



UNIVERSITE CADI AYYAD
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES
GUELIZ-MARRAKECH



REGIE AUTONOME DE DISTRIBUTION
D'ELECTRICITE D'EAU POTABLE
ET D'ASSAINISSEMENT LIQUIDE
DE LA VILLE DE MARRAKECH

MEMOIRE DE STAGE DE FIN D'ETUDES

LICENCE SCIENCES ET TECHNIQUES

Eaux et Environnement

**Station de traitement des eaux usées de la ville de Marrakech :
Projet de valorisation des eaux usées pour l'irrigation
des terrains de Golfs**



Réalisé par : KAMAL Safia

Encadrée par : -Mme R. BAHJOU

-Mr D. CHAFIKI

-Mr A. BENKADDOUR

2009/2010

Remerciements

Au terme de mon travail de fin d'étude, je tiens à exprimer mes vifs remerciements à tous ceux qui ont collaboré, de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

J'exprime ma profonde gratitude à Mme. R. BAHJOU pour son encadrement et encouragement.

Je témoigne toute ma reconnaissance au Pr. D. CHAFIKI pour son assistance et orientation toute la durée du stage.

Je remercie Pr. A. BEN KADDOUR pour son orientation, ainsi que le corps enseignant du département des sciences de la terre à la FSTG de Marrakech, pour la formation qu'il nous a assuré pendant les années de licence.

C'est avec un grand plaisir que je remercie les membres de jury pour avoir bien voulu en faire partie.

Toute ma reconnaissance à ma famille et mes amis qui sans eux je n'aurais jamais pu réaliser ce travail.

RESUME

Le présent travail consiste en une étude d'un projet de réalisation de la 2^{ème} tranche de la STEP de Marrakech afin de réutiliser les eaux usées traitées pour l'irrigation des terrains de golfs.

La station d'épuration constitue la pièce maitresse du projet d'assainissement liquide de la ville de Marrakech, elle représente la fin de collecte et de transfert des eaux usées et en même temps c'est le point de départ de toute réutilisation éventuelle des eaux. Actuellement, juste la première tranche de la station existe et elle correspond à un traitement primaire des eaux usées par décantation précédée par des prétraitements tels que le dégrillage, le dessablage et le déshuilage. Parmi les objectif de mise en place de la station est la réutilisation des eaux épurées pour des fins d'irrigation, pour cela il faut attendre la construction de la deuxième phase de traitement qui correspondra a un traitement secondaire et un traitement tertiaire, pour que les eaux soient conforme au normes marocaine d'irrigation des espaces verts.

Mots clés : STEP, Marrakech, eaux usées, 2^{ème} tranche, irrigation, terrains de golfs

SOMMAIRE

Introduction	5
Première partie : Généralités sur la ville de Marrakech	6
I – Présentation de l’organisme d’accueil	7
II –Généralités sur la ville de Marrakech	8
II -1 Contexte socio-économique	8
II- 2 Données topographiques, géologiques et pédologiques	9
II -3 Ressources en eau de la ville de Marrakech et qualité des eaux	13
II -4 Assainissement liquide de la ville de Marrakech.....	15
III- La station d’épuration de la ville de Marrakech.....	17
III- 1 Situation de la station.....	17
III- 2 Objectifs de la mise en place de la station d’épuration de Marrakech	17
III- 3 Traitement des eaux usées	18
III- 4 Capacité de la station	23
III- 5 Conclusion	25
Deuxième partie : Valorisation des eaux usées épurées.....	26
I - Valorisation des eaux usées traitées	27
I-1 Domaines de réutilisation des eaux usées	27
I-2 Normes de réutilisation des eaux usées	28
II- Extension de la station d’épuration	30
II-1 Situation et caractéristiques topographiques	30
II-2 Caractéristiques géologiques	31
II-3 Piézométrie.....	31
II-4 Traitement des eaux.....	32

III – Projet de réutilisation des eaux usées épurées pour l’irrigation des golfs	39
III-1 Introduction	39
III-2 Choix des sites potentiels de réutilisation	39
III-3 Réseau de distribution.....	41
IV – Mesure d’accompagnement en amont (La dépollution industrielle).....	46
IV-1 Introduction.....	46
IV-2 Caractéristiques des secteurs industriels de Marrakech.....	46
IV-3 Impact de la pollution industrielle à Marrakech et proposition de mise en œuvre de prétraitement par branche d’activité.....	47
IV-4 Programme proposé de contrôle et de surveillance des eaux usées industrielles	50
Conclusion	52
Références bibliographiques	53
Liste des tableaux	54
Liste des figures	55
Liste des abréviations.....	56
Annexe I	57
Annexe II	65

Introduction

Marrakech et son environnement possède des potentialités importantes dans plusieurs domaines comme l'agriculture et le tourisme, ces potentialités doivent être valorisées dans le cadre d'une stratégie de développement global intégrée et durable. Cette stratégie a pour but de surmonter les défis et les contraintes actuelles que connaît la ville.

Vue que Marrakech connaît un stress hydrique et que les principaux pôles de la ville (agriculture et tourisme) sont de grands consommateurs d'eau, **L'EAU** est considérée alors comme facteur limitant du développement urbanistique et touristique de Marrakech. Pour remédier à cette problématique, la conception de la station d'épuration et la réutilisation des eaux usées épurées s'impose comme la convenable solution pour répondre aux demandes accrues des projets touristiques (golfs) et pour l'amélioration des conditions sanitaires et environnementales par le respect des normes de rejets dans le milieu récepteur.

Le projet de réutilisation des eaux usées épurées, permettra d'avoir une ressource pérenne qui peut garantir annuellement un volume de 33 Mm³ d'eau qui réponde aux normes de réutilisation pour l'irrigation des terrains de golfs, et qui va permettre de soulager les ressources en eau potable.

Ce présent travail a pour but de donner une idée sur les phases de traitement des eaux usées que ça soit au niveau de la 1^{ère} phase ou de la 2^{ème} et de définir les sites potentiels qui bénéficieront des eaux usées traitées.

1^{ère} partie

Généralités

I- Présentation de l'organisme d'accueil

Le 26 Décembre 1970 et suite aux délibérations du conseil communal de la ville de Marrakech, il a été décidé de créer à partir du premier janvier 1971, la Régie Autonome de Distribution d'Eau et d'Electricité de Marrakech, dénommée RADEEMA et ce en vertu du décret n° 2-64-394 du **29 septembre 1964** relatif au Régies communales.

Le premier janvier 1998, la **RADEEMA** à pris en charge la gestion du service de l'assainissement liquide suite aux délibérations de la communauté urbaine de Marrakech.

Activité et périmètre d'action

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 métiers couvrent une zone d'action de 24 000 ha et une population d'environ 950 000 habitants.

Taux de raccordement et longueurs des réseaux

-Les taux de raccordement par réseau sont respectivement de :

Eau : 94,7 %

Assainissement liquide : 87,8 %

Electricité : 93,5 %

- Le linéaire totale des trois réseaux de distribution et de collecte est de 6 410 Km répartis comme suit :

Eau : 2 170 Km

Assainissement liquide : 1 700 Km

Electricité : 2 540 Km.

II- Généralités sur la ville de Marrakech

II- 1 Contexte socio-économique

II-1-1 Situation administrative

L'agglomération urbaine de Marrakech fait partie de la Wilaya de Marrakech, elle-même incluse dans la région économique du Tensift. Les 6 communes urbaines composant cette agglomération (Fig.1) sont :

- Marrakech- Médina
- Méchouar- Kasbah
- Ménara
- Guéliz
- Sidi Youssef Ben Ali
- Annakhil

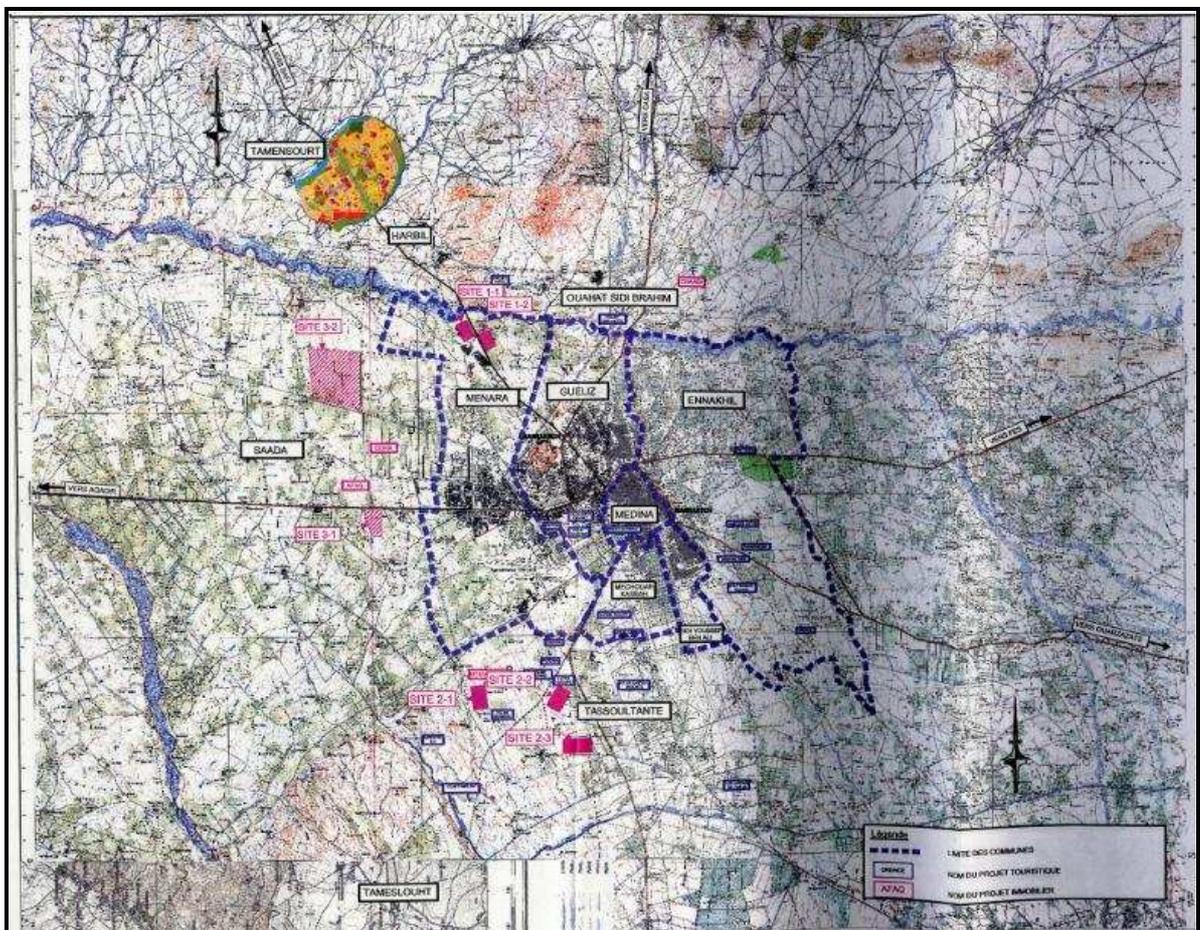


Figure 1: Carte montrant les 6 communes urbaine de l'agglomération de Marrakech (D'après le schéma directeur de la RADEEMA, Mission A. 2008)

II-1-2 Activités économiques

Les activités principales à Marrakech sont le tourisme et l'industrie (surtout l'agroalimentaire). On distingue 3 secteurs essentiels :

1. Le secteur primaire : Il comprend les cultures et l'élevage
2. Le secteur secondaire : il comprend l'industrie, l'artisanat et la branche du bâtiment et travaux publics
3. Le secteur tertiaire : essentiellement le tourisme, il fournit la majorité des emplois.

II-2 Données topographiques, climatologiques, géologiques et pédologiques

II-2-1 Topographie

L'agglomération de Marrakech est située dans la plaine du Haouz centrale enserrée par le massif du haut Atlas au Sud et celui des Jbilettes au Nord. (Fig.2)

Le site de Marrakech est une plaine uniforme s'inclinant doucement selon une pente d'environ 8% orientée du Sud-Est vers le Nord-Ouest depuis la côte 460 NGM (Est de l'aéroport) jusqu'à la côte 380 NGM (Oued Tensift). Les seuls reliefs sont constitués par les jbel (collines) de Gueliz et de Koudiat al Abid.

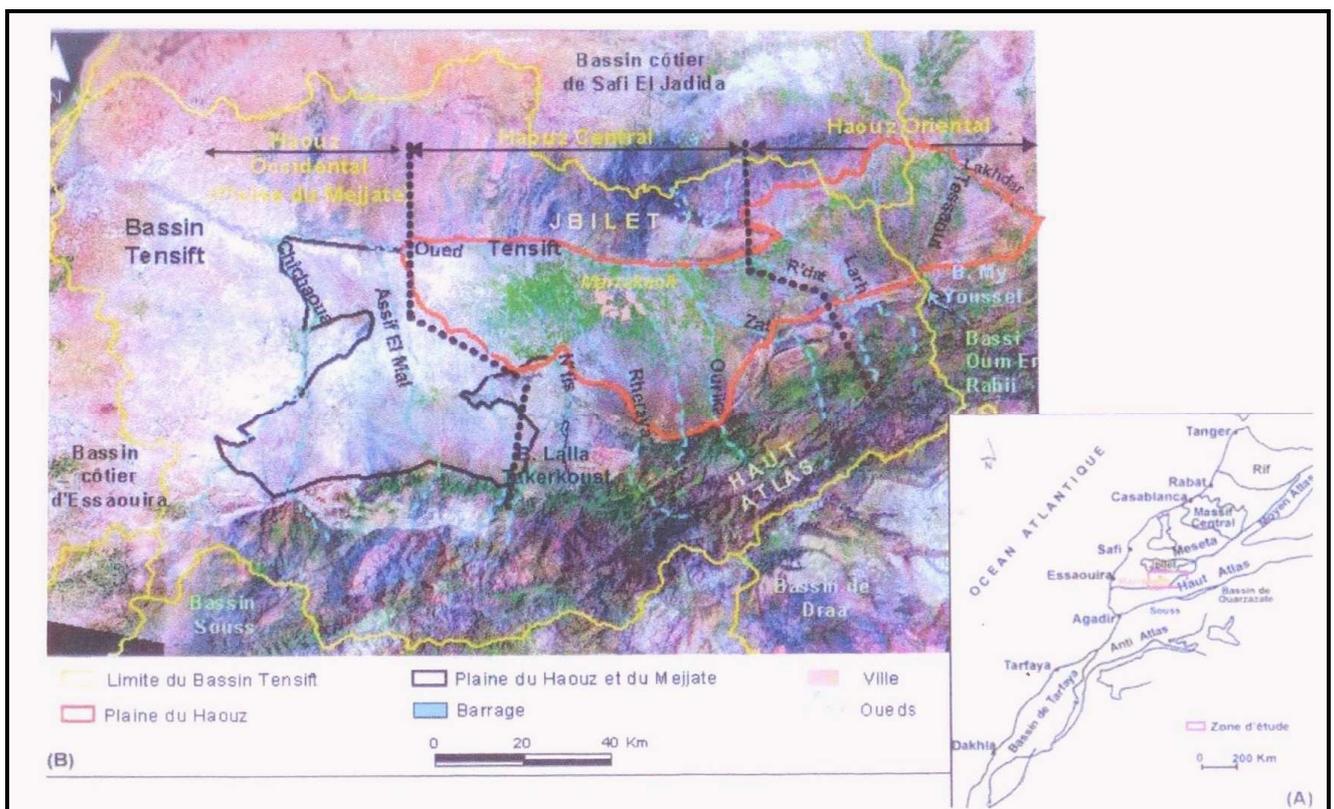


Figure 2 : Vue aérienne montrant l'emplacement du Haouz central

(D'après hal.inria.fr/docs/00/18/79/38/PDF/II_Abourida.pdf)

II-2-2 Climat

La zone de Marrakech se situe dans l'étage bioclimatique semi-aride, caractérisé par des précipitations peu abondantes et mal réparties dans l'espace et dans temps et partout inférieures à 300 mm. Les contrastes de températures sont remarquables en raison des variations diurnes, saisonnières ou annuelles.

