pour avoir acceptées de nous encadrer.

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

Liste des abréviations :

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

STEP : Station de Traitement des Eaux Polluées

UV : Ultra-Violet

DCO : Demande Chimique en Oxygène

NGL : L'azote global

MES : Matière En Suspension

Ag : Argent

FAB : Filtre A Bande

MO : Matière Organique

Liste des figures et tableau :

Figure 1 : Agence de la RADEEM (image, google)	11
Figure 2 : Schéma de l'historique de la RADEEMA	13
Figure 3 : Carte des agences de la RADEEMA (image, google)	14
Figure 4 : Organigramme de la RADEEMA	15
.....	17
Figure 5 : Vue général de la STEP (image, google)	17
Figure 6 : Chaîne de traitement des boues (image, google)	20
Figure 7 : Coupe longitudinale d'un digesteur anaérobie (image, google)	21
Figure 8 : Désulfuriseur de la STEP (image, google)	22
Figure 9 : Stockeur de gaz de la STEP de Marrakech (gazomètre) (image. Google)	23
Figure 10 : Deux Co générateurs (image, google)	23
Figure 11 : Torchères de la STEP de Marrakech (image, google)	23
Figure 12 : Grille de qualité des eaux destinée à l'irrigation	26
Figure 13 : Les différentes formes du chlore selon le pH de l'eau chlorée (Saint, 2011)	32
Figure 14 : Détermination du point de rupture ou point de convertir (site web)	34
.....	36
Photo 1 : Spectrophotomètre	Photo 2 : Kits DCO
Photos 3 représentant les matériaux utilisés : a) Balance, b) Filtrateur, c) Membrane filtrante
.....	37
Photo 4 : Expérience d'ajout du chlore de différente concentration à une série de flacons chacune 100ml d'eau	40
Photo 5 : Teste du chlore résiduel	41
Figure 15 : Evolution de la concentration du chlore résiduel en fonction de la dose de chlore ajouté	41
Figure 16 : Evolution de la concentration du chlore résiduel en fonction de la dose de chlore ajouté	42
Figure 17 : Evolution de la concentration du chlore résiduel en fonction de la dose de chlore ajouté	42
Photo 6 : Analyse bactériologique des eaux des trois stations avant la chloration	44
Photo 7 : Analyse bactériologique après la chloration	45
Photo 8 : Aspect visuel des échantillons de sol et de pelouses étudiés avant expérimentation .	46
Photo 9 : Marbrures nécrotiques marginales de couleur jaune commencé à propager sur le gazon étudié	47
Photo 10 : Aspect visuel des deux échantillons endommagés après traitement a 0,4 et 0,3mg/L du chlore résiduel	47
Photo 11: Aspet visuel des deux échantillons qui n'ont pas été affecter après traitement	48
Tableau 1: Normes du rejet dans les eaux superficielles ou souterraines (Bulletin officiel, 2013)	
Tableau 2 : Analyses physicochimiques des eaux des quatre stations de pompage étudiées	39

Sommaire :

Résumé.....	2
Introduction	9
Partie 1 : Cadre général de la STEP	10
I. PRESENTATION DE L'ORGANISME D'ACCEUIL :	11
1. Introduction :.....	11
2. Historique :	12
3. Mission et actions de la RADEEMA :	13
4. Organisation de la RADEEMA :	14
5. Assainissement :	15
5.1 À l'échelle nationale :	15
5.2 L'échelle de Marrakech :	16
II. Présentation de STEP :	17
1. Choix du site :	17
2. Différents composant de Step :	17
3. Objectif de la station d'épuration :	18
III. Présentation du fonctionnement de la Step :	18
1. Le traitement des eaux usées :	18
1.1. Prétraitement :	18
1.2. Traitement primaire :	19
1.3. Traitement secondaire :	19
1.4. Traitement tertiaire :	19
2. Traitement des boues :	20
2.1. Etape de traitement :	20
2.2. Epaissement :	20
2.3. Digesteurs :	21
2.4. Stockage de boue :	22
2.5. Déshydratation :	22
3. Traitement de biogaz :	22
3.1. Désulfuration :	22
3.2. Gazomètre :	22
3.3. Cogénération et chaudière :	23
3.4. Torchère :	23

IV. Normes marocaines sur l'eau :	24
1. Normes du rejet dans les eaux superficielles ou souterraines :	24
2. Normes marocaines d'irrigation :	25
Partie 2 : Effets du chlore sur irrigation des pelouses vertes	27
I. Problématique étudiée et les raisons du choix de sujet :	28
II. Généralité sur la désinfection :	28
1. Définition :	28
2. Principes généraux de la désinfection :	29
3. Norme de désinfection :	29
4. Principaux types de la désinfection :	29
III. DESINFÉCTION PAR LE CHLORE :	30
1. Propriétés physiques du chlore :	30
2. Les produits utilisés pour la désinfection par le chlore :	30
3. Aspet chimique de la chloration :	31
3.1. Réaction de chlore dans l'eau :	31
3.2. Réaction du chlore avec les substances chimiques présent dans le chlore :	32
IV. Demande en chlore :	33
4. Présentation de laboratoire de contrôle de la RADEEMA :	34
V. Paramètres de pollution des eaux usées :	35
1. Demande chimique en oxygène :	35
2. Matière en suspension :	36
Photos 3 représentant les matériaux utilisés : a) Balance, b) Filtrateur, c)	
Membrane filtrante	37
3. Paramètre physico-chimique étudiés :	37
4. Analyse bactériologique :	38
VI. La chloration :	38
1. Procédure expérimentale :	39
1.1. Préparation de la solution du chlore ;	39
1.2. La demande en chlore :	40
2. Discussion et interprétation :	43
2.1. Analyse bactériologique :	43
2.2. L'effet du chlore sur l'irrigation de pelouses vertes :	45
Conclusion et perspective	49

Introduction

Depuis plus de 40 ans la Régie Autonome de Distribution d'Eau et d'Electricité de Marrakech (RADEEMA) assure la distribution d'eau et d'électricité de la ville de Marrakech. En 1998, la régie a pris en charge la gestion de l'assainissement liquide de la ville. Les investissements de la RADEEMA ont permis la réalisation de grands ouvrages permettant aujourd'hui le traitement de près de 40 millions de mètres cubes d'eau usées par an.

Le déversement des eaux usées présente des risques majeurs pour les ressources en eau de la région, grands défis contemporains le traitement de ces eaux est garant de la préservation de notre environnement pour ceux et afin de remplir ces missions comme principal acteur dans le processus de développement propre et durable la RADEEMA s'est lancée dans un programme de sauvegarde des ressources en eau et de l'environnement à travers la réalisation d'une station de traitement des eaux usées dans la région El Aazouzia sur la route de Safi, sur une superficie de 17 hectares. La Station de Traitement des Eaux Polluées (STEP) de Marrakech traite la quasi-totalité des eaux usées de la ville soit $100000\text{m}^3/\text{j}$ cubes par jour. Le procédé de traitement adopté est celui des boues activées.

Les eaux usées traitées par la STEP de Marrakech sont distribuées par des stations de pompages pour servir à l'irrigation des pelouses vertes et des complexes golfiques de la ville. Ces eaux traitées sont riches en fertilisants dont les pelouse sont besoins. Cependant, ces eaux doivent répondre à plusieurs normes de qualité. Afin de répondre à aux normes bactériologiques, parmi ces normes la qualité bactériologique assurée par une désinfection UV et chloration, mais une concentration élevée de chlore peut engendrer des blessures aux gazons, les eaux sont traitées aux rayons ultraviolets et au chlore.

Ce présent travail porte sur l'étude de l'impact du chlore sur l'irrigation des pelouses vertes irriguées par les eaux usées traitées. Cette étude est basée sur :

- La détermination de des concentrations du Chlore au niveau de la sortie de la station de traitement et des stations de pompage ;
- La détermination des taux de contamination en germes fécaux ;
- La proposition de solutions pour désinfecter les eaux de station de pompage avec des taux raisonnables en chlore et sans endommager le gazon (en déterminant la concentration de Chlore à ajouter dans les stations de pompage).

Partie 1 :
Cadre général de la STEP

I. PRESENTATION DE L'ORGANISME D'ACCEUIL :

Cette partie va aborder une présentation globale de l'organisme d'accueil et une présentation spécifique du département Exploitation Eau.

1. Introduction :

La **RADEEMA** ou régie autonome de distribution de l'eau, d'électricité, a été créée Le premier janvier 1971. 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.

La Régie est chargée d'assurer à l'intérieur du périmètre urbain et des zones limitrophes de la ville, le service public de distribution d'Eau et d'électricité, et d'assainissement liquide. Pour le service assainissement, après la prise en charge de la gestion de ce service en 1998, La RADEEMA a déployé des efforts considérables pour la mise à niveau de ce secteur visant la généralisation du service sur le territoire de desserte, l'amélioration des conditions sanitaires et le respect de l'environnement.



Figure 1 : Agence de la RADEEM (image, Google)

Dix années après, la RADEEMA s'est lancée dans une nouvelle expérience, il s'agit du traitement complet et de la réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation des espaces verts.

Ce projet dont les travaux sont réalisés, s'inscrit dans la stratégie de la gestion intégrée des ressources en eau et permet de mobiliser une ressource alternative et renouvelable pour l'irrigation des espaces verts notamment des golfs par les eaux usées épurées, Contribuant ainsi au développement urbanistique et touristique de la cité ocre et ses environs.

En perspective, la régie continuera son programme d'assainissement liquide en renforçant son réseau et en s'équipant d'une nouvelle station d'épuration et d'étendre le réseau de réutilisation.

2. Historique :

La société d'Electricité 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 par suite des délibérations du conseil communal de la ville de Marrakech, il a été décidé de créer à partir du premier janvier 1971, la Régie Autonome de Distribution d'Eau et d'Electricité de Marrakech, dénommée RADEEMA 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.

Le 30 décembre 2008, La RADEEMA s'est lancée dans une nouvelle expérience traitement complet et de la réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation des espaces verts.

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.

