

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

LICENCE En SCIENCES ET TECHNIQUES

« **Eau et Environnement** »

Intitulé :

**Suivi et amélioration de la qualité des
eaux traitées tertiaire au niveau de la
STEP**

Réalisé par :

- **TAIH OUSSAMA**
- **OUABA MOUNIR**

Encadré par :

Mme Khadija ELHARIRI : Faculté des Sciences et Techniques - Marrakech

Mr Mohamed ICHIBANE: Responsable de procès

Soutenu : Le 24 /06/2013

Devant le jury composé de :

Mr HAFID : Faculté des Sciences et Techniques-Marrakech

Mme K.ELHARIRI : Faculté des Sciences et Techniques - Marrakech

2012-2013

Sommaire

CHAPITRE I :	11
GENERALITES	11
I- Présentation de l'étude :	12
1) Caractéristiques démographiques de la ville de Marrakech	12
2) Géologie	12
3) Pédologie	12
4- Climat	13
II- L'assainissement à Marrakech :	13
1. Définition du réseau d'assainissement :	13
2. Les rejets industriels de la ville de Marrakech :	14
III- Présentation de l'organisme d'accueil :	14
1-Localisation de la station d'épuration (Fig. 1).	14
2- Choix du site	15
3- Capacité de la station d'épuration	15
4) Les objectifs de la station d'épuration	16
CHAPITRE II : PRESENTATION DU FONCTIONNEMENT DE LA STEP	18
I- Le traitement de l'eau :	19
1-Prétraitement :	19
2-Traitement primaire : (Photo 4 et 5)	20
3-Traitement secondaire (Photo 6 et 7)	21
4-Traitement tertiaires (Photo 8, 9,10 et 11).	22
II- Le traitement des Boues :	23
1-Epaississeur (Photo 12).	23
2-Flottateurs (Photo 13)	24
3 -Digesteurs (Photo 14)	24

4-Stockage de boue (Photo 15).	25
5-Déshydratations de boue (Photo 16).	26
III- Traitement de biogaz :	26
1-Désulfuration (Photo 17 et 18).	26
2 -Gazomètres (Photo 19).	27
3- Cogénérations et chaudières (Photo 20).	28
4-Désodorisation (Photo 21).	28
IV-Impact de la station sur l'environnement	29
I- Les analyses effectuées sur l'eau traitées :	32
1) DBO5 : La demande biochimique en oxygène (mg O ₂ /l) (Photo 22).	32
2) DCO : La demande chimique en oxygène (mg O ₂ /l)	33
3) MES : Les matières en suspension (mg/l) (Photo 23).	33
4) Les Matières décantables (ml/l)	33
5) L'Azote :	34
6) Le phosphore :	34
7) Les composés chimiques et métaux lourds (Photo 24 et 25).	34
8) La turbidité (NTU) (Photo 26).	35
II-Les analyses effectuées sur la boue :	35
1) <i>Matières en suspension (MES): concentration en boue :</i>	35
2) <i>Matières en suspension volatiles (MESV) :</i>	36
3) <i>Matière sèche (MS) (Photo 27).</i>	36
4) <i>Matière volatile sèche (MVS) :</i>	36
5) <i>Volume de boue (VD30) :</i>	36
6) <i>Titre alcalimétrique complet (TAC) (Photo 28).</i>	37
7) <i>Acides Gras Volatiles (AGV) :</i>	37
I-Problème de la coloration rougeâtre au niveau des eaux clarifiées :	39
1-Définition des polyphénols :	39

2-L'origine de polyphénols :	39
II-Proposition d'un coagulant-floculant adéquat pour l'élimination de la coloration rougeâtre (Figure 2).....	39
1- Proposition d'un coagulant :	40
2-Essai de floculation	47
III- Analyse et caractérisation des sables utilisés au niveau de la STEP.....	50
1) Introduction :.....	50
2-Analyse granulométrique (Photo 32 et 33).....	51
3- Mode opératoire (Photo 34 et 35).....	52
4- Les paramètres granulométriques.....	52
5-Résultats et interprétation	54
Fig. 5 : La courbe de fréquence du sable.....	54
La courbe cumulative :	55
Conclusion :	56
La caractérisation des sables par l'étude granulométrique a permis de définir un ensemble de.....	56
IV-Le traitement par UV (Figure 7).....	57
2-Les avantages et inconvénients :	58
V- Détermination de la courbe de demande en chlore (Break Point) et comparaison avec le cas d'une coagulation-floculation préalable	58
1-Introduction.....	58
2-Préparation de la solution pour le titrage du chlore actif au thiosulfate [5].	59
3-Détermination de la courbe de demande en chlore (Break Point) sans coagulation-.....	60
floculation:.....	60
4-Détermination de la courbe de demande en chlore (Break Point) avec coagulation-floculation :	62
CONCLUSION :	66
BIBLIOGRAPHIE.....	67

LISTE DES FIGURES :

Figure.1 : Carte de localisation de la STEP de Marrakech

Figure. 2: Processus de coagulation, floculation et de sédimentation.

Figure. 3 : Variation de la turbidité et la couleur en fonction du volume de flocculant ajouté.

Figure. 4 : La courbe de fréquence du sable.

Figure. 5 : La courbe cumulative du sable étudié

Figure 6 : Absorption du rayonnement ultraviolet par l'eau (pointillé) et par l'ADN (trait continu).

Figure. 7: La courbe de demande en chlore (sans coagulation-floculation).

Figure.8: La courbe de demande en chlore (avec coagulation-floculation).

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau 1: Débit à traiter au niveau de la station.

Tableau 2: Résultats de l'échantillon témoin.

Tableau 3: Résultats de Coagulant 1 (Floclear).

Tableau 4: Résultats de Coagulant 2 (Floclear plus).

Tableau 5: Résultats de Coagulant 3 (Sulfate Ferrique).

Tableau 6: Résultats de Coagulant 4 (Sulfate d'alumine).

Tableau 7: Résultats de Coagulant 5 (Chlorure Ferrique).

Tableau 8: Résultats d'un coagulation-floculation

Tableau 9: Résultats de l'analyse granulométrique du sable

Tableau 10 : Résultats des titrages du chlore actif par les thiosulfates.

Tableau 11 : Résultats des titrages du chlore actif par les thiosulfates.

LISTE DES PHOTOS :

Photo 1 : Dégrillage grossier.

Photo 2 : Dégrillage fin.

Photo 3 : Photos illustrant le dessablage – déshuilage

Photo 4 : Le répartiteur.

Photo 5 : Décanteur primaire.

Photo 6 : Bassin biologique.

Photo 7: Clarificateur.

Photo 8 : Filtre à sable remplie .

Photo 9 : Filtre à sable vide.

Photo 10: Traitement par UV

Photo 11: Canal injecteur du chlore.

Photo 12 : L'épaississeur.

Photo 13 : Flottateurs.

Photo 14 : Digesteur.

Photo 15 : Stockeur de la boue.

Photo 16 : Mécanisme de déshydratation.

Photo 17 : Désulfurisation.

Photo 18 : Sulfates jetés

Photo 19 : Gazomètre.

Photo 20 : Co-générateur.

Photo 21 : Mécanisme de désodorisation.

Photo 22: Mécanisme de la DBO5.

Photo 23 : Mécanisme de filtration.

Photo 24 : Les kits LCK.

Photo 25 : Spectrophotométrie.

Photo 26 : Turbidimètre

Photo 27 : Matière sèche.

Photo 28 : Matériel de titrage.

Photo 29 : Mécanisme de jar TEST.

Photo 30: Agitation rapide de l'échantillon.

Photo 31 : Filtre à sable et turbidimètre.

Photo 32 : L'échantillon de sable étudié.

Photo 33 : Matériels de manipulation.

Photo 34 :L'échantillon pesé.

Photo 35 : Tamisage de l'échantillon

Photo 36 : Traitement par les rayons ultraviolet

Photo 37 : Titrage du chlore actif.

Photo 38 : Agitation rapide de l'échantillon.

Photo 39 : Filtre à sable et turbidimètre.

Photo 40 : Titrage du chlore actif.

REMERCIEMENT

Le présent travail n'aurait pas pu avoir lieu sans la contribution de plusieurs personnes pour lesquelles nous tenons à exprimer notre profonde gratitude. Nous tenant à remercier vivement la société WATERLEAU de nous avoir accueillis pour effectuer notre stage de fin d'études, nous offrant ainsi la possibilité d'acquérir une expérience professionnelle très enrichissante. Nous ne saurions jamais comment exprimer notre profonde gratitude à Mme Khadija ELHARIRI, Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech d'avoir accepté de nous encadrer durant notre stage professionnel.

Nous lui sommes très reconnaissants d'être toujours disponible malgré ses préoccupations. Nous la remercions de nous avoir appris beaucoup de choses, pour ses conseils précieux, ses directives et pour ses corrections pertinentes. Qu'elle trouve ici le témoignage de notre profond respect.

Nous remercions tout particulièrement Mr. Mohamed ICHIBANE notre encadrant professionnel durant notre stage à la STEP de Marrakech, pour ses orientations, conseils ainsi que pour le temps qu'il a bien voulu nous consacrer tout au long de ce stage. Nous voudrions également remercier le Professeur Mr. HAFID de bien accepter de juger ce travail.

Notre gratitude va particulièrement au personnel du service de laboratoire de la société WATERLEAU.

Nous exprimons notre gratitude à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail. Enfin, nous dédions ce travail à nos parents, à nos familles, à nos amis et à nos professeurs pour leurs soutiens, leurs encouragements et leurs conseils.

INTRODUCTION :

Suite au développement des activités humaines et l'accroissement démographique, les ressources conventionnelles en eau deviennent de plus en plus limitées et les volumes des rejets des eaux usées ne cessent d'augmenter.

En effet, le rejet des eaux usées à l'état brut représente un danger sur l'environnement et sur la santé publique. Les sociétés modernes de traitements des eaux choisissent l'assainissement comme solution convenable pour pallier à ce danger. Par ailleurs, les eaux usées assainies peuvent servir de ressources supplémentaires tout au moins pour l'irrigation.

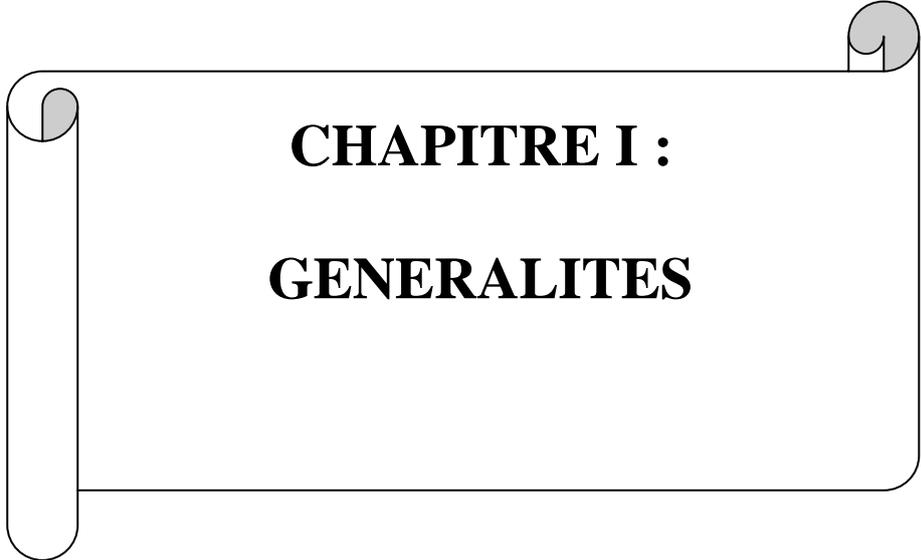
Marrakech et comme les autres villes du Maroc, connaît une explosion démographique, aussi une évolution dans le secteur touristique. Cela affecte les ressources en eaux superficielles et souterraines du point de vue quantitatif (baisse du niveau des nappes par la surexploitation) et du point de vue qualitatif (les rejets domestiques et industriels contiennent des substances causant la dégradation de la qualité des eaux).

Comme solution efficace, le projet de traitement et de réutilisation des eaux usées épurées de la ville de Marrakech se présente comme un meilleur choix. Or pour avoir accès à ces eaux, des normes strictes sont posées par l'Etat afin d'éviter tous les risques sanitaires, vu le contact direct des utilisateurs avec ces eaux. Ainsi, un système d'épuration bien choisi et bien adapté aux conditions de la ville est mis en place pour assurer une bonne qualité des eaux usées produites.