Les vents sont calmes et originaires de l'Ouest et du Nord-Ouest. Aux contraires les vents desséchants de chergui et de sirocco, soufflent respectivement de l'Est et du Sud.

II-2-3 Géologie et pédologie

Géologie :

La plaine du Haouz se développe entre les chaînes du Haut Atlas au Sud et le massif des Jbilettes au Nord. Elle est formée sur un substratum paléozoïque essentiellement schisteux et imperméable, une série sédimentaire marno-gréseuse continentale d'âge miocène et elle est recouverte d'un dépôt alluvial graveleux datant du quaternaire. (Fig. 3 et 4)

Ce dépôt quaternaire est le fruit de l'érosion des roches de l'Atlas, charriées par un réseau hydrographique à régime torrentiel. Ces dépôts détritiques, insérés dans une matrice souvent argileuse sont caractérisés par leur extrême hétérogénéité. Les collines calcaires Jbel Guéliz et Koudiat al Abid sont les seuls reliefs de cette plaine, et appartiennent au socle paléozoïque.

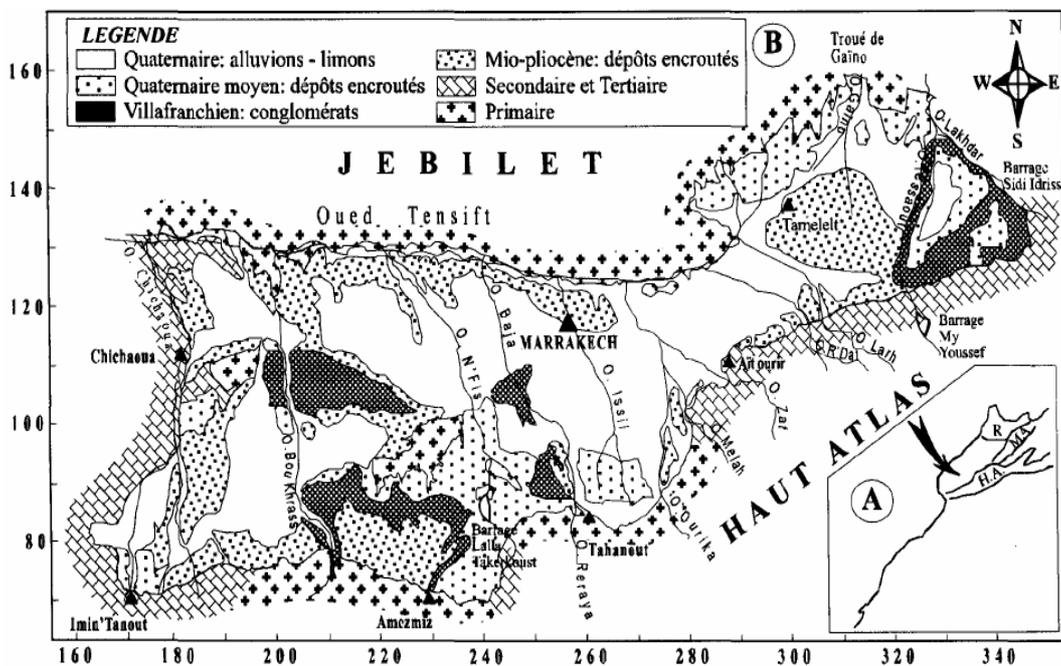


Figure 3 : Situation du Haouz central dans son cadre géologique régional (D'après RAZOKI, 2000)

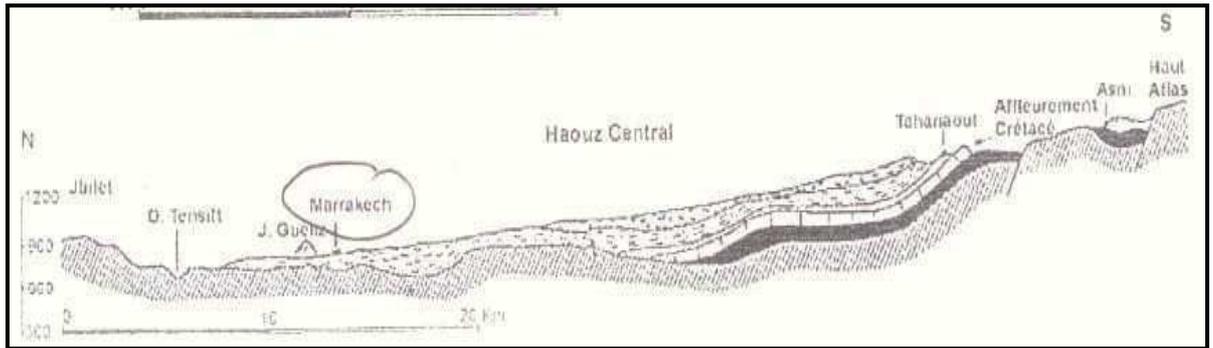


Figure 4 : Coupe géologique du Haouz central (D'après RAZOKI, 2000)

Pédologie :

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

- Cône du N'Fis (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 ;
- Cônes de l'Ourika, de réhaya et du Zat (pourtour Est et Ouest de Marrakech) : ces sols bruns rouges par leur texture sablo-argileuse, sont très favorables à une agriculture irriguée.

Pour avoir plus de renseignements sur la distribution spatiale des sols dans la région de Marrakech nous proposons la carte pédologique régionale ci-après(Fig.5).

II-3 Ressources en eau de la ville de Marrakech et qualité des eaux

II-3-1 Les ressources en eau de surface

Les ressources en eau de surface sont très irrégulières et inégalement réparties. Le Haut Atlas constitue le château d'eau des écoulements de surface, puisque les oueds les plus importants y prennent naissance, alors que la plaine est une zone de transition et d'utilisation de l'eau. Cependant, les ruissellements à caractère torrentiel, qui se produisent suite aux orages ou aux précipitations intenses, sont collectés par le réseau hydrographique du Tensift qui les évacue à l'Océan.

Réseau hydrographique traversant la ville de Marrakech

Le réseau hydrographique traversant la ville de Marrakech est composé de :

- Oued Tensift au Nord
- Oued Issil qui se jette au Nord dans Oued Tensift
- Oued Taroumit limitant l'arrondissement d'Annakhil à l'Est avant de se jeter dans Oued Tensift
- Chaaba Ali Bali traversant les arrondissements de Ménara Guéliz avant de rejoindre Oued Tensift au Nord de la ville.

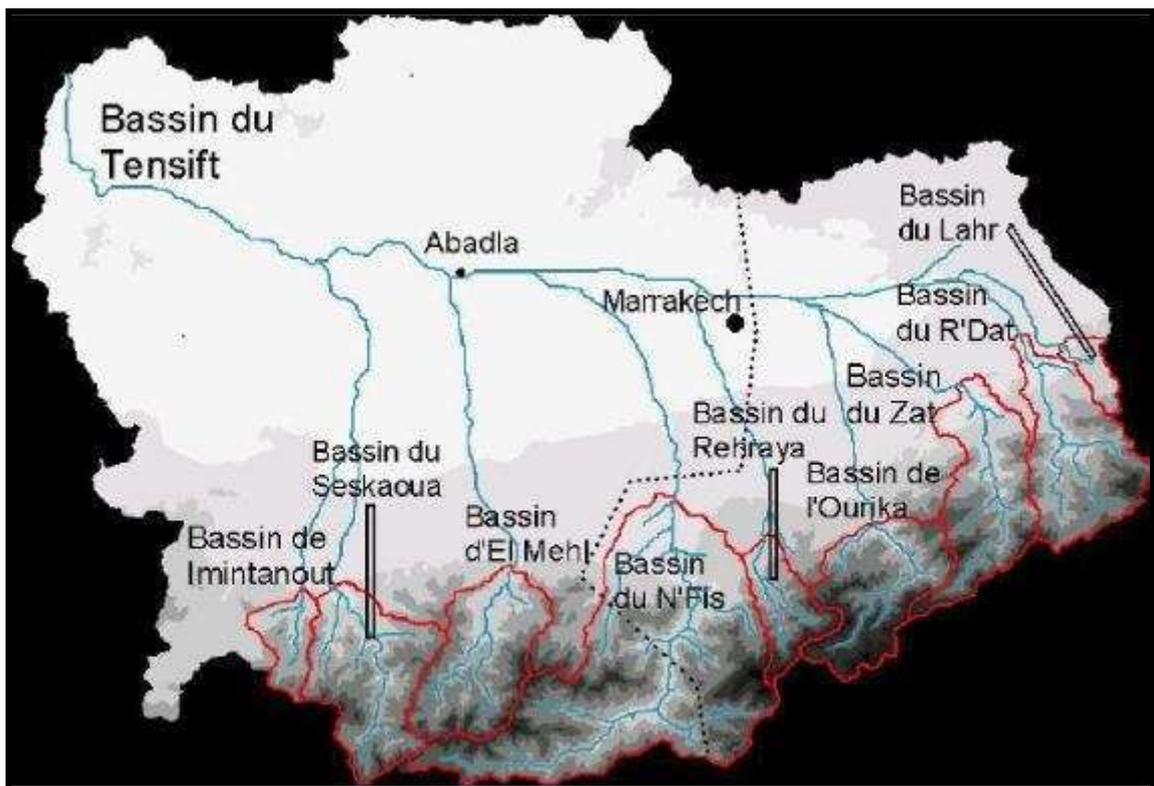


Figure 6 : Réseau hydrographique du Haouz montrant les principaux affluents de l'oued Tensift. (D'après l'agence du bassin hydraulique de Tensift)

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. Le degré de pollution devient de plus en plus important en allant du Tensift Haut vers Tensift Bas.

La qualité des principaux effluents de l'Oued Tensift est indiquée dans le tableau suivant (Tabl.1):

Affluents de l'oued Tensift	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 moyennes 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

Tableau 1 : Qualité des ressources en eau de surface de l'oued Tensift

II-3-2 Les ressources en eau souterraines

L'inégale répartition de la pluviométrie et des eaux de surface d'une part, et la géologie caractérisée par la présence de structures très diversifiées d'autre part, sont à l'origine de l'inégale répartition géographique des eaux souterraines sur toute la région du Haouz-Tensift.

Pour la région de Marrakech la principale nappe est celle du Haouz-Mejjate d'âge plio-quaternaire et néogène. C'est la nappe la plus productive de la région mais également la plus exploitée.

La nappe du Haouz et sa bordure occidentale sont limitées par la chaîne atlasique au Sud et les chaînons des jbillets au Nord, elle s'étend d'Est en Ouest entre les reliefs des jbillets et l'oued chichoua.

Du point de vue géologique, la nappe du Haouz est un bassin de sédimentation d'origine tectonique, dans lequel se sont accumulés au Néogène et au quaternaire d'importantes formations détritiques issues du démantèlement de la chaîne atlasique au cours de son soulèvement.

Les écoulements s'établissent dans les alluvions plio- quaternaires et les formations du Néogène. La surface libre de la nappe s'établit en moyenne à 30 m sous le niveau du sol, mais se situe entre 5 à 10 m le long de l'oued Tensift et peut descendre jusqu'à 80 m le long du piémont de l'Atlas. Dans la zone où l'eau souterraine fait l'objet de l'exploitation intensive elle s'établit aux environs de 40 à 50 m.

Les productivités de la nappe sont généralement bonnes. Elles sont de quelques litres par seconde et peuvent atteindre par endroit 50 l/s ; mais en se rapprochant de la zone piémontaise, elles deviennent de plus en plus faibles.

En ce qui concerne le bilan de la nappe, la recharge de la nappe se fait principalement par infiltration des eaux d'irrigation et des eaux de crues le long des oueds atlasiques traversant la plaine, principalement les oueds de N'fis, de Rhéraya, d'Ourika, du Zat, et du R'dat. L'écoulement général de la nappe se fait du sud vers le Nord.

L'exploitation de la nappe se fait par puits à mains, khetaras et par pompage. Le développement hydro-agricole que connaît la plaine du Haouz et l'exploitation intensive des eaux souterraines qui s'en suivent, conjugués aux effets de la sécheresse qui sévit sur la zone depuis les années 1970, ont engendré une baisse du niveau de la nappe.