L'historique de la RADEEMA peut se présenter comme suit :

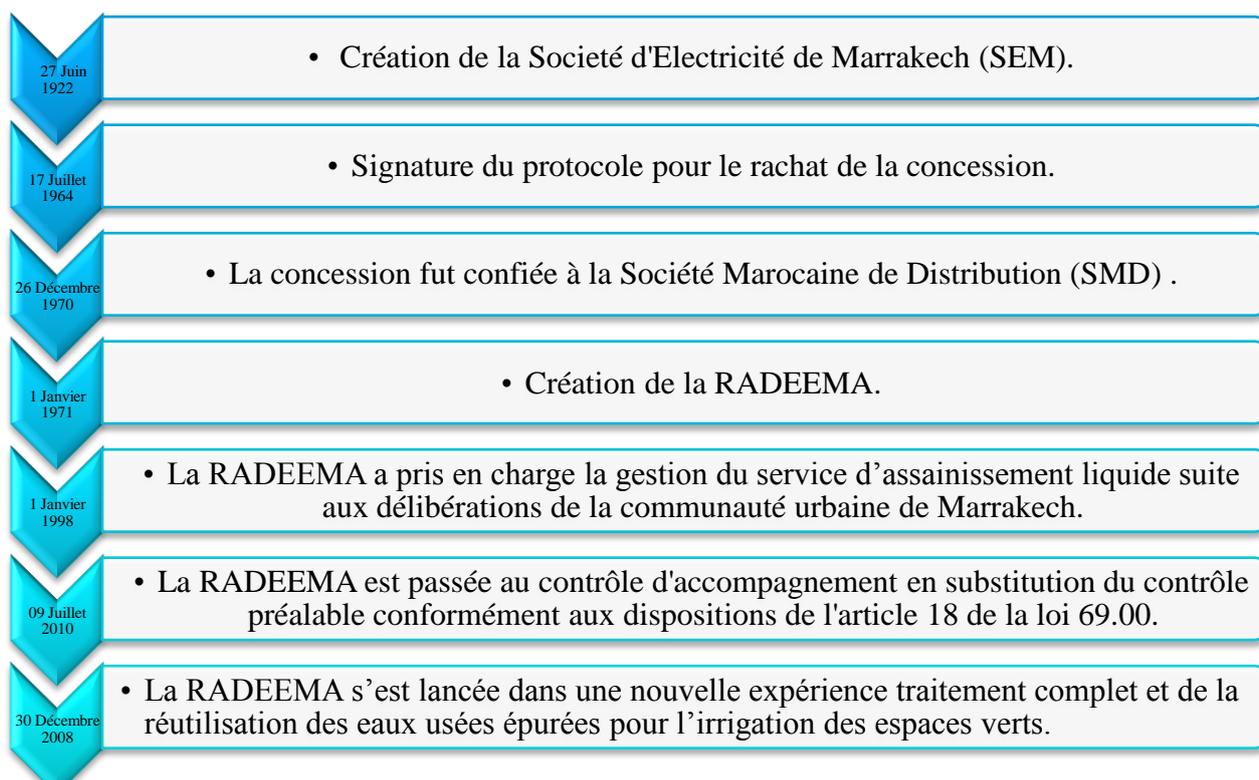


Figure 2 : Schéma de l'historique de la RADEEMA

3. Mission et actions de la RADEEMA :

La mission de la RADEEMA et sa préoccupation majeure est d'accompagner le développement important que connaît la ville de Marrakech, assurer la distribution en eau, électricité et la gestion de service assainissement liquide et la gestion des services rendus à la clientèle.

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

La RADEEMA compte maintenant treize agences distribuées sur l'ensemble de la ville de Marrakech représentées dans la figure ci-dessous et une agence virtuelle.



Figure 3 : Carte des agences de la RADEEMA (image, Google)

4. Organisation de la RADEEMA :

L'organisation générale de la Régie est articulée autour de quatre directions et quatre départements rattachés directement à la direction générale.

Ci-joint l'organigramme de l'organisation de la RADEEMA :

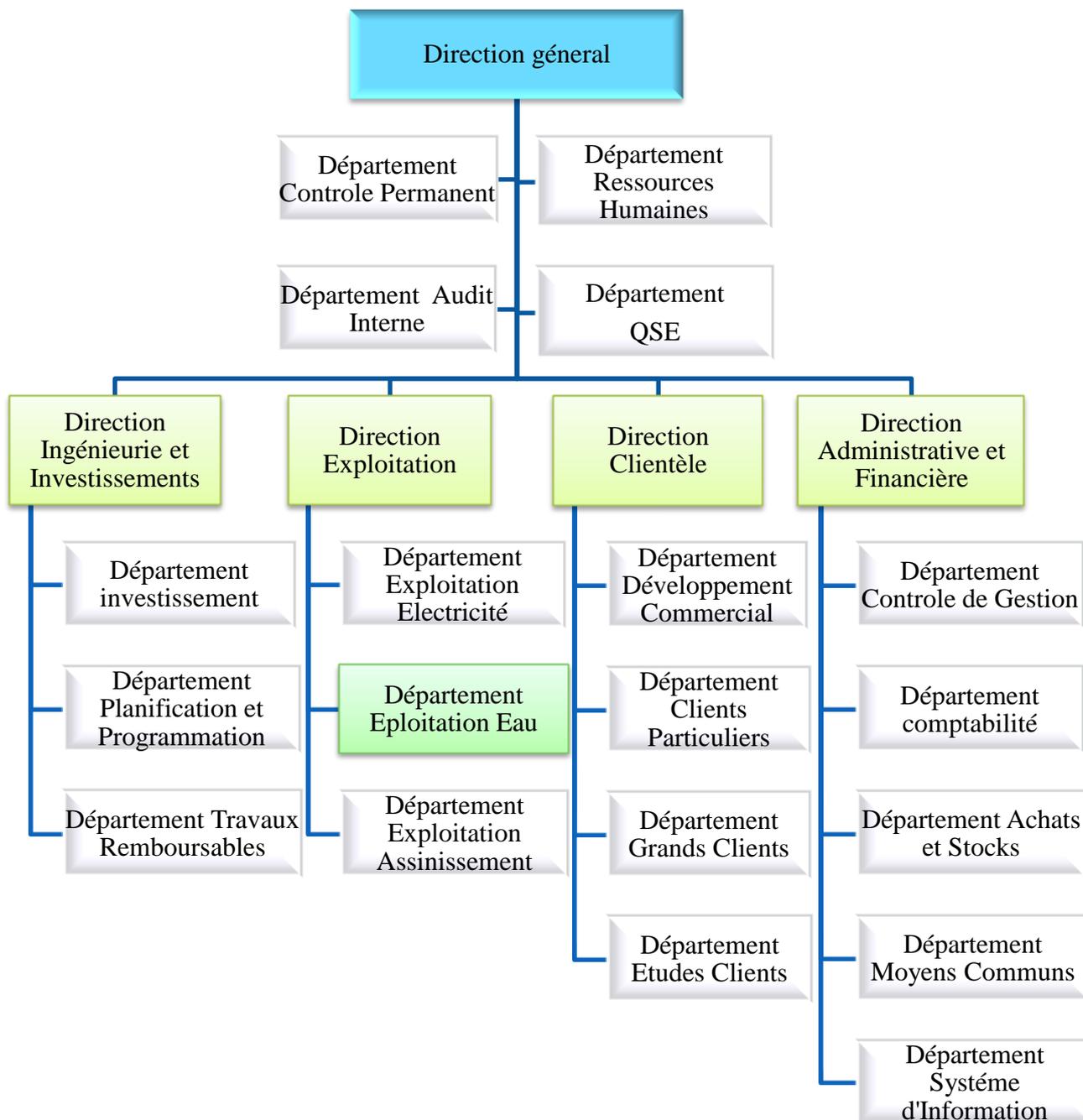


Figure 4 : Organigramme de la RADEEMA

5. Assainissement :

L'assainissement est une démarche visant à améliorer la situation sanitaire globale de l'environnement dans ses différents composants. Il comprend la collecte, le traitement et l'évacuation des déchets liquides, des déchets solides et des excréments.

5.1 À l'échelle nationale :

5.1.1. Problèmes d'assainissement dans le domaine urbain :

Au Maroc, la pénurie des ressources en eau est aggravée par la détérioration de leur qualité sous l'effet des rejets polluants liquides. Tandis que les écosystèmes naturels sont menacés par les inondations et l'érosion des sols. Les problèmes d'assainissement liquide et pluvial affectent, en premier lieu, l'environnement urbain où la population des quartiers pauvres les supporte plutôt mieux que le manque d'eau potable. Cependant, ces problèmes donnent un mauvais cachet aux villes où les règles d'urbanisme ne sont pas respectées. Généralement, il n'y a pas de correspondance entre le développement de l'habitat et l'expansion de l'infrastructure d'assainissement liquide et pluvial.

5.2.1. Problèmes d'assainissement dans le domaine rural :

A travers son programme de Généralisation de l'Eau Potable, le Maroc réalise actuellement d'importants efforts pour augmenter les services d'eau potable dans le secteur rural. Ces efforts visent cependant en priorité à fournir l'accès à l'eau potable, laissant la question de l'assainissement en suspens. L'histoire récente de l'assainissement au Maroc est marquée par une approche abordant en priorité les problèmes posés par l'assainissement *urbain*. Si elle peut s'expliquer sans peine par la quantité des eaux usées produites et leur impact, cette approche a cependant marginalisé la question de l'assainissement en milieu rural, en particulier dans les douars.

5.3.1. Efforts du royaume dans le domaine d'assainissement :

Le Royaume du Maroc a engagé depuis 10 ans un ambitieux programme national d'assainissement (PNA) qui vise à l'améliorer la qualité de vie des citoyens marocains et à protéger l'environnement. Dans le contexte de stress hydrique que connaît le pays, ce programme constitue également une composante importante de la stratégie nationale d'adaptation aux changements climatiques. D'importants progrès ont déjà été obtenus depuis le lancement de ce programme : le taux de raccordement des citadins atteint désormais 73 % et le taux d'épuration 36 %, alors qu'il n'était que 8 % il y a 10 ans. Mais les efforts doivent encore être accrus pour atteindre les objectifs fixés pour 2020 : un taux de raccordement de 80 % et un taux d'épuration de 60 %.

5.2. L'échelle de Marrakech :

La ville de Marrakech est dotée d'un réseau d'assainissement collectif de deux types : Unitaires et pseudo-séparatifs. Le mode pseudo-séparatif est adopté dans la zone industrielle, sidi Ghanemme, la zone M'Hamid et les zones équipées après 1998. Le taux de raccordement unitaires de la population au réseau d'assainissement en 2006 est de 86%. Le linéaire total du réseau d'assainissement existant en 2006 s'élève à environ **1494 km** de diamètre variant de 200 mm à 2000

mm pour les sections circulaires. Actuellement le réseau d'assainissement est de 2750 km de longueur (RADEEMA, 2016).

II. Présentation de STEP :

1. Choix du site :

Le choix du site est justifié, 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 examinée pour l'éjection des déchets du traitement, à savoir, les boues déshydratées, le sable et les refus de grilles, aussi lié à la proche du oued TANSIFT pour l'évacuation de l'eau, et d'une manière parallèle à la direction du vent afin que les odeurs émises par les eaux au cours du traitement afin de ne pas causer de dommages aux habitants.

2. Différents composant de STEP :



Figure5 : Vue général de la STEP (image, Google)

1. Gazomètre
2. Digesteurs
3. Bassins de boues activées
4. Clarificateur
5. Décanteurs primaires

3. Objectif de la station d'épuration :

- Adoucir les ressources en eau potable.
- Affirmer un bon développement de la culture vue la qualité chimique des eaux
- Protection des nappes souterraines du danger de contamination par les constituants d'une eau usée non traitée.
- L'épuration des eaux usées sur plusieurs niveaux avant de les rejeter en milieu naturel, notamment oued Tensift engendre une protection de toutes les composantes de l'environnement à savoir : l'eau, la biomasse, la terre et l'air.
- Exclusion des nuisances olfactives.
- La Protection des ressources contre la pollution.

III. Présentation du fonctionnement de la STEP :

1. Le traitement des eaux usées :

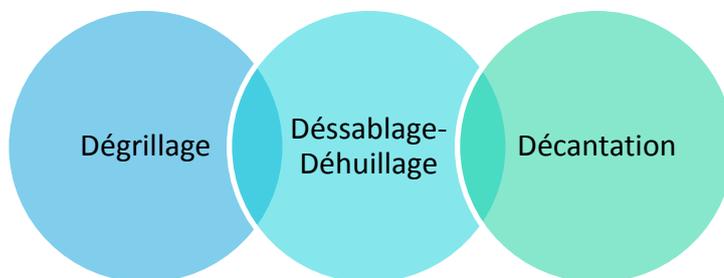
On distingue trois familles d'eaux usées :

- Les eaux domestiques ;
- Les eaux industrielles ;
- Les eaux pluviales et ruissèlement.

On estime que les eaux usées industrielles représentent plus de 10% de la charge totale. Cependant, l'absence de maîtrise parfaite des émissions industrielles, et l'absence de traitement particulier de ces émissions avant leur entrée dans le réseau d'assainissement, peuvent perturber le fonctionnement de la station, notamment dans la deuxième étape qui inclut le traitement biologique.