Cette station d'épuration traite une grande partie des eaux usées de la Communauté Urbaine de Marrakech. L'eau usée est traitée par voie biologique (boues activées). Le traitement des boues appliqué à cette station est la digestion anaérobie ou méthanisation. Ce processus anaérobie produit du biogaz, actuellement en partie utilisé comme source d'énergie renouvelable.

Dans ce cadre s'insère-notre projet professionnel de fin d'études qui a été réalisé au niveau de la station d'épuration de Marrakech exploitée par la Société WATERLEAU.

L'objectif de notre stage est le suivi et l'amélioration de la qualité des eaux traitées tertiaires sur le point de vue turbidité.



CHAPITRE I :
GENERALITES

I- Présentation de l'étude :

1) Caractéristiques démographiques de la ville de Marrakech

Marrakech compte parmi les plus grandes villes du Maroc, elle compte plus de 1.000.000 d'habitants. Répartis sur une superficie de 230 km², c'est la quatrième plus grande ville après Casablanca, Rabat et Fès.

La Medina est reconnue comme patrimoine mondiale et sans doute la raison pour laquelle Marrakech est surnommé la perle du sud, le tourisme a beaucoup contribué au développement urbanistique et démographique que connaît la ville depuis quelques années.

Marrakech grandit, et forcément les besoins en eau la suivent, il fallait donc trouver des solutions durables permettant de faire face au besoin du développement urbain.

Chaque jour plus de 100000 m³ d'eaux usées sont rejetés par la ville de Marrakech, un volume correspondant à une population de 1.300.000 habitants.

2) Géologie

Le Haouz de Marrakech est considéré comme un bassin de sédimentation modérément subsident, d'origine tectonique, dans lequel se sont accumulés des dépôts continentaux, d'âge tertiaire et quaternaire, issus principalement des produits de démantèlement de la chaîne atlastique

3) Pédologie

Dans la région de Marrakech 2 types de sol sont distingués, selon leur aptitude aux cultures irriguées:

-Cône de Nfis (ouest de Marrakech) : sols bruns steppiques, de texture limoneuse et connaissant une salinisation généralisée, ce sont des sols de mauvaise qualité qui devraient être abandonnés à la pratique pastorale.

-Cône de l'Ourika de Réghaya et du Zat (pourtour EST et Ouest de Marrakech) : ces sols bruns rouges par leur textures sablo-argileuse, sont très favorables à une agriculture irriguée.

4- Climat

Un climat semi-aride, caractérisé par une mauvaise répartition et une abondance limitée de précipitations. En outre les contrastes de températures sont très importants en raison des variations diurnes saisonnières ou annuelles, Les vents chauds et secs d'origine continentale influence beaucoup le climat local, sur tout l'été : ils soufflent en moyenne 39 jours par an à MARRAKECH.

II- L'assainissement à Marrakech :

1. Définition du réseau d'assainissement :

Le réseau d'assainissement est, dans la majorité des cas, de type unitaire collectant les eaux pluviales, les eaux usées et les rejets industriels et hospitaliers évacués, sans traitement vers un champ d'épandage situé sur la route de Safi, qui constitue aujourd'hui une limite importante de l'urbanisation.

Le réseau n'est pas généralisé. Les zones de M'hamid, de l'aéroport et de Sidi Ghanem sont équipées en réseau séparatif.

Une proportion de ménages estimée à 15% n'est pas raccordée au réseau et a recours à des fosses septiques dont l'usage est également fréquent, notamment à l'Est de l'oued Issil dans le territoire de la commune Annakhil, où des khattaras abandonnées sont utilisées pour l'évacuation des eaux usées.

20% de la population de la commune de Ménara-Guéliz n'est pas reliée au réseau dont 60 douars périphériques qui utilisent des puits perdus et des fosses.

Le réseau présente par ailleurs un état vétuste, qui se traduit par des pertes d'eaux usées estimées à 6%. La dégradation des regards, les difficultés d'entretien provoquent des saturations du réseau qui sont à l'origine d'inondations ou d'écroulements des constructions.

De nombreuses études ont été menées dont le Schéma Directeur d'Assainissement liquide (SDAL) qui a arrêté les principales orientations portant sur la réhabilitation du réseau et son extension, la protection de la ville des inondations, la réalisation de grands collecteurs à l'aval, le traitement des eaux usées.

La régie est engagée dans la mise en œuvre de ce programme dont le financement est assuré, mais la question du traitement constitue l'enjeu essentiel de l'assainissement liquide de la ville.

2. Les rejets industriels de la ville de Marrakech :

- Les industries agro-alimentaire (conserveries ; huileries) constituent 60% de la pollution industrielle totale ; La charge polluante est essentiellement organique.
- Les tanneries constituent 30% de la pollution industrielle la totale, présente dans la zone industrielle et la médina, leurs effluents sont caractérisés par des charges organiques et minérales importantes et concentrées ainsi que par la présence de chrome.
- L'abattoir et la laiterie constituent 10% de la pollution industrielle totale, génère des flux polluants organiques et acides importants.
- Les eaux de lavage des véhicules sont chargées en MES et en hydrocarbures, diverses directement dans le réseau d'assainissement.
- Les huiles de vidange des moteurs sont jetées elles aussi directement dans le réseau d'assainissement, elle forme un film à la surface des eaux usées.

III- Présentation de l'organisme d'accueil :

1-Localisation de la station d'épuration (Fig. 1).

La station d'épuration de Marrakech se situe à 13 km de Marrakech au niveau de la route nationale n°7. Le site de la station d'épuration est situé au nord-ouest de la ville de Marrakech, sur la rive gauche d'oued Tensift .Ce centre de traitement des eaux est délimité par la rive gauche de l'oued Tensift au Nord, la digue formée par la route de Safi à la traversée de l'oued Tensift à l'Est et la route des ferrailleurs et le douar Azib layadi au Sud.

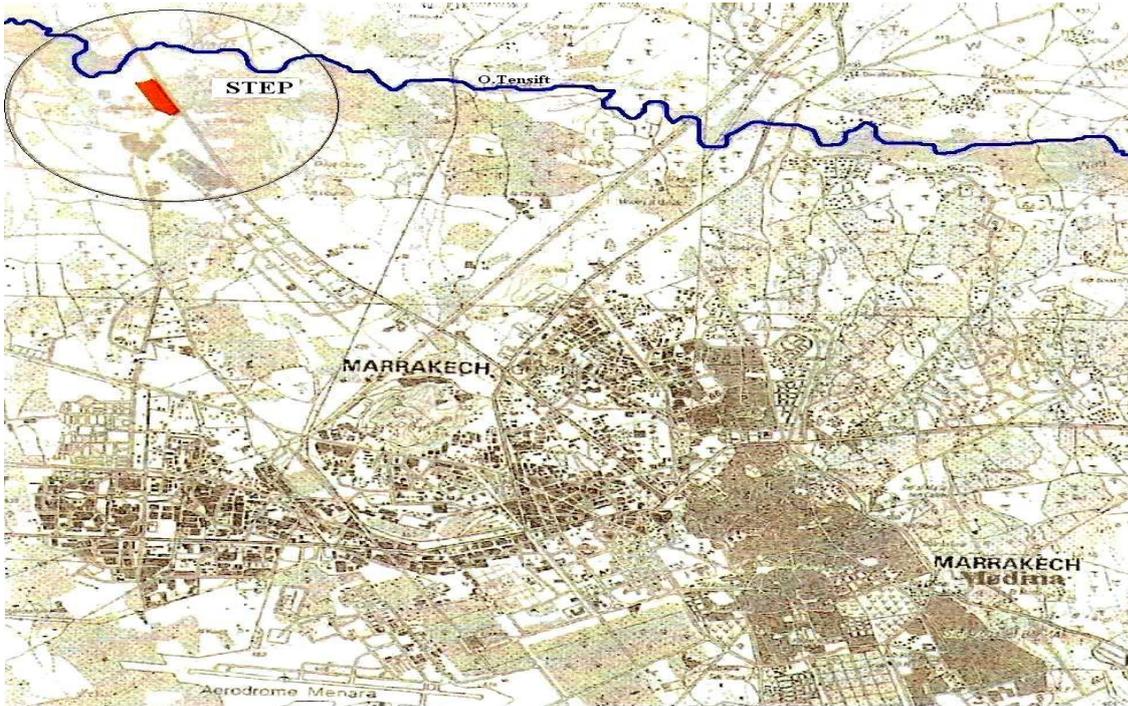


Fig.1 : Carte de localisation de la STEP de Marrakech (RADEEMA)

2- Choix du site

Le choix du site est motivé, d'une part, par sa côte la plus basse qui permet la collecte et le transport gravitaire des eaux usées, et d'autre part, par sa situation très proche de la décharge contrôlée et aménagée pour l'évacuation des sous produits du traitement, à savoir, les boues déshydratées, le sable et les refus de grilles, et aussi suivant la direction des vents afin d'éviter la propagation des mauvaises odeurs vers le milieu urbain.

3- Capacité de la station d'épuration

Le tableau ci-dessous résulte la quantité des eaux usées arrivant à la station (Tab.1) [2].

<i>Débit Nominal (Temps sec)</i>	<i>90.720 m3/jour</i>
<i>Débit moyen estival</i>	<i>118.000 m3/jour</i>
<i>Débit de pointe horaire</i>	<i>184.896 m3/jour</i>
<i>Débit accepté en temps de pluie</i>	<i>9828 m3/h</i>

Tab. 1: débit à traiter au niveau de la station.

4) Les objectifs de la station d'épuration

Le projet d'extension de la station d'épuration envisage un dédoublement des files boues et biogaz, un traitement secondaire, tertiaire et une désinfection qui vont s'ajoutés au traitement primaire de la 1ère tranche. Les eaux issues du traitement tertiaire répondront aux normes marocaines pour l'irrigation de plusieurs cultures et pour l'arrosage des espaces verts. La réutilisation des eaux usées traitées aura donc pour objectif :

- De soulager les ressources en eau potable
- Bon développement des cultures vue le faciès chimique des eaux
- Protection des nappes souterraines du danger de contamination par les constituants d'une eau usée non traitée.

Ainsi que la protection de l'environnement, l'amélioration des conditions sanitaires et la participation au développement touristique.

5- Présentation de l'entreprise :

-Historique :

WATERLEAU a été créé en janvier 2000 par 5 ingénieurs motivés et déterminés disposants de nombreuses années d'expérience en technologie de traitement des eaux .Sur la base de la demande des clients internationaux satisfaits, WATERLEAU à rapidement développé des projets dans le monde entier. De nos jours, la plus part de ces activités sont à l'étranger.

En 2001 le traitement de l'air a été ajouté au portefeuille de technologies par l'acquisition de Monsanto Enviro-Chem Systems (St Louis, Missouri, USA) ,En 2002, WATERLEAU acquière le savoir-faire et l'expérience en traitement d'eau pour procédés industriels et technologie membranaire.

La nouvelle et spectaculaire croissance est le démarrage en 2003 des activités de traitement des bio-solides et déchets et le développement des technologies approprié. En 2004 WATERLEAU acquière la société Belge BIOTIM (du groupe Suez), un des leaders en traitement anaérobie des eaux usées, la croissance continue en 2005 avec le début de deux joint-ventures sur les marchés émergents de l'inde et de la Chine.

En 2006 WATERLEAU fait l'acquisition de la société française Socrematic, et crée une nouvelle filiale à 100% en France, WATERLEAU France. Cette société est le centre de compétence pour les projets en traitement de l'air ainsi que le centre commercial pour la France et les pays francophones.

En 2008, la capacité en technologie de production est ajoutée par de Schepens Air et Solide. Ici sont produites les composants clefs et la qualité est contrôlée pour expédition partout dans le monde.

Aujourd'hui, l'équipe dirigeante fondatrice détient toujours 100% des parts. De cette façon un groupe solide de plus de 280 spécialistes a été formé et travaille depuis le centre de l'Europe à travers un réseau étendu de sociétés locales et bureaux de représentation (Paris, Pékin, Mumbai, Hong Kong, Macau, Londres, le Caire, Sao Paulo, Casablanca, Tanger, Porto, Istanbul) en se sentant chez soi partout dans le monde, à proximité de ses clients[1].