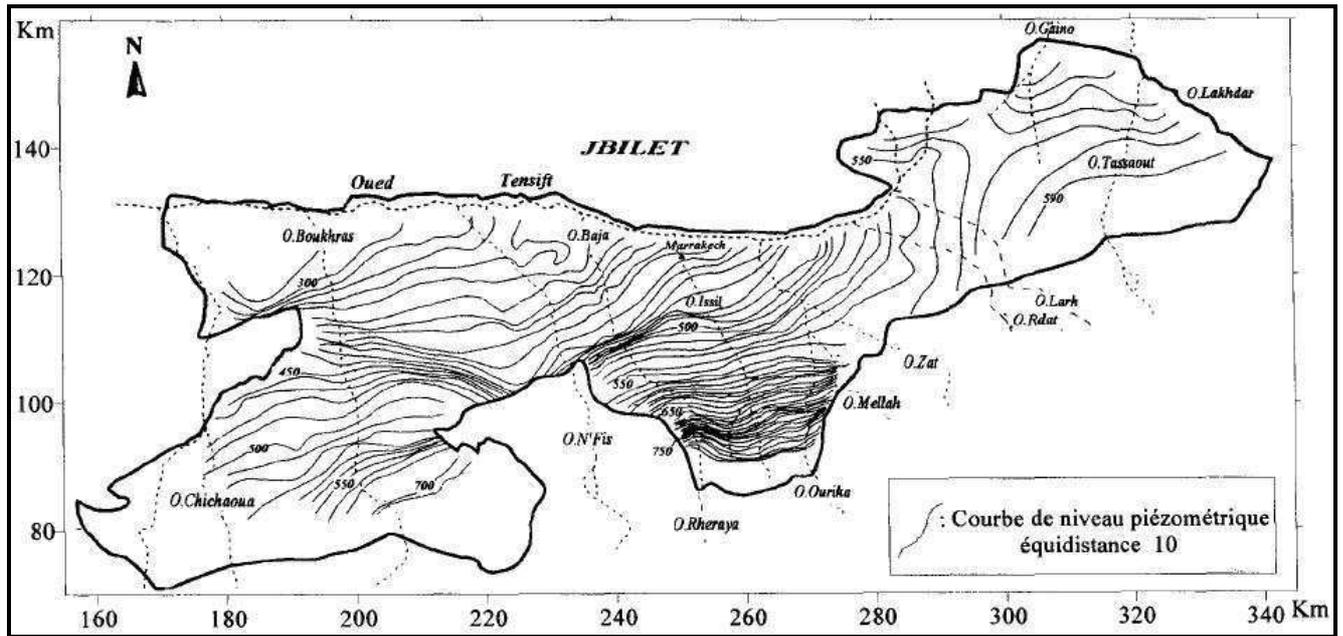


Figure 7 : Carte piézométrique de la nappe néogène du Haouz central (D'après RAZOKI, 2000)

La nappe du Haouz-Mejjate 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 leur teneur élevée en nitrates et leur salinité qui dépasse généralement 4g/l.

II-4 Assainissement liquide de la ville de Marrakech

La ville de Marrakech est dotée d'un réseau d'assainissement collectif de deux types : unitaires et pseudo-séparatifs. Le mode pseudo-séparatif est adopté dans la zone industrielle Sidi Ghanem, la zone M'Hamid et les zones équipées après 1998.

Les zones desservies par le réseau d'assainissement liquide de la ville de Marrakech sont :

- Arrondissement Médina
- Arrondissement Ménara
- Arrondissement Guéliz
- Arrondissement Sidi Youssef Ben Ali (SYBA)
- Arrondissement Annakhil

➤ Municipalité Mechouar Al Kasbah.

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

	2006	2010	2015	2020	2030
Population (HAB)	872 290	916 780	1 044 129	1 135 949	1 318 315
Consommations (m³/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 (m³/j)	73 142	82 815	109 186	127 932	151 721

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).

Remarque : la consommation déterminée dans le tableau au dessus représente le total de la consommation de la population branchée, non branchée, la consommation administrative, industrielle et hôtelière.

Vue les volumes d'eau usées importants qui sont versés chaque jour dans le milieu naturel, et leur impact sur l'environnement, la RADEEMA à décidé de construire une station d'épuration afin de répondre au problème d'assainissement liquide de la ville de Marrakech.

III- La station d'épuration de Marrakech

III-1 Situation de la station

Le site de la station d'épuration est situé au nord de la ville de Marrakech, en rive gauche de l'oued Tensift (Fig.8).

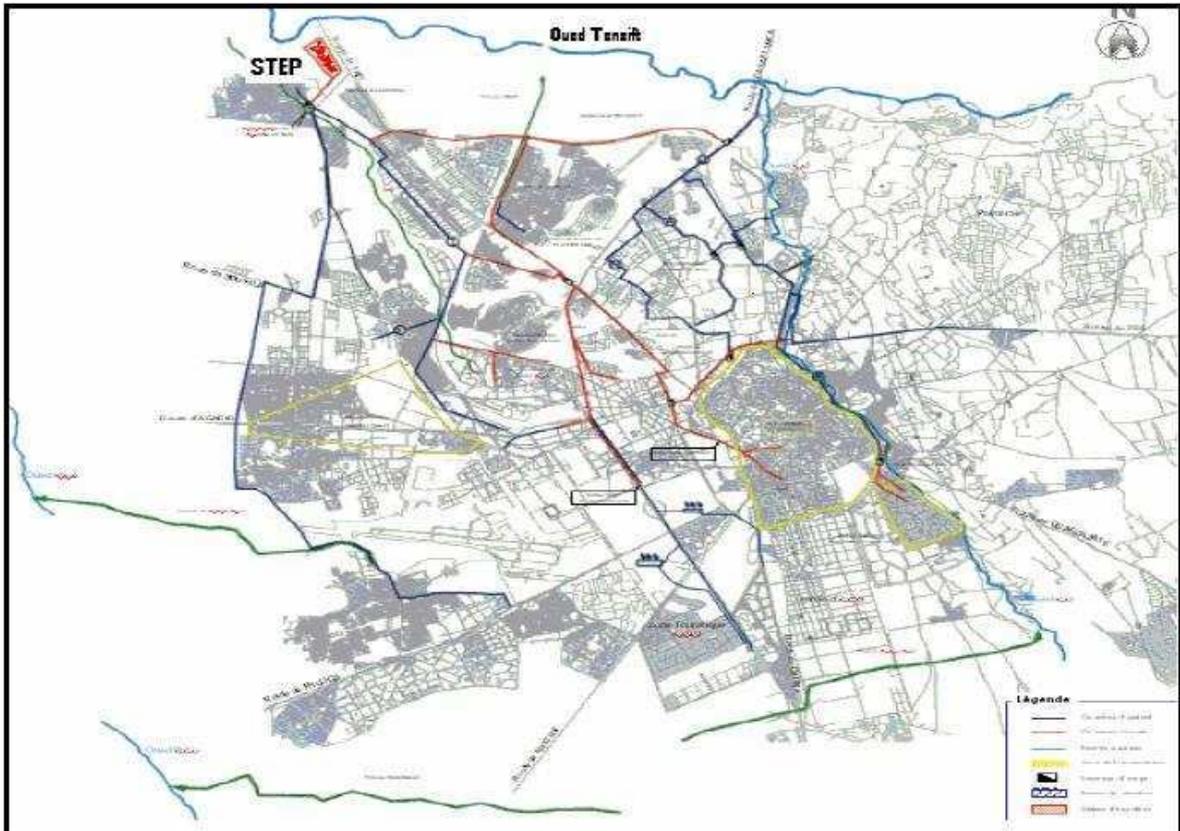


Figure 8 : Site de la station d'épuration (STEP) (D'après le schéma directeur de la RADEEMA. Mission A. Mars 2008)

Les limites du site sont :

- 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
- La route des ferrailleurs et le douar Azib layadi au Sud.

Le site présente une superficie totale brute de 17 ha. Le choix du site est motivé par, d'une part, 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 publique prévue pour l'évacuation des déchets du prétraitement et des boues déshydratées.

III-2 Objectifs de la mise en place de la station d'épuration de Marrakech

III-2-1 Mobilisation d'une ressource en eau alternative et renouvelable pour l'irrigation

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 1^{ère}

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.

III-2-2 Protection de l'environnement

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, l'air.

III-2-3 Amélioration des conditions sanitaires

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 (eaux de baignade), soit indirectement par l'irrigation des cultures par des eaux usées non traitées.

III-2-4 Participation au développement touristique

Parmi les principaux objectifs de l'épuration des eaux usées est de préserver l'environnement, améliorer les conditions sanitaires et d'offrir ainsi une atmosphère de plus en plus accueillante aux touristes.

III-3 Traitement des eaux usées

III-3-1 Caractéristique des eaux brutes

Les eaux usées à traiter sont :

- 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 deuxième phase comportant le traitement biologique.

III-3-2 Description des process de traitement

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. 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 la majorité de la pollution particulaire, 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, sous peine de dysfonctionnement, le déversoir d'orage permet donc de délester vers 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, et particulièrement pendant les pluies.

Une fois les eaux arrivent à la STEP elles transitent par plusieurs ouvrages. Pour cette première phase de traitement ; on distingue 3 grandes files:

- **File EAU** : Au cours de laquelle l'eau passe par les étapes suivantes (Fig.9) :
 - Fosse a batard
 - Pré-dégrillage
 - Dégrillage grossier
 - Dégrillage fin
 - Dessablage –deshuilage
 - Décantation primaire

L'eau ainsi traitée dont le débit est mesuré à la sortie de la station rejoint le milieu naturel (Oued Tensift)

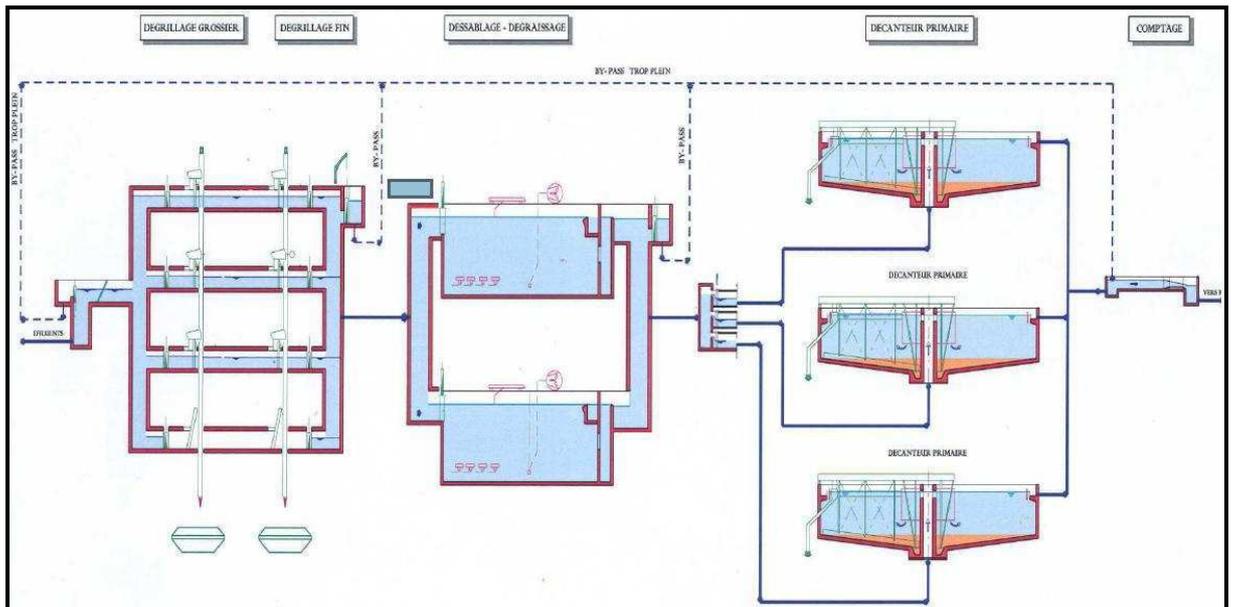


Figure 9 : Schéma montrant la ligne eau dans la station d'épuration (D'après M.ERRAMI, 2008)

- **File BOUE** : la file boue (Fig. 10) commence au niveau des décanteurs primaires et est composée de :
 - Epaissement des boues
 - Digestion des boues
 - Stockage des boues
 - Déshydratation des boues
 - Module de cogénération

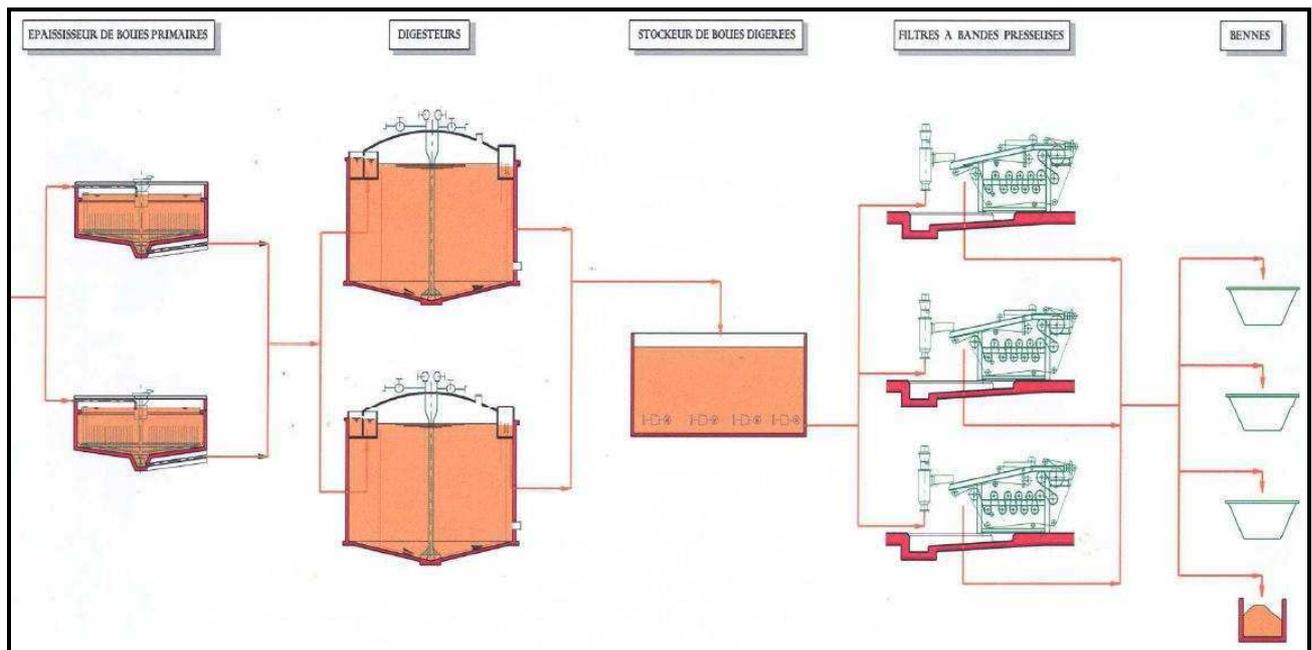


Figure 10 : Schéma montrant la ligne boue dans la station d'épuration (D'après M.ERRAMI, 2008)

- **File GAZ** : cette file commence au niveau des digesteurs ; le gaz subit :
 - Désulfuration
 - Alimentation de l'unité de cogénération
 - Stockage dans un gazomètre

Le schéma suivant (Fig.11) résume le déroulement du traitement au niveau de la première phase avec les trois principales files.