1.1. Prétraitement :

Cette phase comprend trois étapes :



Fosse à bâtard pour éliminer les déchets solides volumineux, les eaux usées sont collectés par le réseau d'égouts et acheminés en tête de station, les eaux sont ensuite débarrassée des déchets les plus volumineux dans la fosse à bâtards puis subissent un dégrillage grossier à 200 mm cette étape consiste à retenir à travers deux lignes successives de quatre grilles chacune, les éléments supérieur

à 100 mm pour la première et 10 mm pour la deuxième, vient ensuite le dessablage qui permet par décantation de retirer le sable mélangé dans les eaux par ruissellement qui ont amené par l'érosion des canalisations. Les eaux usées sont débarrassées du sable qui contiennent dans deux bassins ayant chacun un volume utile de 600 mètres cubes, le sable tombe au fond du bassin par simple gravité dans le même temps le déshuilage est basé sur l'injection de fines bulles d'air dans le bassin ce qui permet de faire remonter rapidement les graisses en surface, leur élimination se fait ensuite par raclage de la surface.

1.2. Traitement primaire :

Son but est d'éliminer les particules de densité supérieure à l'eau sous l'action de la gravité. La vitesse de décantation est fonction de la vitesse de chute des particules, et la vitesse de chute elle-même est fonction de divers autres paramètres, notamment : la taille et la densité des particules. L'eau est laissée dans trois bassins de décantation d'un volume total de 12 000 mètres cubes pendant deux heures et demie. Les matières en suspension au fond du bassin constituent des boues et sont rejetées dans le système de traitement des boues.

1.3. Traitement secondaire :

Cette étape comprend un traitement biologique réalisé dans quatre bassins d'aération ouverts d'un volume total de 75 000 mètres cubes, dans lesquels de l'air est injecté à travers le diffuseur d'air fourni par le compresseur. Ce traitement est basé sur l'activité des bactéries, ces dernières matières organiques qui existent encore dans l'eau. La fonction de ces bactéries est de transformer naturellement la pollution organique et d'éliminer le carbone, l'azote et le phosphore contenus dans les eaux usées. Vers neuf heures et demie, l'eau est laissée et épuisée dans quatre réservoirs circulaires de clarification par gravité d'un volume effectif total de 40 000 mètres cubes, où l'eau et le biote sont séparés par le processus de sédimentation naturelle, et l'eau claire s'écoule par le trop-plein fente de déchargement. La station de Marrakech utilise deux procédés pour éliminer l'azote : la nitrification et la dénitrification.

1.4. Traitement tertiaire :

Compte tenu des surcoûts de traitement repose sur la coagulation, la floculation puis la filtration sur des lits de sables puis la désinfection UV.

▪ Filtration sur sable :

- Coagulation : Chlorure Ferrique
- Floculation : Polymère anionique
- Filtration rapide : 20 filtres à sable
- Surface Unitaire : 27,5 m²
- Désinfection UV et au chlore

- Désinfection UV : 2
- 256 Lampes – 250W/lampe
- Dose : 40mJ/cm²
- 2 Canaux - 2 bancs / Canal
- Chloration d'appoint
- 2 rampes d'injection
- 16 tanks Cl gazeux (800l/tank)
- Dose : 5 mg/l

2. Traitement des boues :

2.1. Etape de traitement :

Les boues organiques obtenus des traitements primaires et secondaires cachent un potentiel très précieux. Elles sont d'abord épaissies et ensuite digérées et décomposées par les bactéries à l'intérieur de 4 digesteurs, dans un environnement anaérobie favorisant la dégradation des matières organiques et la production de biogaz.

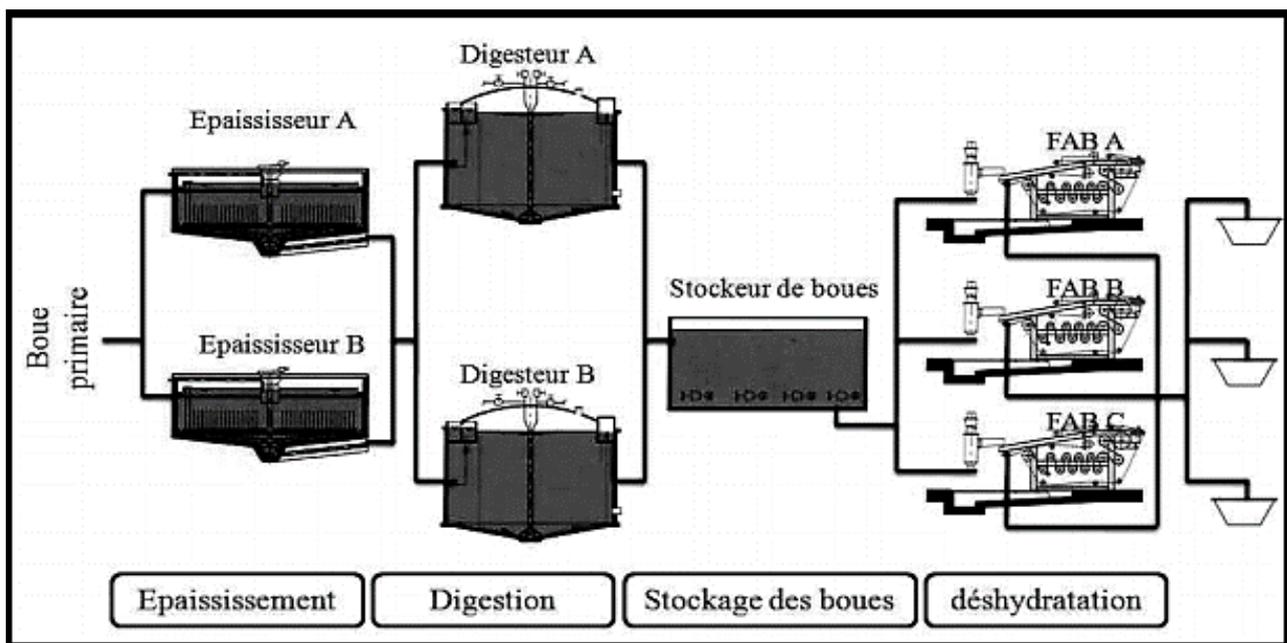


Figure 6 : Chaîne de traitement des boues(image, google)

2.2. Epaississement :

Le but de cette étape est de réduire la quantité d'eau pour réduire la quantité des boues. Il existe deux types d'épaississement :

- Epaississement gravitaire : simple sédimentation dans un bassin généralement de la boue primaire.

- Épaississement dynamique : obtenu par des moyens physiques tels que la centrifugation (Flottation). Utilisé pour les boues secondaires, vous permettant d'obtenir de meilleurs taux d'intérêt d'épaississement mais nécessite plus d'électricité et une éventuelle consommation de flocculant.

2.3. Digesteurs :

La méthanation ou digestion anaérobie est le processus naturel par lequel les bactéries méthanogènes transforment la matière organique. Les boues riches en MO sont introduites dans une enceinte fermée appelée digesteur, où la réaction de fermentation est optimisée et contrôlée, où elles restent 3 à 4 semaines. Le digesteur est maintenu à 37°C (ou 55°C) et agité pour maintenir des conditions favorables au développement de micro-organismes. La matière organique de nombreux déchets ou sous-produits biodégradables se réduit quasiment de moitié. Plusieurs populations bactériennes se développent et transforment les composés organiques complexes formés de longue chaîne hydrocarbonée en molécules simples à un seul carbone tels que le méthane (CH₄) et dioxyde de carbone (CO₂). En fait, Le biogaz produit est composé majoritairement de méthane et h₂S qui est toxique.

Chaque digesteur est caractérisé par :

- Volume unitaire : 6000 m³.
- Volume total : 12000 m³.
- Diamètre : 24 m.
- Hauteur cylindrique : 12,25 m.

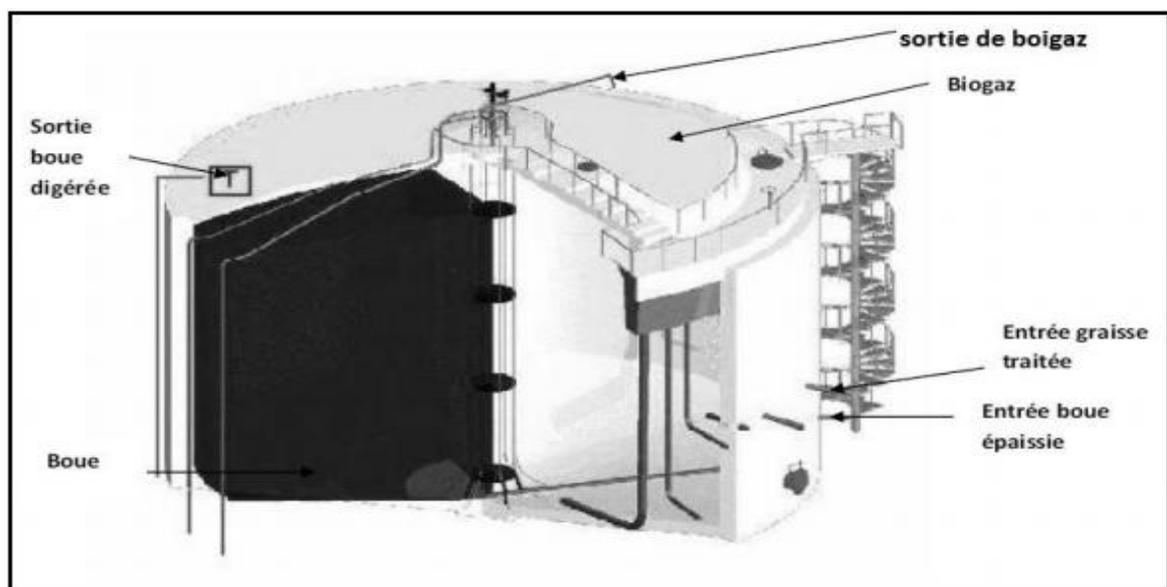


Figure 7 : Coupe longitudinale d'un digesteur anaérobie (image, google)

2.4. Stockage de boue :

Les boues digérées sont stockées dans une bache qui présente l'intérêt d'établir un tampon vis-à-vis de l'unité de déshydratation des boues qui ne fonctionne que les jours ouvrés contrairement à la digestion fonctionnant en continu. Le volume de la bache, de 1800 m³ correspond à 2 jours de stockage et permet de gérer le fonctionnement de la déshydratation 6 jours sur 7.

2.5. Déshydratation :

Les boues digérées sont envoyées du stockeur de boues vers la déshydratation. Cette opération est effectuée sur des filtres à bandes. Ces FAB sont alimentés par des pompes situées dans un local à côté du stockeur.

3. Traitement de biogaz :

3.1. Désulfuration :

Son but est élimination du H₂S.



Figure8 : Désulfuriseur de la STEP (image, google)

3.2. Gazomètre :

Le gazomètre est un ouvrage de stockage de biogaz épuré dans le cas où il y a un excès de production de biogaz et un déficit de consommation de ce biogaz par la cogénération. Ce gazomètre membranaire est caractérisé par une hauteur de 13 m. et un volume de 2000 m³.



Figure9 : Stockeur de gaz de la STEP de Marrakech (gazomètre) (image. Google)

3.3. Cogénération et chaudière :

Après désulfuration, le biogaz épuré envoyé vers la cogénération pour le transformer en énergie électriques et énergie thermique (chaleur). Les Co générateurs sont de nombre 4 et dont la puissance est de 800 KW chacun 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 50 % de l'électricité utilisée au niveau de la STEP.