-Mission et Vision :

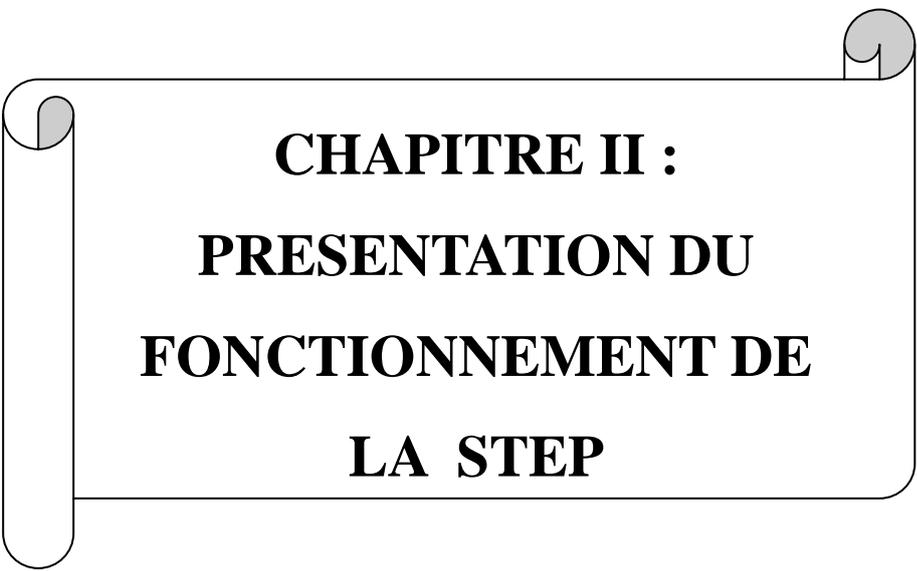
Quatre métiers constituent principalement la vision de WATERLEAU, cette vision qui consiste à protéger les quatre éléments de la planète : eau, air, terre et feu.

A travers des efforts continus en recherche et développement, WATERLEAU a créé des technologies environnementales de pointe et faisant l'objet de brevets et de dépôts de marque pour le traitement de l'eau, de l'air, des déchets et pour la production d'énergies renouvelables.

WATERLEAU propose une gamme complète de services allant du développement de technologies, du conseil, de la conception, de l'ingénierie, de la fourniture et de la construction à l'exploitation et à la maintenance. Des ensembles technologiques complets, des installations clef en main ou des solutions BOOT sont disponibles dans tous les secteurs de la production environnementale. Ceci inclut le traitement des eaux usées, des boues, de

l'air pollué, des déchets, la production d'eau pour procédés industriels ou eau potable et la génération d'énergie renouvelable à partir de déchets ou biocarburants.

WATERLEAU a une expérience reconnue et une excellente réputation auprès des municipalités (station jusqu'à plus d'un million d'habitants) et clients industriels, tels que les industries alimentaires, chimiques, pétrochimiques et pharmaceutiques....



CHAPITRE II :
PRESENTATION DU
FONCTIONNEMENT DE
LA STEP

I- Le traitement de l'eau :

1-Prétraitement :

Le prétraitement sert à retirer les matières pouvant être facilement collectées des eaux usées brutes, et à les éliminer, cette élimination se fait en deux étapes :

-Dégrillage (Photo 1 et 2).

Le dégrillage permet de retirer de l'eau les déchets insolubles. Pour ce faire, l'eau usée passe à travers une ou plusieurs grilles dont les mailles sont de plus en plus serrées allant d'un diamètre de 20cm jusqu'à 1cm de l'amont vers l'aval.



Photo 1 : Dégrillage grossier.



Photo 2 : Dégrillage fin.

- Déshuilage-Dessablage (Photo 3) .

Le dessablage et le déshuilage se réalisent dans un même ouvrage au même temps: les sables décantent au fond de celui-ci tandis que les graisses remontent en surface avec l'injection de bulles d'air.



Photo 3 : Photos illustrant le dessablage – déshuilage.

2-Traitement primaire : (Photo 4 et 5).

Après le prétraitement, il reste dans l'eau une charge polluante dissoute et des matières en suspension.

Le répartiteur de la première phase reçoit les eaux prétraitées et il les envoie vers les décanteurs qui ont pour rôle la décantation de la matière en suspension par des procédés physiques qui permettent de rassembler les matières en suspension. Ainsi les particules les plus lourdes vont tomber plus facilement vers le fond du bassin.

Les matières en suspension décantant au fond des décanteurs primaire vont constituer la boue primaire. Cette dernière est envoyée vers les épaisseurs pour être concentrée et avoir une teneur en matières en suspension > 70 g/l.

L'eau claire récupérée à la surface est envoyée vers le répartiteur de la deuxième phase et après aux bassins biologiques.



Photo 4 : Le répartiteur.



Photo 5 : Décanteur primaire.

3-Traitement secondaire (Photo 6 et 7)

Le traitement secondaire se fait généralement par voie biologique, son intérêt est d'éliminer les composés organiques, azotés et phosphorés. Ces derniers sont éliminés par des microorganismes. C'est le principe de boues activées qui consiste à mettre en contact les eaux usées avec un mélange riche en bactéries bien brassé pour dégrader la matière organique en suspension ou dissoute.

L'aération au niveau des bassins biologiques est un paramètre primordial pour la dégradation de la matière organique et azotée. Une régulation est faite via des sondes de mesure de l'oxygène dissout et du potentiel de Redox.

La boue activées est utilisée principalement pour :

- Éliminer la pollution organique.
- Éliminer la pollution azotée.
- Éliminer la pollution phosphorée.



Photo 6 : Bassin biologique.



Photo 7: Clarificateur.

4-Traitement tertiaires (Photo 8, 9,10 et 11).

Les eaux clarifiées sont conformes pour un rejet au milieu naturel (Oued Tensift).

Pour une réutilisation pour des fins d'irrigation des golfs, un traitement tertiaire est nécessaire. Ce dernier consiste en une coagulation-floculation, suivie d'une filtration sur sable et d'une désinfection aux rayons ultraviolets et au chlore.

Le traitement tertiaire permet un abattement complémentaire des matières en suspension et du phosphore en plus d'une désinfection des eaux épurées. Finalement L'eau est prête pour être réutilisée.



Photo 8 : Filtre à sable remplie.



Photo 9 : Filtre à sable vide.



Photo 11: Canal injecteur du chlore.



Photo 10: Traitement par UV

II- Le traitement des Boues :

La ligne boue comprend plusieurs étapes : concentration des boues par épaissement ou flottation, digestion, stockage et déshydratation.

1-Epaisseur (Photo 12).

La boue primaire extraite des décanteurs primaires est envoyée par une tuyauterie commune vers deux épaisseurs pour en subir un essorage et diminution de la teneur en eau.



Photo 12 : L'épaisseur.

2-Flottateurs (Photo 13).

Les boues extraites du traitement secondaire sont envoyées au niveau de deux flottateurs. Elles sont mélangées avec du polymère et à l'aide d'une injection de l'eau et de l'air surpressé, les boues flottent à la surface pour être raclées par la suite et envoyée vers la digestion.



Photo 13 : Le Flottateurs.

3 -Digesteurs (Photo 14).

Les digesteurs sont alimentés par un mélange de boue épaissie et de boue flottées qui vont subir une digestion anaérobie afin réduire les matières organiques et de produire du biogaz et plus particulièrement le méthane.

Il s'agit de digesteurs mésophiles qui sont chauffés par des unités de cogérations et deux chaudières.

Pour permettre un bon mélange et à l'intérieur des digesteurs, ces derniers sont dotés de cannes de brassage utilisant une partie du biogaz produit.

Le biogaz produit est envoyée ver deux unités de désulfurisation afin d'être valorisé pour la production de l'électricité ou de la chaleur (chaudière). L'excès de biogaz est brulé au niveau de deux torchères.



Photo 14 : Le digesteur.

4-Stockage de boue (Photo 15).

La station dispose de deux stockeurs des boues digérées permettant de garder une autonomie en cas de panne au niveau des équipements en aval.



Photo 15 : Stockeur de la boue.

5-Déshydratations de boue (Photo 16).

La boue digérée est mélangée avec du polymère et envoyée vers un flocculateur et puis vers la table d'égouttage des filtres à bandes. Ces derniers ont pour rôle le pressage de la boue et l'élimination du maximum d'eau afin d'avoir une boue déshydratée d'une siccité de 25%.



Photo 16 : Mécanisme de déshydratation.

III- Traitement de biogaz :

1-Désulfurisation (Photo 17 et 18).

C'est un procédé d'élimination des sulfures d'hydrogène contenu dans le biogaz afin d'éviter la corrosion au niveau des unités de cogénérations.

La station d'épuration de Marrakech contient deux systèmes de désulfurisation : Désulfurisation biologique et désulfurisation physicochimique.



Photo 17 : La désulfuration.



Photo 18 : Les sulfates jetés.

2 -Gazomètres (Photo 19).

Le biogaz traité par les deux unités de désulfuration est stocké au niveau de deux gazomètres avant d'être utilisé.



Photo 19 : Le gazomètre.

3- Cogénérations et chaudières (Photo 20).

Le biogaz traité est utilisé pour la production de l'énergie électrique pour subvenir aux besoins de la station en terme d'électricité.

En effet la station dispose de quatre unités de cogénérations permettant la production de l'énergie électrique et calorifique à partir du biogaz (50% des besoins énergétiques de la station).

En cas d'un manque de chauffage des 4 digesteurs, la station a recours à deux chaudières.



Photo 20 : Le co-générateur.

4-Désodorisation (Photo 21).

Le traitement des eaux usées est souvent accompagné de l'émanation de mauvaises odeurs dû principalement aux sulfures d'hydrogènes et d'Ammoniac.

Afin de garantir un espace de travail favorable au personnel exploitant et afin de préserver les équipements électromécaniques de la corrosion à l'H₂S la station est dotée de deux unités de désodorisations : désodorisation biologique et désodorisation physicochimique.



Photo 21 : Mécanisme de désodorisation.

IV-Impact de la station sur l'environnement

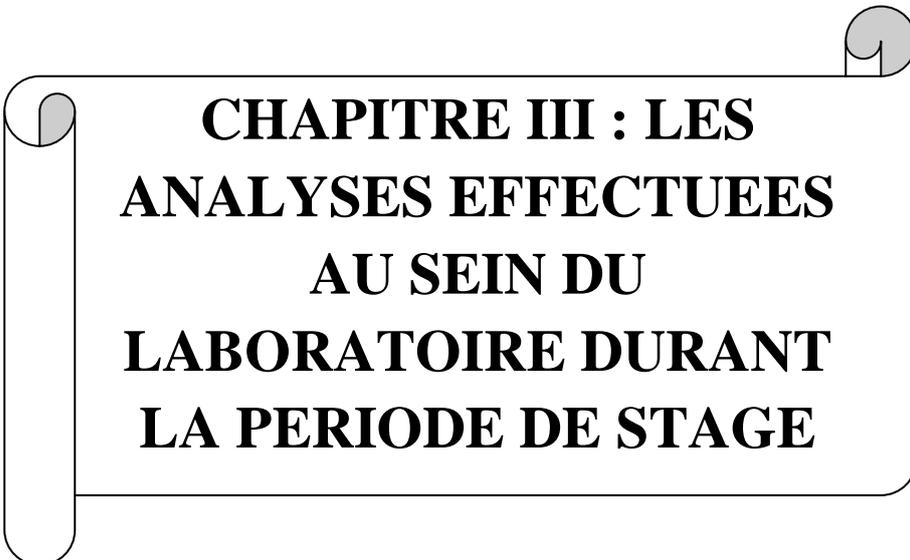
La station de traitement joue un rôle très important dans la protection de l'environnement et des ressources hydriques, à la fin de chaque ligne, une production d'un sous produits est réalisé :

- La ligne eau: production des eaux traitées (épurées) pour l'irrigation des 13 golfs de Marrakech en plus de la palmeraie.
- La ligne boue : les boues déshydratées vont être incinérés puis valorisé en matériaux de construction.
- La ligne biogaz : le biogaz produit est la source essentielle de l'alimentation énergétique de la STEP (presque 50% de sa demande en électricité) après sa combustion au niveau des cogénérations.

En plus de ces sous produits, la station joue également un rôle dans:

- La protection de l'environnement de la pollution (pollution de la nappe, les eaux de surface, ...).

- Réduction des problématiques sanitaires (les maladies, les virus, ...).
- Elimination de la réutilisation des eaux usées non traitée dans l'irrigation (pour les douars qui sont proches des points des rejets des eaux usées).
- Réduction de la consommation abusive de la nappe phréatique pour l'irrigation (utilisation des eaux traitées).
- Assurer l'autonomie en énergie électrique pour l'exploitation de la STEP et profiter des crédits carbone pour le biogaz brûlé (La station classé MDP).