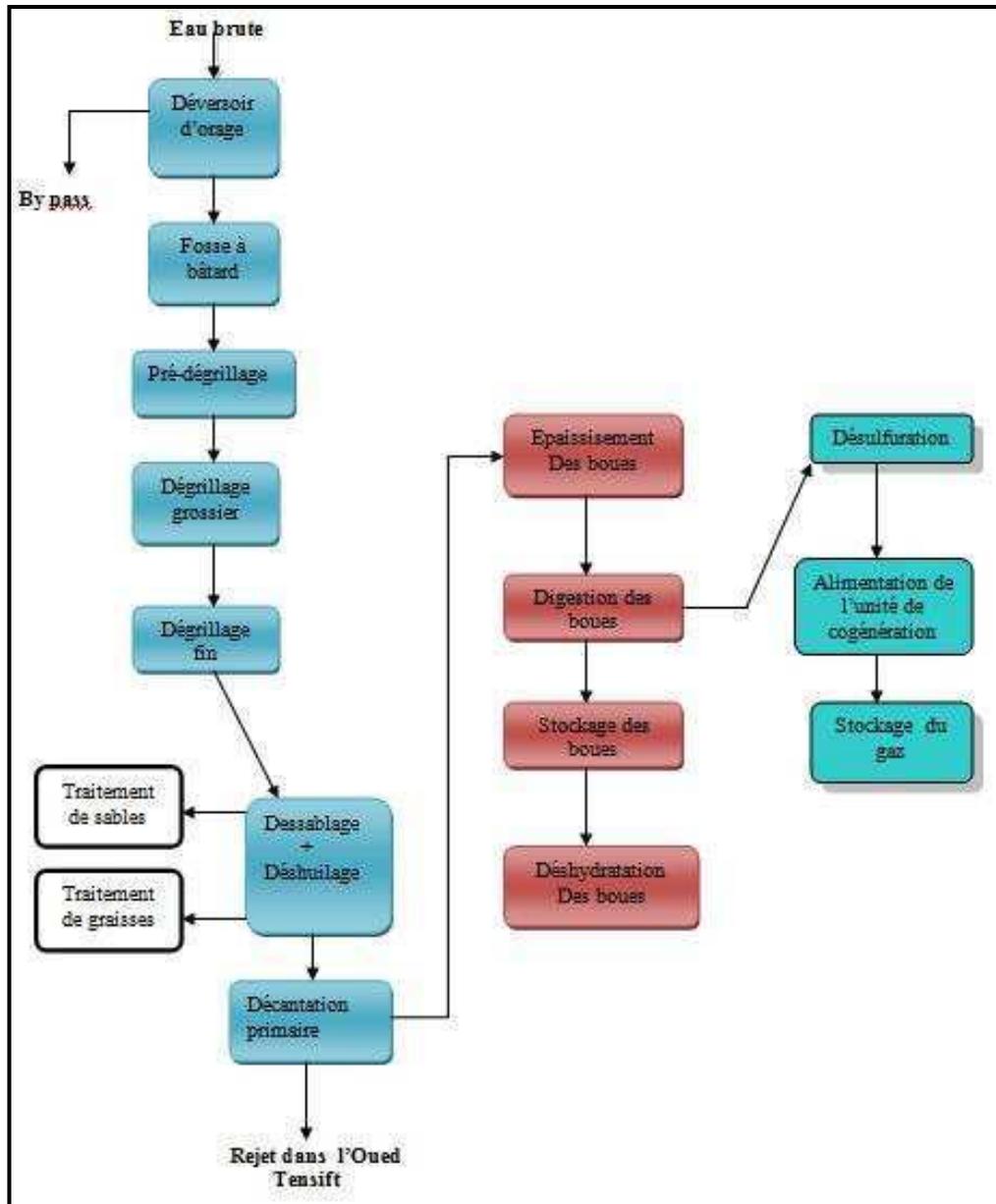


Figure 11 : Schéma de fonctionnement des ouvrages d'épuration

III-4 Capacité de la station

III-4-1 Dotations

Capacité nominale à 2010	EH	1 000 000
Dotation	L d'eau usés /EH .j	90,72
Dotation en DBO₅	g/EH .j	58
Dotation en DCO	g/EH .j	145
Dotation en MES	g/EH .j	53

Tableau 3 : Dotations par Equivalent Habitant (EH)

III-4-2 Les charges contractuelles des débits et des pollutions limites acceptées par la station

charges	1 000 000
DBO₅	58,100 kg/ j
DCO	144,600 kg/j
MES	53,000 kg/j
Débits	Valeurs limites
Débit moyen journalier temps sec	90,720 m ³ /j
Débit de pointe journalier	184,896 m ³ /j

Tableau 4: Capacité de la Station d'épuration étudiée

La capacité hydraulique et la charge polluante en DBO₅ sont les deux paramètres dimensionnant une station d'épuration, ces charges de dimensionnement sont basées sur des ratios européens de pollution par équivalent Habitant.

En vue du suivi des garanties contractuelles et des performances du processus de traitement, il est procédé à des mesures périodiques des principaux indicateurs, à savoir : les débits, MES, DBO₅, DCO. (Pour plus d'information sur les ouvrages de la première phase, et sur les différentes mesures effectuées, voir ANNEXE I)

III-4-3 Rendement épuratoire de la 1^{ère} phase

Les rendements garantis sur les ouvrages de la décantation primaire sont les suivants :

Paramètre	Abattement sur fraction décantable	Taux de matières décantables
DBO ₅	90 %	33 %
DCO	90 %	33 %
MES	90 %	33%

Tableau 5 : Rendement de la 1^{ère} phase de traitement (D'après le schéma directeur de la RADEEMA. Mission A, Mars 2008)

III-4-4 Conformité aux normes

Le prétraitement et le traitement primaire ne permettent pas d'atteindre les seuils fixés par la norme marocaine, les écarts sont très important comme précisé dans le tableau suivant :

paramètres	A la sortie de la station	Norme marocaine
DBO ₅	450 mg/l	120 mg/l
DCO	1100 mg/l	250 mg/l
MES	200 mg/l	150 mg/l

Tableau 6 : Ecart par rapport à la norme marocaine (D'après la RADEEMA. Mission A, Mars 2008)

III -5 Conclusion

- Les concentrations à la sortie de la STEP restent encore très élevées et entraîneront sans doute des impacts négatifs sur l'environnement et en particulier sur les ressources en eau. Pour atteindre les seuils fixés par la norme marocaine, il est nécessaire d'attendre la réalisation et la mise en service du traitement secondaire, prévu pour la fin de l'année 2010.
- Selon l'évaluation des charges hydrauliques aux horizons futurs, la STEP existante sera saturée hydrauliquement autour de l'horizon 2015, donc il sera nécessaire de réaliser un second pôle d'épuration à l'échelle de Marrakech autour des horizons 2015-2020.

2^{ème} partie

Valorisation des eaux usées épurées

I- valorisation des eaux usées traitées

Dans une région semi-aride comme Marrakech, caractérisée généralement par une aridité croissante avec de très faibles précipitations et un fort pouvoir évaporateur de l'air, la réutilisation des eaux usées épurées offre un double avantage :

- Elle vise à protéger l'environnement contre les menaces sérieuses constituées par les rejets des eaux usées dans les milieux récepteurs et par leur infiltration vers les eaux souterraines.
- Elle permet une économie des ressources en eau visant à garantir leur pérennité.

I-1 Domaines de réutilisation des eaux usées

Les différentes possibilités de réutilisation envisageable, en dehors de la recharge de la nappe, sont généralement :

- La réutilisation industrielle : Eau de refroidissement, eau de process
- La réutilisation agricole qui est une pratique très ancienne : irrigation de cultures maraichères, d'arbres fruitiers
- La réutilisation urbaine : arrosage d'espaces verts (golf, parcs, terrains sportifs), protection des incendies, lavage des rues, aménagement paysager (cascades, fontaines,...)
- La réutilisation comme ressource en eau potable.

I-1-1 Réutilisation industrielle

Dans le secteur de la réutilisation industrielle des eaux épurées, les grands consommateurs en eau, sont en général les centrales thermiques et nucléaires (eau de refroidissement) et les papeteries.

Les unités industrielles implantées à Marrakech sont surtout l'agro-alimentaire, l'industrie du textile et du cuir et l'industrie para-chimique. Il apparaît clairement que la réutilisation des eaux épurées n'est pas applicable aux types d'industries implantées à Marrakech compte tenu de leur type d'activité.

I-1-2 Réutilisation agricole

Si le volet de réutilisation industrielle des effluents urbains semble très limité, l'irrigation de cultures est actuellement la solution la plus répandue de réutilisation des eaux usées urbaines.

Depuis plus de 70 ans, les eaux usées brutes de la ville de Marrakech sont déversées dans différents périmètres agricoles pour l'irrigation des palmiers, dattiers et de diverses autres cultures.

Les principales zones de valorisation agricole des eaux usées urbaines brutes de la ville de Marrakech sont :

- Champs d'épandage d'El Azzouzia
- Champs d'épandage Azib Layadi
- Champs d'épandage du camp Ghul
- Palmeraie

L'irrigation avec des eaux usées brutes est complètement à proscrire à cause des menaces pour la santé, sauf en cas d'épuration ce qui va permettre aux agriculteurs de maintenir leurs activités dans de meilleures conditions sanitaires tant pour eux même que pour les consommateurs.

I-1-3 Réutilisation comme ressource en eau potable

Si on arrive à inventer des traitements encore plus poussés, susceptibles de traiter les eaux usées sur des niveaux plus avancés, les eaux usées peuvent être réutilisées comme source en eau potable, formant ainsi un cercle vicieux entre la consommation et la réutilisation de la même eau.

I-1-4 Réutilisation urbaine

Le volet de réutilisation urbaine comprend :

- Arrosage d'espaces verts (golfs, parcs, terrains sportifs),
- Protection des incendies,
- Lavage des rues,
- Aménagement paysager (cascade, fontaines,.....).

La réutilisation urbaine concerne pour la ville de Marrakech l'irrigation des parcours de golfs et espaces verts au sein de nombreux projets touristiques.

Cependant, la réutilisation des eaux usées pour l'irrigation impose un traitement des effluents plus poussé que celui actuellement possible avec la construction de la première tranche de la station d'épuration de Marrakech.

I-2 Normes de réutilisation des eaux usées épurées

L'eau qui est prévue d'être réutilisée pour l'irrigation des projets golifiques et de la palmeraie de Marrakech est issue de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Marrakech. Les caractéristiques de l'eau traitée en sortie de l'ouvrage sont donc régies par la réglementation marocaine et / ou internationale relative à l'usage de ce type d'eau pour des activités d'irrigation.

La réutilisation des eaux traitées pour l'irrigation des golfs et des espaces verts comporte deux contraintes limitatives :

- **La qualité bactériologique des eaux** : l'effluent sortant de la STEP qui contiendrait encore des virus et des œufs parasites en quantité importante impliquerait des risques sanitaires significatifs par contamination directe (du personnel exploitant le système, des ouvriers agricoles et du public en général) et par dispersion des bactéries dans l'air.
- **La qualité physico-chimique** : due à la présence dans cette eau de matières défavorables et toxiques pour les plantes et le sol. La salinité de l'eau est par exemple un facteur significatif.

Ainsi les exigences fixées pour la réalisation de la 2^{ème} phase de traitement de la STEP de Marrakech ont été déterminées de manière à ce que :

1. La qualité bactériologique des eaux traitées soit saine et conforme à la qualité requise par l'OMS et par les normes marocaines.

Les normes de références sont :

- A. D'après la norme marocaine (arrêté conjoint du ministre de l'équipement et du ministre chargé de l'aménagement du territoire, de l'urbanisme, de l'habitat et de l'environnement n° 1276-01 du 10 chaabane 1423 (17 octobre 2002) portant fixation des normes de la qualité des eaux destinées à l'irrigation), les principaux impératifs sanitaires à remplir pour obtenir une eau de qualité suffisante pour l'irrigation des golfs (qualité A), sont plus particulièrement :
 - Teneur en germes fécaux inférieure à 200 U /100 ml nécessaire au vu de contact potentiel du public avec les eaux usées traitées.

- Absence de Nématodes intestinaux.
- B.** Selon l'OMS, les principaux impératifs sanitaires à remplir pour obtenir une eau de qualité suffisante pour l'irrigation des golfs (qualité A), sont plus particulièrement :
- Teneur en germes fécaux inférieure à 200 U / 100 ml nécessaire au vu de contact potentiel du public avec les eaux usées traitées,
 - Nématodes intestinaux inférieur à 0,1 œuf /l
- C.** Pour information les principaux impératifs sanitaires à remplir pour obtenir une eau de qualité pour l'irrigation des golfs selon l'USEPA, sont plus particulièrement :
- Coliformes fécaux non détectables (U/100 ml) nécessaire au vu de contact potentiel du public avec les eaux usées traitées,
 - Demande biochimique en oxygène pendant 5jours (DBO₅) inférieur à 10 mg /l
 - Turbidité inférieur à 2 NTU
 - Cl₂ =1 mg/l minimum
- 2.** La qualité physico-chimique des eaux traitées soit appropriée aux techniques d'irrigation utilisées sur les terrains de golfs et des espaces verts (notamment au niveau de la turbidité qui pourrait boucher les systèmes goutte à goutte de l'irrigation localisée).

