

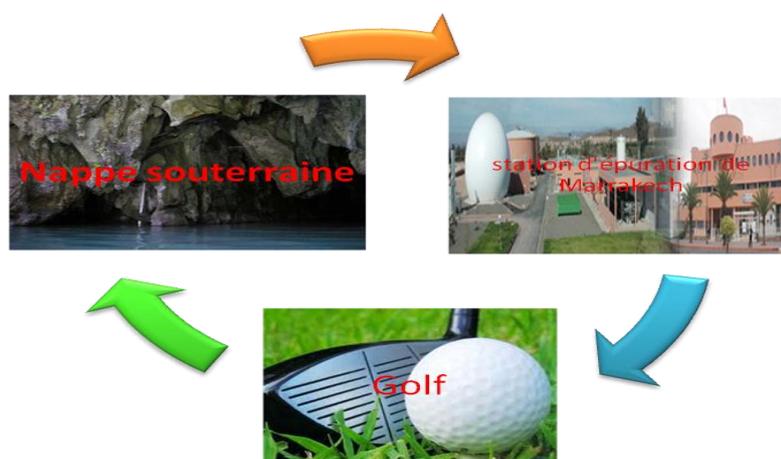


Faculté des Sciences et
Techniques- Marrakech
Département des sciences de la terre



MEMOIRE
Présenté pour obtenir le titre de :
Licence Sciences et Techniques
Eau et environnement

*Réutilisation des eaux usées et des boues résiduaires traitées
par la station d'épuration de Marrakech dans les terrains de
golf et leurs effets sur la nappe souterraine et le gazon.*



Réalisé par : Mlle .Assma BABACHEIKH

Encadré par : Mme .Roqaya BAHJOU (chef division exploitation et l'installation des traitements eaux usées - RADEEMA)

Mr. Khalid ELAMARI (Faculté des Sciences et Techniques - Marrakech Département des Sciences de la Terre
laboratoire Géoresources, URAC42)

Soutenu le 1 Mars 2012 devant le jury :

- Mr. Khalid ELAMARI (FSTG)
- Mlle. Yamina BOURGEOINI (FSTG)
- Mlle. Nadia KHAMLI (FSTG)

Année universitaire 2011/2012

Remerciements

Au terme de ce travail, je tiens tout d'abord à remercier mon Professeur **Mr. ELAMAR KHALID** qui a fait preuve d'une grande patience et disponibilité à mon égard et qui m'a permis, grâce à ses conseils, de mener à bien mon stage.

J'adresse également ma gratitude à **M. BAHJOU ROQAYA** qui m'a accueillie au sein de la station d'épuration des eaux usées et qui a accepté de m'encadrer et me diriger le long de ce travail. Un grand merci pour son précieux suivi du mémoire.

Mes sincères remerciements vont également aux membres du jury qui ont accepté de juger mon travail.

Enfin, mes remerciements vont aussi à toutes les personnes du département des sciences de la terre qui ont participé à ma formation ou à la réalisation de ce travail.

Résumé :

Ce travail consiste en l'étude des différentes étapes de traitement d'eau usée, boue et gaz. Un intérêt particulier a été consacré au traitement tertiaire des eaux et des boues résiduaires pour les exploiter dans l'arrosage des golfs à Marrakech. Pour l'irrigation des golfs, les prévisions des besoins pour l'année 2012 ont été estimées à partir des volumes d'eau traitée au niveau de la RADEEMA. La capacité des pompes installées dans les stations de pompage est suffisante pour satisfaire les besoins des golfs. Enfin on a constaté que les effets des éléments nutritifs contenus dans les eaux tertiaires et les métaux lourds existants dans les boues résiduaires, posent un danger en cas d'excès sur les gazons des golfs et également sur la nappe souterraine. Pour résoudre ce problème, des propositions pratiques pour diminuer l'effet de ces éléments sur la nappe ont été proposées.

Sommaire

Liste des tableaux.....	5
Liste des figures	6
Liste des photos.....	7
Liste des abréviations	8
Introduction générale	9
□ Présentation de la RADEEMA.....	11
Chapitre 1 : Station d'épuration.....	13
I-1-Qualité des ressources en eau.....	13
I -2-Assainissement liquide.....	14
II -La station d'épuration.....	14
II-1-Situation de la station.....	14
II-2-Objectifs de la mise en place de la STEP.....	15
II-3 Traitement des eaux usées (Phase 1)	17
II-3-1 Mesure d'accompagnement pour la protection en amont de la STEP..	17
II-3-2 Description du processus de traitement	18
2-1-File eau.....	18
2-2-File boue.....	22
2-3- File gaz.....	26
e- Le suivi des indicateurs de performances	28
II-4 Traitement des eaux usées (Phase 2)	30
II-4-1 Traitement secondaire	30
II-4-3 Traitement tertiaire.....	35
Chapitre 2 : Etude de la régulation entre le réseau de réutilisation et le traitement tertiaire de la STEP.....	44
I. Les besoins en eau pour l'irrigation des golfs et de palmeraie	44

II. Etude de la capacité de chaque station de pompage en se basant sur la puissance des pompes.....	49
Chapitre 3 : Qualité des eaux usée épurées et des boues résiduaires.....	53
I. Valorisation des éléments nutritifs.....	52
1. Les éléments minéraux et exigences des plantes (gazons).....	52
2. Rôles des éléments nutritifs dans la croissance des gazons des golfs...54	
3. Bonnes pratiques de Contrôle du problème de l'excès des éléments nutritifs dans l'eau usée épurée.....	55
II. Les boues résiduaires	56
1. Composition des boues et contamination chimique à Marrakech	56
➤ Conclusion générale.....	60
➤ Annexes	

Liste des tableaux

Tableau 1: Qualité des différents oueds de la plaine de Tensift-Haouz (RADEEMA).

Tableau 2 : Taux d'accroissement de la population, consommation en eau potable, taux de raccordement au réseau d'assainissement et le débit moyen des eaux usées de la ville de Marrakech. (D'après le schéma directeur de la RADEEMA mission A Mars 2008).

Tableau 3: Bilan énergétique de la STEP (RADEEMA 2008).

Tableau 4 : Caractéristiques d'ouvrage de dégazage.

Tableau 5: Caractéristique des clarificateurs.

Tableau 6 : Caractéristiques de comptage de l'effluent traité.

Tableau 7: Rendement du traitement secondaire (D'après le schéma directeur de la RADEEMA. Mission B).

Tableau 8 : Norme Marocaine (Arrêté n° 1276-01 du 17 octobre 2002 portant sur la fixation des normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation) extraite du RADEEMA 2009, étude de la possibilité d'extension de la STEP de Marrakech.

Tableau 9: Les avantages et les inconvénients de chaque processus d'abatement de MES.

Tableau 10: Caractéristique de coagulateurs.

Tableau 11: Caractéristiques des stockeurs de chlorure ferrique.

Tableau 12 : Caractéristiques de flocculateurs.

Tableau 13 : Caractéristique des ouvrages de filtration.

Tableau 14 : Rendement du traitement tertiaire (D'après RADEEMA. Mission B).

Tableau 15 : Norme Marocaine (Arrêté n° 1276-01 du 17 octobre 2002 portant sur la fixation des normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation).

Tableau 16 : Consommations du chlore.

Tableau 17 : Caractéristiques des épaisseurs.

Tableau 18 : Estimation de la répartition mensuelle des achats, ventes, volume eau traité et volume eau brute en 2012.

Tableau 19 : Les volumes annuels et mensuels des besoins estimés des eaux traitées destinés à l'irrigation des golfs et de la palmeraie pour 2012.

Tableau 20: les volumes mensuels et journaliers moyens et les débits horaires moyens, prévus pour l'année 2012, de chaque station de pompage.

Tableau 21 : la répartition des débits horaires moyen des besoins globaux et particuliers sur les pompes.

Tableau 22 : Le débit horaire moyen distribué par chaque pompe

Tableau 23 : Rôles des éléments nutritifs dans l'évolution des gazons (L'ABC du gazon ,2009)

Liste des figures

- Figure 1: Situation géographique de la STEP de la ville de Marrakech (RADEEMA, 2007).**
- Figure 2: Schéma de la Station d'épuration de Marrakech (RADEEMA 2009, étude de la possibilité d'extension de la STEP de Marrakech).**
- Figure 3: Schémas descriptifs De la ligne du traitement des eaux et des boues de la station d'épuration de la ville de Marrakech (Maquette STEP Marrakech).**
- Figure 4: Chaîne de traitement des eaux (RADEEMA 2008).**
- Figure 5: Chaîne de traitement des boues (RADEEMA 2008).**
- Figure 6: Principe de mesure de débit mis en place à l'entrée de la station.**
- Figure 7: Mesure des matières en suspension.**
- Figure 8: Mesure de la DCO.**
- Figure 9:Éléments d'une station à boues activées (d'après le rapport du Traitement et réutilisation des eaux usées épurées dans la ville de Marrakech 2010).**
- Figure 10:Les différentes étapes de la métabolisation de la pollution azotée. (RADEEMA 2008, Traitements biologiques des eaux résiduaires, 3p.).**
- Figure 11: Carte de répartition des complexes golfiques dans la ville de Marrakech (RADEEMA 2008)**
- Figure 12: Représentation des achats, ventes, volume d'eau brute, volume d'eau traitée et volume moyen en fonction des mois de l'année 2012.**
- Figure 13 : le débit horaire moyen mis et utilisé chaque station du pompage.**
- Figure 14 : Caractéristiques des stations de pompage.**
- Figure 15 : Influence du Un manque d'aération du sol sur la plante. (Présentation du Guide Technique de la Réutilisation des Eaux Usées Epurées -Étude ONEP / FAO -2009).**

Liste des photos

Photo 1 : RADEEMA.

Photo 2 : STEP.

Photo 3 : Grille automatiques (à gauche), Grille manuelle (à droite).

Photo 4 : Photo du Bennes.

Photo 5 : Photo du Désableur-déshuileurr.

Photo 6 : Photo du Répartiteur (à gauche), décanteur (à droite).

Photo 7 : Photo du Canal venturi (à gauche), débitmètre (à droite).

Photo 8 : Photo des Epaisseur.

Photo 9 : Photo du digesteur.

Photo 10 : Photo du Stockeur.

Photo 11 : Filtres à bande.

Photo 12 : Photo de file gaz.

Liste des abréviations

RADEEMA : Régie Autonome de Distribution d'Eau, d'Electricité de Marrakech.

AEP : Alimentation en Eau Potable.

STEP : Station d'Épuration des Eaux Polluées.

ONEP : Office National de l'Eau Potable.

DBO5 : Demande biologique en oxygène pendant 5 jours.

DCO : Demande chimique en oxygène.

MES : Matières en suspension.

PT: Phosphore.

NGL: L'azote Global.

NTk: Azote Total Kjeldal.

FAB: Filtre à Bande.

SP : station de pompage.

Introduction générale

La ville de Marrakech a connu ces dernières années un développement urbanistique et démographique spectaculaire en raison notamment de l'accroissement de l'activité touristique. La demande en eau de consommation ne cesse de croître, ce qui implique une pression de plus en plus forte sur les ressources en eau disponibles.

Avec la construction récente et le développement planifié de plusieurs complexes de golf à Marrakech, cette pression sur les ressources en eau augmentera encore, voir deviendra insupportable pour la communauté vu les besoins considérables en eau d'irrigation que nécessite ce type d'activité.

La réutilisation en irrigation des eaux usées traitées par la station d'épuration de Marrakech représente une source de diversification pouvant jouer un rôle majeur au vu de l'ampleur des volumes que cette station permettra de traiter. En raison de leur teneur en matière organique et en éléments fertilisants, les boues de station d'épuration sont des déchets tout à fait valorisables, utilisées comme des engrais dans les terrains de golfs.

En effet, la charge importante de ces eaux usées en sels et en nitrates favorise l'augmentation la salinité du sol. Les nitrates percolent en profondeur provoquant ainsi un risque de contamination de la nappe souterraine. Les boues résiduaires portent des éléments métalliques qui peuvent engendrer des contaminations chimiques du gazon et de la nappe phréatique.

Le défi sera alors de concevoir et d'opérer de nouveaux systèmes de gestion de l'eau qui soient en mesure de satisfaire la demande en eau dans un contexte de rareté, tout en respectant les exigences de l'environnement.

Objectifs et méthodologie du travail :

Ce travail comporte deux parties :

* Une première partie, bibliographique, consacrée aux processus de traitement des eaux usées sur les trois lignes : eau, boue et gaz.

* Une deuxième partie, pratique, a pour objectifs de :

✓ Etudier , d'une part, la possibilité de transport de l'eau traitée par la STEP à l'aide des stations de pompage pour l'irrigation des terrains de golf et de la palmeraie de Marrakech pour l'année 2012, et d'autre part, proposer des solutions vis-à-vis l'impact de l'excès des éléments indésirables contenus dans l'eau et la boue réutilisées dans les terrains de golf . Pour atteindre ces objectifs on a fait :

- L'estimation des besoins en eau traitée pour l'irrigation des terrains de golf et de la palmeraie de Marrakech de l'année 2012 en se basant sur les données des années 2010 et 2011.
- Le calcul de la capacité des pompes installées dans les stations de pompage ainsi de voir s'elles peuvent satisfaire tous les besoins en eau traitée des terrains de golf et de la palmeraie de l'année 2012 ou non.
- La valorisation des éléments nutritifs contenus dans les eaux usées épurées afin de déterminer la qualité des eaux du traitement tertiaire.
- La valorisation des boues résiduelles utilisées comme engrais dans les terrains des golfs.
- L'influence de la réutilisation des eaux usées épurées et les boues secondaires sur le gazon et la nappe souterraine de la ville de Marrakech.

➤ **Présentation de la RADEEMA**

La R.A.D.E.E.M.A (**La Régie Autonome de Distribution d'Eau et d'Electricité de Marrakech**) a été créé à partir du premier janvier 1971, et ce suite aux délibérations du conseil communal de la ville le 26 décembre 1970.

La RADEEMA assure la distribution d'eau et d'électricité et l'exploitation du service d'assainissement liquide au sein de la ville de Marrakech.

Les trois activités couvrent une zone d'action de 24.000 ha et une population d'environ 950.000 habitants.

L'effectif de la RADEEMA compte au 31-12-2008, un total de 917 agents, tous mobilisés pour la desserte de 202.146 clients en électricité, 190.810 clients en eau potable et la gestion de 114.812 branchement d'assainissement liquide.

-Les taux de raccordement par réseau sont respectivement de :

-Eau : 94,7%

-Assainissement liquide : 87,8%

-Electricité : 93,5%



Photo1 : RADEEMA

Première Partie

Station d'épuration de Marrakech



Photo2: STEP

Chapitre 1 : Station d'épuration

I -La ville de Marrakech

I-1-Qualité des ressources en eau

1-1-Les eaux de surface

La Qualité des eaux de l'oued Tensift est moyenne à mauvaise en raison d'une forte minéralisation et de la pollution organique et bactériologique importante à l'aval des rejets urbains de la ville de Marrakech (Oued R' dat et Oued Rheraya).

Le tableau 1 représente la qualité des eaux de surfaces selon les oueds de la plain de l'houez.