**CHAPITRE III : LES
ANALYSES EFFECTUEES
AU SEIN DU
LABORATOIRE DURANT
LA PERIODE DE STAGE**

La station d'épuration comprend quatre filières de traitement :

- La filière eau qui assure la dépollution des eaux usées.
- La filière boue qui assure le traitement de la boue.
- La filière de biogaz qui assure le stockage, traitement et valorisation de méthane.
- La filière d'air qui assure l'élimination des composés organiques volatils (COV) et les odeurs.

La première partie du stage effectué au sein du laboratoire de WATERLEAU s'est basée sur la réalisation des différentes mesures nécessaires à la caractérisation de l'état de l'effluent :

I- Les analyses effectuées sur l'eau traitées :

L'eau usée à traiter doit être caractérisée pour le dimensionnement d'une installation et lors du suivi d'une station d'épuration par des analyses bien définies. Les analyses les plus importantes sont :

1) DBO5 : La demande biochimique en oxygène (mg O₂/l) (Photo 22).

Critère de pollution organique basé sur la quantité d'oxygène consommée à 20°C et à l'obscurité pendant un temps de référence pour assurer l'oxydation des matières organiques présentes dans l'eau par voie biologique.



Photo 22: Mécanisme de la DBO5.

La DBO, c'est-à-dire la quantité d'oxygène consommée après 5 jours d'incubation, est conventionnellement utilisée. Il convient de noter que la DBO5 n'est normalement représentative que de la pollution organique carbonée biodégradable. Le suivi de la DBO5 en différents points de la station nous permet de contrôler la qualité du traitement.

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

C'est une mesure de la quantité totale d'oxygène nécessaire pour oxyder toute la matière organique et inorganique oxydable d'une eau usée. Elle se fait par méthode rapide en utilisant des Kits « LCK 314 ».

3) MES : Les matières en suspension (mg/l) (Photo 23).

La concentration de matières en suspension dans un échantillon d'eau usée correspond à la quantité de matières non dissoutes présente dans cette eau (exprimée en mg/l). Les matières en suspension sont mesurées par pesée après filtration et séchage à 105°C pendant 4h.



Photo 23 : Mécanisme de filtration.

4) Les Matières décantables (ml/l)

Les matières décantables correspondent aux matières en suspension qui se déposent au repos pendant une durée fixe de 30 minutes dans un cône (exprimée en ml/l). Cette méthode rapide

permet d'avoir une idée sur la quantité de solides non dissous présents dans l'échantillon d'eau.

5) L'Azote :

Au cours de la chaîne de traitement on trouve plusieurs formes d'azote (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , NTK) qui permettent de suivre le processus biologique et le rendement épuratoire en azote. La mesure de l'azote est faite par des kits LCK.

6) Le phosphore :

Le principal inconvénient du phosphore est de favoriser l'eutrophisation des cours d'eau en présence de composés azotés, ce qui se traduit par un développement excessif d'algues planctoniques, d'où l'obligation de sa détermination. Sa mesure est également faite par les Kits LCK.

7) Les composés chimiques et métaux lourds (Photo 24 et 25).

Les composés chimiques et les métaux lourds sont également mesurés par les kits à savoir : Les phénols, les sulfures, le sulfite, le chrome, les hydrocarbures, le zinc, le plomb et le cuivre.



Photo 24 : Les kits LCK



Photo 25 : Spectrophotométrie.

8) La turbidité (NTU) (Photo 26).

La turbidité est une caractéristique optique de l'eau, à savoir sa capacité à diffuser ou absorber la lumière incidente. La turbidité est due à la présence dans l'eau de particules en suspension minérales ou organiques, vivantes ou détritiques. Elle est mesurée par un turbidimètre portable.



Photo 26 : Turbidimètre.

II-Les analyses effectuées sur la boue :

La boue est un mélange de matière minérale, matière organique et d'une grande variété de bactéries et autres micro-organismes vivant sous des conditions aérobies, anoxiques ou anaérobies produits par la station d'épuration à partir des effluents liquides. Les analyses suivantes sont très importantes pour le suivi de la qualité d'une boue.

1) Matières en suspension (MES): concentration en boue :

C'est la mesure de la quantité de boue activée, solides en suspension dans un réacteur. La méthode d'analyse est exactement la même que celles utilisée pour déterminer les MES d'une eau. Dans un système de traitement à boue activée traditionnel, la concentration en boue

« MES » se situe entre 3 et 4.5 g/L.

2) Matières en suspension volatiles (MESV) :

La MESV est considérée comme la mesure la plus exacte pour évaluer la qualité de la boue, car ce paramètre représente seulement la partie organique/active de la boue.

3) Matière sèche (MS) (Photo 27).

La MS représente la concentration en boues après évaporation (à 105 °C) d'un échantillon de boue.



Photo 27 : Matière sèche.

4) Matière volatile sèche (MVS) :

La concentration en MVS est un taux par rapport à la matière sèche totale. Le suivi de ce taux permet de connaître la stabilité d'une boue d'épuration.

5) Volume de boue (VD30) :

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

6) Titre alcalimétrique complet (TAC) (Photo 28).

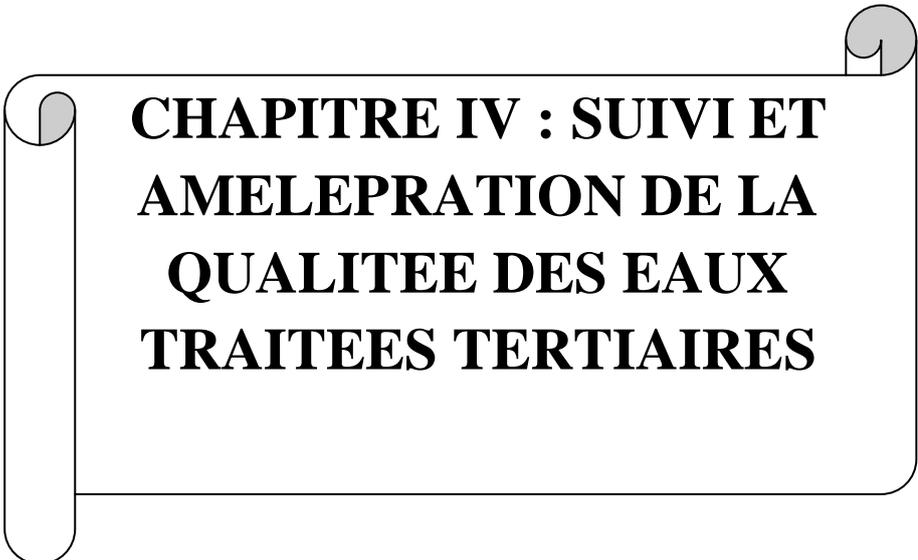
La mesure de TAC permet de matérialiser le pouvoir tampon du milieu, c'est-à-dire la capacité d'un milieu à accepter des apports acides ou basiques sans modification de son Ph. Après l'extraction de la phase liquide des boues, le TAC est obtenue par titration de la solution obtenue à l'aide d'un acide jusqu'à atteindre pH 4.



Photo 28 : Matériel de titrage.

7) Acides Gras Volatiles (AGV) :

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



**CHAPITRE IV : SUIVI ET
AMELEPRATION DE LA
QUALITEE DES EAUX
TRAITEES TERTIAIRES**

Pour la réutilisation des eaux clarifiées en irrigation, un traitement tertiaire est nécessaire. Ce dernier consiste en une coagulation-floculation, suivie d'une filtration sur sable et d'une désinfection aux rayons ultraviolets et au chlore.

I-Problème de la coloration rougeâtre au niveau des eaux clarifiées :

La couleur des échantillons d'eaux est surtout reliée à la présence d'ions métalliques (cuivre, fer et manganèse), de tourbe, de plancton, d'herbage et de composés organiques comme les Substances humiques et les polyphénols (lignines).

Souvent, une eau colorée est traitée afin qu'elle soit utilisable à l'intérieur d'un procédé industriel ou avant son rejet dans les cours d'eau.

D'après les recherches effectuées par WATERLEAU le principal facteur de la coloration rougeâtre des eaux clarifiées est la présence des polyphénols.

1-Définition des polyphénols :

Les polyphénols constituent une famille de molécules organiques hydrosolubles largement présente dans le règne végétal. Ils sont caractérisés par la présence de plusieurs groupements phénoliques associés en structures plus ou moins complexes généralement de haut poids moléculaire. Ces composés sont utiles à la plante pour ses réactions de défense contre les attaques de l'environnement.

2-L'origine de polyphénols :

L'origine principale des polyphénols dans les eaux usées de la STEP est les eaux industrielles provenant du quartier industriel.

II-Proposition d'un coagulant-floculant adéquat pour l'élimination de la coloration rougeâtre (Figure 2).

La coagulation-floculation est un procédé de traitement physico-chimique d'épuration de l'eau, utilisé pour le traitement de l'eau usée.

Le processus de coagulation implique l'ajout des substances chimiques à l'eau comme le sulfate d'aluminium, sulfate ferrique ou chlorure ferrique pour déstabiliser les particules non dessous dans l'eau.

Le processus de floculation implique l'ajout de polymère à l'eau pour rassembler les particules coagulées.

L'ensemble des particules non dessous se sédimentent facilement et le diagramme suivant illustre les réactions et les processus de bases qui se produisent durant la coagulation.

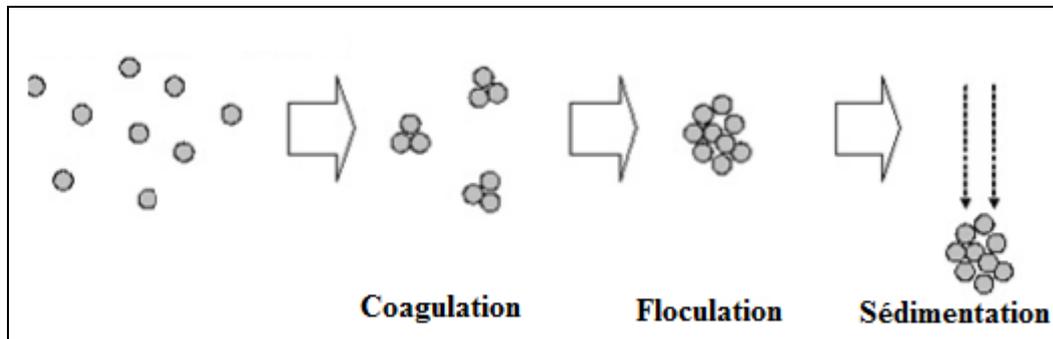


Fig. 2: Processus de coagulation, floculation et de sédimentation [3].

1- Proposition d'un coagulant :

Lors de la réalisation de notre étude, nous avons travaillé sur une gamme de coagulants : chlorure ferrique, sulfate ferrique, sulfate d'alumine ainsi que deux coagulants commerciaux (Floclear, et Flocear Plus).

Essai de coagulation : Jar TEST

Ce test a pour but de choisir le coagulant le plus performant en terme d'élimination de couleur rouge des eaux clarifiées, ainsi que la détermination des doses optimales des différents coagulants testés.

Description du Jar TEST (Photo 29).

Sur une série d'échantillons d'eau clarifiée, nous injectons une dose variable de coagulant.

Nous procédons par la suite à une agitation rapide des différents échantillons suivie d'une filtration sur sable. Ceci permet de choisir la dose optimale du coagulant testé et de déterminer le coagulant le plus performant en termes d'élimination de la couleur et de la turbidité de l'eau.

Mode Opérateur :

- On prélève 5 Litres d'eau clarifiée.
- Dans des béciers d'1 litre on remplit 500 ml d'eau clarifiée.
- On Ajoute une dose croissante en coagulant.
- On procède à une agitation rapide de 3 min.
- Finalement, on filtre le mélange coagulant + eau clarifiée sur un filtre de sable.