Figure 10 :Deux Co générateurs (image, google)

3.4. Torchère :

Lorsqu'on a un excès de biogaz épuré dans le gazomètre, il est brûlé au niveau de cette torchère dont la capacité est de 600 Nm³ /h.



Figure 11 : Torchères de la STEP de Marrakech (image, Google)

IV. Normes marocaines sur l'eau :

1. Normes du rejet dans les eaux superficielles ou souterraines :

Tableau annexé à 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 1er hijra 1434 (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 Kjeldahl (mg N/l)	40
Phosphor total (mg P/l)	2
DCO (mg O2/l)	120
DBO5 (mg O2/l)	40
Chlore actif (Cl2) (mg/l)	1
Dioxyde de chlore (ClO2) (mg/l)	0.05
Aluminium (Al) (mg/l)	10
Détergents (anionique, cationique et ionique) (mg/l)	2
S/cm) µConductivité électrique (2700
Salmonelles/5000 ml	Absence
Vibrions cholériques/5000 ml	Absence
Cyanures libres (CN'') (mg/l)	0.1
Sulfates (S042') mg/l	500
Sulfures libres (S2) (mg/l)	0.5
Fluorures (F*) (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)	0.05
Arsenic (As) (mg/l)	0.05
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 (Cr6+) (mg/l)	0.1
Etamin 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

Tableau1 : Normes du rejet dans les eaux superficielles ou souterraines (Bulletin officiel, 2013)

2. Normes marocaines d'irrigation :

Au Maroc, l'agriculture représente le plus gros consommateur des ressources en eau. Ces ressources, suivant les régions dont elles proviennent, et leur contact éventuel avec des sources de pollution ont des caractéristiques très diversifiées. De plus, vu la diminution des apports en eau constatée depuis plusieurs décennies, les agriculteurs, notamment dans les régions continentales, s'intéressent à l'utilisation des eaux usées. C'est ainsi que des normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation ont été établies afin de :

- Protéger le public et les ouvriers agricoles ;
- Protéger les consommateurs des produits agricoles ;
- Protéger les ressources en eau superficielle et souterraine et les sols ;
- Protéger le matériel d'irrigation ;
- Maintenir des rendements acceptables

Paramètres		Valeurs limites
PARAMETRES BACTERIOLOGIQUES		
1	Coliformes fécaux	1000/100 ml*
2	Salmonelle	Absence dans 5 l
3	Vibron Cholérique	Absence dans 450 ml
PARAMETRES PARASITOLOGIQUES		
4	Parasites pathogènes	Absence
5	Œufs, Kystes de parasites	Absence
6	Larves d'Ankylostomides	Absence
7	Fluococercaires de Schistosoma hoematobium	Absence
PARAMETRES TOXIQUES (1)		
8	Mercure (Hg) en mg/l	0,001
9	Cadmium (Cd) en mg/l	0,01
10	Arsenic (As) en mg/l	0,1
11	Chrome total (Cr) en mg/l	1
12	Plomb (Pb) en mg/l	5
13	Cuivre (Cu) en mg/l	2
14	Zinc (Zn) en mg/l	2
15	Sélénium (Se) en mg/l	0,02
16	Fluor (F) en mg/l	1
17	Cyanures (CN) en mg/l	1
18	Phénols en mg/l	3
19	Aluminium (Al) en mg/l	5
20	Béryllium (Be) en mg/l	0,1
21	Cobalt (Co) en mg/l	0,5
22	Fer (Fe) en mg/l	5

22	Fer (Fe) en mg/l	5
23	Lithium (Li) en mg/l	2,5
24	Manganèse (Mn) en mg/l	0,2
25	Molybdène (Mo) en mg/l	0,01
26	Nickel (Ni) en mg/l	2
27	Vanadium (V) en mg/l	0,1

PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES
Salinité

28	Salinité totale (STD) en mg/l	7680
	Conductivité électrique (CE) en mS/cm à 25°C**	12
29	Infiltration	
	Le SAR*** = 0-3 et CE =	<0,2
	Le SAR*** = 3-6 et CE =	<0,3
	Le SAR*** = 6-12 et CE =	<0,5
	Le SAR*** = 12-20 et CE =	<1,3
	Le SAR*** = 20-40 et CE =	<3

Ions toxiques (affectant les cultures sensibles)

30	Sodium (Na) en mg/l	
	Irrigation en surface (SAR****)	69
	Irrigation par aspersion	9
31	Chlorure (Cl) en mg/l	
	Irrigation en surface	350
	Irrigation par aspersion	15
32	Bore (B) en mg/l	3

Effets divers (affectant les cultures sensibles)

33	Température (°C)	35
34	pH	6,5 à 8,4
35	Matières en suspension en mg/l	
	Irrigation gravitaire	200
	Irrigation par aspersion localisée	100
36	Azote nitrique (N-NO ₃ -) en mg/l	30
37	Bicarbonate (HCO ₃ -) [irrigation par aspersion] en mg/l	518
38	Sulfates (SO ₄ 2-) en mg/l	250

*1000 CF/100 ml pour les cultures consommées crues. **à partir d'une conductivité électrique de m mS/cm, une eau nécessite des restrictions sévères pour l'irrigation, mais des rendements de 50% du rendement potentiel peuvent être réalisés avec des eaux de 8,7 mS/cm (cas de l'orge). ***SAR = Sodium Absorption Ratio (coefficient d'absorption du sodium). (1) contrôlés uniquement lorsque l'eau concernée est susceptible d'être atteinte par une eau usée.

Figure 12 : Grille de qualité des eaux destinée à l'irrigation

Partie 2 :
Effets du chlore sur irrigation des pelouses
vertes

I. Problématique étudiée et les raisons du choix de sujet :

Les besoins en eau augmentent avec l'accroissement de la population. Réutiliser de l'eau usée traitée offre une sécurité et une régularité dans l'approvisionnement en eau pour le secteur agricole et peut aussi contribuer à réduire les compétitions entre les différents usages : agriculture, eau potable, structures de loisirs, nettoyage... Rappelons qu'il s'agit d'une ressource de qualité, tant sur le plan agronomique (présence de nombreux nutriments) que sanitaire en raison du traitement poussé imposé par la réglementation. Il n'est d'ailleurs pas rare que l'eau usée traitée soit de meilleure qualité que des eaux de surface prélevées pour l'irrigation. Enfin, c'est une pratique qui permet également de réduire les quantités d'eaux rejetées dans le milieu sans avoir subi de traitement complémentaire. Suite aux nouvelles lois régissant l'irrigation des golfs en eaux traitées, ainsi que l'augmentation des demandes hydrauliques des entreprises partenaires golfiques de la RADEEMA. La STEP doit suivre la qualité de l'eau fournie. Le réseau de la réutilisation, se constituer de six stations de pompage dont quatre qui sont opérationnels, ces stations sont étalées le long du parcours du nord vers le sud de la ville 80 km de conduites reliant l'eau de station avec le projet golfique et la palmeraie. Dans ce cadre nous avons fait un suivi de la qualité des eaux épurées des quatre stations de pompage, on se retrouve confronter à un problème d'épuration au niveau de la troisième station de pompage, normalement les eaux usées épurées sortant de la STEP avec une concentration de 0,2 mg /l du chlore mais elles arrivent avec une concentration de 0,1 mg/l. nous avons décidé de travailler sur ce sujet vue l'impact du chlore sur l'irrigation des pelouses vertes de la ville de Marrakech. Afin de trouver des solutions pour désinfecter les eaux de cette station sans endommager les pelouses qu'aura arrosées.

II. Généralité sur la désinfection :

La désinfection des eaux usées a pour but d'éliminer les microorganismes pathogènes et de garantir l'absence des germes infectieux dans les eaux distribuées. Au contraire de la stérilisation qui permet une destruction des germes. La désinfection peut éliminer les germes qui sont risqué pour la santé publique et sur l'environnement.

1. Définition :

Selon moles il faut distinguée que :

La désinfection est l'élimination des bactéries, des virus pathogènes, des bio-indicateur (coliformes fécaux, streptocoques fécaux) et de certains parasites animaux. Et la stérilisation est la destruction de tous les organismes vivants.

2. Principes généraux de la désinfection :

Le taux de destruction des microorganismes par un désinfectant est fonction de plusieurs variables : puissance du désinfectant, concentration du désinfectant, temps de contact, nombre de microorganismes à éliminer, types de microorganismes, température de l'eau, pH de l'eau et concentration de matières organiques dans l'eau.

3. Norme de désinfection :

Il est difficile de recenser en contrôle de routine tous les germes pathogènes, on se base sur certains organismes-tests ou germes témoins qui constituent simultanément des preuves de pollution des eaux brutes et des témoins de bonne désinfection des eaux traitées.

OMS : Absence de coliformes totaux et coliformes thermo tolérants, comme *Escherichia Coli* (indicateur de pollution fécale) (Moles, 2003).

Union Européenne : La directive 98/83/CE du 5/12/1998 est basée également sur des critères bactériens, absence d'*E. Coli* et d'entérocoque (Moles, 2003).

France : Le décret n°2001-1220 du 20/12/2001 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine reprend comme limites de qualité les valeurs paramétriques de la directive 98/83/CE. Elle y ajoute des références de qualité : absence de coliformes et bactéries sulfite-réductrices (Moles, 2003).

Etats Unis : Le nombre de paramètres microbiologiques pris en compte est plus large : virus, coliforme, lésionnelles, parasites divers ...

La désinfection des eaux comporte deux étapes importantes, correspondant à deux effets différents d'un désinfectant donné.

Effet bactéricide : c'est la capacité de détruire des germes à une étape donnée du traitement.

Effet rémanent : c'est un effet du désinfectant qui se maintient dans l'eau, en particulier dans le réseau de distribution, et qui permet de garantir la qualité bactériologique de l'eau.

4. Principaux types de la désinfection :

On peut avoir la désinfection par voie physique ou physicochimique ou biologique :

Les traitements physiques : concernent l'emploi des rayons ultraviolet, s'exercerait au niveau des molécules organiques des composés essentiels à la vie de la cellule, notamment les nucléoprotéines. Mais l'usage de ces appareils est pour l'instant réservé à des petits débits ; en

outre, l'absence de rémanence de l'effet bactéricide ne garantit pas l'eau contre une contamination secondaire après traitement.

Les traitements biologiques : on peut considérer qu'ils s'exercent au niveau de la membrane biologique des filtres lents, en même temps qu'une pure.

Les traitements physico-chimiques : joue le rôle dans la détruire des germes indésirables : par des oxydants tels que : le chlore, les chloramines, ClO_2 et l'ozone.

III. DESINFÉCTION PAR LE CHLORE :

L'eau traitée dans la station d'épuration actuelle est essentiellement d'origine domestique et touristique. La proportion d'eau industrielle reste assez faible. La qualité des eaux épurées est destinée à une réutilisation agricole mais ils n'ont pas de bonne qualité microbiologique. L'introduction d'une étape de désinfection préalablement à la réutilisation des eaux usées épurées s'impose. Cette désinfection peut être réalisée par divers moyens dont la chloration.

1. Propriétés physiques du chlore :

Le chlore est un gaz jaune verdâtre plus dense que l'air et se distingue par son odeur irritante très désagréable. Le chlore fait partie de ce groupe d'éléments chimiques qu'on appelle les halogènes, comme le brome, l'iode, et le fluor. Il a comme symbole Cl. Son nombre atomique est 17 et son nombre de masse molaire 35,5g/mol. Il était utilisé comme un gaz de combat pour la première fois pendant la guerre mondiale de 1914.