Tableau 1: Qualité des différents oueds de la plaine de Tensift-Haouz (RADEEMA 2007).

Oueds	Qualité des eaux
Oued N' fis	Eaux de qualité bonne à moyenne, aptes à tous les usages avec un traitement normal pour l'AEP
oued Zat	Eaux de qualité bonne à moyenne, aptes à tous les usages avec un traitement normal pour l'AEP
Oued R' dat	Eaux de qualité moyenne, une salinité élevée enregistrée au niveau de la station Sidi Rahal et aval Sidi Rahal
Oued Rheraya (tahanaout)	Eaux de qualité moyenne (problème de salinité)
Oued Ourika	Eaux de qualité bonne à moyenne aptes à tous les usages avec traitement normal pour l'AEP

1-2-Les eaux souterraines

Pour la région de Marrakech la principale nappe est celle de Haouz-Mejjate .C'est la nappe la plus productive de la région mais également la plus exploitée.

La nappe du Haouz-Mejjate (Bas Tensift), présente une qualité moyenne à mauvaise. Mais au niveau du secteur de la nappe du Haouz situé en aval de Marrakech, les eaux deviennent de très mauvaise qualité, vue la teneur élevée en nitrates et leur salinité qui dépasse généralement 4g/l. (Lyakhloufi, 2001 et ONEP, 1993).

I -2-Assainissement liquide

La ville de Marrakech est dotée d'un réseau d'assainissement collectif de deux types : unitaires et pseudo-séparatifs (figure 1). Le mode pseudo-séparatif est adopté dans la zone industrielle Sidi Ghanem, la zone M'Hamid et les zones équipés après 1998. Tous ces collecteurs mènent au point de rejet qu'on appelle le milieu récepteur c'est l'Oued Tensift.

Le tableau 2 présente taux d'accroissement de la population, consommation en eau potable, taux de raccordement au réseau d'assainissement et le débit moyen des eaux usées de la ville de Marrakech

Tableau 2 : Taux d'accroissement de la population, consommation en eau potable, taux de raccordement au réseau d'assainissement et le débit moyen des eaux usées de la ville de Marrakech. (D'après le schéma directeur de la RADEEMA mission A Mars 2008).

	2006	2010	2015	2020	2030
Population (HAB)	872.290	916.780	1.044.129	1.135.949	1.318.315
Consommations (m ³ /an)	35.287.470	37.451.058	49.353.356	56.056.810	66.480.524
Taux de raccordement au réseau d'assainissement (%)	89	95	95	98	98
Débit moyen total des eaux usées (m ³ /j)	73.142	82.815	109.186	127.932	151.721

La consommation apparue dans le tableau 2 résume le total de la consommation de la population branchée, non branchée, la consommation administrative, industrielle et hôtelière.

L'assainissement liquide a pour but de résoudre les problèmes provoqués par les rejets des eaux usées brutes dans le milieu récepteur. La station d'épuration des eaux usées était l'une des composantes clés, pour laquelle une attention particulière était accordée lors des étapes de l'élaboration des études.

II -La station d'épuration

II-1-Situation de la station

Le site de la station d'épuration est situé au nord de la ville de Marrakech, sur la rive gauche de l'oued Tensift et à quelques mètres de de la décharge publique (figure1).

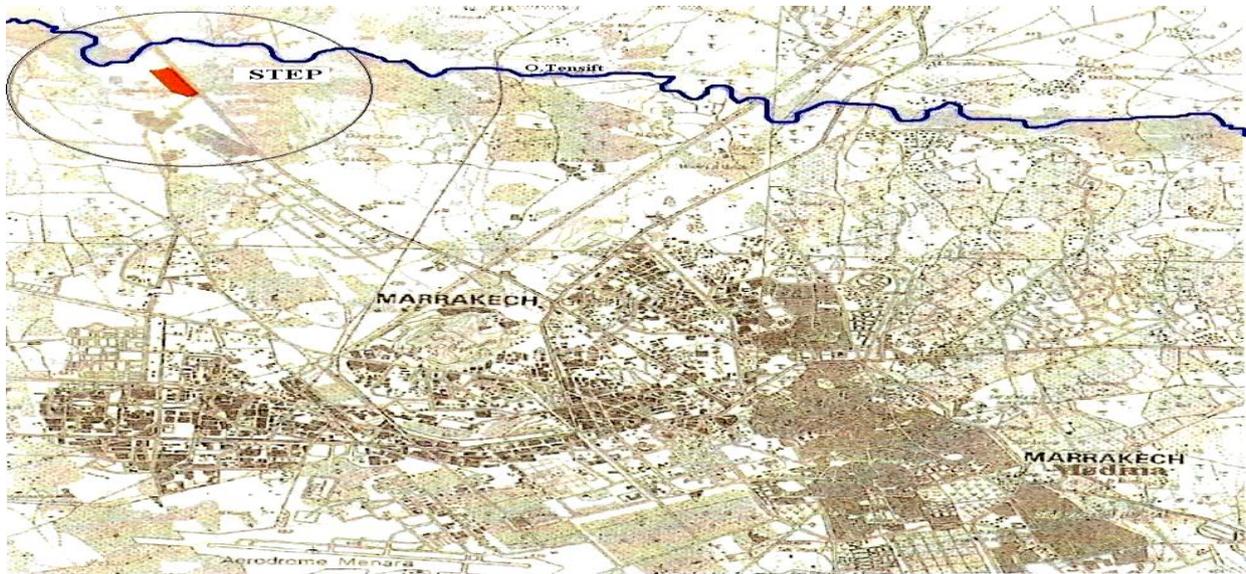


Figure 1: Situation géographique de la STEP de la ville de Marrakech (RADEEMA, 2007).

Le site présente une superficie totale d'environ 18 ha. 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 (ces deux derniers sont comparables aux ordures ménagères).

II-2-Objectifs de la mise en place de la STEP

- ❖ Le projet de mise en place de la station d'épuration envisage un dédoublement des files boues et biogaz, un traitement secondaire, tertiaire et une désinfection qui vont s'ajouter au traitement primaire de la 1^{ère} tranche (figure 2). Les eaux issues du traitement tertiaire répondront aux normes marocaines pour l'irrigation de plusieurs cultures et pour l'arrosage des espaces verts.

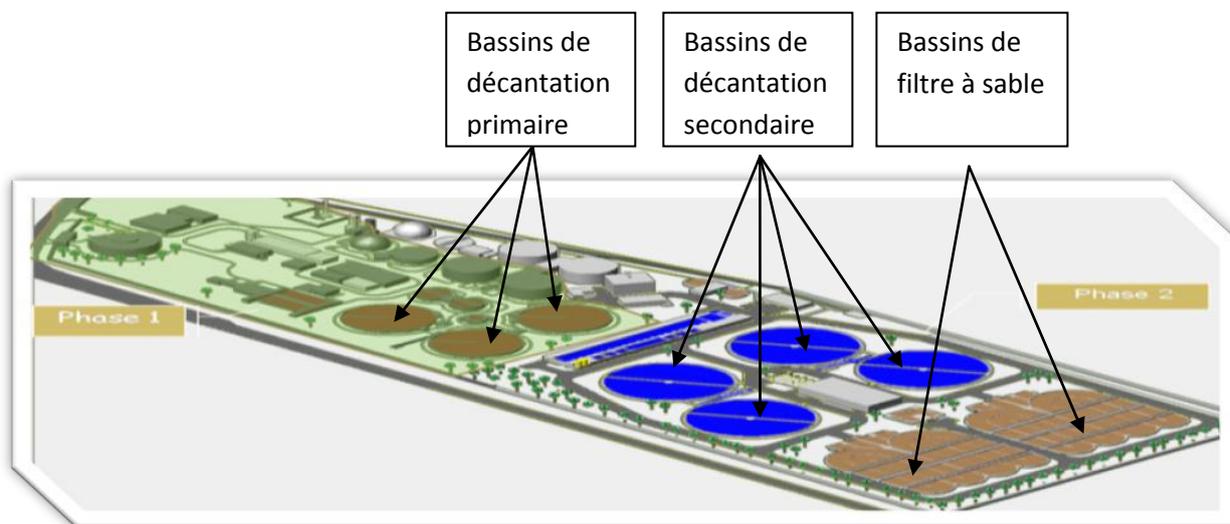


Figure 2: Schéma de la Station d'épuration de Marrakech (RADEEMA 2009, étude de la possibilité d'extension de la STEP de Marrakech).

La réutilisation des eaux usées traitées aura donc pour objectif :

- De soulager les ressources en eau potable
 - Assurer 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.
 - ❖ L'eau est l'un des vecteurs principaux de transmission de maladies. Dans la station d'épuration, les eaux usées subissent des traitements afin de rendre négligeable leur composition en matières indésirables et toxiques, nocives à la santé humaine, et qui se transmettent soit par contact direct avec les eaux, soit indirectement par l'irrigation des cultures par des eaux usées non traitées
 - ❖ Préserver l'environnement, améliorer les conditions sanitaires et offrir ainsi une atmosphère de plus en plus accueillante aux touristes.

II-3 Traitement des eaux usées (Phase 1)

Les eaux usées à traiter peuvent être classées en :

- Eaux usées domestiques,
- Eaux usées industrielles,
- Eaux pluviales en partie,
- Eaux claires parasites,

La proportion des eaux usées industrielles est estimée à plus de 10% de la charge totale. Toutefois, l'absence d'une maîtrise parfaite des rejets industriels et le manque d'un traitement spécifique de ces rejets avant leur entrée dans le réseau d'assainissement risque de perturber le fonctionnement de la station, en particulier dans sa 2^{ème} phase comportant le traitement biologique.

II-3-1 Mesure d'accompagnement pour la protection en amont de la STEP

La station d'épuration de Marrakech est de type boues activées à moyenne charge. Ce qui signifie que la quantité de microorganismes qui seront présents dans le bassin d'aération est faible en comparaison de la pollution entrante.

La première phase se limite au traitement primaire et une partie du traitement secondaire. Cette phase comporte les prétraitements, le traitement primaire et la filière complète de traitement des boues par digestion anaérobie avec la valorisation du biogaz en énergie électrique propre.

L'objectif du traitement primaire est d'éliminer 90% de la pollution particulaire décantable, et de réduire aussi la pollution de l'effluent d'un taux supérieur ou égal à celui garanti ou pris en charge pour le dimensionnement du traitement biologique.

Avant d'arriver à la station, les eaux brutes transitent par un déversoir d'orage situé à l'extérieur du périmètre de la STEP en amont et servant de protection hydraulique des ouvrages. En effet, les ouvrages sont dimensionnés sur la base d'un débit limite qui ne doit pas être dépassé d'une façon durable (9 828 m³/h), sous peine de dysfonctionnement, le déversoir d'orage permet donc de délester vers l'oued Tensift l'excès de débit, notamment en période de crues. En plus, ce déversoir d'orage est équipé d'une vanne murale pour la régulation des débits d'entrée.

II-3-2 Description du processus de traitement

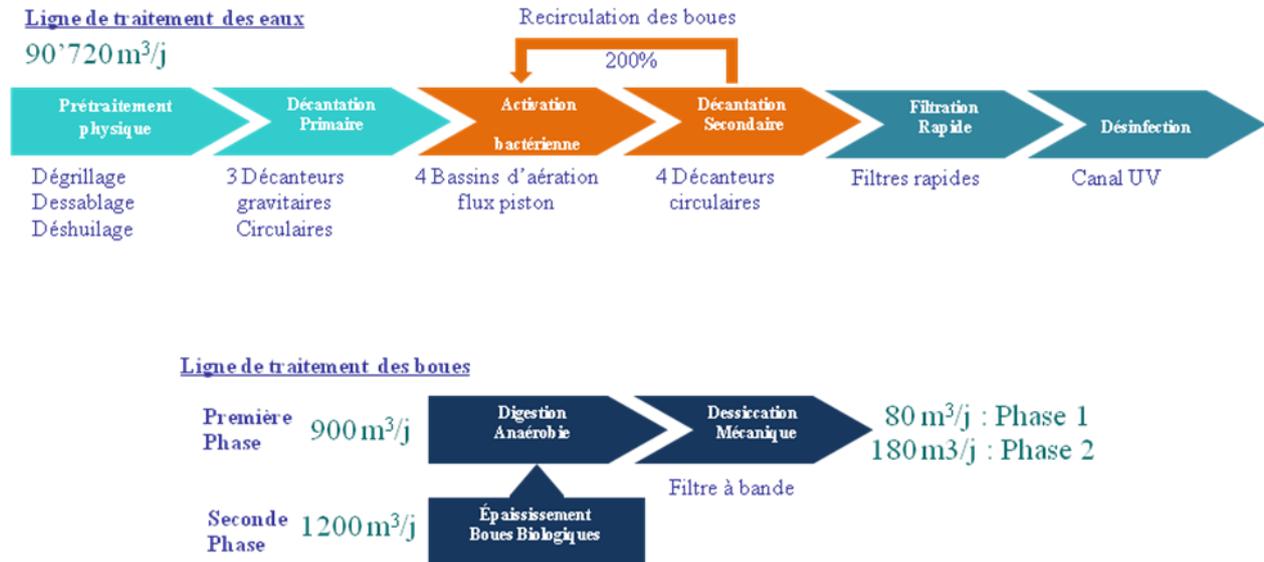


Figure 3 : Schémas descriptifs de la ligne de traitement des eaux et des boues de la station d'épuration de la ville de Marrakech (Maquette STEP Marrakech)

Le traitement porte sur trois files, à savoir : eau, boues et biogaz

2-1-File eau

Elle comporte deux étapes :

- Prétraitement
- Décantation primaire
- Décantation secondaire
- Traitement tertiaire

a-Prétraitement

Le traitement de l'eau passe par les étapes suivantes :



+ Dégrillage

Les déchets solides véhiculés par l'effluent sont éliminés dès leur arrivée dans la station grâce au dégrillage mécanique. Les eaux chargées passent à travers des grilles de plus en plus fines où les matières volumineuses sont retenues (figure 4).

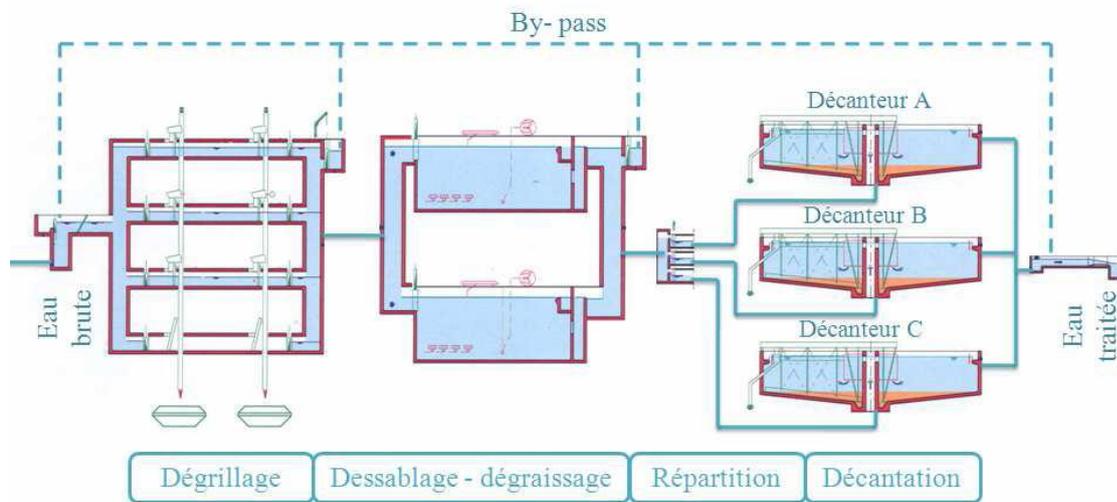


Figure 4: Chaîne de traitement des eaux (RADEEMA 2008).