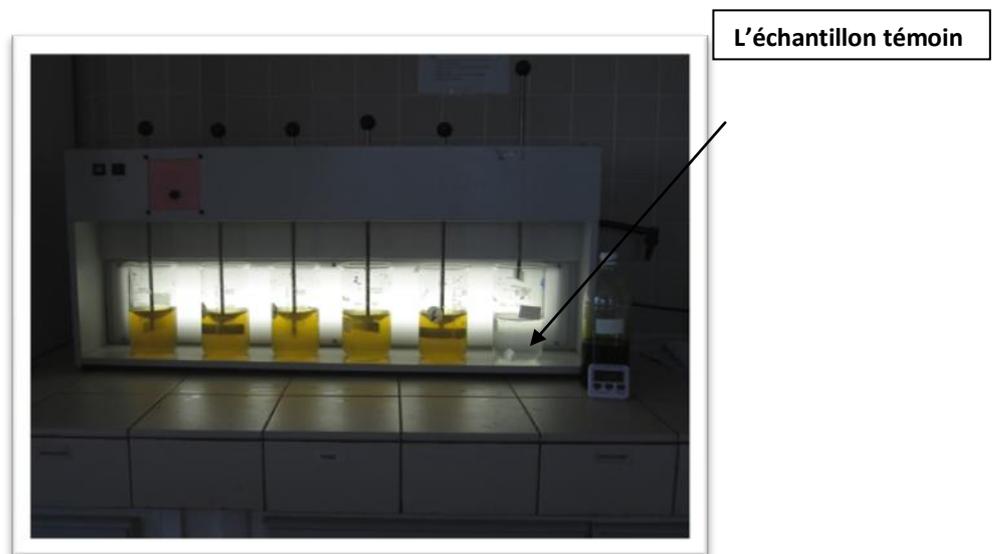


Photo 29 : Mécanisme de jar TEST.

Les résultats sont compilés dans les tableaux suivants :

L'échantillon témoin (Tableau 1).

pH	Conductivité (ms/cm2)	Turbidité (NTU)	Couleur (Pt-Co)
7,55	2,4	2,99	92

Tableau 1: Les résultats de l'échantillon témoin.

A-Coagulant1 : Floclear (Tableau 2).

volume (ml)	PH	Conductivité (ms/cm2)	Turbidité (NTU)	Couleur (Pt-Co)
0,1	6,68	2,73	13	159
0,2	5,33	2,91	33,4	342
0,3	4,7	3,16	12,1	111
0,4	4,56	3,54	19	158
0,5	4,49	3,88	45,3	398
0,6	4,44	4,47	38,7	393
0,7	4,42	4,61	27,6	256
0,8	4,4	4,9	50,4	472

Tableau 2: Les résultats de Coagulant 1 (Floclear).

Commentaire :

D'après les résultats obtenus, nous constatons que :

- le pH diminue et la conductivité augmentent avec l'augmentation du volume de coagulant 1.
- la turbidité et la couleur varient d'une manière aléatoire.
- le volume 0,3 ml de coagulant est la valeur optimale pour avoir des faibles valeurs de turbidité et de couleur.

B-Coagulant 2 : Floclear plus (Tableau 3).

volume (ml)	PH	Conductivité (ms/cm2)	Turbidité (NTU)	Couleur (Pt-Co)
0,1	7,55	2,81	3,37	58
0,2	7,18	2,9	3,72	41
0,3	7,03	2,93	3,65	62
0,4	6,85	3,13	3,19	63
0,5	6,72	3,35	7,22	89
0,6	6,25	3,46	2,52	81
0,7	6,03	3,59	15	125
0,8	5,73	3,71	3,21	91

Tableau 3:Les résultats de Coagulant 2 (Floclear plus).

Commentaire :

D'après les résultats obtenus, nous constatons que :

-le pH diminue et la conductivité augmentent avec l'augmentation du volume de coagulant plus.

-la turbidité et la couleur varient d'une manière aléatoire

- le volume 0,2 ml de coagulant plus est la valeur optimale pour avoir des faibles valeurs de turbidité et de couleur.

C- Coagulant 3 : Sulfate Ferreux (Fe(SO₄)₃) (Tableau 4).

volume (ml)	PH	Conductivité (ms/cm ²)	Turbidité (NTU)	Couleur (Pt-Co)
0,1	6,75	2,3	39,8	250
0,11	6,51	1,93	17,1	53
0,12	6,21	1,95	21,5	105
0,13	6,43	1,94	29,3	219
0,14	6,01	1,95	23	325

Tableau 4: Les résultats de Coagulant 3 (Sulfate Ferrique).

Commentaire :

D'après les résultats obtenus, nous constatons que :

- le pH et la conductivité diminuent avec l'augmentation du volume de sulfate ferrique.
- la turbidité et la couleur varient d'une manière aléatoire
- le volume 0,11 ml de sulfate ferrique est la valeur optimale pour avoir des faibles valeurs de turbidité et de couleur.

D- Coagulant 4: sulfate d'alumine (Al₂(SO₄)₃) (Tableau 5).

volume (ml)	PH	Conductivité (ms/cm²)	Turbidité (NTU)	Couleur (Pt-Co)
0,1	7,6	3,87	3,24	127
0,2	7,12	3,45	3,62	129
0,3	6,87	3,56	3,28	124
0,4	6,64	3,87	3,16	115
0,5	6,24	2,95	3,25	130
0,6	5,98	3,67	3,34	130
0,7	5,65	2,83	3,56	147
0,8	5,55	2,65	3,87	129

Taebleau 5: Les résultats de Coagulant 4 (Sulfate d'alumine).

Commentaire :

D'après les résultats obtenus, nous constatons que :

- le pH et la conductivité diminuent avec l'augmentation du volume de sulfate d'alumine.
- la turbidité et la couleur varient d'une manière aléatoire
- le volume 0,4 ml de sulfate d'alumine est la valeur optimale pour avoir des faibles valeurs de turbidité et de couleur.

E- Coagulant 5 : chlorure ferrique (FeCl3) (Tableau 6).

volume (ml)	PH	Conductivité (ms/cm2)	Turbidité (NTU)	Couleur (Pt-Co)
0,1	6,99	2,6	4,87	122
0,11	6,87	2,61	6,65	146
0,12	6,86	2,6	5,34	128
0,13	6,81	2,61	4,54	105
0,14	6,63	2,62	3,65	68
0,15	6,61	2,64	2,93	68
0,16	6,6	2,67	3,68	60
0,17	6,55	2,66	3,18	64
0,18	6,59	2,64	2,93	55
0,19	6,54	2,65	3,64	67
0,2	6,43	2,65	4,74	93

Tableau 6: Les résultats de Coagulant 5 (Chlorure Ferrique).

Commentaire :

D'après les résultats obtenus nous constatons que :

-le pH diminue et la conductivité augmentent avec l'augmentation du volume de chlore ferrique.

-la turbidité et la couleur varient d'une manière aléatoire

- le volume 0,18 ml de chlorure ferrique est la valeur optimale pour avoir des faibles valeurs de turbidité et de couleur.

Interprétation :

D'après les analyses effectuées sur les différents coagulants , on conclue que le chlorure ferrique est le seule coagulant qui nous a donné des résultats optimaux avec de faibles valeurs de turbidité et de couleur.

Le pourcentage de chlore ferrique utilisé est 40% correspond à une concentration de 920g/l

Donc : 920g \longrightarrow 1000ml.
X \longrightarrow 0,18ml.

$$X = \frac{(0,18 * 920)}{1000} = 0,1656g$$

Un volume de 500ml d'eau clarifiée nécessite 0,1656g de chlorure ferrique (FeCl₃) pour avoir des valeurs optimales de turbidité et de couleur. Ainsi, pour 1 litre il faut 0,3313g de chlorure ferrique.

2-Essai de floculation

Le but de manipulation:

Cette manipulation avait pour but de déterminer la dose de floculant nécessaire à la réduction de la coloration et de la turbidité d'une eau issue du traitement secondaire.

Préparation du polymère :

- 1 litre d'eau de robinet.
- 2g de polymère sous forme de poudre.
- Agitation rapide pendant une heure.

Mode Opérateur (Photo 30 et 31).

- On prélève 5 litres d'eau clarifiée.
- Dans des béciers d'1 litre on remplit 500 ml d'eau clarifiée.
- on ajoute un volume de 0,18ml de FeCl₃ dans chaque béciers (la dose optimale du coagulant choisi).
- On procède à une agitation rapide de 3 min.

- On Ajoute une dose croissante en flocculant.
- On procède à une agitation lente de 15minutes
- Finalement, on filtre le mélange coagulant + flocculant + eau clarifiée sur un filtre de sable



Photo 30: agitation rapide de l'échantillon.

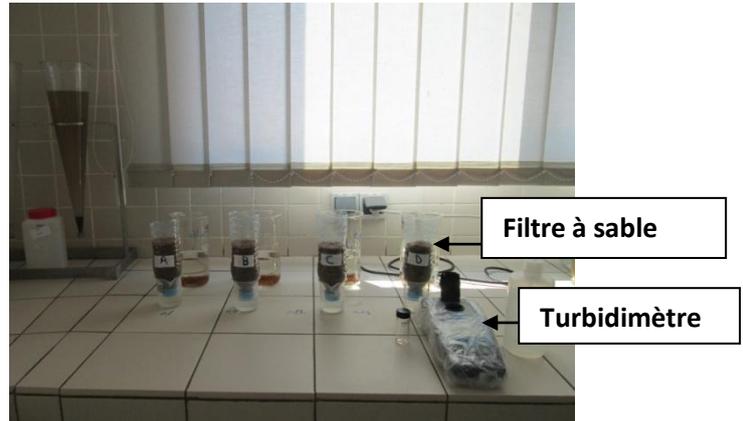


Photo 31 : filtre à sable et turbidimètre.

Les résultats sont compilés dans le tableau suivant (Tableau 7) (Figure 3).

Volume (ml)	PH	Conductivité (ms/cm2)	Turbidité (NTU)	Couleur (Pt-Co)
0,5	6,41	2,73	5,63	70
1	6,45	2,65	2,2	30
1,5	6,39	2,64	1,41	22
2	6,35	2,63	2,55	38
2,5	6,35	2,62	2,46	42

Tableau 7: résultats d'une floculation.

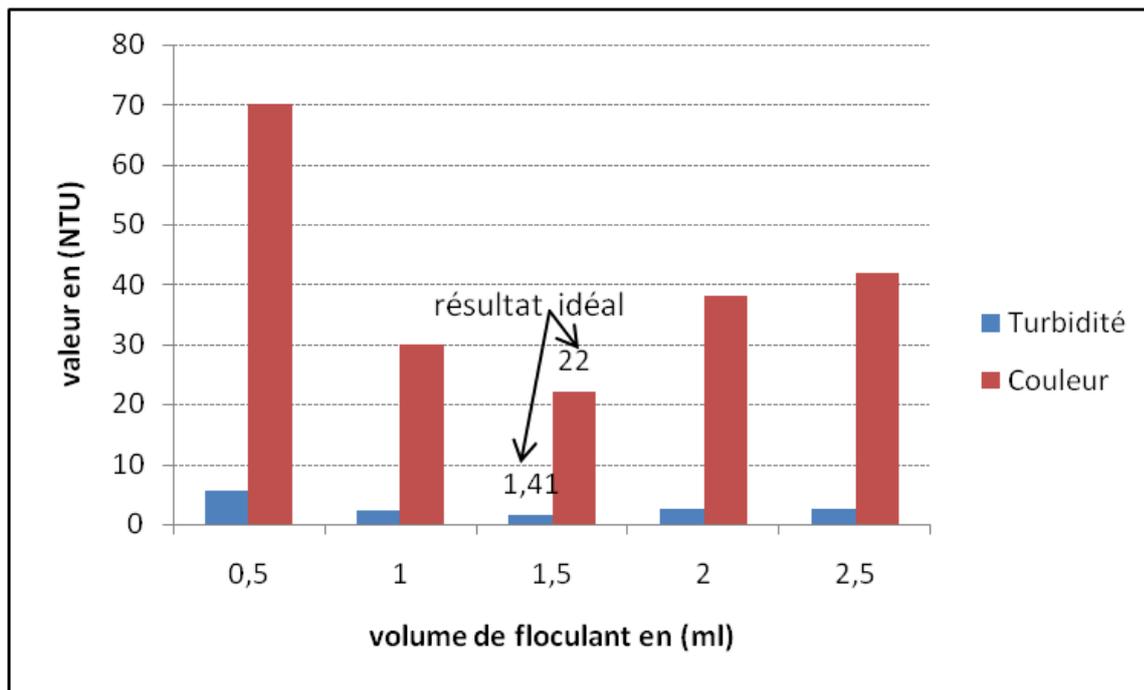


Fig. 3 : variation de la turbidité et la couleur en fonction du volume de polymère ajouté.