En complément des normes sanitaires, il est prévu que la qualité des eaux exigées en sortie du traitement tertiaire dans ce projet respecte les limites suivantes :

paramètre	Nominal après traitement tertiaire
DBO ₅	< 10mg/l
DCO	<95 mg/l
MES	<5 mg/l
NGL	<20 mg/l
P _T	<10 mg/l

Tableau 7: Exigence sur la qualité de l'eau en sortie du traitement tertiaire (D'après schéma directeur de la RADEEMA. Mission B)

La contrainte de la salinité des eaux

Pour la ville de Marrakech l'eau potable est relativement salée (conductivités mesurées sur les deux principaux réservoirs d'alimentation en eau potable de Marrakech - R1 et R2 - donnent des valeurs comprises entre 500 et 1000 µS/cm), donc il est logique d'avoir des eaux résiduaires plus chargées en sels. Le processus d'épuration choisi n'ayant aucun impact sur la salinité de l'effluent, ce paramètre sera identique en entrée et en sortie de station.

La salinité seule n'est pas un critère suffisant pour juger de la toxicité potentielle d'une eau d'irrigation. Il existe en effet plusieurs facteurs qui sont principalement :

- Le type de gazon ;
- Le type d'irrigation et le niveau de l'irrigation sur 24 h ;

- Et surtout, le niveau de la qualité drainante des sols et sous couches. Les effets de la salinité sont d'autant plus sensibles et plus rapides que les sols sont peu perméables et mal drainés. Les sels dissous s'accumulent alors dans la zone de croissance des racines, accroissant la pression osmotique et rendant l'eau ainsi moins disponibles pour les plantes. Il est à noter que :
- Les types de gazons semés au Maroc sont plus résistants que les gazons semés dans des zones plus tempérées ;
- Un gazon résiste mieux à la salinité d'une eau lorsqu'une partie de l'irrigation est effectuée en période nocturne ;
- Un gazon résiste mieux à la salinité d'une eau lorsque le drainage des sols est performant.

Afin de garantir un niveau de rejet compatible aux normes marocaines pour l'irrigation des golfs comme cité ci-dessus, il est nécessaire d'abord d'étendre le traitement primaire en réalisant la 2^{ème} tranche de la STEP comportant un traitement secondaire (filère biologique par boue activée) puis un traitement tertiaire (filtration rapide, désinfection UV et chloration).

II- Extension de la station d'épuration

Le projet d'extension du traitement de la STEP a été étudié par le groupement SGI / Cabinet Merlin, les travaux d'extension ont démarré à la fin de l'année 2008 et le projet sera réceptionné après 22 mois de travail.

II-1 Situation et caractéristiques topographiques

Le site retenu pour la construction de la 2^{ème} phase de la STEP de Marrakech est situé en bordure de l'Oued Tensift sur sa rive gauche, dans le prolongement Nord-Ouest de la première tranche. Les limites du site retenu sont (Fig.8) :

- Le lit mineur de l'Oued Tensift lui-même au Nord ;
- La route de Safi à l'Est ;
- La route des Ferrailleurs et le douar Azib Layadi au Sud.

La parcelle de la 2^{ème} tranche est située en partie dans le lit majeur de l'Oued Tensift. Cela explique le dénivelé important enregistré entre les terrains des deux phases. Le terrain devant accueillir les ouvrages de la deuxième phase peut se décomposer comme suit :

- une zone hors lit majeur dans le coin Sud-Sud-Ouest de la parcelle, avec des altitudes maximum aux alentours de 385 m NGM et diminuant progressivement vers Nord-Nord-Est pour atteindre des cotes de l'ordre de 380 m NGM ;
- une zone « lit majeur » dans laquelle les cotes sont voisines de 380 m NGM, avec un minimum sur l'emprise du projet de 379.24 m NGM à l'extrémité Nord-Ouest du terrain.

II-2 Caractéristiques géologique

D'un point de vue géologique on distingue 3 formations (Fig. 12):

- Un substratum granitique à des profondeurs supérieures ou égales à 6,5m et qui devient plus important plus on s'éloigne des berges de l'oued. Ce granite montre sur sa partie supérieure une altération sous forme d'une arène granitique ;
- Des conglomérats cimentés par une matrice limoneuse, avec une taille moyenne. Cette formation occupe les berges de l'oued Tensift et disparaît progressivement en s'approchant du lit de l'oued ;
- des alluvions non cimentées dont la taille des éléments est de 5-6 cm, avec une matrice principalement sableuse. Cette formation devient plus abondante dans la partie Ouest du projet.

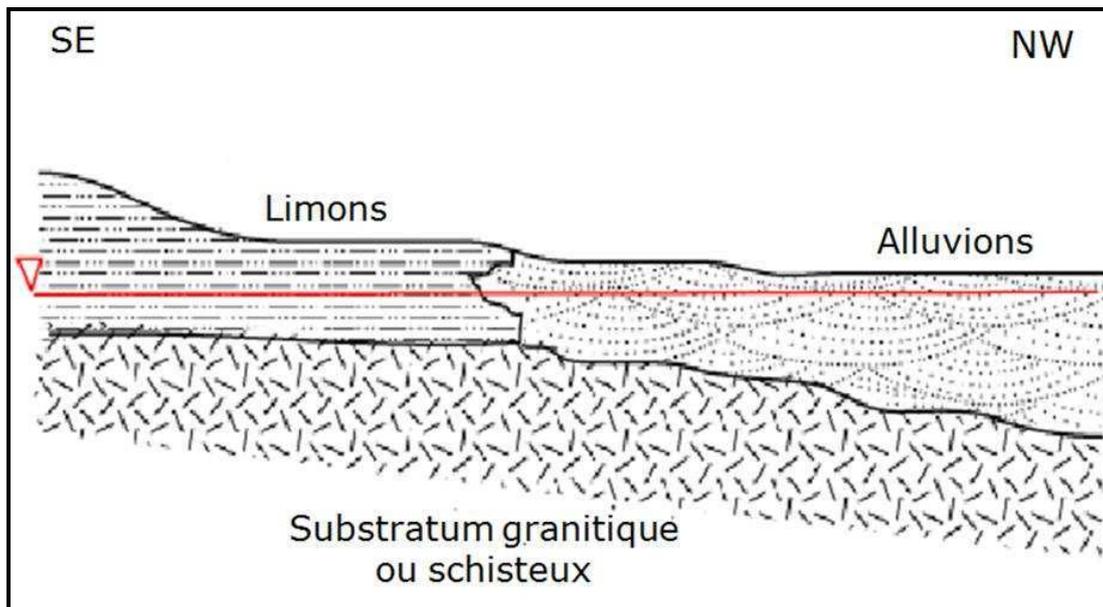


Figure 12: Coupe géologique du terrain de la 2^{ème} phase (D'après GOURRI, 2009)

II-3 piézométrie

Le niveau de la nappe, présenté par le trait horizontal traversant les limons au Sud-Est et les alluvions au Nord-Ouest (Fig.12) est constant sur toute la zone d'extension et sa profondeur varie entre 0,4 et 4,5 m par rapport au terrain actuel.

L'examen de la carte piézométrique (Fig.13) établie à partir de 13 sondages exécutés au niveau du site de la STEP étudiée montre un écoulement général du SE au NW.

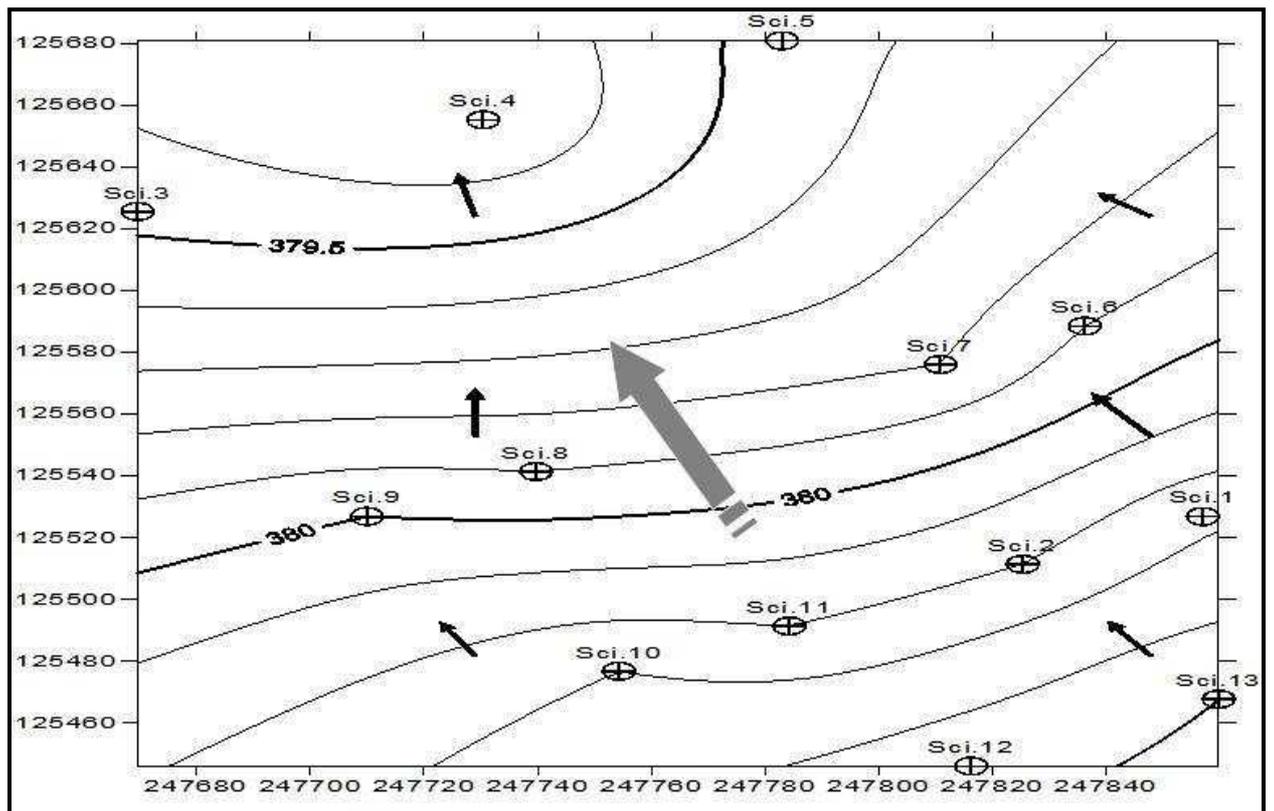


Figure 13 : carte piézométrique au niveau de la station d'épuration (D'après GOURRI, 2009)

II-4 Traitement des eaux

II-4-1 Traitement secondaire

Le traitement secondaire 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 biofiltration,
- Les bioréacteurs à membranes.

Compte tenu des contraintes du site (zone inondable ou soumise aux effets mécaniques des crues et surface disponible limitée), le lagunage naturel n'a pas été retenu.

Les bioréacteurs à membranes et la biofiltration sont des solutions efficaces mais d'un coût élevé tant en termes d'investissement que d'exploitation. Donc la solution retenue est celle des boues activées suivie d'une clarification secondaire (Fig14).

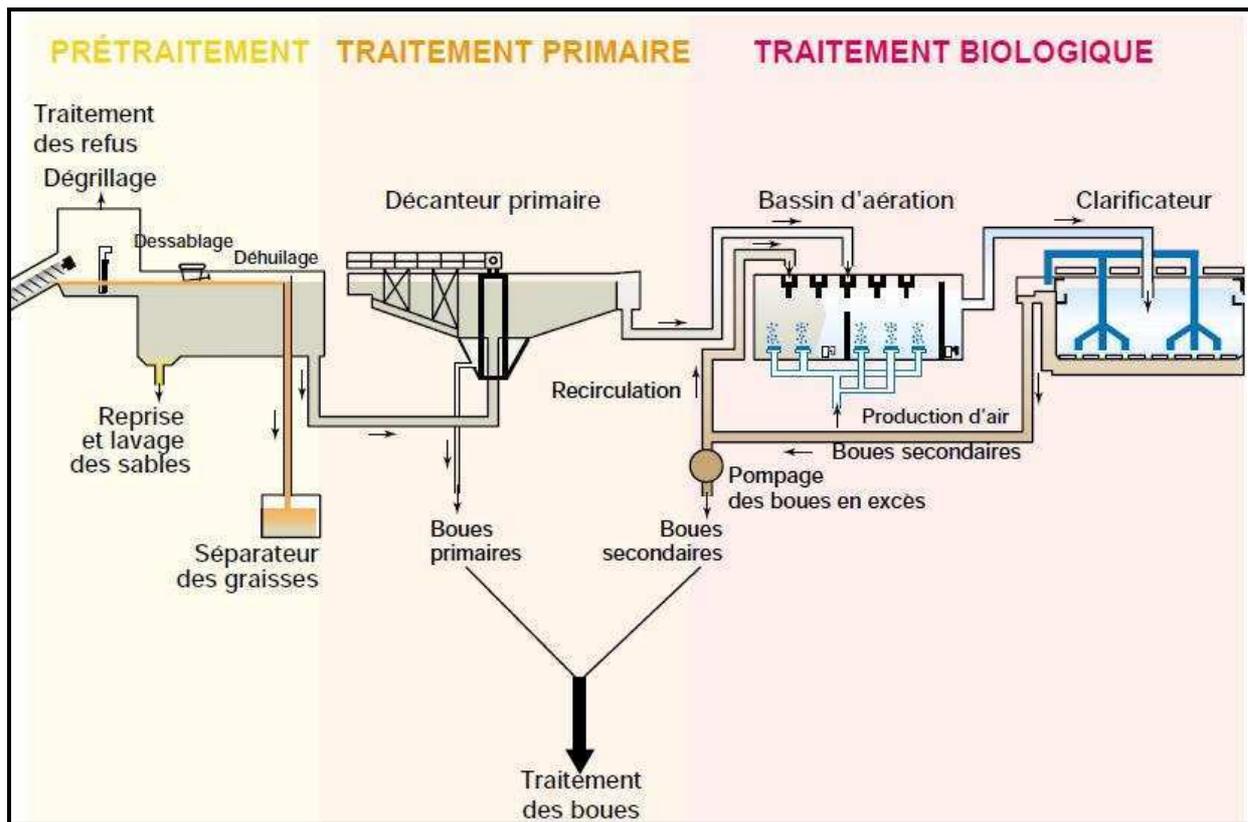


Figure 14 : Schéma montrant les ouvrages du traitement secondaire (biologique) (D'après www.inrs.fr/INRS-PUB/inrs01.nsf/IntranetObject.../ED.../ed5026.pdf)

Ouvrages du traitement biologique :

- Zone de contact ;
- Bassin d'aération ;
- Unité de production et d'injection d'air pour le traitement biologique;
- Ouvrage de dégazage ;
- Clarificateur ;
- Unité de recirculation et d'extraction des boues ;
- Dispositif de comptage des eaux clarifiées.