Il y a trois types de dégrilleurs :

- Le prédégrillage consiste à retenir les déchets dont la taille est supérieure à 200 ou 300 mm. L'ouvrage est équipé par des grilles espacées de 200 mm.
- Le dégrillage grossier, est équipé de quatre dégrilleurs, trois mécaniques et une manuelle à entrefer de 100 mm.
- Le dégrillage fin, est aussi équipé de quatre dégrilleurs, trois mécaniques et une manuelle placée en parallèles à entrefer de 10 mm, retient les déchets de taille supérieure à 1 cm.



Photo 3 : Grille automatique (à gauche), Grille manuelle (à droite)

Le refus de la grille de protection (prédégrillage manuelle) est évacué directement dans une benne, alors que les refus des grilles automatiques sont compactés par une vis convoyeuse avant leur évacuation vers les bennes situées à proximité, puis transportés vers la décharge (photo 4).



Photo 4 : Photo du Bennes

✚ Déshuilage/Dessablage

Les bassins de déshuilage/dessablage ont pour but d'éliminer les matières lourdes, d'une granulométrie supérieure à 200 microns.

La vitesse du courant d'eau est ralentie à l'intérieur de l'ouvrage permettant aux grains de sables et graviers se sédimenter au fond des bassins tandis que les huiles et graisses flottent à la surface. Les sables et graisses sont repris par 2 ponts racleurs de surface et suceurs de fond. Les sables sont essorés et séchés avant leurs évacuations à la décharge et les graisses sont concentrées dans une fosse de stockage équipée d'un dispositif d'évacuation des eaux de fond. L'ouvrage se compose de deux ensembles de deux canaux chacun à section pentagonale identiques, d'une surface totale de 400 m² et un volume total de 1200 m³.

Chaque bassin est équipé d'un pont automoteur et de trois pompes aératrices installées le long de chaque ouvrage diffusant de fines bulles d'air qui favorisent la remontée en surface des graisses et des flottants (photo 5).



Photo 5 : photo du déssableur -déshuileur

Les caractéristiques des étapes de la file d'eau sont présentées en Annexe 1.

b- La décantation primaire

L'eau prétraitée est envoyée des dessableurs- dégraisseurs par une tuyauterie DN1100mm vers un répartiteur qui alimente trois décanteurs primaires (photo 6).



Photo 6 : Photo du Répartiteur (à gauche), décanteur (à droite)

La décantation primaire a pour but l'élimination des matières décantables et d'éliminer aussi environ 50% de la pollution.

Les décanteurs primaires sont de forme circulaire et conique au fond. Ce type présente l'avantage d'une meilleure diffusion hydraulique par une herse centrale et d'une collecte des boues centrales plus simple par un système de raclage qui ramène les boues au centre de l'ouvrage « puits à boues » où elles sont reprises par pompage vers le traitement des boues (Les matières issues de la décantation primaire constituent les boues primaires).

Le décanteur dispose d'un système de raclage de fond qui est suspendu, au moyen d'articulation, à une charpente formant une passerelle et tournant autour de l'axe du bassin.

Des pompes refoulent les boues directement sur les épaisseurs à partir des puits à boues situés au centre des décanteurs.

Les caractéristiques des étapes de la file d'eau sont présentées en Annexe 1.

c-Canal de comptage

Les eaux décantées passent par un canal de comptage ou canal venturi : équipé d'un débitmètre pour mesurer le débit des eaux traitées à la sortie de la station avant de rejoindre le milieu récepteur (Oued Tensift).



Photo7 : Photo du Canal venturi (à gauche), débitmètre (à droite).

d-Station des eaux de service ou eau industrielle

Une partie des eaux qui ont subi une décantation primaire est exploitée par la STEP pour des besoins de nettoyage des différents ouvrages, la surpression et le nettoyage des filtres à bande. Les eaux de service sont prises à partir du canal venturi, et sont utilisées après leur filtration via un filtre AMIAD de 3 µm et leur chloration.

2-2-File boue

La filière à boue commence au niveau des décanteurs primaires. Elle est composée par les étapes suivantes:

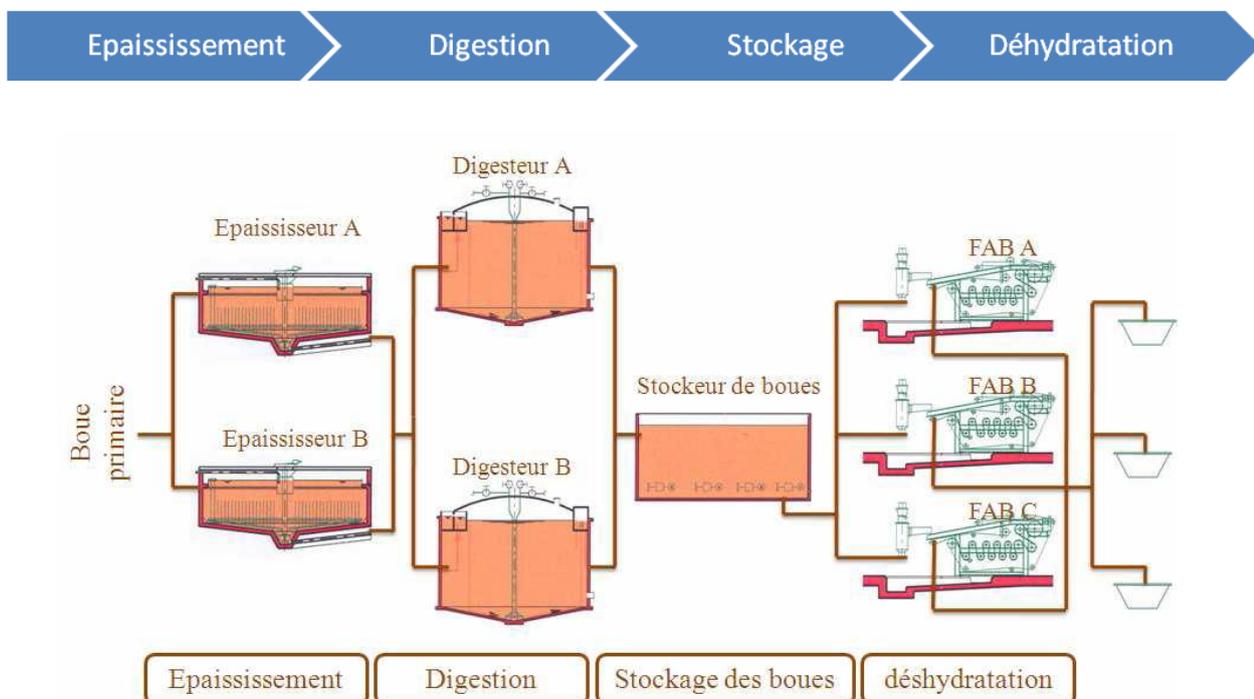


Figure 5: Chaîne de traitement des boues (RADEEMA 2008)

a- Épaississement gravitaire

La fonction de cet ouvrage est d'augmenter la concentration des boues en vue de les envoyer vers la digestion avec une concentration suffisante (entre 50 et 70g/l).

Dans un souci environnemental visant à limiter la consommation des réactifs sur la station, la solution de l'épaississement gravitaire a été adoptée au lieu de l'épaississement mécanique au polymère.

L'ouvrage se présente sous la forme d'un cylindre vertical à fond tronconique au radier légèrement conique.

Les épaisseurs sont alimentés par le haut et les boues sont reprises à l'herse et envoyées par pompage vers les digesteurs.

Le surnageant des boues épaissies rejoint gravitairement la fosse toute eaux située en aval des dessableurs – déshuileurs.



Photo8 : Photo des Epaisseur

Les caractéristiques des étapes de la file boue sont présentées en Annexe 2.

b- La digestion anaérobie

La méthanisation ou digestion anaérobie est un procédé naturel de transformation de la matière organique en énergie par des bactéries en l'absence d'oxygène. Conduite dans des enceintes confinées – appelées digesteurs – à l'intérieur desquelles les réactions de fermentation sont optimisées et contrôlées. Elle produit du biogaz composé majoritairement de méthane, tout en réduisant de moitié le taux de matières organiques de nombreux déchets ou sous-produits biodégradables. Le résidu de la digestion est stable, désodorisé, débarrassé en majeure partie des germes pathogènes.

La chaîne de digestion se divise en plusieurs postes :

- l'épaississement des boues avant digestion ;

- le (ou les) digesteurs ;
- le stockage du biogaz ;
- la déshydratation des boues après digestion.

Premier maillon du traitement des boues après les phases de décantation, la méthanisation facilite le traitement des boues quelle que soit leur destination finale : valorisation agronomique, incinération, enfouissement en installation de stockage, et quels que soient les traitements intermédiaires appliqués : déshydratation, chaulage, séchage thermique, compostage. En effet, la méthanisation :

- réduit de 40 % en moyenne les quantités de boues à traiter ;
- élimine fortement les nuisances olfactives ;
- produit un digestat stabilisé, débarrassé en grande partie des germes pathogènes (bactéries mais aussi virus et parasites) et présentant un pouvoir fertilisant ;
- réduit les teneurs en composés organiques volatils.

Mode d'emploi :

- Les boues sont extraites par pompe des épaisseurs, et dirigées directement vers le digesteur.
- Il a été mis en place un compresseur de gaz par digesteur (plus un en secours) installés dans un local spécifique.

Le biogaz extrait du gazomètre est comprimé et injecté dans la boue à partir d'une couronne, située au sommet du digesteur, alimentant des cannes d'injection plongeant dans la boue.

Des pots de purge (ou des lyres) sont mis en place sur le circuit du biogaz pour déshumidification pour éviter les risques de condensation et de blocage dans les points bas.

Le digesteur est équipé de soupape de pression/dépression, placée au sommet du dôme pour :

- Maintenir une pression inférieure à celle supportée par la coupole.
- Permettre une entrée d'air en cas de mise en dépression brutale de la coupole.

La réaction biologique optimale est de 37°C (domaine de la digestion mésophile).

Pour réchauffer les boues fraîches entrant en digestion et compenser les déperditions thermiques, chaque digesteur comporte une boucle de réchauffage sur une recirculation de boues dans un échangeur à eau chaude. De plus, l'ouvrage est calorifugé à l'intérieur.

Le digesteur fonctionne par le biais d'une vanne télescopique à niveau constant, c'est-à-dire que tout volume de boues entrant est égal au volume de boues digérées qui en sort (RADEEMA 2008).



Photo 9 : Photo du digesteur

Les caractéristiques des étapes de la file boue sont présentées en Annexe 2.

c- Stockage des boues digérées

Les boues qui sortent des digesteurs sont dirigées vers le stockeur de boues digérées, placé en amont de la déshydratation.

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.



Photo10 : Photo du Stockeur

Les caractéristiques des étapes de la file boue sont présentées en Annexe 2.

d- Déshydratation/Chaulage

Les boues extraites du stockage aval sont envoyées vers la déshydratation. La déshydratation des boues est réalisée par 6 filtres à bandes fonctionnant en parallèle de 425 Kg MS/h (214 quantité de MS appliquée/mètre de largeur de bande) (photo 11),

Afin d'améliorer le taux de capture et de fiabiliser la déshydratation, en limitant les variations de siccité, les boues sont floculées. La floculation des boues est réalisée par adjonction de polymères en produit sec. Un dispositif de préparation et d'injection de

polymère en ligne par pompes doseuses est prévu (centrale automatique avec dilution intégrée du produit comprenant une cuve de préparation et une cuve de maturation agitée). Les boues déshydratées auront une siccité minimale de 20% MS. Il est prévu un chaulage de sécurité qui sera utilisé en cas de maintenance lourde d'un digesteur pour compléter la stabilisation des boues.



Photo11 : Filtres à bande

Les caractéristiques des étapes de la file boue sont présentées en Annexe 2.

2-3- File gaz

Le gaz subit les étapes suivantes :

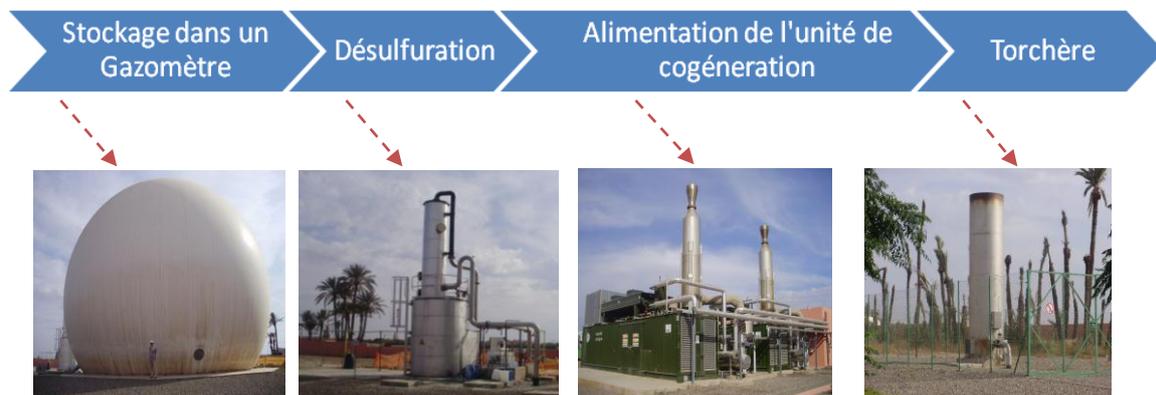


Photo de Gazomètre

Photo du Désulfure

Photo des groupes

Photo du Torchère

Cogénération

Photo12 : photo de file gaz

✓ Module cogénération

L'énergie électrique constitue une part importante dans la structure des dépenses d'exploitation de l'usine d'épuration. C'est pourquoi le projet intègre cette solution visant à réduire la part des coûts d'exploitation liés à l'énergie.

Le projet initial prévoit que la part d'autoproduction dépassera les 100% avec un excès de production qui sera sous le contrôle de la RADEEMA qui elle seule en bénéficiera dans le cadre du Mécanisme de Développement Propre (MDP). Mais en absence d'une synchronisation des installations sur le réseau publique, aucun excès ne sera produit, et la cogénération se limitera à satisfaire les besoins d'exploitation. Pendant la 1ère phase, la consommation annuelle en énergie électrique est estimée à 4,4 millions de kWh, soit environ 4,4 MDH d'économie sur une année d'exploitation.

Une torchère sans flamme apparente est installée pour avoir la possibilité de détruire le biogaz excédentaire. Ceci est un impératif pour des raisons de sécurité et de nuisances olfactives.