2. Les produits utilisés pour la désinfection par le chlore :

Pour réaliser la désinfection par le chlore on peut utiliser :

- Le chlore gazeux (Cl_2)
- L'hypochlorite de sodium ou "eau de Javel" (NaClO)
- L'hypochlorite de calcium (CaClO_2)
- Le bioxyde de chlore (ClO_2)
- Le chlore gazeux et l'hypochlorite de sodium sont les plus utilisées, Étant la forme la plus économique, l'eau de Javel la plus simple à mettre en œuvre et moins dangereuse à manipuler.

Le chlore gazeux :

Le chlore est un gaz jaune, plus lourd que l'air et soluble dans l'eau. Il est commercialisé sous forme liquéfiée. C'est un gaz toxique, il présente des risques mortels d'intoxication par inhalation, ingestion ou contact avec la peau. C'est pourquoi son utilisation suscite parfois une réticence de la part des exploitants.

L'hypochlorite de sodium :

L'hypochlorite de sodium (NaClO) est une solution de couleur jaune, titrant 130 à 150g de chlore actif par litre, et plus couramment appelé "eau de Javel". Les solutions et extraits de Javel sont nettement basiques et ont un caractère oxydant.

La concentration en chlore d'une solution d'eau de Javel est exprimée en degrés chlorométriques, un degré étant égal à une concentration de chlore de 3,17 g/L. Les titres des solutions et extraits de Javel couramment rencontrés sont les suivantes :

Berlingots du commerce : 48 ° chlorométriques, soit 150 g de chlore par litre de solution.

Bouteilles plastiques du commerce : 12° à 18° chlorométriques.

Eau de Javel industrielle : 48° chlorométriques.

L'eau de Javel est utilisée soit sa forme pure (extraits à 48° chi.), soit diluée. L'eau de dilution ne doit pas être trop dure afin d'éviter le phénomène de cristallisation de l'hypochlorite au contact du calcium de l'eau, ce phénomène est à l'origine des problèmes d'entartrage.

3. Aspect chimique de la chloration :

Lorsque le chlore injecté dans l'eau, différentes réactions chimiques vont successivement se produire.

3.1. Réaction de chlore dans l'eau :

Réaction de chlore gazeux :



Réaction de l'hypochlorite de sodium (eau de javel) :



Réaction de l'hypochlorite de calcium :



Les équations au-dessus montrent que l'acide hypochloreux a un effet désinfectant sur les germes. C'est un acide faible qui se dissocie selon la réaction :



L'ajout du chlore gazeux libère des ions d'hydrogène (H^+) ce qui abaisse le pH de l'eau. Alors que l'addition d'hypochlorites libère des ions d'hydroxydes (OH^-), ce qui augmente le pH de l'eau (nous savons la désinfection est moins efficace lorsque le pH est élevé).

On déduit que cette réaction est fonction du pH de l'eau. Ainsi, un pH élevé favorise la libération d'ions hypochlorites (ClO^-). Lorsque la concentration de chlore libre est de quelques mg/l et que le pH est situé entre 5 et 9, la dernière réaction est incomplète. En effet, il y a une coexistence de HOCl et de ClO^- comme le montre la figure suivante :

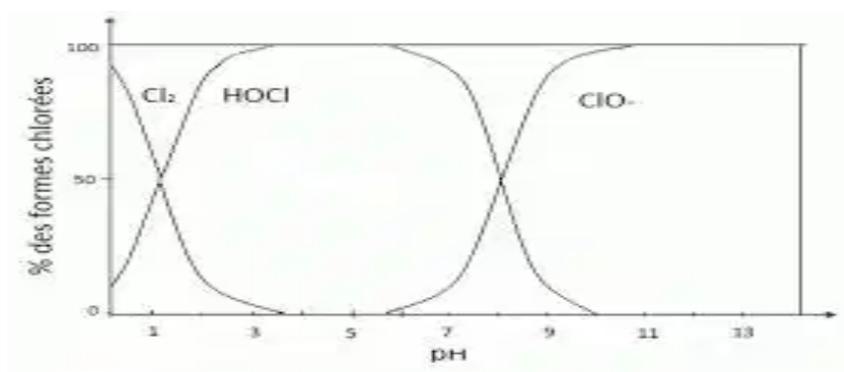


Figure 13 : Les différentes formes du chlore selon le pH de l'eau chlorée (Saint, 2011)

3.2. Réaction du chlore avec les substances chimiques présentes dans le chlore :

Les eaux traitées contiennent fréquemment des substances chimiques capables de réagir avec le chlore libre (HClO et ClO^-) : substances réductrices, substances azotées, produits azotés minéraux (ammoniac, nitrites, nitrates...).

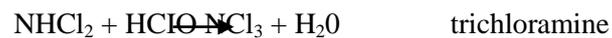
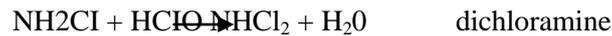
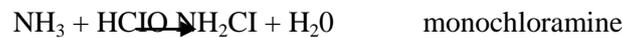
Quand ces substances sont présentes dans l'eau :

* Les composés réducteurs tels que le fer ferreux, l'ion nitrite, les sulfures, réagissent très rapidement avec les premières fractions de chlore ajoutées pour former des produits oxydés et des chlorures dont les pouvoirs germicides sont nuls. Cette dose de chlore injectée, indisponible pour agir sur les microorganismes, constitue une partie de la demande immédiate en chlore.

* Les composés azotés, organiques ou minéraux, donnent par combinaison avec le chlore libre des produits suffisamment oxydants pour conserver un pouvoir désinfectant. Ces produits sont

appelés « chloramines » est constitué le chlore « combiné ». Elles ont la particularité d'être fortement d'être détruites par un excès de chlore.

* Les combinaisons du chlore avec les composés azotés minéraux (azote ammoniacal) portent le nom de « chloramines minérales », dont seule une d'entre elles, la monochloramine, sont utilisée industriellement pour la désinfection des eaux. Leur formation suit les équations suivantes :



*Quand le chlore réagit avec certains composés azotés organiques (amines, urée, substances humiques, acides aminés ...) La réaction donne les chloramines organiques.

Toutes ces réactions (formation de chloramine, oxydation de fer ou des sulfures.) vont entraîner une sur consommation de désinfectant par rapport à la dose nécessaire pour éliminer les germes.

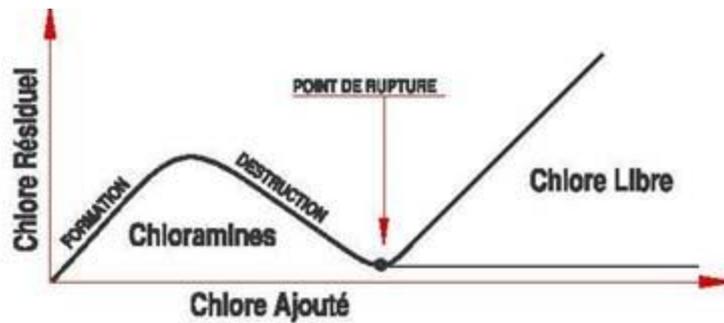
Si la dose de chlore est faible il risque de ne plus subsister suffisamment de chlore libre pour la destruction des germes.

IV. Demande en chlore :

La présence de chlore résiduel libre indique à la « demande en chlore » de l'eau, due aux réactions chimiques avec les matières organiques et minérales. En effet, le chlore injecté va réagir rapidement avec des composés oxydables comme le fer et le manganèse, avec l'ammonium pour former des chloramines, ainsi qu'avec divers composés organiques.

La demande en chlore est établie par un essai, qui consiste à déterminer la quantité de chlore nécessaire pour que ce dernier soit entièrement utilisé à la désinfection de l'eau (appelé également détermination du point de rupture ou point de convertir « break point »).

La figure suivante présente la courbe de demande en chlore d'une eau contenant de l'azote ammoniacal :



Source : CIFEC

Figure 14 : Détermination du point de rupture ou point de convertir (site web)

La partie première de la courbe représente la formation de mono, di et trichloramine. Leur destruction par le chlore ajouté apporte un affaiblissement de la teneur en chlore total. D'où l'abaissement de la courbe jusqu'au point de rupture précité, à partir duquel tout chlore ajouté se transforme en chlore libre résiduelle. Maintenant il est disponible pour la désinfection. L'écart entre la droite des abscisses et le point de rupture correspond à la présence de trichloramine non réductible par le chlore. Un excès témoigne d'une très mauvaise qualité de l'eau. Le point de rupture est donc d'autant plus bas que les impuretés de l'eau qui ont été oxydées par le chlore. Cette courbe montre aussi qu'il faut bien ajouter du chlore pour faire baisser la teneur en chloramines. Les trichloramines sont éliminables par aération de l'eau. Une autre solution est d'éviter leur formation en remplaçant le chlore par l'hypochlorite de sodium pour la désinfection de l'eau.

En effet, les réactions conduisant au break point demandent pour l'atteindre entre 1 minute et 3 heures et plus selon le produit azoté à oxyder sa concentration, son pH et la température du milieu. Il s'agit de la connaissance qui détermine l'importance de la chambre de contact ou du décanteur à installer. S'il est calculé au plus juste, par économie d'investissement et de surface, il faut suivre attentivement chacun de ces paramètres. Calculer, construire et conduire une station de "break point" est bien une affaire de spécialistes et nécessite une bonne formation et un bon pilotage technique des exploitants. Le résultat le mérite, car une eau sans azote est un inconvénient sur tous les plans : hygiène du stockage, goût et saveur de l'eau pour le consommateur, stabilité du résiduel de chlore, etc...

4. Présentation de laboratoire de contrôle de la RADEEMA :

La station dispose d'un qui peut effectuer les analyses nécessaires des substances suivantes, eaux usées pour caractériser leur qualité et déterminer les performances et assurer la qualité de l'eau pure utilisée pour irriguer les terrains et terrains de golf vert.

Le laboratoire de contrôle des eaux usées de la RADEEMA utilise une méthode alternative pour l'analyse des échantillons collectés. Connus par leur vitesse d'analyse, leur vitesse de réponse et leur facilité d'utilisation, d'exécution, fidélité et leur fiabilité, ces méthodes sont vérifiées mensuellement à l'aide des matériaux de références.

Le laboratoire de RADEEMA peut intervenir à différents niveaux :

- Au niveau du réseau d'assainissement : le laboratoire prélève des échantillons et analyse les paramètres de pollution et les éléments toxiques aux points requis. Afin de détecter la source d'émissions non conformes pour protéger la STEP et l'environnement.
- Au niveau de la STEP : le laboratoire prélève des échantillons toutes les 24 heures à l'entrée de la STEP (eau brute) et la sortie de divers ouvrages de la filière d'eau, pour contrôler la qualité des différents traitements.
- Au niveau du golf : le laboratoire effectue des prélèvements mensuels à l'amont de chaque golf ressort pour contrôler la qualité de l'eau livrée.

V. Paramètres de pollution des eaux usées :

Dans le cadre de notre travail, on a suivi la qualité des eaux de différentes stations de pompage de la ville de Marrakech durant un mois. En plus la qualité des eaux à l'entrée des golfs pour avoir une idée sur la concentration du chlore et son effet sur l'irrigation des gazons des golfs.

1. Demande chimique en oxygène :

La DCO est un paramètre des eaux qui présente la demande chimique en oxygène c'est à dire la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique, la DCO est un paramètre important car elle donne une vision immédiate du fonctionnement de la station par la différence entre la DCO d'entrée et de sortie de la station. La DCO peut être mesurée de façon simple cela requiert un tube à essai qui contient un réactif dans lequel on va placer l'effluent après minéralisation (2h à 145°C) la couleur de l'effluent va changer et en mesurant (spectrophotométrie) ces différences de couleurs on aura un accès direct à la quantité de pollution initiale c'est à dire DCO.