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. Ces micro-organismes exercent aussi un effet physique de rétention de la pollution par leur propension à se rassembler en flocons.

La clarification permet de séparer les eaux épurées des boues secondaires issues du traitement biologique. Une partie des boues est évacuée vers le traitement des boues l'autre partie est recyclée vers le bassin d'aération pour maintenir la masse biologique nécessaire au fonctionnement de l'installation. Pour plus d'information sur les ouvrages de traitement biologique on vous suggère de consulter l'Annexe II.

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

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	1 766	450	10 à 35
DBO ₅	3 870	1 100	5 à 20
DCO	9 640	200	35 à 100
Coliformes fécaux	10 ⁷	10 ⁷	10 ⁴ à 10 ⁶ / 100ml
NTK	120	120	5
PT	22	22	20

Tableau 8: Rendement du traitement secondaire (D'après le schéma directeur de la RADEEMA. Mission B)

II-4-3 Traitement tertiaire

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

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 comportant.

- Un abattement des MES ;
- Une désinfection complémentaire.

A la sortie du traitement secondaire la concentration en MES reste très importante dans l'effluent, et selon l'aspect sanitaire, les eaux épurées doivent être sécurisées par une désinfection appropriée. Or, cette désinfection est d'autant plus efficace et économe que si l'effluent subit un traitement poussé visant à éliminer le maximum des MES. L'objectif du traitement tertiaire est de diminuer la turbidité avant l'étape de désinfection et d'abattre les Microorganismes, afin d'obtenir un effluent avec un taux de MES < 5 mg/l (si possible < 1mg/l).

➤ Abattement des MES

L'abattement des 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 des 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).

Tableau 9 : Avantages et inconvénients des processus d'abattement des MES

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

Enfin, 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 ;
- Flocculation au polymère ;
- Filtration rapide sur sable.

Le traitement tertiaire est composé de:

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

Pour plus d'information sur les ouvrages du traitement tertiaire voir annexe II

II-4-4 Rendement du traitement tertiaire sans désinfection

paramètre	Concentration à la sortie du secondaire	Concentration à la sortie du 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

Tableau 10 : Rendement du traitement tertiaire (D'après le schéma directeur de la RADEEMA. Mission B)

➤ **Désinfection en sortie du traitement tertiaire**

La désinfection peut s'effectuer en utilisant des réactifs oxydants comme :

- Chlore gazeux ;
- Bioxyde de chlore ;
- Combinaison brome + chlore ;
- Acide péracétique ;
- Ozone ;
- Traitement par UV.

Les procédés utilisant le brome et l'acide péracétique ne sont pas retenus pour lesquels trop peu de références existent.

Une chloration seule peut sembler intéressante. Cependant, cela conduirait à un dosage important compte tenu de la quantité de germes à abattre. Par ailleurs, une eau trop chlorée pourrait présenter une qualité impropre à l'arrosage.

Le bioxyde de chlore nécessite pour sa part une préparation à partir de 2 composés, ce qui représente une contrainte.

Les UV présentent l'avantage d'un faible encombrement et d'une plus faible consommation d'énergie qu'une ozonation. C'est donc ce dernier procédé qui est retenu.

La solution retenue pour la désinfection :

- Une inactivation 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. 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.

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.

Il existe actuellement 2 types de lampes :

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

✓ **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 10 mg/l.

II-4-5 Traitement des boues

Les boues produites par le procédé « boues activées » seront traitées par :

- Épaississement dynamique des boues par flottation,
- Digestion mésophile des boues,
- Stockage des boues
- Unité de déshydratation mécanique par filtre à bandes.

✓ **Épaississement dynamique des boues par flottation**

L'épaississement des boues secondaires est réalisé par 2 flottateurs de type circulaire. On ajoute des polymères dans les flottateurs, les boues s'agglomèrent à la surface jusqu'à former une couche épaisse.

✓ **Digestion mésophile**

Pour satisfaire les besoins de traitement des boues générées par la filière biologique, il est nécessaire de prévoir 2 nouveaux ouvrages identiques qui seront construits à proximité des premiers sur des emplacements réservés.

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.

	Valeur
Nombre d'ouvrages	4 U (Dont 2 existant)
Forme des ouvrages	Cylindrique
Volume unitaire	6 000 m ³
Diamètre unitaire	24 m
Hauteur totale	12,25 m

Tableau 11: Caractéristiques des digesteurs (D'après le schéma directeur de la RADEEMA. Mission B)

✓ **Stockage des boues**

Les boues digérées sont stockées dans une bache tampon couverte et ventilée. Cette bache permet, d'une part de dégazer les boues digérées et d'arrêter le processus de digestion. Cette bache est maintenue en agitation.

✓ **Déshydratation des boues**

Les boues digérées, stockées seront envoyées pour être déshydratées vers les Filtres A Bande (FAB) par pompage.

	Valeur
Nombre de machines	6 (dont 3 existants)
Volume de boues produites	240 m ³ /j

Tableau 12 : Caractéristiques des filtres à bande (D'après le schéma directeur de la RADEEMA. Mission B)

II-4-6 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, désulfurés, une partie est utilisée pour alimenter la STEP, l'excès est stocké et une fois le gazomètre plein l'excès du gaz est brûlé.

	Valeur
Nombre d'ouvrage	2 U (dont 1 existant)
Forme d'ouvrage	Sphérique
Volume unitaire	2 000 m ³
Diamètre unitaire	17,4 m
Hauteur totale	13,7 m

Tableau 13 : Caractéristiques du gazomètre (D'après le schéma directeur de la RADEEMA. Mission B)

Afin de limiter les nuisances, notamment au niveau olfactif, un système de ventilation et désodorisation est mise en place. Cette configuration permettra de stopper les risques de fuites d'air vicié et d'assurer une meilleure intégration environnementale de la station d'épuration.

Les grands principes retenus dans le domaine de la ventilation sont d'atteindre les objectifs suivants :

- Evacuer l'air des zones de traitement sans produire de nuisances sur l'environnement;
- Protéger les équipements contre la corrosion ;
- Assurer la sécurité et le confort du personnel d'exploitation.

III- Projet de réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation des golfs

III-1 Introduction

La ville de Marrakech subit une pression touristique très importante qui s'accompagne de la construction de nombreux complexes de golfs. L'activité golfique est actuellement considérée comme un critère central de l'attractivité touristique de la ville. Il s'agit également d'une activité très consommatrice d'eau et pour laquelle il est donc primordial de trouver des solutions alternatives d'approvisionnement afin de ne pas mettre en péril la pérennité des ressources en eau sur la région.

Au sein de ces projets les eaux traitées seront utilisées pour l'irrigation des surfaces de jeux des golfs (green, fairway et rough), mais également pour l'arrosage des espaces verts communs des complexes hôteliers et touristiques qui sont construits autour des golfs.

III-2 Choix des sites potentiels de réutilisation

La sélection des consommateurs cibles a été effectuée conjointement par la RADEEMA et les autorités du CRI (centre régional d'investissement) sur la base des dossiers de demandes d'autorisation de projets golfs déposés auprès de ce dernier.

Les projets golfs qui bénéficieront des eaux usées épurées sont au nombre de 17 golfs.

Les critères de sélection de ces golfs sont les suivants :

- Etat d'avancement du projet golfique (existant, en construction, projet, ébauche,...) ;
- Localisation géographique du projet.

Concernant le premier critère, la priorité a été logiquement donnée aux golfs existants, puis aux projets en cours. Au niveau géographique, la majorité des projets golfs sélectionnés est regroupée le long du contournement Est de la ville de Marrakech. Les projets situés à l'Ouest pourront à l'avenir faire l'objet d'un projet similaire à partir de la deuxième STEP de la ville de Marrakech.

Parallèlement aux projets golfs, la RADEEMA a décidé d'irriguer également la palmeraie de Marrakech.

Les projets retenus ainsi que l'estimation des volumes à distribuer pour chaque golf sont présents dans le tableau suivant :

Golfs	Pointe journalière (m ³ /j)	Volume annuel (m ³ /an)
Amelkis 1	4 292	879 227
Amelkis 2	2 278	424 808
Amelkis 3	2 310	431 387
Golf Royal	6 064	1 160 053
Palmeraie Golf Palace	7 226	1 629 474
Al Maaden	5 165	1 208 421
Tritel	6 966	1 368 421
Al Hambra	5 596	1 418 947
Iberostar	5 948	1 629 474
SABA	5 596	1 418 947
Atlas Garden Resort	8 905	1 610 856
Fruitière	5 885	1 314 013
Fadesa	5 215	1 164 086
New Hivernage	5 974	1 629 474
Douja Golf	5 974	1 629 474
Chrifia CGI	4 921	1 103 158
Palmeraie	10 526	3 073 684
total	98 842 m³/j	23 093 903 m³/an

Tableau 14 : Estimation des volumes à distribuer pour chaque golf (D'après le schéma directeur de la RADEEMA. Mission B)

Pour estimer la production d'eau traitée à fournir à la sortie du traitement tertiaire, il faut ajouter à ces volumes journaliers destinés à l'irrigation des golfs et de la palmeraie, les volumes d'eau nécessaires au fonctionnement de la station d'épuration et qui seront également prélevés à l'aval du traitement tertiaire. Ces volumes sont :

- Eau industrielle : 1 600 m³/j
- Eau de lavage des filtres : 4 560 m³/j

On obtient alors un volume d'eau à traiter de $98\,842 + 1\,600 + 4\,560 = 105\,002 \text{ m}^3/\text{j}$

Remarque : le volume journaliers attendu à la sortie du traitement tertiaire dépasse le volume journalier moyen de temps sec qui est attendu en entrée de la station d'épuration de Marrakech (90 720 m³/j) et dépasse également la capacité maximale de traitement de l'étage tertiaire (88 571 m³/j) limité par la capacité du poste de relevage alimentant le tertiaire.

Le dimensionnement des conduites de distribution ne se fait cependant pas sur la base du débit moyen global disponible mais à partir des débits de pointes spécifiques à chaque tronçon. Les raisons à ce choix sont les suivantes :

- La capacité réellement limitant de la station est supérieur au débit de pointe globale des réutilisateurs. Elle est de 120 960 m³/j et est fixée par le dimensionnement des filtres à sable du tertiaire. La production du débit de pointe de 105 002 m³/j à la sortie du tertiaire est donc en théorie possible ;
- Même sans que le débit de pointe globale de 105 002 m³/j soit atteint, certains tronçons du réseau peuvent fonctionnés à pleine capacité du fait de l'échelonnement des mises en service des projets

golfigues. Cette échelonnement n'étant pas connu et pouvant varier de manière importante dans le temps, il faut considérer que chaque tronçons du réseau doit être dimensionné sur la base de son débit de pointe.

Ainsi, la chaîne de pompage pourra, lorsque le débit entrant à la station le permettra et que le poste d'alimentation du tertiaire aura été redimensionné, fournir simultanément les dotations de pointe à tous les projets golfigues en même temps.

III-3 Réseau de distribution

Le réseau de distribution sera placé sur 52 km. Pour la distribution des eaux il y aura 3 stations de pompage. Le schéma suivant (Fig.13) présente l'emplacement de chaque tronçon du réseau de distribution.

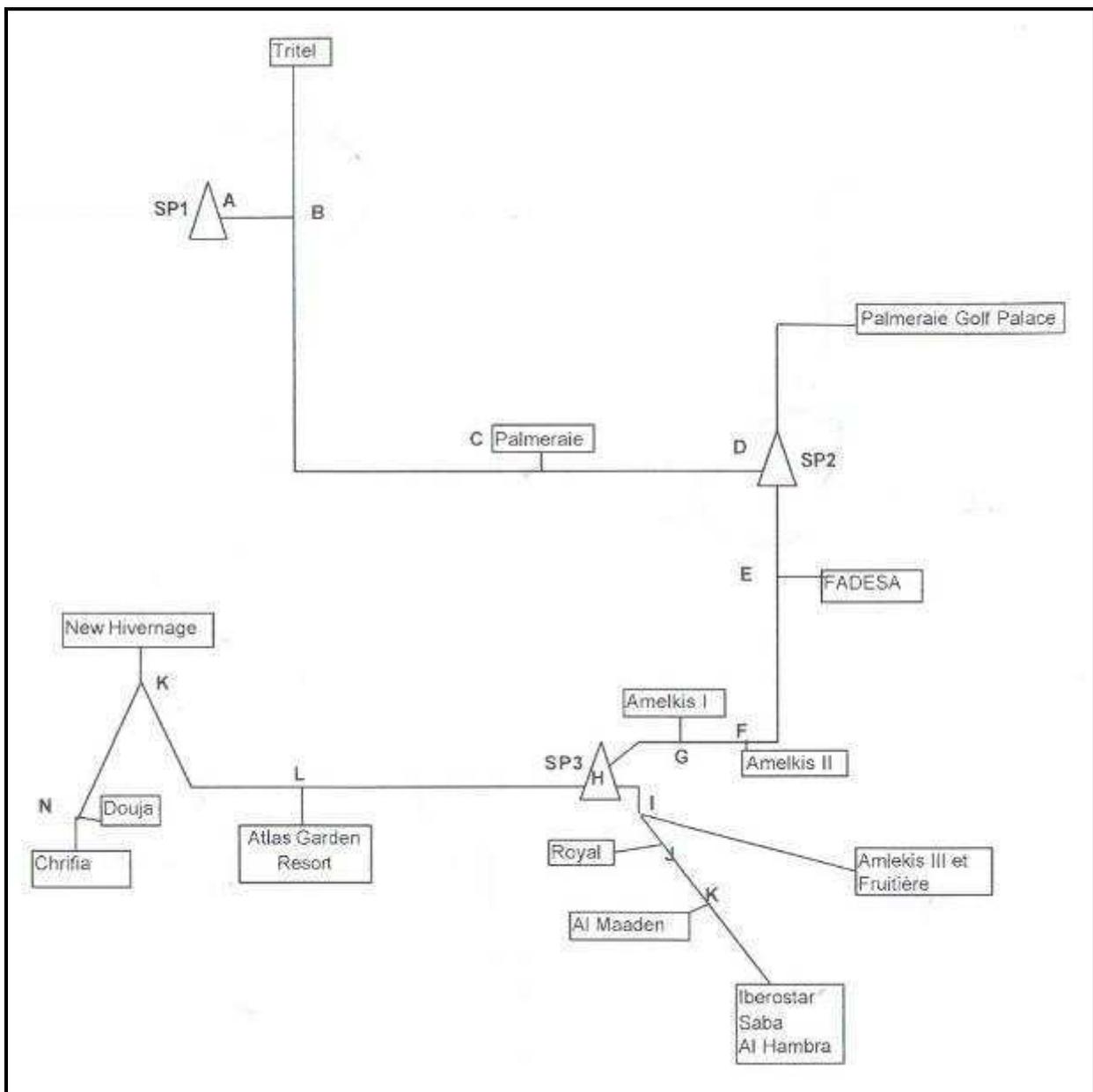


Figure 15 : présentation schématique des différents segments du réseau de distribution et de l'emplacement des projets golfigues (D'après le schéma directeur de la RADEEMA, Mission B)