L'électricité produite sera donc directement utilisée sur le site et la chaleur récupérée servira, soit pour le réchauffage des digesteurs, soit pour les besoins du bâtiment d'exploitation.

Le bilan d'énergie en K Wh/j est présenté dans le tableau 3 :

La 2ème phase du traitement a besoin de beaucoup d'énergie, pour cela la step ne passe à cette étape que s'il y a une demande d'achat des eaux traitées et boues résiduaire.

Tableau 3 : Bilan énergétique de la STEP (RADEEMA 2008)

	Production (kWh /j)	Besoins (kWh /j)	Bilan (kWh /j)
1^{ère} phase	16 000	12 000	Excédent de 4000
2^{ème} phase	30 000	66 000	Besoin de 36 000

La file gaz commence au niveau des digesteurs, le gaz fourni passe par une unité de **désulfuration** pour transformer H₂S toxique en HS⁻. Après l'alimentation de l'unité de **cogénération** qui recouvre les besoins en électricité de la station, l'excès de gaz est stocké dans un **gazomètre** d'un volume de 2000 m³. Une fois le gazomètre saturé, le gaz est brûlé par le biais d'une **torchère** à flamme invisible.

e- Le suivi des indicateurs de performances

Les débits sont donnés par les débitmètres à l'entrée et la sortie de la STEP.

1. Mesure des débits

A l'entrée de la station

Les mesures de débit sont d'une très grande importance. En effet, la bonne connaissance des débits ou volumes écoulés permet de :

- Asservir un échantillonneur,
- Calculer des charges polluantes,
- Effectuer des bilans d'exploitation représentatifs des conditions de fonctionnement,
- Dimensionner les ouvrages lors de la réhabilitation ou l'extension.

Comme il n'y a pas de bassin tampon en entrée de la station, celle-ci doit pouvoir traiter les fortes charges en pleines journées et les faibles charges pendant la nuit. La multiplication de la surface mouillée par la vitesse d'écoulement permet d'obtenir le débit.

La figure 7 illustre le principe de mesure mis en place à l'entrée de la station :

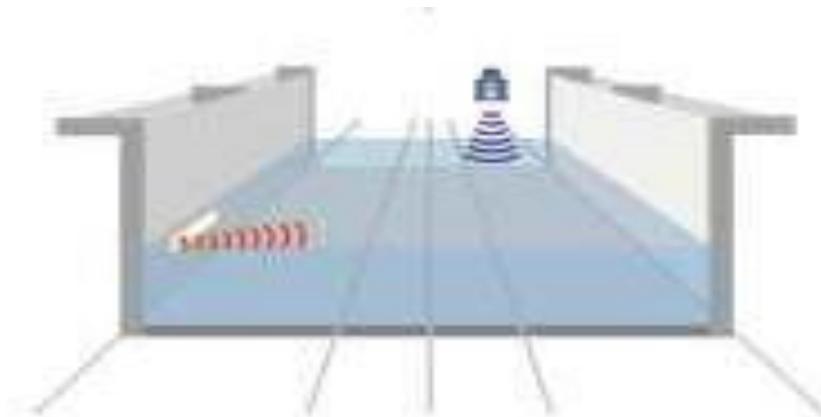


Figure 7 : Principe de mesure de débit mis en place à l'entrée de la station.

A la sortie de la station

Le débit est mesuré par un débitmètre placé sur un canal venturi dont la largeur est connue et la hauteur et la vitesse de l'eau sont mesurées par des sondes.

2. Mesure des charges polluantes

Les matières en suspension (MES)

La pollution d'une eau peut être associée à la présence d'objets flottants, de matières grossières et de particules en suspension.

En fonction de la taille de ces particules, on distingue généralement :

- Les matières grossières (décantables ou flottantes)
- Les matières en suspension (de nature organique ou minérale) qui sont des matières insolubles, fines.

Le principal effet de MES est de troubler l'eau, diminuant ainsi le rayonnement lumineux indispensable pour une bonne croissance des végétaux au fond des cours d'eau : c'est la turbidité.

La figure 7 montre la méthode de mesure de la MES :

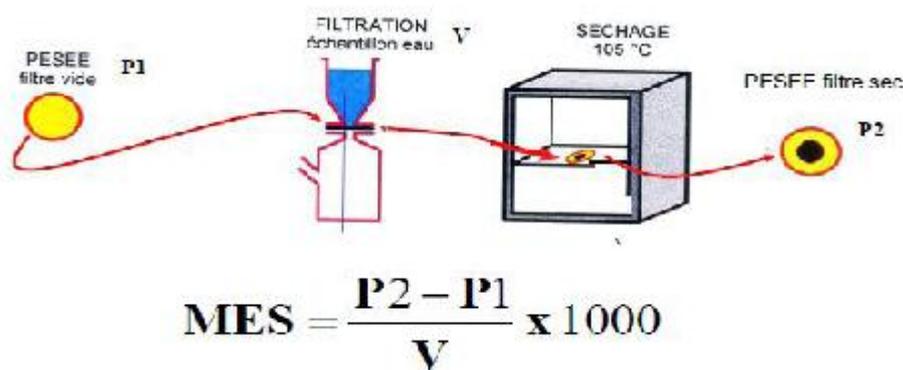


Figure 7: Mesure des matières en suspension.

La demande biochimique en oxygène (DBO)

La DBO correspond à l'oxygène qui a été utilisé par les bactéries pour détruire ou dégrader les matières organiques biodégradables présentes dans l'eau. Cette mesure traduit donc indirectement la fraction biodégradable dans l'eau et représente assez fidèlement le processus de dégradation naturelle.

Les transformations des matières organiques s'effectuent en deux stades :

- Le premier stade est relatif aux composés carbonés, débute immédiatement et s'achève au bout de 20 jours environ
- Le deuxième stade, est relatif aux composés azotés, ne commence qu'au bout d'une dizaine de jours et s'étend sur une période très longue.

Il est convenu d'évaluer la demande biochimique en oxygène pendant cinq jours à 20°C désigné par le sigle DBO5.

La demande chimique en oxygène(DCO)

La DCO correspond à la quantité d'oxygène (en mg) qui a été consommée par voie chimique pour oxyder l'ensemble des matières oxydables présentes dans un échantillon d'eau de 1 litre. Elle est moins représentative que la DBO de la décomposition des matières organiques qui a lieu dans le milieu naturel mais elle est rapide, et contrairement à cette dernière, elle possède une bonne reproductibilité. La DCO est particulièrement indiquée pour mesurer la pollution d'un effluent industriel.

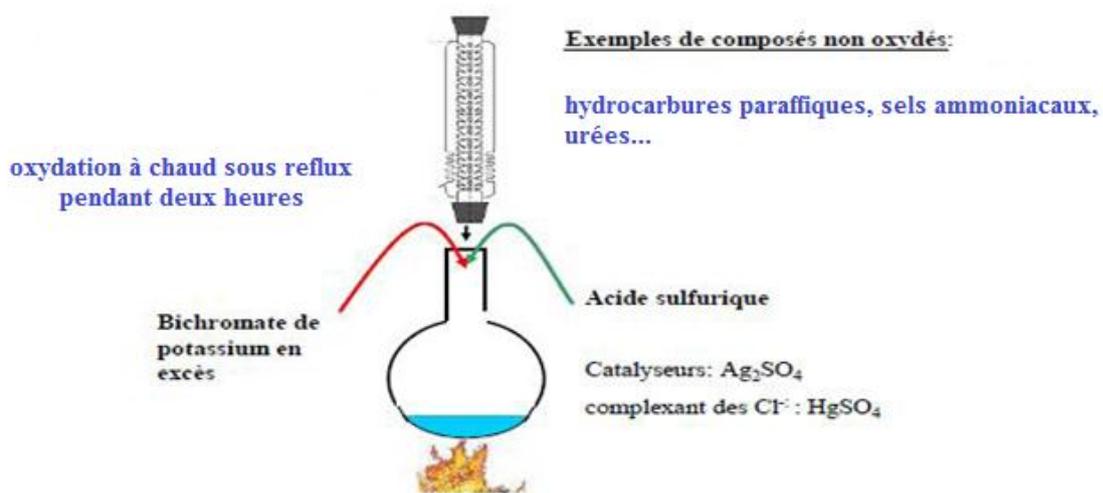


Figure 8 : Mesure de la DCO

II-4 Traitement des eaux usées (Phase 2)

II-4-1 Traitement secondaire

Le traitement secondaire des eaux usées se fait généralement par voie biologique. Son intérêt est d'éliminer les composés organiques tels que les sucres, protéines, la nitrification et la dénitrification.

Dans le cadre du traitement biologique, plusieurs techniques de traitement peuvent être adaptées à l'effluent à la sortie du traitement primaire. Ces différentes techniques sont :

- Le lagunage naturel ou aéré,
- Les boues activées,
- La bio-filtration,
- Les bioréacteurs à membranes.

Les bioréacteurs à membranes et la biofiltration sont des solutions efficaces mais nécessitent un coût élevé tant en termes d'investissement que d'exploitation. Donc la solution retenue par la station de Marrakech et celle des boues activées suivie d'une clarification secondaire.

Ouvrages du traitement biologique

Les ouvrages du traitement biologique :

- Bassin d'aération constitué d'un chenal d'oxydation,
- Unité de production et d'injection d'air pour le traitement biologique,
- Ouvrage de dégazage,
- Clarificateur succès,
- Unité de recirculation et d'extraction des boues,
- Dispositif de comptage des eaux clarifiées,
- Préleveur d'échantillons des eaux traitées,
- Dispositif de comptage des eaux by-passées.

Après la décantation primaire, l'eau est dirigée vers un bassin équipé de dispositifs d'insufflation d'air où des microorganismes naturellement présents dans l'effluent dégradent la matière organique dissoute. L'air insufflé leur fournit l'oxygène nécessaire pour respirer et ils se développent en se nourrissant de la pollution organique.

La clarification permet de séparer les eaux des boues secondaires issues du traitement biologique. Une partie des boues est évacuée vers le traitement des boues l'autre partie est recyclé vers le bassin d'aération pour maintenir la masse biologique nécessaire au fonctionnement de l'installation (Figure 9).

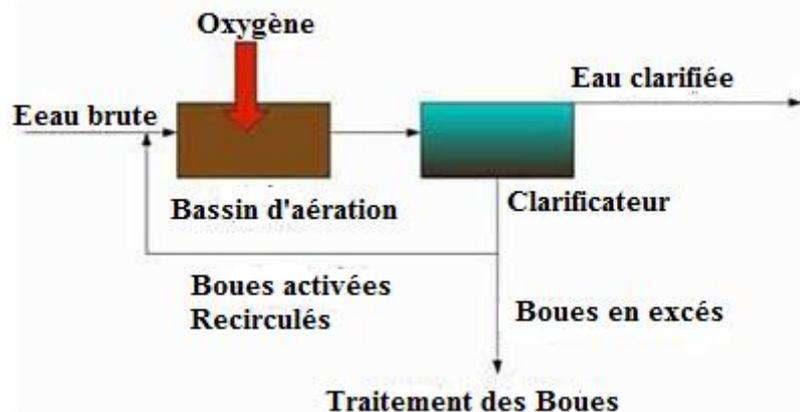


Figure 9 : Éléments d'une station à boues activées (d'après le rapport du traitement et réutilisation des eaux usées épurées dans la ville de Marrakech 2010 ,40p).

a- Bassin d'aération

L'ouvrage est un chenal concentrique autour de la zone de contact.

✚ La nitrification :

Cette réaction réalise l'oxydation par voie biologique de l'azote ammoniacal en nitrites puis en nitrates en faisant intervenir des micro-organismes strictement aérobies caractérisés par un métabolisme autotrophe vis-à-vis du carbone (figure 10) , c'est-à-dire qu'ils synthétisent leur matière vivante à partir du carbone minéral (carbonate).

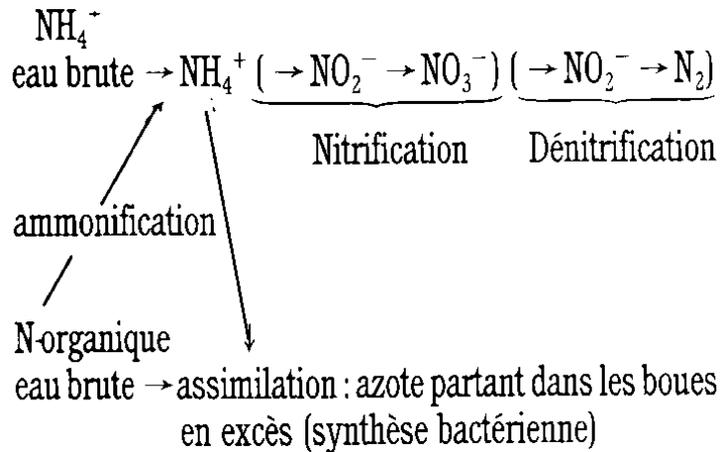


Figure10 : Les différentes étapes de la métabolisation de la pollution azotée.
(RADEEMA 2008, Traitements biologiques des eaux résiduaires, 3p.)

Compte tenu des conditions climatiques locales, la nitrification est possible pour un âge de boues :

- de 8 j avec un effluent à 20°C
- de 5j avec un effluent à 30°C

Si la température de l'effluent était inférieure à 20°C par exemple en hiver, la nitrification ne sera que partielle.

b- Ouvrage de dégazage

La phase du dégazage a pour but de débarrasser la liqueur mixte des bulles d'air, et pour prévenir l'éventuelle flottation d'une partie des boues dans les clarificateurs, dont les caractéristiques sont résumées dans le tableau 4.

	Valeur
Surface de dégazage	62 m ²
Temps de séjour moyen	8 min
Temps de séjour en pointe temps sec	5 min
Volume de la zone de dégazage	323 m ³

Tableau 4: Caractéristiques d'ouvrage de dégazage

c- Clarification

L'étape de clarification permet la séparation des eaux et des boues.

Les clarificateurs sont équipés d'un pont comportant un racleur de surface pour la récupération des flottants, qui sont évacués gravitairement vers la fosse à flottants (dont les caractéristiques sont données dans le tableau 5) recevant également ceux du dégazage. Un dispositif de reprise des boues au fond de l'ouvrage alimente une bêche d'où elles sont pour partie recirculées en tête du traitement biologique et pour partie extraites et dirigées vers le traitement des boues.

Tableau 5 : Caractéristique des clarificateurs

	Valeur
Nombre de clarificateurs	4U
Surface unitaire	2426 m ²
Diamètre unitaire	55,6 m

d- Comptage de l'effluent traité

Le comptage des effluents traités est réalisé en canal ouvert de type venturi, avec dispositif de mesure à sonde, conforme aux directives de l'Agence de l'Eau. La mesure se fait sur un seul canal à l'aval des clarificateurs.