Commentaire :

D'après les résultats obtenus nous constatons que :

- le pH et la conductivité diminuent avec l'augmentation du volume de flocculant..
- le volume 1,5ml de flocculant correspond à la valeur optimale pour obtenir de faibles valeurs de turbidité et de couleur.

Interprétations :

Les analyses effectuées montrent que 1,5ml de flocculant est le volume adéquat pour avoir des résultats idéaux de turbidité et de couleur.

La concentration de polymère est de 2g/l.

Donc : 2g \longrightarrow 1000ml.
 X \longrightarrow 1,5ml.

$$X = \frac{1,5 \times 2}{1000} = 0,003g$$

Un volume de 500ml d'eau clarifiée demande 0,003g de polymère, donc pour 1000ml il faut 0,006g de polymère.

Conclusion :

L'étude expérimentale que nous avons menée a été consacrée à l'élimination par coagulation-floculation de la matière en suspension présente dans l'eau et les molécules simples représentées par le phénol.

On conclue que pour 1 litre d'eau clarifiée, nous avons besoin de 0,3313g de coagulant $FeCl_3$ et de 0,006g de polymère pour l'amélioration de la couleur rougeâtre et de la turbidité des eaux traitées tertiaires.

III- Analyse et caractérisation des sables utilisés au niveau de la STEP

1) Introduction :

Le filtre à sable est un moyen écologique de traitement des effluents relativement simple et peu coûteux. Son principe est de faire percoler de l'eau à travers un massif de sable, on s'intéresse à définir la filtration rapide comme étant la technique utilisée dans le domaine de traitement des eaux usées.

Notre étude s'intéresse à l'optimisation de la filtration, à travers le sable, des eaux destinées à l'irrigation des golfes.

Dans le but de trouver la qualité et la granulométrie adéquate des sables utiliser pour la filtration des eaux tertiaires, nous avons récupéré un échantillon de sables ,puis nous avons procédé par la technique de tamisage sec , afin de déterminer la distribution granulométrique.

Filtration rapide :

La filtration rapide par le sable est un processus physique qui enlève les solides en suspension dans l'eau. Cette filtration rapide est beaucoup plus répandue parce que les filtres de sable rapide ont des débits assez élevés et exigent peu d'espace pour fonctionner. Durant la filtration, le taux d'écoulement de l'eau peut aller jusqu'à 20 m^3 par heure. Les filtres sont généralement nettoyés 2 fois par jour.

2-Analyse granulométrique (Photo 32 et 33).

Principe

L'analyse granulométrique est une opération qui permet la détermination de la répartition des particules d'un échantillon en fonction de leur dimension. Celle-ci peut s'effectuer par voie sèche ou humide. L'essai de tamisage d'un échantillon se fait à l'aide d'une série de tamis normalisés empilés les uns sur les autres. La dimension des ouvertures est décroissante du haut en bas.

Chaque tamis donne deux produits : un produit passant à travers le tamis appelé le passant et un produit restant sur la surface de tamis appelé le refus. L'ensemble des poids des fractions restantes sur chaque tamis constitue l'analyse granulométrique.

L'efficacité de tamisage dépend de plusieurs facteurs tels que :

- La masse de l'échantillon.
- La qualité de mouvement (amplitude de vibrations) ou brassage.
- Le temps de tamisage.
- Le débit d'eau d'arrosage.



Photo 32 : L'échantillon de sable étudié.



Photo 33 : Matériels de manipulation.

3- Mode opératoire (Photo 34 et 35).

Les différentes tailles des grains de sable d'un échantillon se déterminent en faisant passer un certain poids de sable (dans notre cas 100g) à travers des tamis gradues à mailles de plus en plus petites (de 2 à 0,63 mm) et en pesant ensuite les fractions de l'échantillon qui sont passées à travers chacun des tamis.

On utilise à cet effet des séries de tamis spéciaux dont la forme permet de les poser les uns au dessus des autres, de façon à constituer un unique récipient clos.

L'échantillon de sable est placé dans le compartiment supérieur sur le tamis à plus grandes mailles, ensuite le tout est secoué mécaniquement ou manuellement jusqu'à ce que les grains de sable aient traversé tous les tamis de maille supérieure à leur taille.

Le temps de vibration est 10min à l'amplitude 7.

Le poids de chaque fraction de l'échantillon traversant un tamis donné est calculé en pourcentage du poids total de l'échantillon utilisé.



Photo 34 L'échantillon pesé.



Photo 35: tamisage de l'échantillon.

4- Les paramètres granulométriques

Les résultats obtenus par l'analyse granulométrique sont portés sur le graphe (Figure 5) et la courbe (Figure 6) ainsi tracée fournit des renseignements précis sur l'échantillon. Ces renseignements sont exprimés sous forme de paramètres granulométriques.

On distingue :

• **Le coefficient d'uniformité (Cu):**

Le degré d'uniformité de la taille des grains, est le quotient de la dimension de grain au-dessous de laquelle se classent en poids 60 % des grains du sable (d_{60}), par la dimension de grain au-dessous de laquelle se classent 10 % des grains (taille effective : d_{10}).

$$Cu = d_{60} / d_{10}$$

• **Indice de classement (S_0):**

L'indice de classement ou l'indice de TRASK, permet de juger le classement des grains de sables en calculant le coefficient suivant :

$$S_0 = \sqrt{q_3} / \sqrt{q_1}$$

Avec q_3 est le quartile à 75 % et q_1 est le quartile à 25 %.

S_0 permet de renseigner sur le transport des grains et leur maturité.

On distingue si :

S_0 est inférieur à 2,5 \longrightarrow le sable est bien classé

S_0 est compris entre 2,5 et 4,5 \longrightarrow le sable est moyennement classé

S_0 est supérieur à 4,5 \longrightarrow le sable est mal classé

• **Indice d'asymétrie (A) :**

Ce paramètre permet de renseigner sur l'agitation du milieu en interprétant l'allure de la distribution des grains.

$$A = (q_1 * q_3) / (q_2)^2$$

Avec q_2 est le quartile à 50 %.

Si $A = 1$, la distribution des grains est symétrique

Si A est différent de 1, la distribution des grains est asymétrique, Dans ce cas :

Si A est supérieur à 1, il y a un excès de grossier dans l'échantillon étudié.

Si A est inférieur à 1, donc il y a un excès de fin.

5-Résultats et interprétation

5-1 Résultats d'analyse granulométrique (Tableau 8).

L'analyse granulométrique de l'échantillon du sable a été effectuée par un tamisage à sec d'une masse de 100g.

Maille(mm)	Masse (g)	Refus (%)	Refus cumulé (%)	passant cumulé (%)
2	9,78	9,78	9,78	90,22
1,6	38,12	38,12	47,9	52,1
1,25	37,54	37,54	85,44	14,56
1	12,86	12,86	98,3	1,7
0,8	1,48	1,48	99,78	0,22
0,63	0,22	0,22	100	0

Tableau 8: Résultats de l'analyse granulométrique du sable.

La courbe de fréquence :

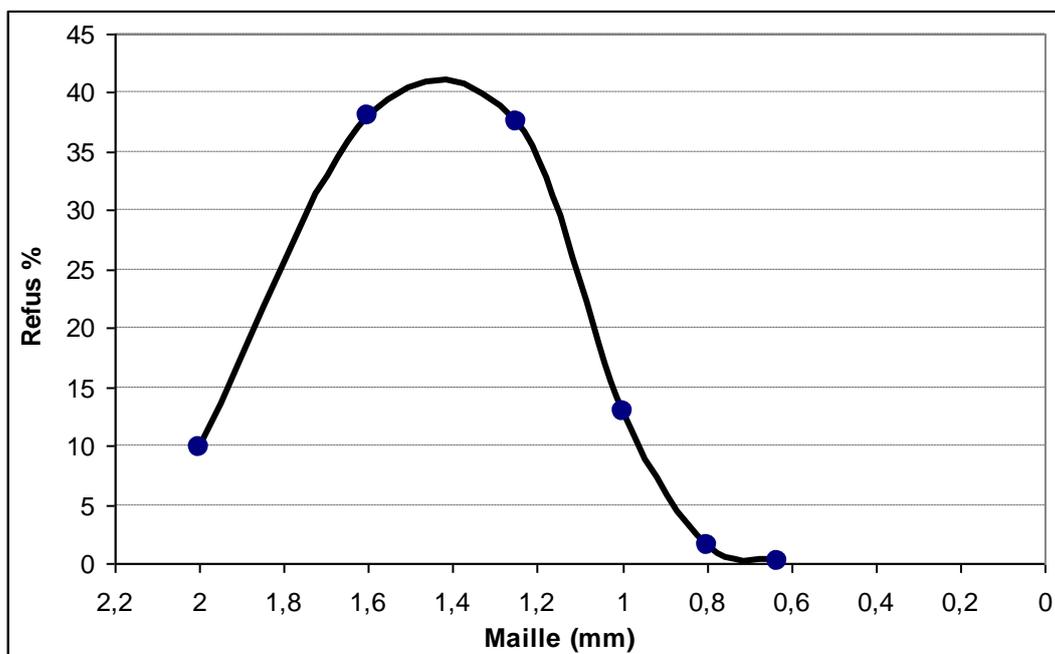


Fig. 5 : La courbe de fréquence du sable.

La courbe de fréquence du sable présente une dominance des grains ayant un diamètre de 1,6 mm avec une proportion de 38,12 %. Nous remarquons également un faible pourcentage d'une granulométrie de 0,63 mm avec 0,22%.

La courbe cumulative :

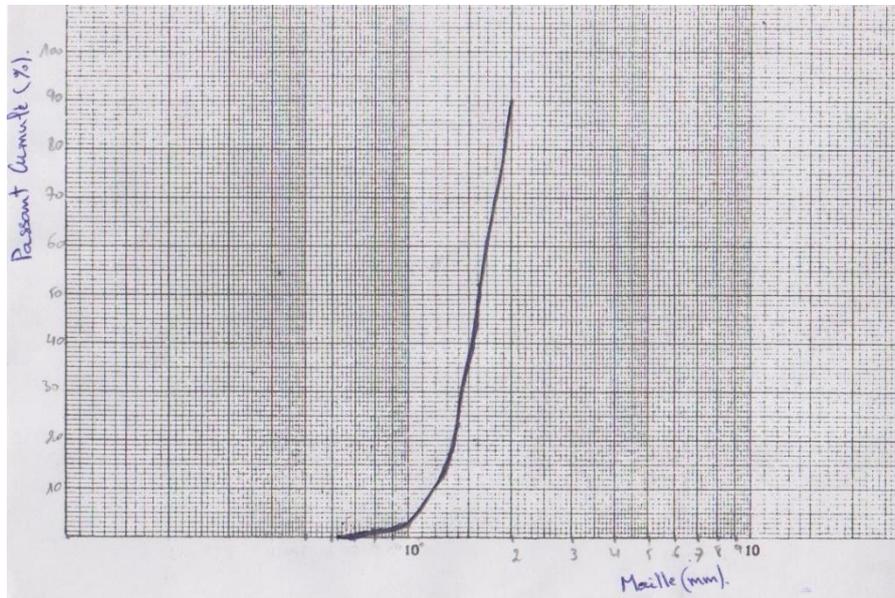


Fig. 6 : La courbe cumulative du sable étudié

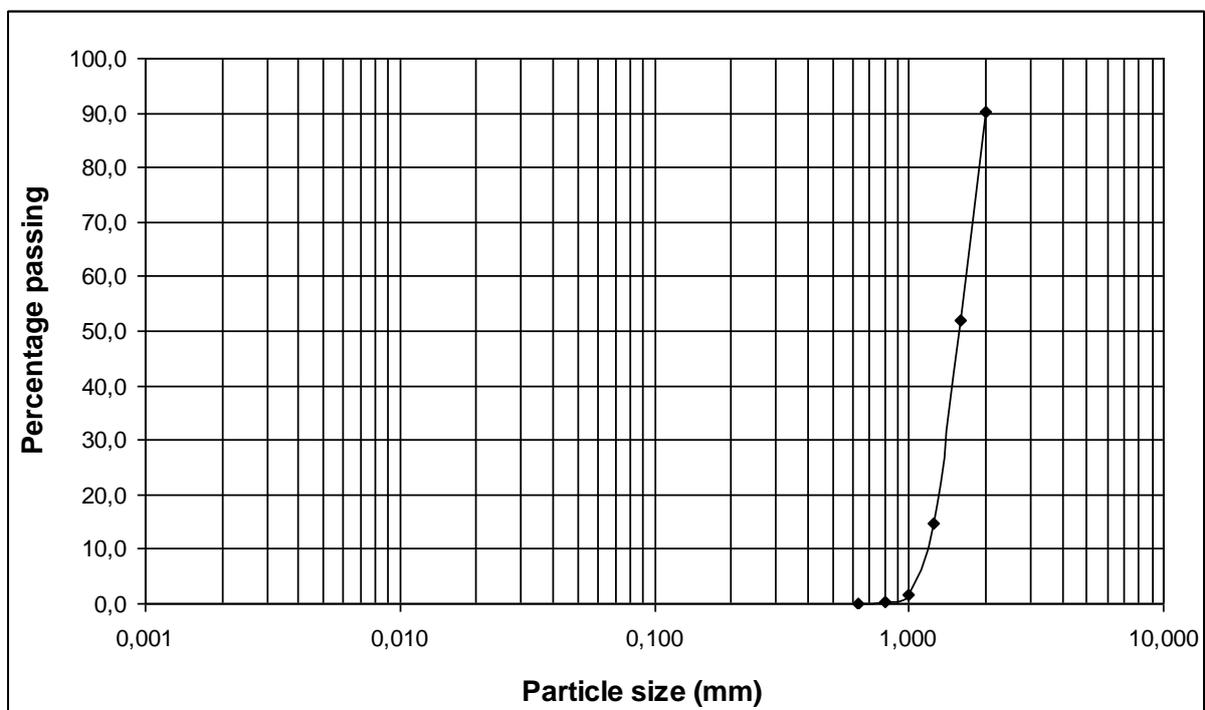


Fig. 6 : La courbe cumulative du sable étudié

5-2) Les paramètres granulométriques calculés :