Photo 1 : Spectrophotomètre



Photo 2: Kits DCO

2. Matière en suspension :

Il s'agit de l'ensemble particules non dissoutes contenus dans l'eau. Elle dépend du terrain à traverser, de la nature des émissions, des précipitations et des conditions actuelles. C'est le principal facteur de turbidité de l'eau, l'unité utilisée est le mg/l.

Méthode d'analyse :

Un échantillon représentatif est filtré sur un papier filtre en microfibre de verre de porosité nominale 1.5µm. La matière restante sur le filtre est séchée à 105°C. Le résidu est pesé après 24h de séchage. La masse des matières en suspense est égal à la différence entre la masse du filtre incluant le résidu sec et la masse initiale du filtre, en tenant compte du volume de filtration.

La matière en suspension est calculée par la relation suivante :

$$\text{MES} = m1 - m0 / V$$

m1 : masse du filtre après utilisation

m0 : masse du filtre avant utilisation

V : volume d'eau utilisée



a) Balance



b) Filtrateur



c) Membrane filtrante

Photos 3 représentant les matériaux utilisés : a) Balance, b) Filtrateur, c) Membrane filtrante

3. Paramètre physico-chimique étudiés :

Les composés chimiques et les métaux lourds sont mesurés (sulfure, le sulfate, l'ammonium, argent, l'azote total, la plombe, le cyanure) à l'aide des kits commercialisés.

Potentiel d'hydrogène pH :

C'est un paramètre permet de définir l'alcalinité et l'acidité des eaux. Son but est capital pour la croissance des micro-organismes qui ont généralement un pH idéal varie entre 6.5 à 8. Le pH se mesure à l'aide d'un pH mètre.

Température (T) :

C'est un indicateur permet d'appréhender la vitesse de croissance des micro-organismes et la vitesse de dégradation de la matière organique.

Azote total (NGL) :

L'azote total NGL permet de mesurer la pollution totale azotée d'un effluent, cette analyse est simple à réaliser grâce à des tubes par colorimétrie à l'aide d'un spectrophotomètre, leur concentration est aussi exprimée en mg/l. Le NGL, c'est la somme de toutes les formes d'azote différentes contenues dans un échantillon. L'azote est caractérisé par sa résistance à la dégradation bactérienne.

Plomb (Pb) :

Est un métal malléable qui blanchie lentement en s'oxydant. L'un des métaux les plus toxiques, il entraîne une altération de la synthèse de l'hémoglobine au niveau de la moelle osseuse

et une perturbation de la fabrication des globules rouges. Dans l'agriculture le plomb ne possède aucun problème pour les végétaux il reste fixe au sol et par conséquence ne pénètre pas dans les plantes. La concentration du plomb ne doit pas dépasser 50µg/l.

L'ammonium NH₄⁺ :

C'est le composé azoté le plus courant dans les eaux usées domestiques. En effet, les êtres vivants captent l'ammonium formé dans l'organisme en le transformant en urée. Une fois l'urée libérée, elle sera à nouveau décomposée en NH₄⁺ dans les égouts sous l'action de micro-organismes. C'est la principale source d'apport d'ammoniac dans les eaux usées domestiques, représentant environ 80% du NH₄⁺.

La mesure de l'ammonium se fait généralement en mesurant le NH₄⁺ avec un spectrophotomètre. La couleur indique la concentration, exprimée en milligrammes par litre d'azote (mgN/l). L'échantillon doit être filtré avant l'analyse car les solides en suspension peuvent interférer avec la coloration.

Cyanure (CN⁻) :

Principalement utilisé dans le processus industriel de traitement de surface des métaux. Ce composant toxique est présent dans les eaux usées et doit être éliminé avant un traitement ultérieur.

La technologie de traitement des eaux usées se concentre sur l'élimination du cyanure dissous libre par oxydation avec de l'hypochlorite de sodium (NaClO). La teneur en nitrite, sulfure et sulfite est également oxydée. Les produits résiduels peuvent ensuite être éliminés par coagulation dans des équipements de traitement physico-chimiques classiques.

4. Analyse bactériologique :

Les coliformes totaux sont des entérobactéries, y compris les espèces bactériennes. Ils vivent dans les intestins des animaux à sang chaud, mais ils existent aussi dans sol, végétation et eau. La flore sert d'indicateur de la qualité microbiologique de l'eau car elle contient des bactéries provenant des matières fécales et ainsi de suite.

VI. La chloration :

Afin de trouver des solutions optimales pour arriver à l'ensemble des golfs avec de l'eau de haute qualité nous avons effectué plusieurs prélèvements au niveau des quatre stations de pompage.

Durant ce suivi, nous allons faire une étude sommaire de la qualité physicochimique sur l'ensemble des eaux de ces stations. Du fait d'impact du procédé de chloration sur ces eaux, puis on va essayer de déterminer les points de rupture de chacune, ensuite on va interpréter les résultats de nos essais.

1. Procédure expérimentale :

Toutes les analyses et les mesures nécessaires pour quantifier les polluants organiques sont normalisées suivant les normes Marocaines. Les paramètres mesurés in situ sont le pH, la température, les paramètres analysés au laboratoire sont : les Matières en Suspension (MS), plomb, cyanure, Argent, NGL,..

Les analyses physicochimiques des eaux des quatre stations de pompage sont consignées dans le tableau n°2.

	Station de pompage 1	Station de pompage 2	Station e pompage 3	Station e pompage 4
Ammonium (mg/l)	0.121	0.119	0.051	0.107
Sulfate (mg/l)	167	206	231	240
Sulfur (mg/l)	-0.028	-0.053	-0.051	-0.03
Plumb (mg/l)	0.136	-0.001	0.004	-0.006
MS	0.002	0.0044	0.006	0.003
Cyanure (mg/l)	0.001	0.001	0.004	-0.002
Argent (mg/l)	0.8	0.8	0.8	0
DCO (mg/l)	29.1	61.9	27.3	28.6
NGL (mg/l)	4.09	3.10	4.97	2.64
pH	7	7	7.06	7.07
Temperature	26	25.7	26.2	26.2

Tableau 2 : Analyses physicochimiques des eaux des quatre stations de pompage étudiées

On résulte que ces analyses sont confondues avec les normes prescrites par l'état.

1.1. Préparation de la solution du chlore ;

Une solution d'hypochlorite de sodium (eau de Javel) de concentration 50°Chlorométrique diluée dans l'eau distillée avant l'utilisation. Le chlore actif est présent sous forme d'un mélange d'acide hypochloreux (HClO) et des ions hypochlorites (ClO) son titre exact est 1g/L.

Avec : 1 degré chlorométrique = 3.17 g/l

1° chlorométrique \longrightarrow 3.17 g/l

50° chlorométrique \longrightarrow X ?

$$X = 50 \times 3,17 / 1$$

$$= 158.5 \text{ g/l}$$

Le volume d'hypochlorite ajouté à 100 ml d'eau distillé :

- Concentration initial (C_i) = 158.5 g/l

- Volume final (V_f) = 100 ml

- Concentration final (C_f) = 1 g/l

Volume initial (V_i) ?

On a : $C_i \times V_i = C_f \times V_f$

$V_i = C_f \times V_f / C_i$

$$= \frac{1 \text{ g/l} \times 100 \text{ ml}}{158.5 \text{ g/l}} = 630 \mu\text{l}$$

1.2. La demande en chlore :

Dans une série de flacons contenant 100 ml d'eau à analyser, on ajoute des concentrations croissantes du chlore variant de 100 à 2000 μl de Cl_2 , après un temps de contact de 30 minutes on ajoute 3 gouttes d'orthotolidine qui est un produit colorant de chlore résiduel, après une agitation, on mesure ce composé par la colorimétrie à l'œil, avec la comparaison des couleurs de solution préparées avec l'échelle de couleur.

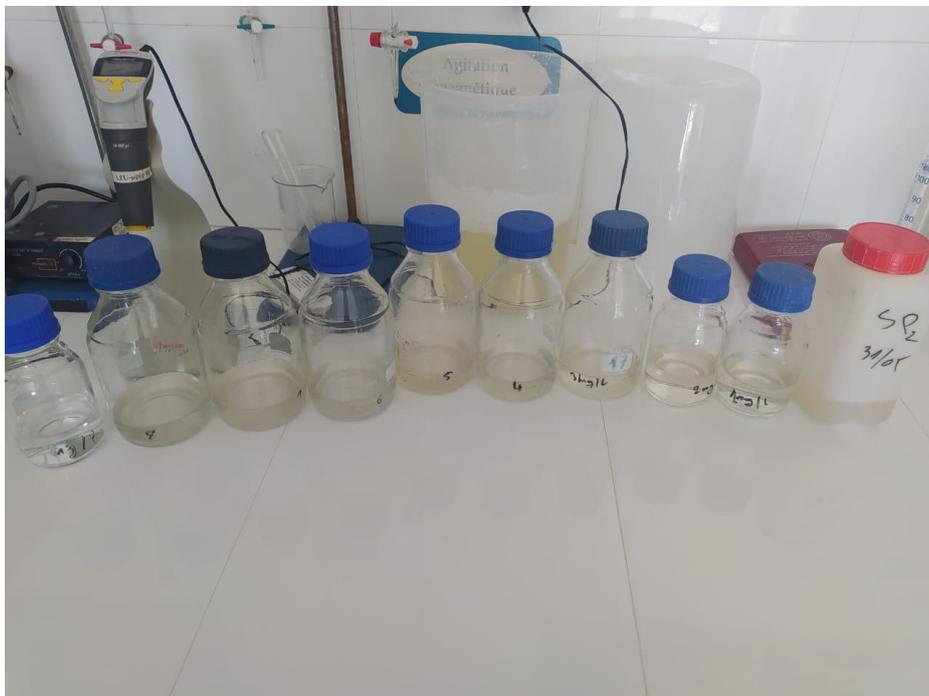


Photo 4 : Expérience d'ajout du chlore de différente concentration à une série de flacons chacune 100ml d'eau



Photo 5 : Teste du chlore résiduel

L'étude de la demande de chlore permet de tracer des courbes donnant les concentrations des différentes formes de chlore résiduel en fonction de la dose de chlore ajoutée pendant un temps de contact de 30 min.