Les caractéristiques techniques sont présentées dans le tableau 6 :

Tableau 6 : Caractéristiques de comptage de l'effluent traité

	Valeur
Débit maximum	9.828 m ³ /h
Largeur intérieur	1.400 mm
Hauteur interne	1.950 mm
Longueur du venturi	1,46 m
Longueur totale du venturi+canal d'approche	20 m

II-4-2 Rendement à la sortie du traitement secondaire

Les rendements garantis à la sortie du traitement biologique sont donnés dans le tableau 7 :

Tableau 7 : Rendement du traitement secondaire (RADEEMA 2008)

Paramètre	A l'entrée de la station (mg/l)	A la sortie du traitement primaire (mg/l)	A la sortie du traitement biologique (mg/l)
MES	1766	450	10 à 35
DBO₅	3870	1.100	5 à 20
DCO	9460	200	35 à 100
Coliformes fécaux	10 ⁷	10 ⁷	10 ⁴ à 10 ⁶ / 100ml
NTK	120	120	5
PT	22	22	20

En se basant sur ces normes marocaines (tableau 8), le traitement primaire et le traitement biologique sont insuffisants pour obtenir une bonne qualité d'eau.

Tableau 8 : Norme Marocaine (Arrêté n° 1276-01 du 17 octobre 2002 portant sur la fixation des normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation) extraite du RADEEMA 2009, étude de la possibilité d'extension de la STEP de Marrakech

Paramètres	Concentration à la sortie du traitement tertiaire (mg/l)
DBO5	< 10
DCO	< 95
MES	< 5
PT	< 10

Les eaux épurées en sortie du traitement biologique ne peuvent être utilisées directement pour l'irrigation des golfs, il est donc impératif de compléter le traitement secondaire ou biologique par un traitement tertiaire.

II-4-3 Traitement tertiaire

Le traitement tertiaire vise à éliminer les dernières MES et le phosphore. En plus du traitement tertiaire une désinfection des eaux est impérative pour l'élimination des germes pathogènes présents dans l'eau.

Cette étape comporte :

- Un abattement de MES,
- Une désinfection complémentaire.

L'objectif du traitement tertiaire est donc d'obtenir un effluent avec un taux de MES < 5 mg/l (si possible < 1mg/l), de diminuer la turbidité avant l'étape de désinfection et d'abattre les Microorganismes de 3 unités log au moins.

a. Abattement de MES

L'abattement de MES peut être effectué soit par :

- Lagunage naturel,

- Une coagulation + floculation + décantation lamellaire,
- Une coagulation + floculation + filtration rapide sur sable,
- Une filtration sur membrane.

Le tableau suivant montre les avantages et les inconvénients de chaque processus d'abattement de MES :

La filtration rapide sur sable est simple et peu coûteuse en raison des normes de volumes d'eau à filtrer mais la filtration sur membrane reste encore coûteuse (tableau 9).

Tableau 9 : les avantages et les inconvénients de chaque processus d'abattement de MES

	Avantages	Inconvénient
Lagunage naturel	Procédé simple Faible entretien	Très forte emprise foncière MES en sortie sous forme d'algue
Décantation lamellaire	Procédé compact	Nécessité des réactifs Niveau encore élevé en MES
Filtration rapide sur sable	Très bonne efficacité sur les MES et sur les germes, Abattement complémentaire du phosphore.	Nécessité des réactifs Encombrement des filtres
Filtration sur membrane	Barrière totale en MES et microorganismes.	Coûteux en investissement et fonctionnement (énergie et renouvellement des membranes).

Le lagunage est écarté du fait d'une surface nécessaire trop importante. La filtration membranaire offre une barrière absolue au MES et microorganismes mais restent coûteuse en investissement et en fonctionnement.

En fin, la filtration sur sable présente l'avantage par rapport à la décantation de mieux retenir les MES et les germes, diminuant ainsi la dose de désinfectant à utiliser à l'aval.

La solution retenue pour le traitement tertiaire :

- Coagulation au chlorure ferrique,
- Floculation au polymère,
- Filtration rapide sur sable.

Les ouvrages composant le traitement tertiaire sont :

- Poste de relevage,
- Coagulation au chlorure ferrique,
- Flocculation au polymère,
- Filtration rapide sur sable.

• **Poste de relevage**

L'écoulement des eaux ne peut se faire gravitairement entre les clarificateurs et les filtres à sable, compte tenu de la topographie du terrain. Un relevage intermédiaire est donc nécessaire.

Le poste de relevage (bâche + pompes) doit donc être dimensionné de manière à envoyer sur l'étage de traitement tertiaire le volume journalier nécessaire à l'irrigation des golfs et laisser surverser vers l'oued Tensift l'excédent.

• **Coagulation - flocculation :**

La turbidité et la couleur d'une eau sont principalement causées par des particules très petites, dites particules colloïdales. Ces particules, qui peuvent rester en suspension dans l'eau durant de très longues périodes, peuvent même traverser un filtre très fin. Pour les éliminer, on a recours aux procédés de coagulation et de flocculation.

La coagulation a pour but principale de déstabiliser les particules en suspension, c'est-à dire de faciliter leur agglomération. En pratique, ce procédé est caractérisé par l'injection et la dispersion rapide de produits chimiques : sels minéraux cationiques.

La flocculation a pour objectif de favoriser, à l'aide d'un mélange lent, les contacts entre les particules déstabilisées. Ces particules s'agglutinent pour former un floc qu'on peut facilement éliminer par les procédés de décantation et de filtration.

Les caractéristiques des coagulateurs sont données dans le tableau 10.

Tableau 10: Caractéristique de coagulateurs

Caractéristique	
Nombre	2 U
Débit par unité	2200 m ³ /h
Volume unitaire	105 m ³
Puissance transmise à l'eau	3,7 KW

Le coagulant utilisé est le chlorure ferrique en solution (40%). Chaque coagulateur est associé à deux flocculateurs et chaque flocculateur alimente un module de cinq filtres à sable.

Le stockage de chlorure ferrique est prévu en cuves en matière plastique armée. Les caractéristiques de ces dernières sont présentées dans le tableau 11 :

Tableau 11 : Caractéristiques des stockeurs de chlorure ferrique

	Valeur
Nombre de cuve	2
Volume unitaire	50 m ³
Diamètre intérieur	2,9 m
Hauteur cylindrique	7,6 m

Tableau 12: Caractéristiques de flocculateurs

Caractéristiques	
Nombre	4 U
Débit par unité	1100 m ³ /h
Volume	128 m ³
Puissance transmise à l'eau	1,3 KW

Comme pour la coagulation, il est prévu pour chaque file principale de traitement un ouvrage à agitation lente pour réaliser la floculation. Il y aura donc au total de quatre ouvrages de floculation dont les caractéristiques sont présentées dans le tableau 12. Un ajout de polymère est effectué afin de favoriser le grossissement des floccs et améliorer l'abattement de MES. Le dosage du polymère s'effectue par des pompes doseuses.

• **Filtration rapide sur sable**

A la sortie des flocculateurs, l'eau pénètre à vitesse lente de 7m/h dans le chenal d'alimentation de filtres.

Quatre chenaux placés en lignes sont prévus. Chaque chenal alimente un module de cinq filtres de 36 m², soit une surface de 720m², dont les caractéristiques sont résumées dans le tableau 13.

Tableau 13 : Caractéristiques des ouvrages de filtration

	Valeur
Nombre de batteries	4 U
Nombre de filtres par batterie	5 U
Longueur	9 m
Largeur	4 m
Surface unitaire	36 m ²
Hauteur de sable	1 m
Hauteur de l'eau	1,2 m

Les caractéristiques du sable sont les suivantes :

- Densité apparente : 1'600 kg/m³
- Granulométrie : 0,5 à 0,6 mm

Une fois les filtres sont colmatés, il faut les laver. Le lavage comprend deux phases :

Phase 1 :

Après vidange jusqu'au niveau du matériau filtrant, décolmatage par injection simultanée d'air et d'eau, permettant de ne pas mettre en expansion le matériau filtrant et ainsi de ne pas aboutir à un classement granulométrique, concentrant les fines du milieu granulaire en surface

- Vitesse air : 50 à 60 m/h ;
- Vitesse eau : 8 m/h ;
- Durée : 10 min.

Phase 2 :

Rinçage à l'eau seul

- Vitesse de l'eau : 20 à 30 m/h
- Durée : 5 à 10 min.

II.4.3.1.Rendement du traitement tertiaire

Tableau 14 : Rendement du traitement tertiaire (D'après RADEEMA. Mission B)

Paramètre	Concentration à la sortie du traitement secondaire	Concentration à la sortie du traitement tertiaire
DBO5	<15 mg/l	<10 mg/l
DCO	<100 mg/l	<95 mg/l
MES	<20 mg/l	<5 mg/l
NGL	<20 mg/l	<20 mg/l
Pt	<20 mg/l	<10 mg/l

Tableau15 :Norme Marocaine (Arrêté n° 1276-01 du 17 octobre 2002 portant sur la fixation des normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation)

Paramètres	Concentration à la sortie du traitement tertiaire (mg/l)
DBO5	< 10
DCO	< 95
MES	< 5
PT	< 10

D'après les deux tableaux 14 et 15, on constate que la qualité des eaux en sortie du traitement tertiaire respecte les limites des normes marocaines pour d'irrigation des espaces verts.

II.4.3.2.Désinfection en sortie du traitement tertiaire

La solution retenue pour la désinfection :

- Une Désinfection par les UV
- Une chloration complémentaire pour le transfert dans le réseau de distribution

- **Désinfection par les UV**

Afin de ne pas utiliser de grandes doses de chlore qui pourrait être préjudiciable à la qualité des eaux d'irrigation, il est prévu d'effectuer la majeure partie de la désinfection par UV avec des lampes moyenne pression (LMP). L'objectif est d'atteindre les normes marocaines qui préconisent un nombre de coliformes ≤ 200 dans 100 ml pour la réutilisation en arrosage.

Les ultraviolets, émis à une longueur d'onde de 254 nm environ, agissent par inactivation des acides nucléiques des noyaux cellulaires des microorganismes. On notera que l'inactivation est aussi efficace pour une même dose appliquée vis-à-vis des parasites que des bactéries.

Les UV ne modifient pas la qualité physico-chimique de l'eau, ne donnent pas de mauvais goût à l'eau et il n'y a pas de risque de surdosage, En revanche les UV n'ont pas d'action sur les goûts, les odeurs et la couleur. L'irradiation UV se fait directement sur le canal de sortie à l'aval des filtres à sable. En fonction du débit, une ou plusieurs lampes sont installées et mises en route en série le long de ce canal. (RADEEMA 2008)

Il existe actuellement 2 types de lampes :

- Lampes Basse Pression (BP) : rendement énergétique 15 %,
- Lampes Moyenne Pression (MP) : rendement énergétique 30 %.

La durée de vie des deux types de lampes est similaire (supérieure à 10 mois en continu), et il faut moins de lampes MP pour une même efficacité. Cette désinfection n'ayant pas d'effet rémanent, une chloration résiduelle est nécessaire.

L'inconvénient majeur des UV est lié à la difficulté de contrôle de l'efficacité de la désinfection. En effet les UV inactivent les microorganismes mais ne les éliminent pas.

- **Chloration**

En complément de la désinfection UV, une chloration au chlore gazeux sera mise en œuvre à la fois pour améliorer l'abattement des microorganismes et limiter le développement bactérien dans le réseau lors de son transfert. La dose à prévoir est comprise entre 5 et 10mg/l.

Les consommations en chlore sont présentées dans le tableau 16 :

Tableau 16 : consommations du chlore

	Chlore
Dosage 5mg/l	443 kg/j
Dosage 10mg/l	885 kg/j

II.4.3.3.Épaississement dynamique des boues par flottation

L'épaississement des boues secondaires est réalisé par 2 flottateurs à pressurisation indirecte.

On ajoutant des polymères les boues flottent et s'agglomèrent à la surface du flottateur jusqu'à former une couche épaisse.

Les caractéristiques de ces ouvrages sont données dans le tableau 17:

Tableau 17 : Caractéristiques des épaisseurs

	Valeur
Nombre de flottateurs	2 U
Type	Circulaire
Surface	240 m ²
Hauteur	3,6 m
Diamètre	17,5 m

II.4.3.4.Digestion mésophile

La digestion mésophile sera réalisée dans 4 digesteurs afin d'assurer un temps de séjour minimal de 19 jours permettant un abattement moyen de 47 % des matières volatiles entrantes.

Les réseaux primaires et secondaires qui alimentent les digesteurs sont séparés donc les boues primaires et secondaires ne seront mélangées qu'à l'intérieur des digesteurs.

Le chauffage des boues se fait par le biais de la chaudière.

II.4.3.5.Le biogaz

Le cycle du gaz est identique à celui de la 1^{ère} phase, avec un dédoublement des installations (torchère, gazomètre). A partir des digesteurs, le gaz est extrait, désulfuré, une partie est utilisée pour alimenter la STEP, l'excès éventuel est stocké et une fois le gazomètre plein l'excès du gaz est brûlé.

Deuxième Partie

Étude de la régulation entre le réseau de réutilisation et le traitement tertiaire de la STEP et impact de la qualité des eaux tertiaires et des boues résiduaires sur les gazons de golfs et la nappe souterraine.

Chapitre 2 : Etude de la régulation entre le réseau de réutilisation et le traitement tertiaire de la STEP

Dans cette partie du travail, les objectifs principaux étaient de :

- Calculer les besoins en eau traitée pour l'irrigation des golfs de Marrakech et de la palmeraie, d'estimer les volumes d'eau que doit refouler chaque station de pompage pour l'année 2012 en se basant sur les données des années 2010 et 2011.
- La valorisation des éléments nutritifs contenus dans les eaux du traitement tertiaire.
- La valorisation des boues résiduelles utilisées comme engrais dans les terrains des golfs de Marrakech.
- Apprécier l'impact de la réutilisation des eaux usées épurées et des boues secondaires sur le gazon et la nappe souterraine.

I. Les besoins en eau pour l'irrigation des golfs et de la palmeraie

Au cours des dernières années, la ville de Marrakech a subi une pression touristique très importante qui s'accompagne de la construction de nombreux complexes de golf. Il s'agit d'une activité très consommatrice d'eau, il est donc primordial de trouver des solutions alternatives afin de protéger les ressources hydrauliques de la région.

Consciente de l'importance cruciale de la question de la gestion de l'eau et de l'intérêt stratégique de la préservation des ressources actuelles, la Régie Autonome de Distribution d'Eau et d'Electricité de Marrakech (RADEEMA) a décidé de réutiliser les eaux usées traitées par la station d'épuration en irrigation des golfs et de la palmeraie. Donc il faut calculer la consommation des golfs pour savoir le débit de refoulement de chaque pompe ainsi que la période où l'irrigation est maximale.