• Le coefficient d'uniformité (Cu):

$$Cu = d_{60} / d_{10} \text{ (avec } d_{60}=1,7 \text{ et } d_{10}=1,2)$$

$$\text{Donc : } Cu=1,41$$

• Indice de classement (S₀):

$$S_0 = \sqrt{q_3} / \sqrt{q_1} \text{ (avec } q_3=1,9 \text{ et } q_1=1,4)$$

$$\text{Donc : } S_0=1,16$$

• Indice d'asymétrie (A) :

$$A = (q_1 * q_3) / (q_2)^2 \text{ (avec } q_2=1,6)$$

$$\text{Donc : } A=1.$$

Interprétation :

La courbe cumulative du sable illustre un très bon classement des grains justifiant par un indice de classement de 1,16.

La valeur calculée de l'indice d'asymétrie est égale 1et donc la distribution des grains est symétrique.

La granulométrie est entre 0,63 et 2 mm, avec une taille moyenne de 1,31 mm .

L'échantillon présente un coefficient d'uniformité de 1,41.

Conclusion :

La caractérisation des sables par l'étude granulométrique a permis de définir un ensemble de paramètres jouant un rôle important dans le choix du matériau filtrant. Le sable représentant une taille effective entre 1,25 et 1,6 mm , est fréquemment employé dans le dégrossissage des eaux industrielles ou dans le traitement tertiaire des eaux usées.

IV-Le traitement par UV (Figure 7).

Le principe de la stérilisation de l'eau par ultraviolet est très simple : on éclaire l'eau avec des rayons UV, qui ont un effet germicide par destruction des molécules d'ADN. L'efficacité des rayons UV est fonction de la dose absorbée par les micro-organismes. Cette dose est définie par le produit de l'intensité UV par le temps d'exposition des germes aux rayonnements.

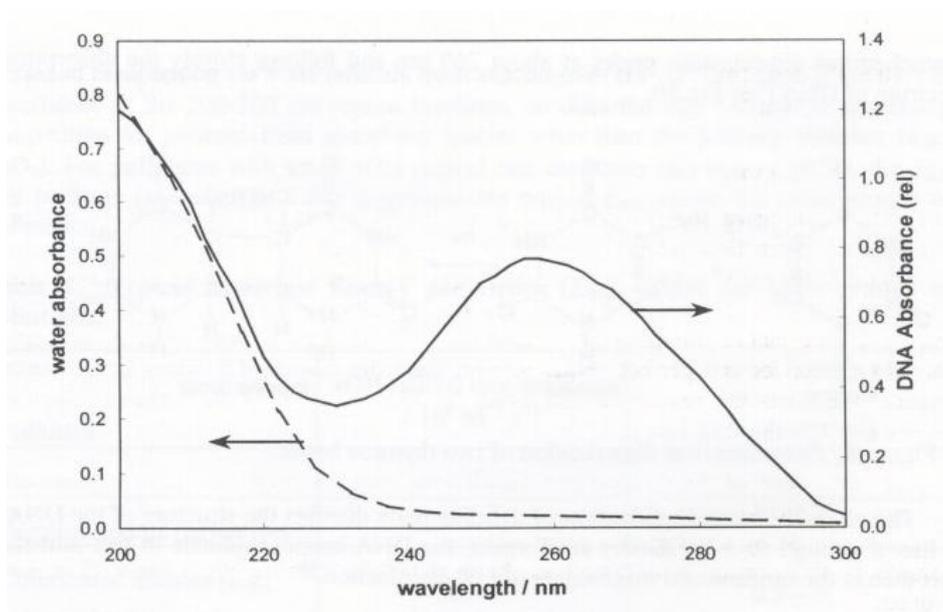


Figure 7 : Absorption du rayonnement ultraviolet par l'eau (pointillé) et par l'ADN (trait continu) [4].

Les UV : 280-200 nm. Ce sont les UV les plus énergétiques et les plus nocifs, leur effet germicide est exploité dans la stérilisation de l'eau ainsi que d'autres objets.

La désinfection par UV tue la majorité des bactéries et des virus présents dans l'eau usée, mais reste sans effet sur les polluants chimiques (chlore, métaux lourds, pesticides...).

1-Le fonctionnement d'un traitement UV (Photo 36).

L'eau est exposée aux rayons légers UV dans une chambre d'écoulement. Quand des microbes nocifs sont exposés aux rayons UV, leur acide nucléique absorbe l'énergie UV, qui brouille alors la structure d'ADN. La cellule est rendue stérile et ne présente plus une menace.



Photo 36 : Traitement par les rayons ultraviolet.

2-Les avantages et inconvénients :

Le système de décontamination de l'eau par UV possède de nombreux avantages. Le plus intéressant est que la désinfection s'accompagne de la formation d'aucun produit de réaction avec les matières organiques de l'eau. L'utilisation de l'appareil est simple, il est adaptable sur un circuit de distribution d'eau déjà en place, son entretien réduit et son coût de fonctionnement est relativement bas.

Ces avantages sont contrecarrés par quelques inconvénients majeurs. Il n'y a pas de possibilité d'apprécier de façon immédiate l'efficacité du traitement par la mesure d'un résiduel comme dans le cas d'un oxydant chimique. Il n'y a pas d'effet rémanent. L'emploi de la désinfection par UV est donc réservé à la désinfection d'eaux dont le circuit de distribution est court et bien entretenu. Enfin, le bon fonctionnement de l'appareil nécessite une eau de bonne transmittance, c'est à dire une turbidité inférieure à 1 NTU.

V- Détermination de la courbe de demande en chlore (Break Point) et comparaison avec le cas d'une coagulation-floculation préalable

1-Introduction

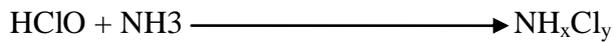
La chloration de l'eau vise deux buts : Elle sert d'abord à rendre inactifs les organismes pathogènes présents dans l'eau. Elle a aussi pour but de faire en sorte que le chlore résiduel libre subsiste jusqu'à l'irrigation du golf de sorte que l'ensemble de la chaîne soit désinfecté.

Les chloramines

Elles résultent de l'action du chlore sur l'ammoniac (NH_3) ou l'ion ammonium (NH_4^+). Elles ont un effet de désinfectant avec la propriété de pénétrer dans le bio film. Les chloramines sont utilisées comme désinfectant secondaire dans certains pays. Elles ont un pouvoir

germicide très inférieur au chlore, mais elles ont la capacité de pénétrer le bio film. Elles sont en fait un très bon complément au chlore.

Réaction de fabrication :



Acide hypochloreux + ammoniac \longrightarrow Chloramines

Il existe trois types de Chloramines. La monochloramine est prédominante dans l'environnement hydrique.

Monochloramine	NH_2Cl
Dichloramine	NHCl_2
Trichloramine	NCl_3

2-Préparation de la solution pour le titrage du chlore actif au thiosulfate [5].

Solution A : thiosulfate 0,1M

- Volume de solution à préparer : 150ml.
- Quantité de thiosulfate à peser : 2,3716g.
- Concentration de la solution NaSO_3 : 0,0637mol/l.

Solution B : amidon concentré 10g /l

- Volume de solution à préparer : 50ml.
- Quantité d'amidon à peser : 0,5g.

Solution C : indicateur

- Volume d'eau utilisé : 145ml.
- Quantité d'acide acétique glacial : 7,25ml.
- Quantité de la solution B : 7,25ml.
- Quantité de iodure de potassium : 0,3625g.

3-Détermination de la courbe de demande en chlore (Break Point) sans coagulation-

floculation:

Mode opératoire (Photo 37).

-Remplir la burette avec la solution A.

-Prélever 50ml d'échantillon à analyser (l'eau tertiaire avant chloration) introduire dans un Erlenmeyer de 200ml.

-on ajoute un volume de 0.1 au 0.31ml de javel avec un écart de 0.1ml.

-Ajouter 20ml de la solution C.

-Agitation avec un barreau magnétique.

-La solution doit devenir foncée (bleu-noir).

Si la solution ne se colore pas, ajouté une deuxième quantité de solution C.

-Doser goutte par goutte le thiosulfate jusqu'au virage total de la solution (changement de couleur de la solution de bleu à incolore).

-Attendre 2 minutes et s'assurer que la solution ne soit pas redevenue bleu.

Si la solution est à nouveau bleu, ajouter goutte à goutte la solution de thiosulfate de sodium jusqu'au virage total.

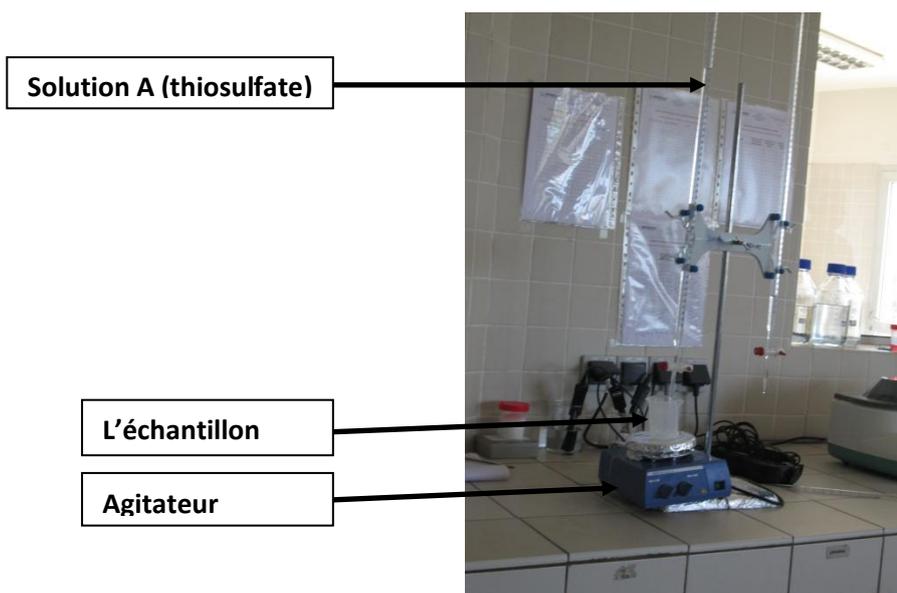


Photo 37 : Titrage du chlore actif.

Le tableau suivant montre les résultats obtenus (Tableau 9).

Tirage	Javel (ml)	l'échantillon (ml)	solution C (ml)	solution A (ml)	chlore actif (mol/L)	chlore actif (g/L)
1	0,1	50	20	1,1	0,0011	0,05665
2	0,2	50	20	2,6	0,0026	0,1339
3	0,3	50	20	1,8	0,0018	0,0927
4	0,31	50	20	3,4	0,0034	0,1751
5	0,32	50	20	3,7	0,0037	0,19055

Tableau 9 : Résultats des titrages du chlore actif par les thiosulfates.