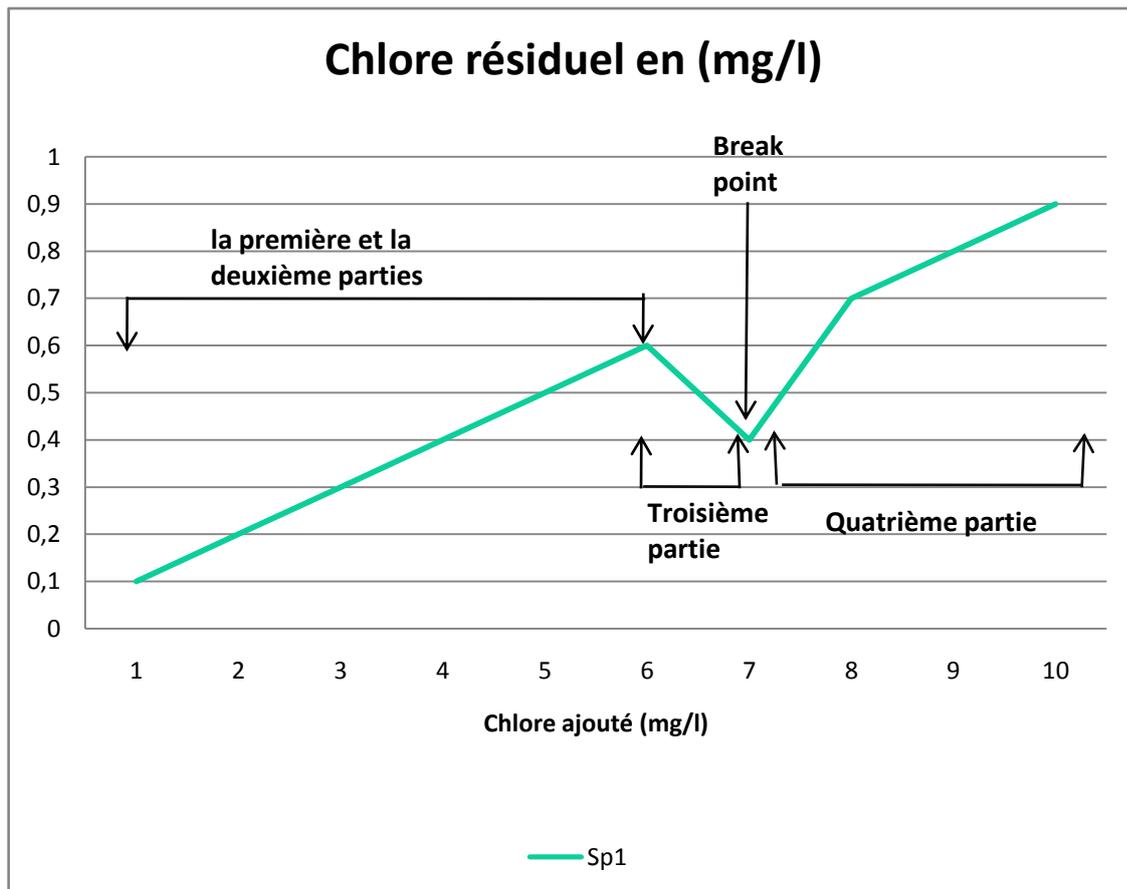


Figure 15 : Evolution de la concentration du chlore résiduel en fonction de la dose de chlore ajouté.

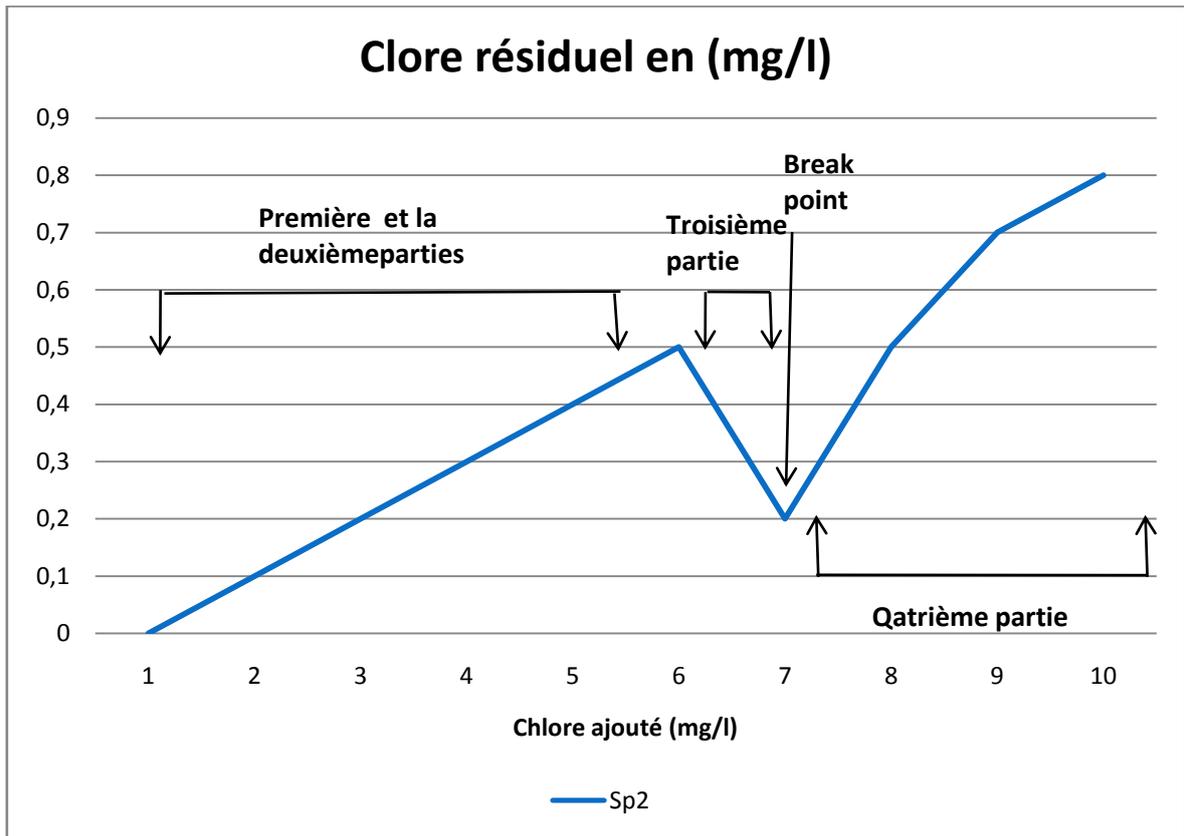


Figure 16 : Evolution de la concentration du chlore résiduel en fonction de la dose de chlore ajouté.

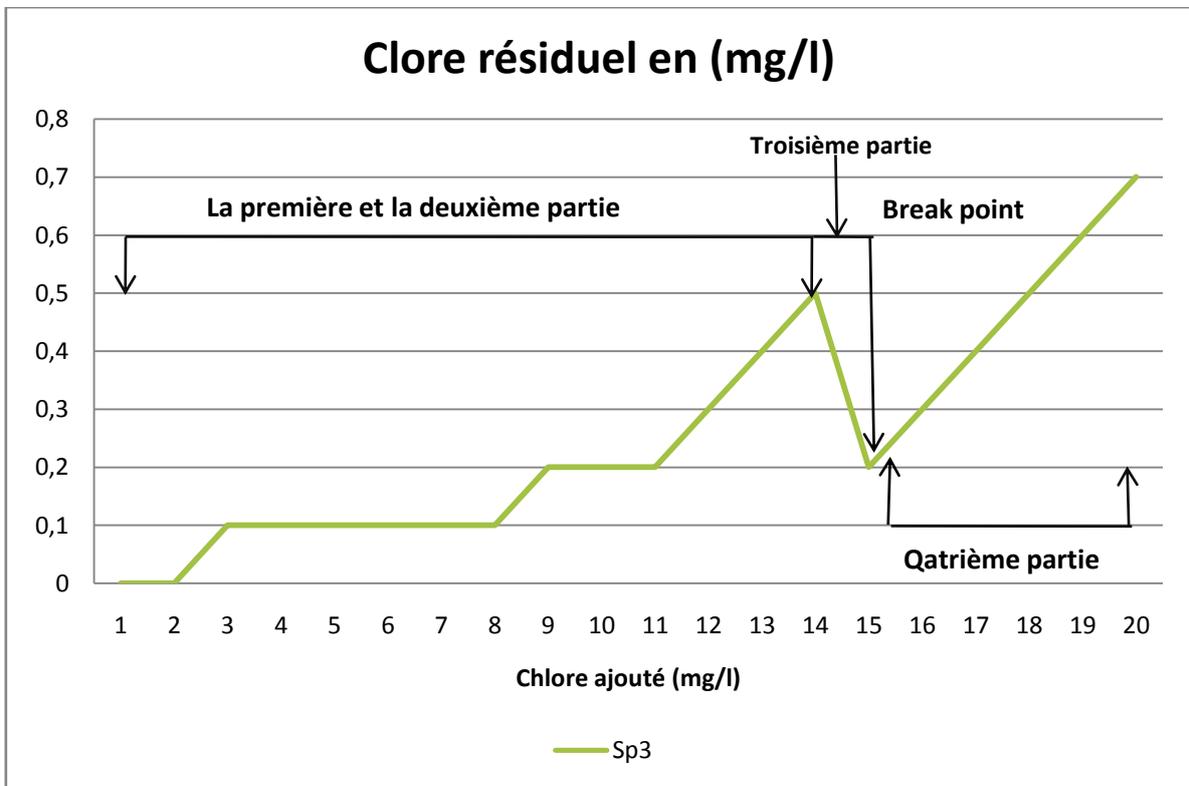


Figure 17 : Evolution de la concentration du chlore résiduel en fonction de la dose de chlore ajouté.

2. Discussion et interprétation :

D'après les figures 15, 16, 17, nous pouvons observer que la courbe représente l'évolution de chlore résiduel total en fonction du chlore introduit représente un Break point. En effet cette courbe peut être décomposée en quatre parties principales :

2.1. Analyse bactériologique :

L'analyse microbiologique joue un rôle très important dans la vérification de la qualité des eaux traitées. Or l'étudier la qualité microbiologique d'eau des quatre stations de pompage (Sp2, Sp3, Sp4) a donné les résultats suivants :

1. Dans la 1^{ère} partie, il y a lieu l'oxydation de substance réductrice, spécialement inorganique : Fe^{2+} , Mn^{2+} ... tout l'hypochlorite qu'on ajout est presque consommé c'est la demande immédiate du chlore qui est la quantité de chlore consommé avant sa réaction avec l'Ammonium.

2. Dans la 2^{ème} partie ces substances ont été détruites, il commencerait une étape dans laquelle se formeraient les composés chlorés, principalement les chloramines qui pourraient agir comme chlore résiduel, ce qui donnerait un certain caractère désinfectant au système.

3. dans la 3^{ème} partie tout l'ammoniac réagit avec le chlore, après l'optimum de la courbe, il commence à se détruire. Ces composés chlorés ainsi formés dans cette l'étape sont des monochloramines. Lorsqu'on ajoute des doses supplémentaires du chlore, il n'y a pas un accroissement de la quantité de chlore disponible, bien au contraire on observe une diminution, car il y a une consommation du chlore résiduel qui avait été formé, en plus la formation de dichloramines qui sont instables. Alors la capacité désinfectante du système se réduit dans cette étape.

4. Dans la dernière partie après le point de rupture (break point) tout le chlore qu'on ajoute, reste comme chlore libre. A cet effet, on considère qu'à partir de ce point, on a la désinfection proprement dite comme l'élimination de microorganismes par le chlore et l'eau contient une valeur donnée du chlore libre résiduel.

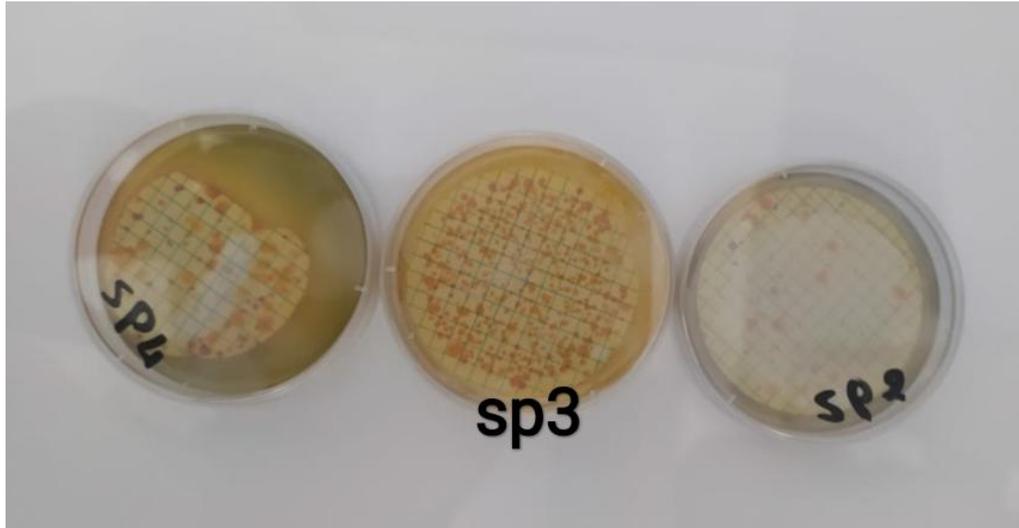


Photo 6 : Analyse bactériologique des eaux des trois stations avant la chloration.