✚ Répartition géographique des projets golfigues

Le réseau de distribution est placé sur 52 km. Pour la distribution des eaux, il y a 4 stations de pompage et la 5ème est en cours de construction :

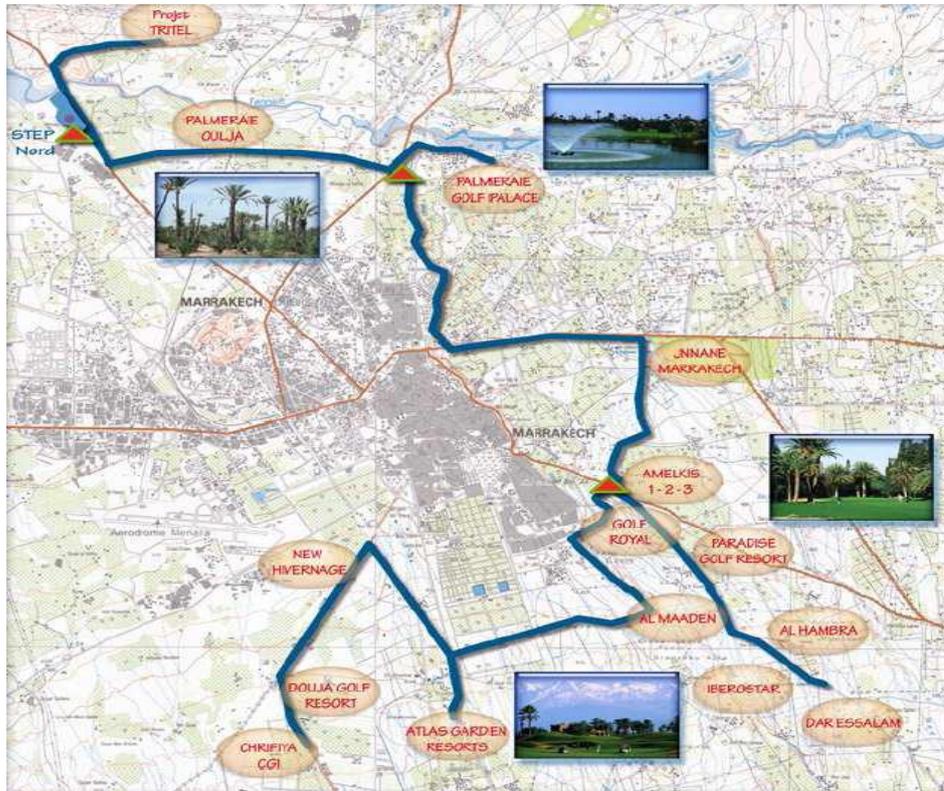


Figure 11: Carte de répartition des complexes golifiques dans la ville de Marrakech (RADEEMA 2008)

Le tableau 18 présente les volumes d'achats en % des golfs, les ventes, le volume de l'eau brute ainsi que le volume d'eau traitée au niveau de la RADEEMA pour l'année 2012 en se basant sur les données des années 2010 et 2011. Il présente également la moyenne de ses volumes.

Les quatre paramètres sont en pourcentage car la STEP traite un pourcentage de la totalité des eaux brutes et ce pourcentage diffère d'une phase à l'autre et d'une année l'autre.

Tableau 18 : estimation de la répartition mensuelle des achats des golfs, ventes, volume d'eau traitée et volume d'eau brute en 2012.

Mois 2012	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	TOTAL
Achats en %	7,50%	6,70%	7,80%	8,10%	8,50%	8,50%	9,30%	9,60%	9,20%	8,80%	8,00%	8,00%	100,00%
Ventes en %	7,40%	6,50%	7,80%	7,70%	8,30%	8,40%	9,00%	9,10%	9,60%	8,60%	7,90%	9,70%	100,00%
Volume Eau Brute en %	9,10%	8,80%	8,70%	7,70%	7,90%	7,90%	8,30%	8,90%	8,50%	8,10%	7,90%	8,20%	100,00%
Volume Eau Traitée en %	9,20%	8,30%	8,20%	7,80%	8,00%	7,80%	8,40%	8,80%	8,70%	8,30%	8,10%	8,40%	100,00%
Volume MOYEN en %	8,30%	7,58%	8,13%	7,83%	8,18%	8,15%	8,75%	9,10%	9,00%	8,45%	7,98%	8,58%	

Dans le tableau, la plupart des pourcentages des achats par les golfs sont supérieurs aux ventes des eaux traitées de la RADEEMA, ceci est dû au complément par l'eau potable.

Le calcul du volume d'eau réutilisée dans l'irrigation des golfs et la palmeraie peut se baser sur l'un des quatre paramètres :

- Volume des achats ; ce paramètre ne peut pas être la variable adéquate car il associe dans la plupart des cas le volume d'eau traitée et le volume d'eau potable.
- Volume d'eau brute ; il ne peut pas être la variable attendue parce que la STEP ne fait pas passer tous les volumes d'eau brute au traitement tertiaire. Elle traite juste la quantité demandée par les golfs.
- Volume d'eau traitée et volume des ventes : c'est les deux variables qui peuvent être les plus proches de la réalité car elles reflètent de la consommation réelle des golfs en eau traitée.

Une moyenne de ces quatre variables nous permet de vérifier les hypothèses précédentes et de choisir le paramètre le plus proche pour les calculs des volumes réutilisés.

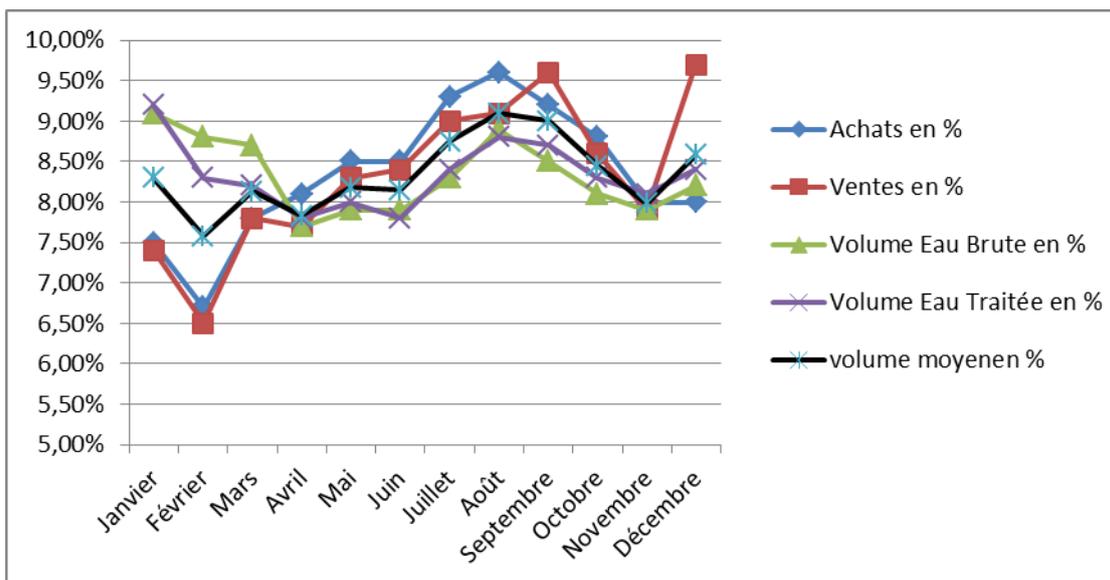


Figure 12: représentation des achats, ventes, volume d'eau brute, volume d'eau traitée et volume moyen en fonction des mois de l'année 2012.

La figure 12 montre que le volume d'eau traitée est la variable la plus proche de la moyenne. Le volume d'eau traitée sera donc le paramètre de base pour estimer les volumes d'eau à distribuer pour chaque golf, au cours de l'année 2012.

Pour calculer les besoins mensuels des golfs et de la palmeraie en eau en 2012, on se base sur le volume d'eau traitée et les volumes annuels (donnés par la STEP). Et comme ça la STEP peut connaître à l'avance les périodes où la demande de chaque golf en eau traitée sera augmentée ou diminuée pendant toute l'année.

L'estimation des volumes d'eau à distribuer au cours de l'année 2012 pour chaque golf est présentée dans le tableau 19 :

Ce tableau montre que :

- D'après les volumes d'eau annuels, La palmeraie a besoin du volume d'eau le plus élevé, et ce durant toute l'année par rapport aux golfs.
- Le grand besoin des golfs apparait lors du mois janvier et le besoin le plus bas au mois d'avril. Les mois de l'année ; elle augmente dans le mois janvier et elle décroît dans le mois avril.

Tableau 19 : les volumes annuels estimés par la RADEEMA et les volumes mensuels des besoins calculés des eaux traitées destinés à l'irrigation des golfs et de la palmeraie pour 2012.

	alimenté à partir de	Volume annuel (m ³ /an)	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Amelkis 1	SP3	879227	80889	72976	72097	68580	70338	68580	73855	77372	76493	72976	71217	73855
Amelkis 2	SP3	424808	39082	35259	34834	33135	33984	33135	35684	37383	36958	35259	34409	35684
Amelkis 3	SP3	431387	39688	35805	35374	33648	34511	33648	36236	37962	37531	35805	34942	36236
Golf Royal	SP3	1160053	106725	96284	95124	90484	92804	90484	97444	102085	100925	96284	93964	97444
Palmerie Golf Palace	SP2	1629474	149912	135246	133617	127099	130358	127099	136876	143394	141764	135246	131987	136876
Al Maaden	SP3	1208421	111175	100299	99090	94257	96674	94257	101507	106341	105133	100299	97882	101507
Tritel	SP1	1368421	125895	113579	112210	106737	109474	106737	114947	120421	119053	113579	110842	114947
Al Hambra	SP3	1418947	130543	117773	116354	110678	113516	110678	119191	124867	123448	117773	114935	119191
Iberostar	SP3	1629474	149912	135246	133617	127099	130358	127099	136876	143394	141764	135246	131987	136876
SABA	SP3	1418947	130543	117773	116354	110678	113516	110678	119191	124867	123448	117773	114935	119191
Atlas Garden	SP3	1610856	148199	133701	132090	125648	128868	125647	135312	141755	140144	133701	130479	135312
Friutièrè	SP3	1314013	120889	109063	107749	102493	105121	102493	110377	115633	114319	109063	106435	110377
Fadesa	SP3	1164086	107096	96619	95455	90799	93127	90799	97783	102439	101275	96619	94291	97783
New hivernage	SP3	1629474	149912	135246	133617	127099	130358	127099	136876	143394	141764	135246	131987	136876
Douja Golf	SP4	1629474	149912	135246	133617	127099	130358	127089	136876	143394	141764	135246	131987	136876
Chrifia Golf	SP4	1103158	101491	91562	90459	86046	88253	86046	92665	97078	95975	91562	89356	92665
Palmeraie	SP1	3073684	282779	255116	252042	239747	245895	239747	258189	270484	267410	255116	248968	258189
Golf Aknza	SP5	800000	73600	66400	65600	62400	64000	62400	67200	70400	69600	66400	64800	67200
Golf de l'Ourika	SP5	1000000	92000	83000	82000	78000	80000	78000	84000	88000	87000	83000	81000	84000
Jardin de l'Atlas	SP5	1000000	92000	83000	82000	78000	80000	78000	84000	88000	87000	83000	81000	84000
Total	-	25893904	2382239	2149194	2123300	2019724	2071512	2019724	2175088	2278663	2252770	2149194	2097406	2175088

Le tableau 20 résume les besoins mensuels et journaliers moyens avec les débits moyens du réseau de distribution de Marrakech de l'année 2012 :

Il présente les besoins, par chaque station de pompage pompe calculés à partir du tableau 19.

On y remarque que le volume mensuel des stations de pompage varient de façon décroissante en commençant par sp1 et en terminant par sp5 suivant le trajet du réseau, car la totalité des eaux traitées passent en premier temps dans sp1 et quand les débits demandés dépassent la capacité de sp1, on fait appel à sp2 et ainsi de suite.

Tableau 20: les volumes mensuels et journaliers moyens et les débits horaires moyens, prévus pour l'année 2012, de chaque station de pompage

Mois 2012	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	TOTAL	volume mensuel moyen (m ³ /Mois)	volume journalier moyen (m ³ /h)	Débit horaire moyen (m ³ /h)
sp1	2382239	2149194	2123300	2019724	2071512	2019724	2175088	2278663	2252770	2149194	2097406	2175088	25893904	2157825	71927	2997
sp2	1973565	1780499	1759047	1673240	1716144	1673240	1801951	1887758	1866306	1780499	1737596	1801951	21451799	1787650	59588	2483
sp3	1823654	1645253	1625431	1546141	1585786	1546141	1665075	1744365	1724542	1645253	1605608	1665075	19822325	1651860	55062	2294
sp4	509002	459208	453676	431545	442610	431545	464741	486872	481339	459208	448143	464741	5532632	461053	15368	640
sp5	257600	232400	229600	218400	224000	218400	235200	246400	243600	232400	226800	235200	2800000	233333	77778	324

D'après les résultats du tableau 20, on calcule le débit horaire moyen de chaque station de pompage.

Tableau 21 : la répartition des débits horaires moyen des besoins globaux et particuliers sur les pompes

	sp1	sp2	sp3	sp4	sp5
Débit horaire moyen des besoins en m ³ /h	2997	2483	2294	640	324
Débit horaire moyen des besoins faisant appel à chaque pompe utilisé par sp en m ³ /h	514	189	1654	316	324

On peut résumer les résultats du tableau 20 par le diagramme suivant :

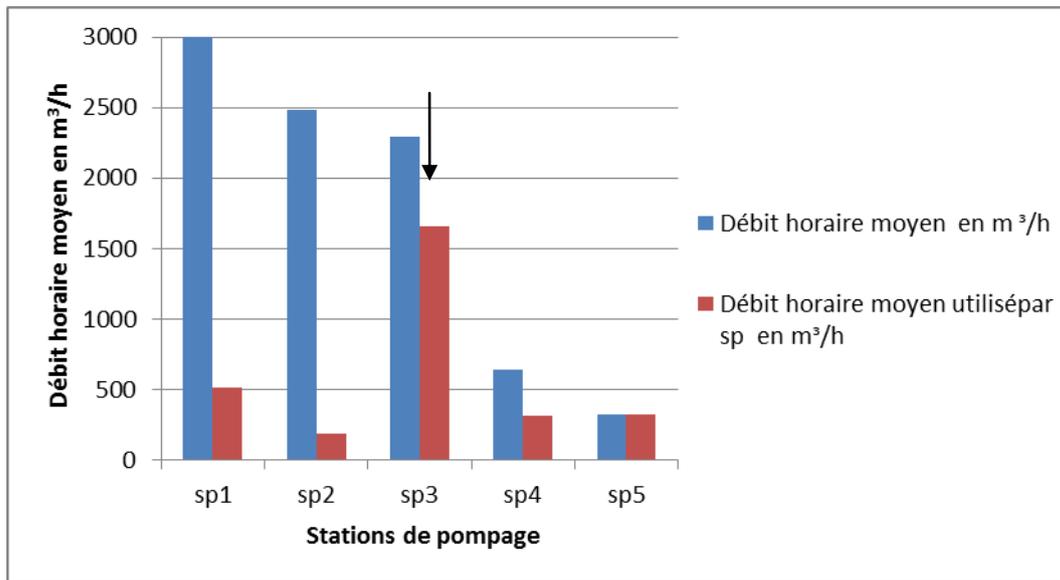


Figure 13 : le débit horaire moyen mis et utilisé chaque station du pompage

Les résultats du diagramme montrent que sp1 garde le débit horaire moyen le plus élevé, qui diminue de façon successive sur les autres stations de pompage.

Le débit horaire moyen utilisé pour l'irrigation des golfs a connu une augmentation très marquée dans sp3, car cette dernière irrigue plusieurs nombres de golfs par rapport aux autres stations de pompage.