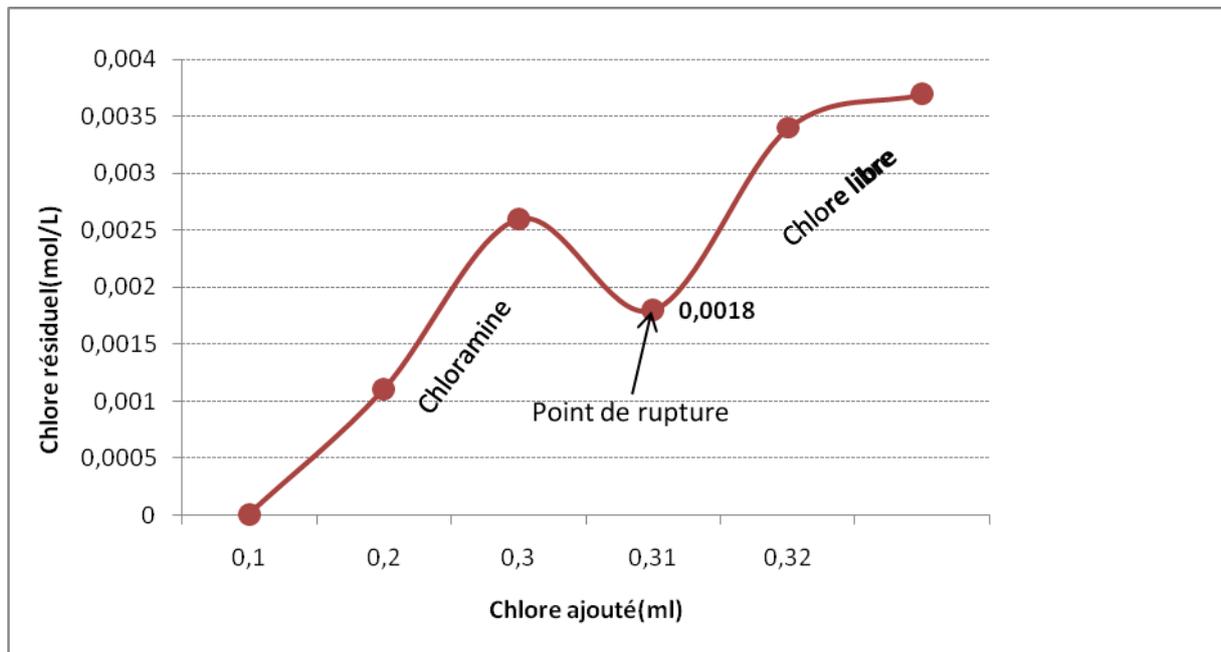
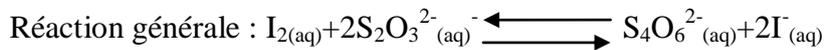


Fig. 6 : La courbe de demande en chlore (sans coagulation-floculation).

Calculs effectués :



La concentration de chlore actif : $C_1 = \frac{0,1 * \text{volume de la solution(A)}}{2 * \text{volume de l'échantillon}} = \text{mol/l}$

Le degré de javel utilisé dans notre manipulation égale 12° par contre le degré de javel utilisé à la station est égale 48°.

La concentration de chlore actif obtenu correspond à 12°, Pour 48°degré il faut multiplier la concentration du chlore par quatre : $C_1 * 4$

Ainsi transformer l'unité en g/l $(C_1 * 4) * 51,5 = X \text{ (g/l)}$. Avec $(\text{ClO}^-) = 51,5 \text{ g/mol}$.

Commentaire :

La première partie de la courbe correspond à la formation de mono, di et trichloramines .leur destruction par le chlore ajouté apporte un affaiblissement de la teneur en chlore total, d'ou affaïssement de la courbe jusqu'au point de rupture précité à partir duquel toute chlore ajouté se transforme en chlore libre.

Interprétation :

Cette courbe montre qu'il faut bien ajouter du chlore pour faire baisser la teneur en chloramines. Le point de rupture correspond a la concentration 0,0018mol/l à partir de laquelle le chlore ajouté sera libre dans l'eau, C'est la concentration optimale à ajouter pour obtenir la désinfection de l'eau (eau tertiaire avant chloration).

Un volume de 50ml d'eau tertiaire avant chloration nécessite 0,3708g de chlore à partir duquel le chlore ajouté sera libre.

Donc pour 1 litre d'eau (tertiaire avant chloration) il faut ajouter 7,41g de chlore à 48° pour avoir une bonne désinfection de l'eau traitées.

4-Détermination de la courbe de demande en chlore (Break Point) avec coagulation-floculation :

Mode opératoire (Photo 38, 39 et 40) .

- on prélève 5 L de l'échantillon d'eau clarifiée.
- en met 200ml de l'échantillon dans un bécher .
- On ajoute 0,18ml e $FeCl_3$ dans le bécher.
- Agitation rapide pendant 3min au Jar-Test.
- Ajout de 1,5 ml de polymère.
- Agitation lente pendant 15min au Jar-Test.
- Filtration par les filtre à sable.
- l'eau obtenue se met dans un autre bécher.
- En ajoutant un volume de javel de 0,1 ml à 0,3ml par un écart de 0,1ml puis de 0,3 à 0,34 ml d'un écart de 0,01ml.
- titrage par les thiosulfates.



Photo 39 : Filtre à sable et turbidimètre.



Photo 38 : Agitation rapide de l'échantillon.



Photo 40 : titrage du chlore actif.

Le tableau suivant montre les résultats obtenus (Tableau 10) (Figure 8).

Tirage	javel (ml)	l'échantillon (ml)	la solution C (ml)	la solution A (ml)	chlore actif (mol/l)	chlore actif (g/l)
1	0,1	200	20	1,3	0,000325	0,0167375
2	0,2	200	20	2,7	0,000675	0,0347625
3	0,3	200	20	3	0,00075	0,038625
4	0,31	200	20	2,5	0,000625	0,0321875
5	0,32	200	20	2	0,0005	0,02575
6	0,33	200	20	1,9	0,000475	0,0244625
7	0,34	200	20	3	0,00075	0,038625

Tableau 10 : Résultats des titrages du chlore actif par les thiosulfates.

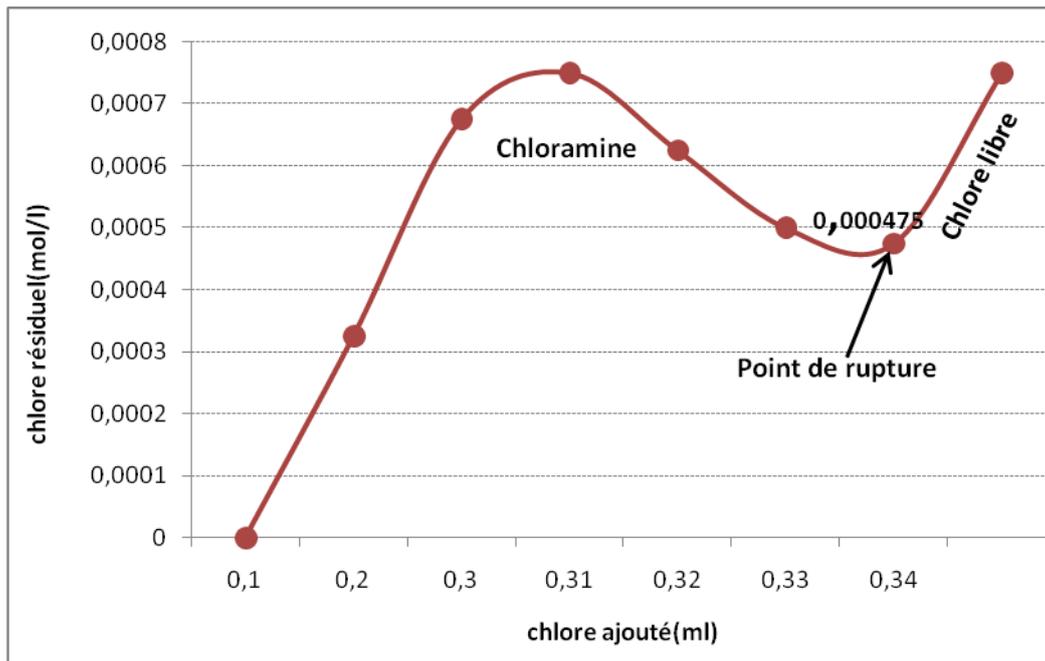


Fig.8 : La courbe de demande en chlore (avec coagulation-floculation).

Interprétation :

Cette courbe montre qu'il faut bien ajouter du chlore pour faire baisser la teneur en chloramines, la concentration $0,000457 \text{ mol/l}$ montre le point à partir duquel le chlore ajouté sera libre dans l'eau (Break point) donc c'est la concentration optimale à ajouter pour avoir la désinfection de l'eau (eau clarifiée préparée au laboratoire).

Un volume de 200ml d'échantillon nécessite 0,024g de chlore à partir duquel le chlore ajouté sera libre.

Donc pour 1 litre d'eau (tertiaire avant chloration) il faut ajouter 0,48g de chlore pour avoir une bonne désinfection de l'eau traitée.

Conclusion :

D'après la comparaison entre les deux échantillons étudiés on conclut que la coagulation-floculation joue un rôle très important dans la diminution du chlore demandé pour atteindre le point de rupture, à partir de laquelle le chlore ajouté sera libre.

CONCLUSION :

Cette expérience professionnelle que nous avons effectuée au sein de la société WATERLEAU nous a été très enrichissante et formative.

En effet, on a eu à s'adapter à un nouvel environnement professionnel et à intégrer une équipe de travail soudée.

En terme de compétences techniques, nous avons pu nous familiariser avec les analyses usuelles de contrôle de la qualité des eaux usées ainsi que les sous-produits du traitement (boue, air vicié etc...) à savoir : les analyses d'MES, MESV, NGL, NTK, N-NO₃, N-NH₄, N-NO₂, TAC, AGV ...

Au cours de ce stage professionnel, nous avons beaucoup approfondi nos connaissances et notre savoir-faire relatifs au suivi de la qualité du traitement en profitant pleinement de l'expérience de nos encadrants et de l'équipe de laboratoire.

L'ensemble des compétences que nous avons pu acquérir nous a permis de traiter la problématique de la coloration rougeâtre des eaux épurées avec professionnalisme. En effet, nous avons pu proposer et confirmer le choix du chlorure ferrique ; coagulant minéral de dimensionnement par rapport à d'autres coagulants minéraux tels que le sulfate ferrique, sulfate d'alumine ou autres.

Le chlorure ferrique permet d'avoir une meilleure élimination de la couleur en plus d'un abattement de la turbidité.

A noter que l'utilisation d'un polymère anionique est nécessaire pour avoir une meilleure floculation.

Le traitement par les rayons UV permet de tuer la majorité des virus et bactéries mais il reste sans effets sur les polluants chimiques.

L'analyse granulométrique permet de conclure que les grains sont de bon classement avec une distribution symétrique.

La quantité de chlore utilisée pour la désinfection sera très faible après l'opération de coagulation-floculation.

BIBLIOGRAPHIE

- BENNANI.O(2012) :Optimisation du fonctionnement de la station d'épuration des eaux usées de Marrakech FST Page16.17 (LST EE).
- AZZOUZI. M(2012) : Valorisation des boues de la station d'épuration de la ville de Marrakech FST. page10 (LST EE).
- [1]Anonyme. PROTECING THE 4 ELEMENTS ., document technique, WATERLEAU, 2012.
- [2] Anonyme . Manuel processus. Prétraitement et traitement primaire, traitement secondaire et tertiaire, traitement de l'air vicié, station d'épuration de Marrakech, Groupement Golden State – WATERLEAU - SOTRADEMA – EUSEBIOS.2011
- [3] United States Environmental Protection Agency. October 1999. EPA Drinking Water and Health: What You Need to Know! <http://www.epa.gov/safewater/dwh/dw-health.pdf>
- [4] Ultraviolet Applications Handbook, Bolton, James R., Ph.D, Bolton Photosciences Inc.,Ayr, Canada, 2001.Web : <http://www.boltonuv.com>.
- [5] titrage du chlore actif au thiosulfate de sodium (fondation Antenna Technologies)www.antenna.ch
- « Chloration au point de rupture »Standard Methods for the examination of water. Ed. Apha Awwa WPCF - Washington -19 edition 1995.