Les analyses au-dessus ont prouvé qu'après l'obtention des points de rupture de chaque station de pompage et en visant la qualité d'eau de la station de pompage (Sp3), on a marqué que cette station connut une mauvaise qualité microbiologique (>200 UFC/100ml).

Afin de rendre cette eau salubre et pure , on a recouru à la désinfection par chloration considérée comme un traitement efficace d'épuration .On suivre l'évolution de la pureté de cette eau à l'aide des mesures chimiques en laboratoire en faisant ajouter des concentrations différentes et successives d'hypochlorite dès son point de rupture qui est 15 mg/l jusqu'à 18 mg/l , juste après un temps d'action de 30 minutes , on enregistre qu' a cette valeur ajoutée d'hypochlorite notre échantillon prélevé d'eau de la station de pompage(Sp3) est absolument dépourvue de toute matière en suspension , des germes et de toutes sortes des polluants ; en gros ont obtenu une eau hygiénique respectant les normes et les critères dictées .

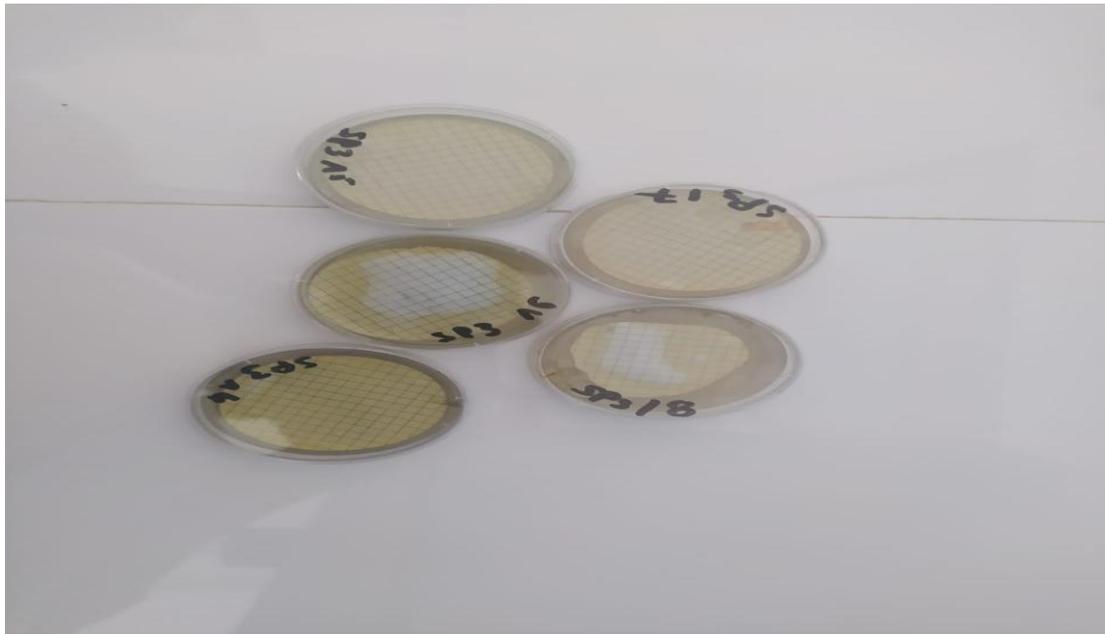


Photo 7 : Analyse bactériologique après la chloration

2.2. L'effet du chlore sur l'irrigation de pelouses vertes :

Après avoir terminé les analyses bactériologiques nous avons trouvé une quantité importante des germes 350UFC dans la station de pompage 3, ainsi qu'elle est intermédiaire entre les autres stations, cela traduit qu'elle est incontournable de trouver la concentration nécessaire pour désinfecter ces eaux sans endommager les pelouses vertes.

L'objectif de cette étude était d'examiner les réponses phytotoxique et le seuil critique de chlore libre de quatre pots de gazon en conteneurs à l'eau d'irrigation chloré appliquée quotidiennement.

Matériel et méthode :

Pour réaliser cette étude nous avons préparé d'une part trois échantillons des pots de gazon en conteneur ont été testées pour leur réponse à l'eau d'irrigation contenant du chlore résiduel libre après la détermination du point de rupture de la station de pompage trois, on a arrosé ces échantillons avec la concentration du chlore résiduel de point de rupture et deux après cette point (0.2, 0.3, 0.4 mg/l) et d'une part un échantillon arrosée par l'eau de station 3 sans ajouter le chlore comme témoin.



Photo 8: Aspect visuel des échantillons de sol et de pelouses étudiés avant expérimentation

Les températures moyennes de l'aire le jour et la nuit étaient respectivement de 38° et 20°, les échantillons ont été irrigués 2 fois par jour, ce qui a permis de distribuer 100mL d'eau d'irrigation de traitement chaque jour à chaque pot au cours de l'expérience de deux semaines.

L'eau chlorée pour chaque traitement a été fraîchement préparé avant chaque irrigation. Les concentrations de chlore résiduel libre ont été mesurées en utilisant le protocole spécifique au colorimètre.

Résultat et interprétation :

On a constaté qu'il y avait eu des différences marquées entre les échantillons, les feuilles des deux échantillons qu'on a arrosées par 0,3 et 0,4 mg/l de chlore résiduel ont présenté des lésions foliaires, des différences de croissance et effet physiologiques suite à la phytotoxicité du chlore.

Les feuilles de gazon ont commencé à présenter des marbrures nécrotiques marginales de couleur jaune. Après cinq jours de traitement avec 0,4 mg/l de chlore résiduel libre, au 10^{ème} jour ces marbrures nécrotiques se sont développées sur les plantes traitées avec 0,3 mg/l de chlore résiduel.



Photo 9 : Marbrures nécrotiques marginales de couleur jaune commencé à propager sur le gazon étudié

L'échantillon traité avec la plus grande concentration en Chlore résiduel (0,4 mg/l) a commencé à présenter une décoloration des feuilles au 10^{ème} jour. Alors que le pot irrigué avec une concentration de 0,3 mg/l de chlore résiduel n'a présenté de décoloration qu'au 13^{ème} jour (photo 10)

Par contre, Les gazons traités avec la concentration 0,2 mg/l de chlore résiduel et le témoin aucune décoloration. Donc un endommagé totale de ces plantes.



Photo 10: Aspect visuel des deux échantillons endommagés après traitement a 0,4 et 0,3mg/L du chlore résiduel

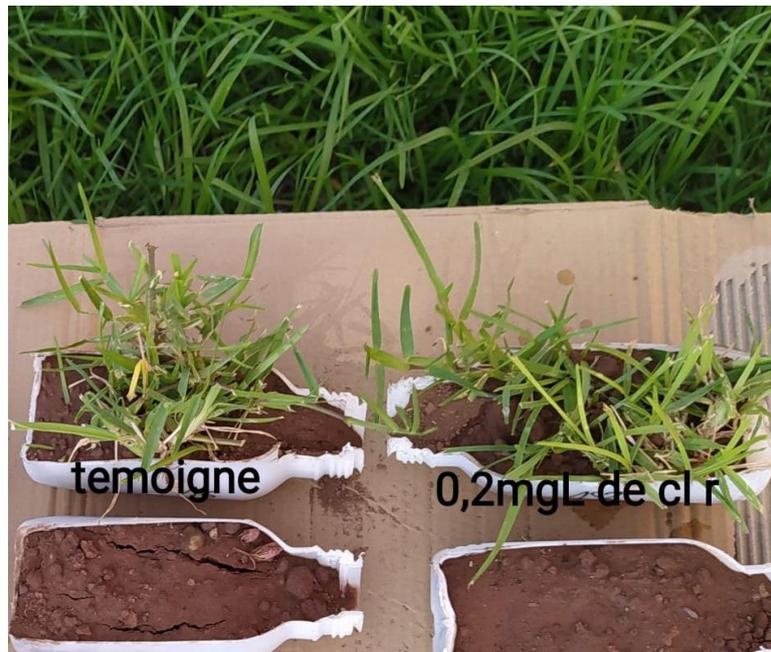


Photo 11:Aspet visuel des deux échantillons qui n'ont pas été affecter après traitement.

Conclusion et perspective

Ce stage était une très bonne occasion d'apprentissage, d'acquisition et de perfectionnement d'un grand nombre de techniques et de connaissances relatives aux Sciences de l'Eau et de l'Environnement. En particulier les problématiques liées à la qualité des eaux épurées, et la sécurité environnementale. Nous avons, également, découvert l'aspect organisationnel (de la RADDEMA) non moins important assurant une fluidité dans le travail et une gestion optimale.

Ce projet a été regroupé en deux parties. En premier lieu, une présentation générale de la RADEEMA et de la STEP de Marrakech. La deuxième partie commence par les définitions du terme désinfection et des principaux types de désinfectant utilisés ; puis complétée par la description des techniques d'utilisation du chlore tant que désinfectant. Cette partie traite, également, des principales méthodes expérimentales et les étapes suivies au cours des essais de la chloration.

Afin de s'approcher à la réalité de la pratique de la chloration, on a procédé à un diagnostic de la pratique de la chloration tout en calculant les teneurs résiduelles en chlore dans les stations de pompage. Vu que la station de pompage trois est le point de distribution intermédiaire entre la majorité des golfs, et la station d'épuration (la station de pompage trois distribue les eaux épurées directement aux golfs, Amelkis1, Amelkis2, Amelkis3, AL Maaden, golf city, golf Argan, golf Royal) et à travers la station de pompage quatre pour les autres golfs à savoir : golf domaine p, Assoufid, Sommah, et Chrifia, puis golf-les jardins d'Atlas à travers la station de pompage cinq).

Et vu la qualité dégradée au niveau de cette station de pompage, il est devenu indispensable d'opter à une correction du chlore à ce niveau afin d'améliorer la qualité de ces eaux et d'assurer une continuation avec des eaux de haute qualité vers les autres golfs et station de pompage.

C'est dans ce cadre qu'on a proposé l'installation d'un chloromètre au niveau de cette station de pompage.

A l'issue de ce stage qui fut une grande expérience, on a réussi à faire un premier pas vers le monde professionnel, c'est un bon complément à cette année.

Références bibliographiques :

- Lagiere J., Hamdi El Najjar N., Dubourg K., Labarthe S. et Ohayon C., (2018) - La chimie du brome appliquée à la désinfection des eaux de piscines : étude bibliographique. Erudit ed., Volume 30, numéro 3, 2017, pp. 171-258.
- MOUHANI H., HAMDI H., BENDOUÏ A. et BENZINE L., (2011) réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation du gazon des golfs : impact sur la germination et la croissance du gazon, Revue internationale d'héliotechnique, n°43, pp. 14- 21.
- RADEEMA DE MARRAKECH, (2021) Organigramme, rapport interne du département des ressources humaines, 3 p..
- STEP DE MARRAKECH, (2012)Manuelle d'exploitation de la station d'épuration des eaux polluées.
- WATERLEAU, (2016) réutilisation des eaux usées de la ville de Marrakech.

Références web graphies :

<https://www.lenntech.fr/desinfection/desinfectants-chlore.htm#ixzz6xEhswF5M>

<https://www.mediaterre.org/international/actu,20131009170303.html>

<https://www.cieau.com>