II. Etude de la capacité des stations de pompage en se basant sur la puissance des pompes

Jusqu'à maintenant on a fait une prévision des besoins des golfs en eau traitées pour l'année 2012, ainsi de déterminer les débits horaires moyens des eaux qui doivent être refoulé par chaque station de pompage. Mais un problème se pose au niveau du transport de ces eaux vers terrains de golf, c'est-à-dire est ce que les pompes installées dans chaque station de pompage pourront transporter les besoins calculés des golfs en eau traitée ?

Pour le choix pratique d'une pompe, on se base sur la courbe caractéristique du débit. On cherche alors le rendement optimal conduisant au plus faible coût énergétique.

Le tableau 21 fait apparaître les caractéristiques fondamentales de chaque station de pompage, ainsi que le débit horaire moyen que doit refouler chaque station de pompage.

En se basant sur la capacité et les caractéristiques de chaque pompe, les résultats obtenues montrent que :

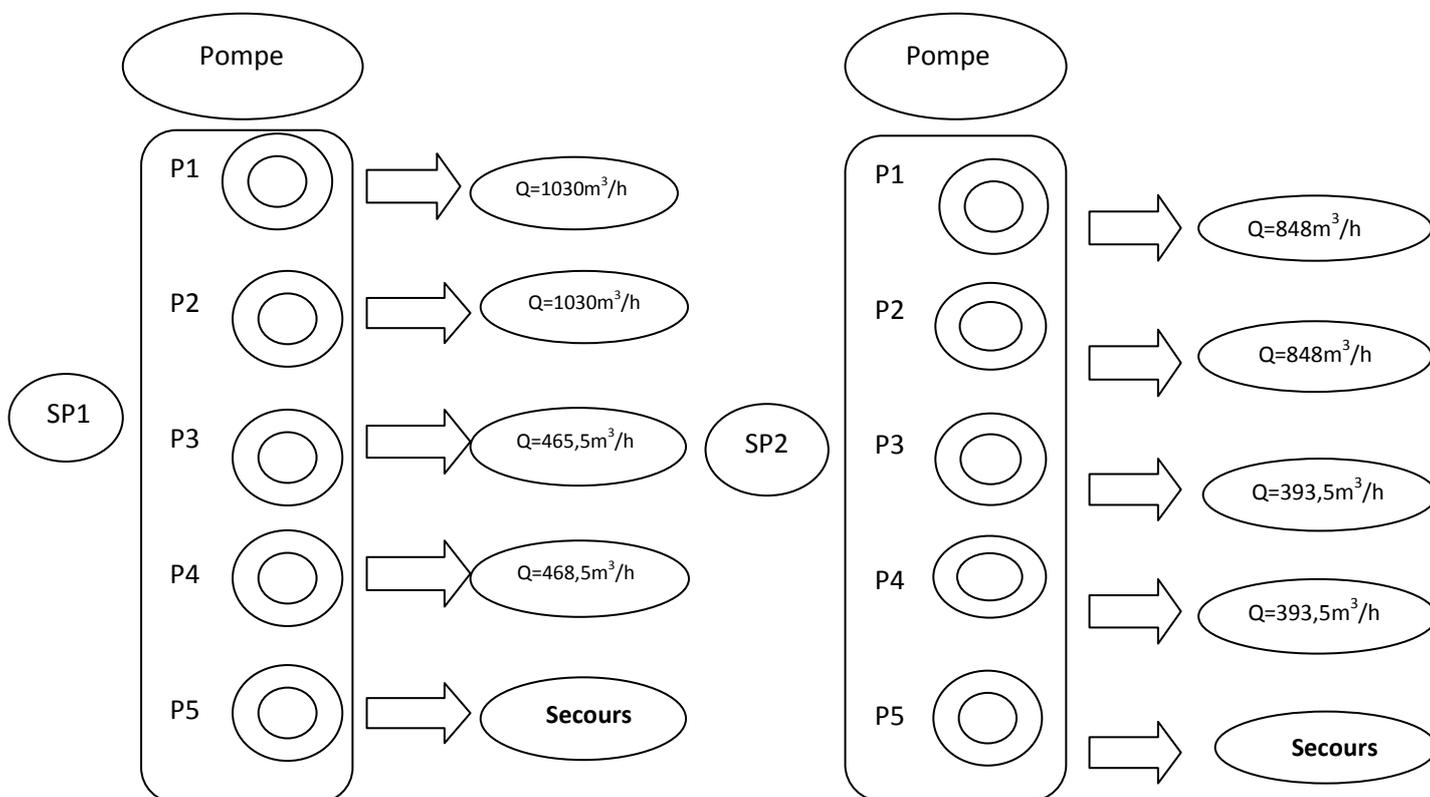
Tableau 22: le débit horaire moyen distribué par chaque pompe

Station de pompage	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5
Nombre de pompe	4	4	4	3	3
Pompes équipées de variateurs	2	2	2	0	3
Débit (m3/h) (Capacité des pompes)	1030	848	792	234	134
Débit horaire moyen fourni (m3/h) (besoin à satisfaire)	2997	2483	2294	640	324
Débit horaire moyen refoulé par les Pompes équipées de variateurs (m3/h)	2060	1696	1584	0	402
Débit horaire moyen refoulé par les Pompes non équipées de variateurs (m3/h)	937	787	710	702	0

-sp1, sp2 et sp3: le débit horaire moyen fourni (besoin à satisfaire) est égale au débit horaire moyen refoulé par les pompes équipées de variateurs et les pompes non équipées de variateurs.

-sp4 et sp5 : le débit horaire moyen fourni (besoin à satisfaire) est inférieur au débit horaire moyen refoulé par les pompes.

Chaque station va démarrer en premier les pompes équipées de variateur de vitesse, et pour fournir le débit requis on fait marcher ces dernières à plein régime. Le reste du débit est fourni par les autres pompes selon la figure 14 :



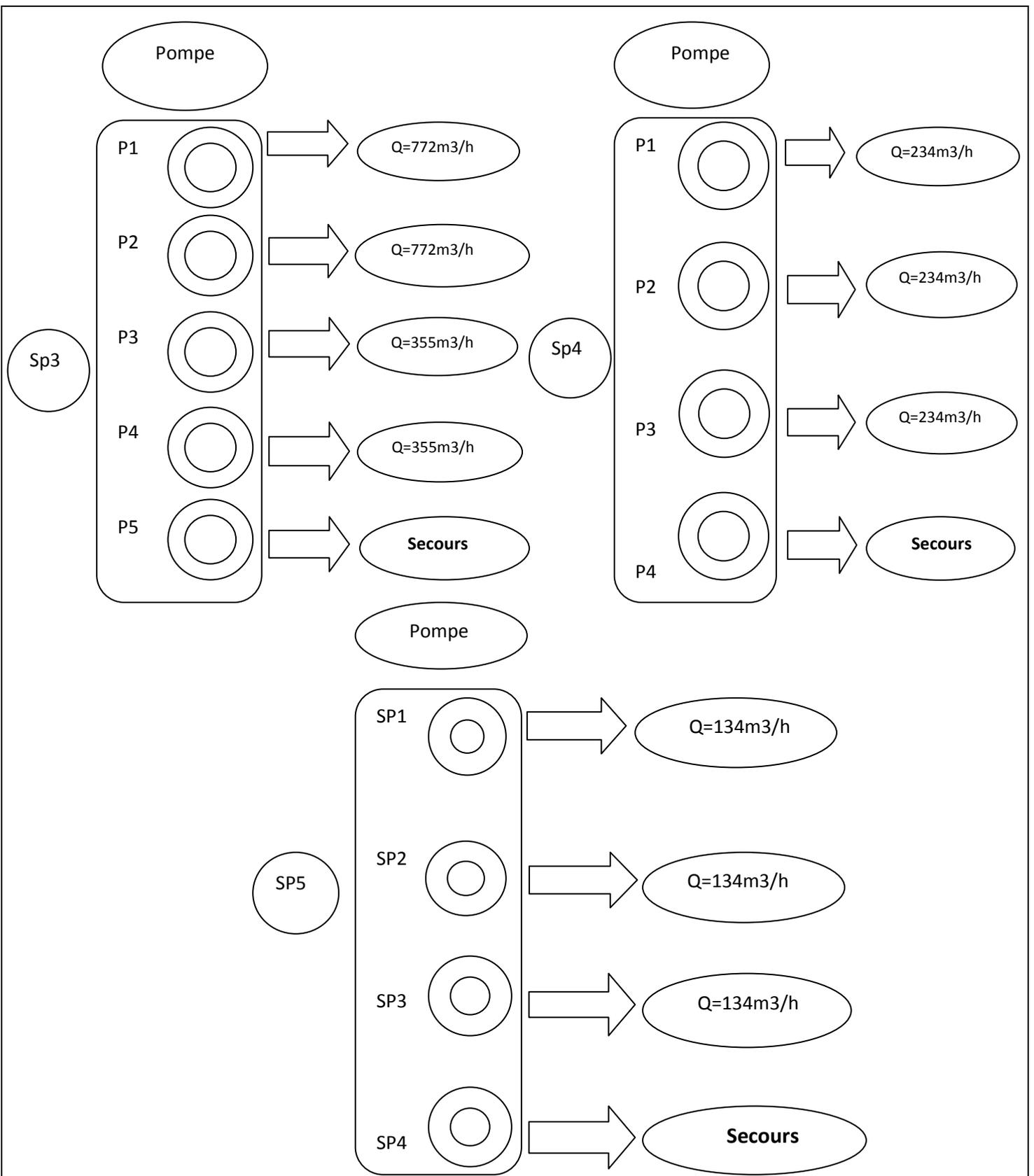


Figure 14 : caractéristiques des stations de pompage

Donc on peut conclure que les pompes installées dans les stations de pompage pourront satisfaire tous les besoins des golfs.

Chapitre 3 : Qualité des eaux usées épurées et des boues résiduares

Le degré de traitement des eaux usées dépend principalement du devenir des eaux usées épurées, de leurs sous-produits et de leur impact sur l'environnement naturel et humain.

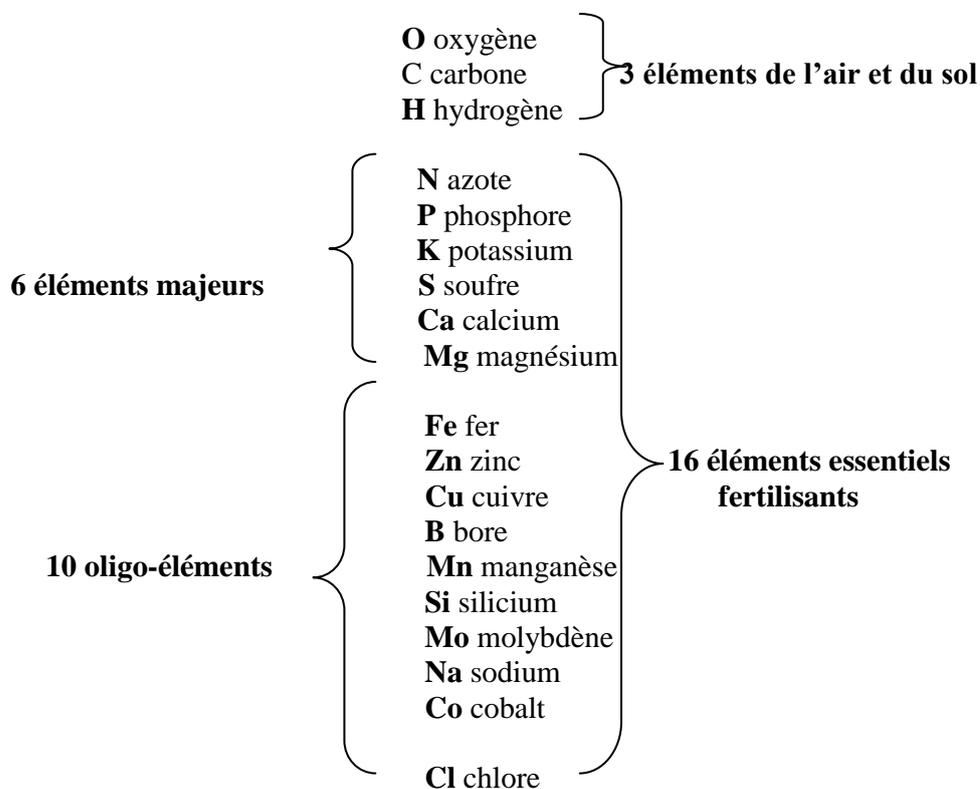
Les objectifs de protection exigent l'évacuation appropriée des eaux usées après un traitement adéquat visant ainsi la réduction, voire l'élimination des risques pouvant nuire à la santé publique et au fonctionnement des écosystèmes affectés par les rejets.

I. Valorisation des éléments nutritifs

1. Les éléments minéraux et exigences des plantes (gazons)

Les eaux usées épurées ne sont pas seulement appréciées en tant que ressources en eau, mais aussi comme source de fertilisation. Vu leurs teneurs en éléments nutritifs, l'utilisation de ces eaux épurées permet aux responsables des projets golfiques de réaliser une économie sur le coût de l'eau et sur le coût des engrais (RADEEMA 2010).

Parmi les nombreux éléments que l'on peut retrouver dans la composition des tissus végétaux, dix-neuf (19) seulement se sont révélés indispensables à la croissance, au développement et à la reproduction des plantes. Ces éléments essentiels sont : (Notions de nutrition des plantes et de fertilisation des sols, Manuel de formation, Projet Intrants/FAO, 2005).



Parmi les éléments minéraux indispensables pour la croissance du gazon, six sont nécessaires en grande quantité, sont les **éléments majeurs** : l'azote (N), le phosphore (P), le potassium (K), le soufre (S), le calcium (Ca) et le magnésium (Mg).

2. Rôles des éléments nutritifs dans la croissance des gazons des golfs :

Les éléments nutritifs jouent un rôle très important dans la croissance des gazons où le tableau 22 l'a résumé.

Tableau 23: Rôles des éléments nutritifs dans l'évolution des gazons (L'ABC du gazon, 2009)

L'azote	Le phosphore	Le potassium	Le magnésium et les oligoéléments
<ul style="list-style-type: none"> -La formation de protéine ; -La construction des cellules ; - La Croissance continue ; - Le Pouvoir de régénération. 	<ul style="list-style-type: none"> -La croissance racinaire ; - Le Métabolisme énergétique ; -La formation des enzymes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Des tissus végétaux solides ; -La résistance ; -La Constitution de réserves ; -La Métabolisme efficace ; - La Gestion de l'eau. 	<ul style="list-style-type: none"> -Formation de la chlorophylle ; -Absorption d'énergie ; -Assimilation ; -Production d'oxygène ; -Respiration.

Le contenu nutritif de l'eau épurée pouvant dépasser les besoins de la plante, l'irrigation avec ces eaux peut poser un problème de la pollution de la nappe souterraine.

L'excès de nutriments peut causer un développement végétatif excessif, retarder la maturité ou encore réduire la qualité des gazons de golfs.

L'azote, le phosphore et le potassium sont les éléments minéraux dont la plante a besoin en plus grandes quantités.