Les débits de dimensionnement de chaque tronçon de la chaîne de pompage retenus sont présentés dans le tableau 15 suivant :

	Tronçons	Débit de dimensionnement m3/j
A	B	98 842
B	Triel	6 966
B	C	91 876
C	D	81 350
D	Palmeraie Golf Palace	7 226
D	E	74 124
E	F	68 909
F	G	66 631
G	H	62 339
H	I	36 564
I	Amelkis III	8 195
I	J	28 369
J	K	22 305
K	Iberostar	17 140
H	L	25 775
L	Atlas Garden Ressor	8 905
L	K	16 870
K	N	10 895

Tableau 15 : débit de dimensionnement de chaque tronçon (D'après le schéma directeur de la RAADEMA, Mission B)

III-3-1 Le schéma hydraulique

Le schéma ci-après représente l'ossature du réseau :

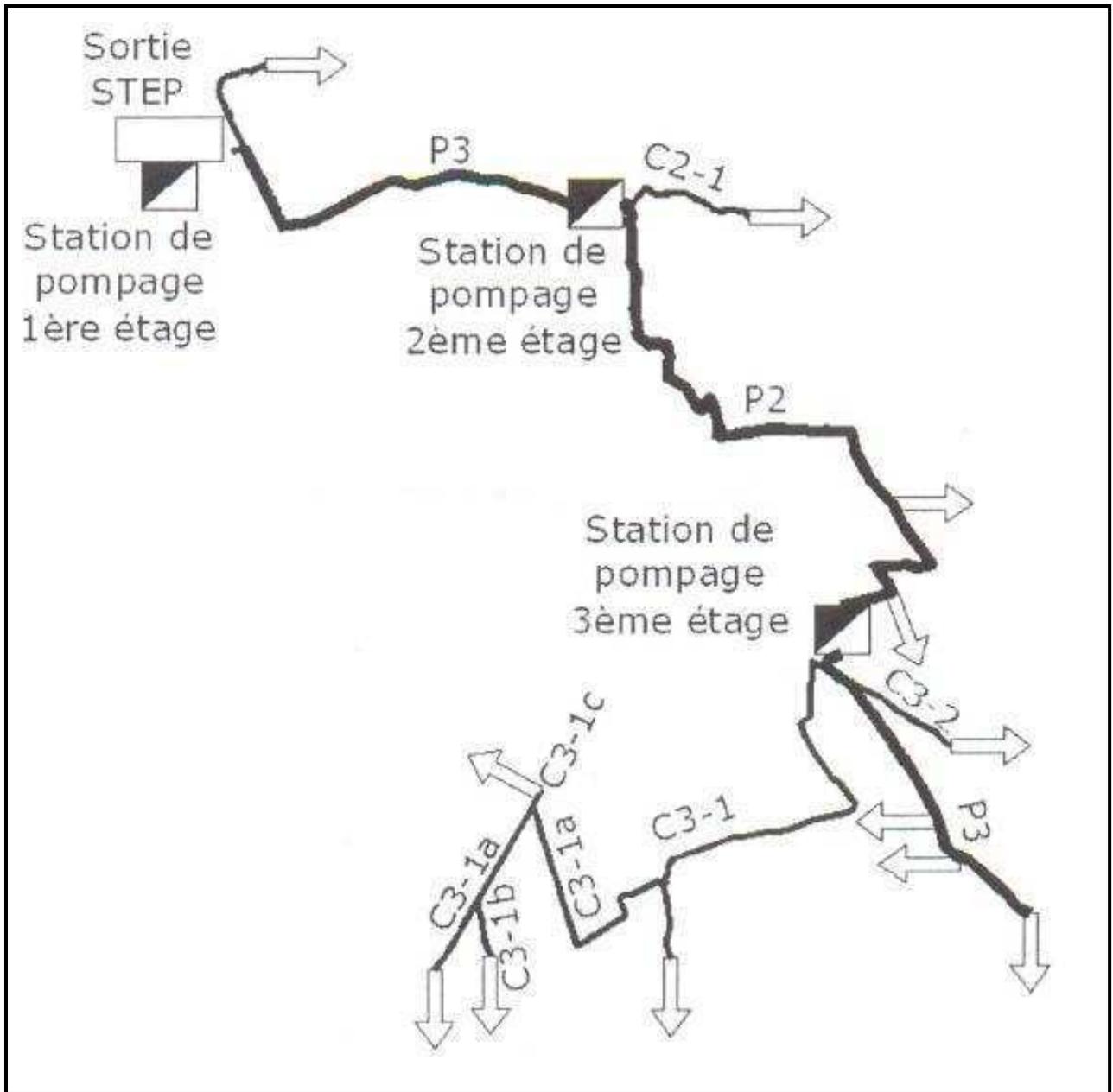


Figure 16 : Ossature du réseau de distribution (D'après le schéma directeur de la RADEEMA, Mission B)

III-3-2 caractéristiques des conduites

Les diamètres et les longueurs des conduites sont représentés dans le tableau 16.

Conduite	Longueur (m)	Débit (l/s)	Diamètre nominal (mm)
P1	7 553	1 144-942	1 100
C1-1	2 415	81	315
P2	14 225	942 - 722	1 000 - 700
C2-1	2 690	84	250
P3	6 462	722-199	1 000 – 400
C3-1	9 166	298-103	700 – 315
C3-1a	8 744	195-57	500 – 315
C3-1b	1 077	69	315 – 250
C3-1c	312	69	225
C3-2	2 176	95	315 – 250

Tableau 16 : Quantitatif et caractéristiques des réseaux à poser (1)

Dans le détail et par type de conduite les linéaires sont comme suit :

Type diamètre et pression nominal	P1	C1-1	P2	C2-1	P3	C3-1	C3-1a	C3-1b	C3-1c	C3-2
Conduite PVC										
DN250PN10								207		
DN315PN10		2415				1441	1593	870		
DN400PN10					1220					
DN225PN16									312	
DN250PN16				2690						1875
DN315PN16										301
DN400PN16							2066			
Conduites BP										
DN700PC8			671							
DN800PC8	633									
DN1000PC8	4552		3580							
DN1100PC8	2367									
DN1000PC10			4319							
DN500PC12					3447		5084	5084	5084	5084
DN700PC12						5220				
DN1000PC12			2824							
DN600PC14					1666					
DN700PC14						2505				
DN1000PC14			2331		129					
TOTAL	7552	2415	14225	2690	6462	9166	8743	1077	312	2176

Tableau 17 : Quantitatif et caractéristiques des réseaux à poser (2) (D'après la RADEEMA. Mission B)

Pour arriver à l'irrigation des golfs comme cité dans les paragraphes au-dessus, il faut que toutes les étapes du traitement ainsi de distribution passent dans de meilleurs conditions. La contrainte qui se pose c'est surtout au niveau du traitement car ce dernier peut être influencé par des facteurs qui limitent ses performances. Parmi ces facteurs, la pollution industrielle occupe le premier rang. Car les effluents industriels peuvent contenir des éléments comme le chrome qui peut tuer les bactéries responsables de la digestion mésophile dans les digesteurs et par conséquent, causer une dégradation importante des performances de la digestion anaérobie. En plus, il y a un grand risque de dégradation du traitement biologique. Pour maîtriser de tels risques, et assurer la sécurité du fonctionnement de la station, il est nécessaire de maîtriser la pollution industrielle en imposant les traitements nécessaires pour chaque industrie.

IV- Mesure d'accompagnement en amont (La dépollution industrielle)

IV-1 introduction

D'une façon générale, les industriels ont une faible conscience du coût réel de l'eau et de sa rareté, et encore moins de la pollution, dont ils peuvent être la source. Cependant, il semble qu'une prise de conscience commence à poindre dans certains cas, et sous l'influence des actions menées par plusieurs administrations locales (en particulier la RADEEMA, L'ABHT) pour la protection de l'environnement. L'action la plus forte est marquée par la réalisation de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Marrakech, ainsi que les diverses études qui ont été menées pour la protection de l'environnement.

Mais surtout l'augmentation du prix de l'eau potable, avec la mise en place de taxes d'assainissement qui pourrait en faire changer de plus en plus l'attitude des industriels, qui considéraient l'eau comme une denrée gratuite ou de très faible coût. Cette prise de conscience est malheureusement très largement entravée par la possibilité pour de nombreuses industries de substituer la partie eau du réseau par l'eau du forage privé, en échappant ainsi à la taxe d'assainissement prélevée sur la facture d'eau potable.

On peut s'attendre à ce qu'une charge financière liée au flux de pollution rejetées dans les eaux, sous la forme d'une taxe proportionnelle à la charge polluante et non au débit, amène les industriels à se pencher non seulement sur leur consommation en eau, mais aussi sur les pollutions engendrées et rejetées.

IV-2 Caractéristiques des secteurs industriels de Marrakech

Plusieurs secteurs industriels sont représentés à Marrakech en particulier :

- Agro-alimentaire/huilerie, conserve d'olive, patates alimentaires, boissons gazeuses, brasseries,.... ;
- Tanneries ;
- Transformations de plastique ;
- Textile (particulièrement l'industrie de confection) ;
- Chimie – parachimie.

Les secteurs les plus polluants présentent des caractéristiques très variables et sont décrits ci-après :

A. Les tanneries

Les tanneries de Marrakech, se caractérisent par une forte concentration dans les quartiers de la médina et sidi Ghanem. Leur capacité de production est de 8300 tonnes de peaux. Ces tanneries sont la source d'un important rejet de chrome et de sulfates. Les tanneurs utilisent le plus souvent les eaux de forage, et n'ont guère le souci d'économiser l'eau. La conscience d'être la source d'un rejet polluant n'est pas développée dans cette profession.

B. Conserverie

Le secteur de conserverie est caractérisé par la prédominance de petites unités de conserves essentiellement d'olive et secondairement de fruits générant des flux de pollution chargée en huiles/graisse, Ph acide.

C. Textile

Les unités de textiles peuvent présenter des caractéristiques fortes différentes, selon leur activité et le type de traitement qu'elles utilisent pour apprêter, colorer ou finir la préparation des fibres, des tissus ou des vêtements à Marrakech. La branche textile est dominée par l'industrie de confection. Seule une unité (TENMAR) qui compte parmi ses activités un atelier de teinture. Du fait du bas prix de l'eau, peu d'effort sont menés pour diminuer la consommation en eau et les effluents.

D. Autres

Il s'agit d'autres unités appartenant au secteur agro-alimentaire comme la Brasserie, boissons gazeuses et laiterie. Ces unités font partie des plus grosses industries de Marrakech et sont conscientes des enjeux environnementaux et des réglementations en cours de mise en place au Maroc. Elles se préparent à accompagner ce mouvement environnemental au cours de la mise en place en procédant dans une première étape par étudier la nature de la pollution générée par leur activité, les possibilités d'optimisation du procédé en creusant dans les pistes de recyclage et de choix de produits écologiques.

IV-3 Impact de la pollution industrielle à Marrakech et Proposition de mise en œuvre de prétraitement par branche d'activité

En fonction des activités industrielles les impacts induits par les rejets industriels peuvent être de plusieurs ordres :

- Toxicité de certains effluents (métaux lourds), en particulier les tanneries qui ont un impact sur le milieu naturel et qui peuvent compromettre le bon fonctionnement des stations, surtout au niveau du traitement biologique car le chrome est nocif pour les bactéries présentes dans les différents compartiments d'épuration.
- Dysfonctionnement des réseaux de collecte par les sulfures et les matières décantables
- Charge organique considérable (secteur agro alimentaires et plus particulièrement les boissons gazeuses et les conserves de fruits,...)

L'objectif à terme sera de limiter ces impacts en imposant :

- Des mesures de réduction à la source
- La mise en place des prétraitements pour réduire les impacts sur les réseaux
- La mise en place de traitement pour certaines industries très polluante

La stratégie de dépollution devra être orientée en priorité :

- Sur les industries les plus polluantes (boissons gazeuses, certaines unités de conserve,...)
- Sur les unités de taille industrielle avant les unités artisanales
- Sur les quartiers industriels générant le plus de pollution (sidi Ghanem)

Les prétraitements envisageables pour limiter les impacts sur le réseau et les stations sont :

- Les prétraitements physiques et hydrauliques qui seront mis en place en première phase : ils ont pour but de retenir une part des MES, homogénéiser l'effluent pour réduire les à-coups sur la station et réguler le pH.

- Les prétraitements biologiques envisageables notamment pour des unités de taille industrielle afin de réduire significativement la charge organique avant rejet à l'égout.