A la sortie du traitement tertiaire de la station d'épuration des eaux usées, la teneur en azote est de 5 mg/l, en phosphore est de 10mg/l. (RADEEMA 2008)

Les éléments nutritifs ne doivent cependant pas être excessifs dans l'eau traitée, ils peuvent provoquer une prolifération végétale (eutrophisation), qui va à son tour entraîner une demande d'oxygène, et donc un appauvrissement en oxygène dans l'eau.

L'**azote** joue un rôle primordial dans le métabolisme des plantes. C'est le constituant numéro un des protéines, composants essentiels de la matière vivante. Il s'agit donc d'un facteur de croissance, mais aussi de qualité.

L'azote a la faculté de changer très facilement de forme chimique, en s'associant à des molécules d'oxygène ou d'hydrogène. L'azote et l'hydrogène forment l'ammoniac (NH_4^+). L'azote, en s'associant à l'oxygène, forme des nitrites (NO_2^-) ou des nitrates (NO_3^-).

Ces éléments contribuent à des situations d'anoxie des milieux aquatiques et peuvent favoriser une eutrophisation des écosystèmes.

Un excès d'azote provoque :

- ✓ Une croissance en longueur excessive des feuilles ;
- ✓ Des besoins en tonte plus importants ;
- ✓ Des plantes plus molles et plus sensibles ;
- ✓ Une plus grande imperméabilité à l'eau ;
- ✓ Un manque d'aération du sol (figure 15).



Figure 15 : influence d'un manque d'aération du sol sur la plante. (Présentation du Guide Technique de la Réutilisation des Eaux Usées Epurées -Etude ONEP / FAO -2009).

- ✓ Un risque accru de maladies cryptogamiques ;
- ✓ Une croissance racinaire limitée ;
- ✓ Plus de risque de brûlures ;
- ✓ Une résistance à l'arrachement réduite. (L'ABC du gazon 2009)

Les teneurs en azote et ses formes dans les eaux usées épurées varient en fonction de l'origine des eaux usées brutes et du système d'épuration. Ainsi par exemple, dans les effluents de lagunage, l'azote se trouve essentiellement sous formes organique et ammoniacale. Par contre, dans les effluents du système Infiltration - Percolation, l'azote est essentiellement sous forme nitrique. Ainsi, dans certaines situations, le risque de pollution des eaux souterraines peut être élevé.

L'**excès de phosphore**, comme l'azote, entraîne une prolifération d'algues grandes consommatrices d'oxygène, ce qui peut conduire une à eutrophisation dans les milieux aquatiques.

La concentration en **potassium** dans les eaux usées épurées n'a pas d'effet néfaste sur les plantes ou l'environnement. C'est un macronutriment qui affecte positivement la fertilité du sol et essentiel à la croissance et à la qualité des gazons.

Les eaux épurées contiennent habituellement des concentrations suffisantes en **soufre, zinc, cuivre** et autres macronutriments. Les fortes concentrations en bore peuvent créer des problèmes de phyto-toxicité. (RADEEMA 2010).

Pour résoudre ces problèmes, on propose de mélanger les eaux usées épurées avec une proportion d'eau de nappe ou de surface pour diminuer la teneur en nitrates jusqu'à la limite tolérée.

3. Bonnes pratiques de Contrôle du problème de l'excès des éléments nutritifs dans l'eau usée épurée

A l'issue de ce travail, on propose certaines recommandations pratiques, pour minimiser le risque de contamination de la nappe souterraine et la qualité des gazons des golfs,

a) calcul des quantités d'éléments nutritifs et bilan de masse

Dans le cadre de bonnes pratiques de contrôle de la salinité et de l'excès des éléments nutritifs, une minimisation des risques de pollution des eaux doit tenir compte de :

- ✓ La teneur initiale des éléments nutritifs dans le sol ou sa fertilité naturelle ;
- ✓ Le besoin des gazons des golfs pour un rendement optimal économique ;
- ✓ Les apports des éléments nutritifs par les eaux usées épurées selon les besoins des gazons ;
- ✓ L'efficacité d'utilisation des éléments nutritifs avec celle de l'eau qui, elle-même, dépend du système d'irrigation (FAO ,2003).

b) Choix du système d'irrigation

Le choix du système d'irrigation et notamment le système qui consomme le moins d'eau possible.

c) Mélange d'eau usée traitée avec l'eau douce sielle est disponible.

Mélanger des eaux riches en éléments nutritifs et des eaux moins concentrées ou alterner les irrigations avec ces deux catégories d'eau.

II. Les boues résiduaires

L'épuration de ces eaux usées s'effectue en différentes étapes selon des techniques basées sur des lois de la physique, de la chimie et de la biologie. Il en résulte une eau épurée et un résidu principal : les boues. Ce résidu est constitué de différents éléments (matière organique, éléments fertilisants (N, p ...), des métaux lourds, des éléments traces organiques et d'agents pathogènes).

La grande part des boues résiduaires est mise en décharge ou épandue sur le sol des terrains des golfs. La présence des éléments métalliques dans ces boues, les rend nuisibles, non seulement pour les gazons mais aussi, pour tout l'environnement (contamination de la nappe phréatique et les produits récoltés, ...).

1. Composition des boues et contamination chimique à Marrakech

Les amendements en matière organique vont donc améliorer l'ensemble des propriétés d'un sol, ainsi que sa fertilité, en induisant une diminution des besoins en engrais commerciaux.

a) Les éléments fertilisants et les éléments traces métalliques ou ETM

Les éléments couvrant les besoins nutritionnels des plantes seront : l'azote, le phosphore, le potassium, le calcium, soufre et le magnésium.

L'épandage de boues de station d'épuration va apporter ces éléments qui seront consommés par des plantes.

Les ETM sont naturellement présents dans les sols et certains même sont indispensables au développement des gazons, ils font partie des oligo-éléments. Les ETM ont une origine industrielle (Cd, Ni, Hg, Cr), domestique (Cd, Cu, Pb) et pluviale (Ni, Pb, Zn). Les métaux les plus toxiques pour l'homme sont Cd, Hg et Pb. (RADEEMA 2008).

b) Les composés traces organiques ou CTO

Les composés traces organiques sont des produits chimiques (hydrocarbures, détergents, restes de peinture et de solvant, produits de nettoyage ou de désinfection...) qui sont plus ou moins dégradés par l'activité microbologique du sol. Cependant, au même titre que les ETM, les CTO à forte dose peuvent devenir toxiques pour les micro-organismes des sols.

c) Les micro-organismes pathogènes

Les micro-organismes jouent un rôle essentiel dans les processus d'épuration, aussi bien en station que dans le sol. Il en existe une très grande variété mais seul une infime partie est pathogène. On les classe parmi les virus, les bactéries, les protozoaires, les champignons et les helminthes. La concentration d'une eau usée en germes pathogènes dépend du secteur

d'activité dont elle provient : les eaux provenant d'abattoirs ou de toutes industries traitant de produits d'animaux sont plus largement contaminées.

Pour faire face à cette contamination chimique, il faut contrôler des rejets qui permettent de produire des boues de riches teneurs en éléments indésirables et ainsi préserver les teneurs naturelles du sol.

Par ailleurs, la connaissance scientifique des effets de différentes teneurs en éléments indésirables sur les gazons des golfs sert pour définir les normes réglementaires applicables à l'épandage depuis son origine.

Le choix du sol où aura lieu l'épandage est un point important. Il faut, entre autres, prendre soin d'éviter le ruissellement ainsi que l'érosion des sols hors des parcelles épandues. Ceux-ci provoquent l'infiltration des éléments indésirables vers les eaux souterraines (RADEEMA 2008).

conclusion générale

La station d'épuration des eaux usées de Marrakech adapte des systèmes d'épuration susceptibles de produire des eaux épurées à la première phase, qui sont rejetées dans le milieu naturel (Oued Tensift), mais après un traitement biologique par les boues activées au traitement secondaire et une désinfection par UV au traitement tertiaire. Les eaux sont prêtes à l'utilisation pour l'arrosage des terrains de golfs aux normes marocaines.

Selon les résultats obtenus, on peut dire que la STEP, les stations de pompage et les besoins des golfs en eau traitée pourront former un cercle fermé entre eux, grâce à la capacité des pompes qui peuvent transporter les eaux traitées de l'année 2012 par la STEP aux terrains des golfs.

L'apport d'éléments fertilisants aux gazons en quantité excessive par rapport à leurs besoins peut être nuisible. Des apports trop importants peuvent alors être toxiques pour les gazons et affecter ainsi sa croissance et son développement normaux.

La station d'épuration de Marrakech recueille des rejets contenant un très grand nombre de polluants selon les activités raccordées au réseau d'assainissement. Les boues d'épuration peuvent contenir des composés dont les effets sont indésirables (les métaux lourds), soit pour la conservation des sols, soit pour l'évolution des gazons. Ces composés, au-dessus d'un certain seuil, peuvent rendre certaines boues impropres à la réutilisation par les terrains des golfs.

Donc la gestion des sous-produits issus de l'épuration, à savoir les eaux tertiaires et les boues résiduelles, doit être rigoureuse pour satisfaire les besoins des golfs sans les dépasser.

ANNEXES

Annexe 1 : les caractéristiques des étapes de la file eau

Prétraitement

Fosse à bâtard :

Volume : 4,5 m³

Pré –dégrillage :

- L'étape du pré-dégrillage est assurée par une grille manuelle
- L'écartement des barreaux : 200 mm
- Largeur du canal : 3 m

Dégrillage moyen :

- 4 unités dont 1 manuelle
- Ecartement des barreaux : 100 mm
- Largeur du canal : 1,5 m
- 1 vis d'évacuation des déchets dans une benne de 20 m³

Dégrillage fin :

- 4 unités dont 1 manuelle ;
- Ecartement des barreaux : 10 mm ;
- 1 vis d'évacuation des déchets dans une benne de 20 m³.

Dessablage – déshuilage :

Constitue le démarrage de la file boues

- 2 unités doubles
- 1 pont par unité double
- Surface totale : 400 m²
- Volume totale : 1200 m³

Traitement des sables :

-Pompes embarquées : 4 unités de 20 m³/h

-1 fosse de stockage

-2 pompes de 80 m³/h

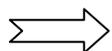
-1 classificateur de 80 m³/h

Traitement des graisses :

-Pompe de 2 m³/h

-1 tamisage

-1 concentrateur



Décantation primaire

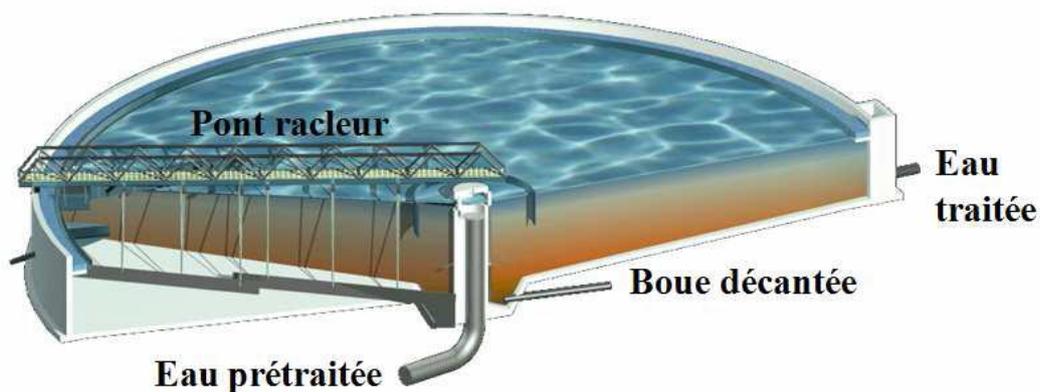


Figure 16: Coupe longitudinale d'un décanteur primaire(RADEEMA, département d'assainissement liquide Services d'assistance technique des collectivités territoriales à l'épuration et suivi des eaux (SATESE)2001- Manuel du conducteur de station de l'épuration des eaux usées).

-1 ouvrage de répartition

-3 décanteurs de 39 m de diamètre

-Surface totale : 3 585 m²

-Volume total : 3971 m³

-3 ponts racleur-5 pompes à boue (2 au décanteur A et 3 pour les décanteurs B et C)

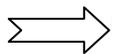
Annexe 2 : les caractéristiques des étapes de la file boue



Epaississement gravitaire

- Type gravitaire
- Diamètre : 15 m
- Surface unitaire : 177 m²
- Hauteur cylindrique : 3,5 m

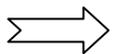
L'extraction des boues des épaisseurs se fait par le biais de 3 pompes volumétriques de 7 à 20 m³/h.



La digestion anaérobie

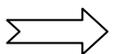
- 2 digesteurs
- Volume unitaire : 6 000 m³
- 2 échangeurs : 600 KW/ digesteur
- Hauteur : 15 m, dont 12,5 m utile
- 1 chaudière : 600 KW

L'extraction des boues digérées se fait par 4 pompes volumétriques de 112 m³/h.



Stockage des boues digérées

- Volume : 1800 m³
- Agitateurs : 3 unités
- Hauteur : 6,5 m



Déshydratation



Chaulage

- 3 filtres à bande 900 kg MS/ h
- Largeur de bande : 2,5 m/ machine
- 1 central polymère
- 1 bande transporteuse
- 1 pompe volumétrique

Bibliographie

- ❖ Réalisation des études de schéma directeur d'assainissement liquide de la ville de Marrakech. Mission -A- : Investigations préliminaires, (2007), RADEEMA- 400 p.
- ❖ Réalisation des études de schéma directeur d'assainissement liquide de la ville de Marrakech. Mission -A- : Investigations préliminaires, rapport Mars 2008 version définitive, RADEEMA - 177p.
- ❖ Épuration des eaux usées de Marrakech. Mission-B- : Etudes d'Avant-Projet Détaillé des réseaux d'amenées et des stations de pompage pour la réutilisation des eaux usées dans les golfs et la Palmeraie de Marrakech, (04 /09/2008), RADEEMA, 200p.
- ❖ Département d'assainissement liquide Services d'assistance technique des collectivités territoriales à l'épuration et suivi des eaux (SATESE)2001- Manuel du conducteur de station de l'épuration des eaux usées , RADEEMA ,40 p.
- ❖ « État de la qualité des ressources en eau au Maroc » :
 - qualité des eaux superficielles.
 - qualité des eaux souterraines
- ❖ Étude de la possibilité d'extension de la STEP de Marrakech, (2009), RADEEMA, 49p.
- ❖ Mlle Nadia AZZOUZI, (2010), Rapport du Traitement et réutilisation des eaux usées épurées dans la ville de Marrakech, FSTG ,71p.
- ❖ Réutilisation des eaux tertiaire et pour l'irrigation des golfs et des palmeraies de la ville de Marrakech et valorisation des boues résiduares, (2010), RADEEMA, 60p.
- ❖ Notions de nutrition des plantes et de fertilisation des sols, (2005), Manuel de formation, Projet Intrants/FAO, 25 p.
- ❖ L'ABC du gazon, 2009, 53p.
- ❖ Présentation du Guide Technique de la Réutilisation des Eaux Usées Epurées, (2009), Etude ONEP / FAO ,50 p.