A- Conserveries

Importance / pollution totale industrielle	Forte
Caractéristiques des effluents	Toxicité nulle Très biodégradable
Admissibilité réseaux et station d'épuration	Admissible au réseau
Mesures internes Prétraitement physique et hydraulique	Economie d'eau et réduction des pertes
Prétraitement biologique	Sans objet

B- Tanneries

Importance / pollution totale industrielle	Moyennes
Caractéristiques des effluents	Lentement biodégradable Effluents admissibles dans le réseau avec rectification du pH, réduction ou suppression des effluents chargés en chrome et sulfures
Admissibilité réseaux et station d'épuration	Possible si les concentrations et charges en chrome et sulfures restent inférieures au seuil actuel.
Mesures internes	Technique de tannage propre réduisant à la source les émissions de chrome.
Prétraitement et traitement	<ul style="list-style-type: none"> - Non commandé vu la taille de ces unités, leur répartition géographique et la qualité du chrome produite - Interdire toute extension des unités existantes ou d'installation de nouvelles unités

C- Boisson gazeuses

Importance / pollution totale industrielle	Moyenne
Caractéristiques des effluents	Biodégradable mais carence en N et P Non toxique
Admissibilité réseaux et station d'épuration	Possible avec régulation du pH
Mesures internes	Réduction des consommations en eau
Prétraitement physique et hydraulique	Dégrillage Tamisage fin
Prétraitement biologique	Difficile compte tenu des carences en N et P

D- Brasseries

Importance / pollution totale industrielle	Moyenne
Caractéristiques des effluents	Très biodégradable Non toxique
Admissibilité réseaux et station d'épuration	Possible
Mesures internes	Réduction des consommations en eau en favorisant le recyclage des eaux de lavage
Prétraitement physique et hydraulique	Pas nécessaire
Prétraitement biologique	Pas nécessaire

E- Laiteries

Importance / pollution totale industrielle	Faible
Caractéristiques des effluents	Biodégradable Non toxique
Admissibilité réseaux et station d'épuration	Acceptable
Mesures internes	Limiter les pertes de lait
Prétraitement physique et hydraulique	Dégrillage

F- Abattoirs

Importance / pollution totale industrielle	Faible
Caractéristiques des effluents	Très biodégradable Non toxique
Admissibilité réseaux et station d'épuration	Favorable avec prétraitement
Mesures internes	Séparation du sang, des matières stercoraires
Prétraitement physique et hydraulique	Dégrillage Tamisage fin Dégraissage
Prétraitement biologique	Pas nécessaire

IV-4 Programme proposé de contrôle et de surveillance des eaux usées industrielles

IV-4 -1 réglementations

Les objectifs recherchés par l'application de la réglementation relative aux rejets des eaux usées industrielles visent à garantir d'une part, une capacité adéquate des réseaux d'assainissement et de la station d'épuration, et d'autre part une protection des réseaux et de la station contre les attaques par des substances toxiques nocives des effluents industriels.

Les prescriptions du règlement technique de la RADEEMA exigent une demande d'octroi d'autorisation de déversement des eaux usées industrielles sur la base d'un formulaire sur lequel seront fournis les renseignements relatifs aux quantités et qualités des rejets, leurs point de raccordement aux réseaux publics, et aux analyses des effluents effectuées par un laboratoire agréé par la RADEEMA. Cette disposition est considérée comme une condition essentielle pour le contrôle des rejets industriels. Elle devrait être appliquée aux industries existantes aussi bien qu'aux industries nouvelles. Cependant, il est recommandé que les conditions d'octroi d'autorisation de déversement incluent également :

- Les prescriptions relatives aux prétraitements
- Les périodes de déversement, particulièrement dans le cas où ces derniers seraient intermittents (exemple cas des conserveries)
- Les procédures de contrôle et de surveillance des effluents industriels
- Les limitations dans le temps et la production d'une nouvelle demande d'autorisation tous les cinq ans ou à chaque fois qu'il y a un changement de matériel ou dans la nature des eaux usées rejetées sur les plans qualitatif et quantitatif.

Il est proposé pour les établissements dont l'effectif est de moins de 10 personnes et dont les procédés industriels ne produisent pas d'eaux usées, qu'ils soient exemptés des demandes de déversement, à l'exception des tanneries.

IV-4-2 contrôle et surveillance des eaux usées

L'application et le respect de toute réglementation relative aux rejets des eaux usées industrielles ne peut être assurée que par la mise en œuvre d'un programme continu de prélèvement et de surveillance de la qualité des eaux usées et ce pour s'assurer du respect en permanence des prescriptions et conditions de l'autorisation de déversement. Cependant, le niveau et la fréquence des contrôles doivent être proportionnels aux volumes et à la nature des déversements.

La RADEEMA serait amenée à contrôler ces effluents ponctuellement ainsi que les déversements des petits établissements industriels dont plusieurs déversent leurs effluents en régime intermittent, par exemple durant les périodes de lavages hebdomadaires.

Les contrôles par la RADEEMA doivent être effectués sans être préalablement annoncés et doivent être suffisamment aléatoires de manière à ne pas être anticipés par les unités concernées. Cependant le bureau chargé des contrôles doit être suffisamment informé sur le régime d'exploitation des établissements à contrôler de façon à faire coïncider sa visite avec une période significative de déversement. Durant sa visite le bureau de contrôle doit effectuer des inspections et des investigations sommaires pour mettre en évidence tout changement qui aurait pu être introduit au niveau du régime ou de la nature d'exploitation de l'établissement, et qui pourrait affecter les eaux usées générées, par exemple l'utilisation de nouveaux solvants ou de nouvelles dispositions de lavage.

Les eaux usées déversées par les établissements ne produisant pas d'effluents industriels (c'est-à-dire uniquement des eaux usées domestiques : eaux ménagères y compris cantine et eaux de vannes, et les industries travaillant à sec, ne devraient pas être soumises aux contrôles. Cependant, ces établissements doivent faire l'objet d'inspections régulières pour vérifier s'ils sont en permanence conformes aux prescriptions de l'autorisation de déversement des eaux usées.

La fréquence du contrôle dépendra de la quantité et de la qualité des eaux usées comme indiquées au tableau ci-dessous :

Secteurs industriels	paramètres	Fréquence annuelle d'auto-surveillance par l'établissement	Fréquence annuelle de contrôle par la RADEEMA
Conserverie	Débits, pH, MES, DBO5, DCO, huiles et graisses	Aucun	1
Brasserie	Débit, pH, T°, MES, DCO	2	2
Boisson gazeuse	Débit, pH, T°, MES, DCO	2	2
Tanneries	Débit, pH, T°, MES, DCO, Cr3+	1	2

Conclusion

L'objectif de ce travail était de comprendre comment se déroule le processus du traitement des eaux usées de la ville de Marrakech depuis leur arrivée à la station d'épuration jusqu'à leur réutilisation pour l'irrigation des golfs et de la palmeraie.

Notre étude a été divisée en deux grandes parties :

- la première concernait le traitement primaire des eaux (1^{ère} phase), lors de cette partie, on a pu bien voir le rôle de chaque ouvrages du premier pôle de la station d'épuration et de déterminer le rendement de cette phase.
- La deuxième partie concerne les types de traitement biologique et tertiaire retenus pour le second pôle d'épuration (2^{ème} phase), qui va être réceptionné a la fin de l'année 2010. Cette partie est principalement basée sur l'étude du projet de réutilisation des eaux usées épurées de Marrakech. Lors de cette dernière, on a pu déterminer les différentes possibilités de réutilisation des sous produits de la station, notamment les eaux épurées et le cadre réglementaire de la réutilisation qui, en le respectant, on garantira la protection de notre environnement.

Finalement, comme perspective, nous suggérons une étude approfondie et très détaillée sur l'impact de l'irrigation par des eaux usées épurées à long terme sur la nappe superficielle du Haouz. Il convient donc que cette étude soit basée surtout sur les paramètres qui ne sont pas concernés par le traitement au niveau de la station d'épuration comme la salinité.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Agence du bassin hydraulique de Tensift : débat national sur l'eau – L'avenir de l'eau, l'affaire de tous
Novembre 2006.

ERRAMI M. (2008) - Régulation du contrat d'exploitation de la station d'épuration de la ville de Marrakech.
Master spécialisé en management et ingénierie de l'eau, de l'assainissement et
des déchets solides, 97 p.

GOURRI M. (2009) - Etude du rabattement de la nappe au niveau du site de l'extension de la station
d'épuration des eaux usées de Marrakech. Mémoire de fin d'étude MST
hydrogéologie, 33 p.

MOREAU R. (1973) – carte pédologique au 1/ 100 000 de la région de Marrakech à l'ouest de oued
Tensift. Service cartographique de l'O.R.S.T.O.M. G. Le Rouget (1973).

RADEEMA, Mission A : investigations préliminaire Mars 2008, version définitive, 300 p.

RADEEMA, Mission B : avant projet détaillé des stations de pompage et des réseaux d'amenés

RADEEMA, Mission B : dossier de consultation des entreprises. Pièce 1.10, projet de base

Razoki (2000) : mise en place d'un système de gestion de base des données par la gestion des ressources en
eau souterraine de la nappe du Haouz .Thèse universitaire Cady Ayyad Marrakech

Site web (traitement secondaire) : www.inrs.fr/INRSPUB/inrs01.nsf/IntranetObject.../ED.../ed5026.pdf

Site web (vue aérienne du Haouz central) : hal.inria.fr/docs/00/18/79/38/PDF/II_Abourida.pdf

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Qualité des ressources en eau de surface de l’oued Tensift.....	14
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	16
Tableau 3 : Dotations par Equivalent Habitant (EH)	23
Tableau 4: Capacité de la Station d’épuration étudiée	23
Tableau 5 : Rendement de la 1 ^{ère} phase	24
Tableau 6 : Ecart par rapport à la norme marocaine.....	24
Tableau 7: Exigence sur la qualité de l’eau en sortie du traitement tertiaire	29
Tableau 8: Rendement du traitement secondaire	34
Tableau 9 : Avantages et inconvénients des processus d’abattement des MES	35
Tableau 10 : Rendement du traitement tertiaire.....	36
Tableau 11: Caractéristiques des digesteurs.....	37
Tableau 12 : Caractéristiques des filtres à bande	38
Tableau 13 : Caractéristiques du gazomètre.....	38
Tableau 14 : Estimation des volumes à distribuer pour chaque golf	40
Tableau 15 : Débit de dimensionnement de chaque tronçon d’après	42
Tableau 16 : Quantitatif et caractéristiques des réseaux à poser (1)	44
Tableau 17 : Quantitatif et caractéristiques des réseaux à poser (2)	45

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Carte montrant les 6 communes urbaine de l'agglomération de Marrakech	8
Figure 2 : Vue aérienne montrant l'emplacement du Haouz central	9
Figure 3 : situation du Haouz central dans son cadre géologique régional	10
Figure 4 : coupe géologique du Haouz central.....	11
Figure 5 : carte pédologique au 1/100 000 de la région de Marrakech a l'ouest de l'oued Tensift.....	12
Figure 6 : Réseau hydrographique du Haouz central montrant les principaux affluents de l'oued Tensift ...	13
Figure 7 : Carte piézométrique de la nappe néogène du Haouz central	15
Figure 8 : le site de la station d'épuration STEP.....	17
Figure 9 : schéma montrant la ligne eau dans la station d'épuration	20
Figure 10 : schéma montrant la ligne boue dans la station d'épuration	21
Figure 11 : Schéma de fonctionnement des ouvrages d'épuration	22
Figure 12: Coupe géologique du terrain de la 2 ^{ème} phase.....	31
Figure 13 : carte piézométrique au niveau de la station d'épuration.....	32
Figure 14 : Schéma montrant les ouvrages du traitement secondaire (biologique)	33
Figure 15 : présentation schématique des différents segments du réseau de distribution et de l'emplacement des projets golfiques.....	41
Figure 16 : Ossature du réseau de distribution.....	43

LISTE DES ABREVIATIONS

AEP : Alimentation en eau potable

CRI : centre régional d'investissement

DBO₅ : Demande Biochimique en Oxygène

DCO : Demande Chimique en Oxygène

EH : l'équivalent habitant

FAB : les filtres à bande

L'USEPA : United States Environmental Protection Agency

MES : Matière en Suspension

NGL : l'azote global

NTK : Azote kjeldhal

NTU : Unité Néphélométrique de Turbidité

OMS : Organisation Mondiale de Santé

P_T : Phosphore Total

Q : Débit

RADEEMA : Régie Autonome de Distribution d'eau, d'électricité et d'assainissement.

STEP : Station de traitement des eaux polluées

ANNEXE I

Photos des ouvrages de la première phase



Photo 1 : Dégrilleur



Photos 2 : Déssableur/ Déshuileur



Photo 3 : Ouvrage de répartition



Photo 4 : Décanteur



Photo 5 : Digesteur



Photo 6 : Unité de déshydratation



Photo 7 : Unité de désulfuration



Photo 8 : Unité de cogénération



Photo 9 : Gazomètre

I - Description des process de traitement de la première phase

A- Filière Eau :

La filière eau comporte les étapes suivantes :

- Prétraitement
- Décantation primaire

A-1 Le prétraitement

L'ouvrage de prétraitement comporte de l'amont vers l'aval :

- Une grille de protection, d'espacement de 200 mm, à nettoyage manuelle à l'entrée de l'ouvrage.
- Un dégrillage grossier constitué de trois dégrilleurs mécaniques placés en parallèle et à entrefer de 100 mm.
- Un dégrillage fin assuré par 3 dégrilleurs mécaniques et placés en parallèles et à entrefer de 10 mm,
- Un dessablage/dégraissage aéré avec extraction automatique des sables piégés.

Le dispositif de dégrillage mécanique est secouru par des grilles à nettoyage manuel situées dans un quatrième canal parallèle, en béton armé de 1,5m de largeur et identique aux trois premiers.

Les refus de la grille de protection sont évacués 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.

Les sables et graisses sont repris par 2 ponts racleurs de fond et de surface, suceurs indépendants.

Les sables sont essorés et séchés avant leurs évacuations à la décharge, alors que les graisses sont concentrées dans une fosse de stockage équipée d'un dispositif d'évacuation des eaux de fond.

Le déssableur est de type « rectangulaire aéré » à extraction mécanique des sables et hydraulique des matières flottantes et écumes. Il remplit la fonction combinée de dégraissage.

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 totale de 1200 m³.

L'évacuation des sables se fait à l'aide de quatre émulseurs à air (un par canal) embarqués sur deux passerelles mobiles desservant chacune un ensemble de deux canaux. Cette passerelle parcourt le déssableur sur toute sa longueur, alternativement dans chaque sens à une vitesse adaptée à la capacité du système d'extraction des sables, soit environ 5 cm/s. la puissance requise est d'au moins 2 KW pour chaque émulseur d'air.

La quantité moyenne hebdomadaire de sable à évacuer est de l'ordre de 20 m³.

A-2 La décantation primaire

L'eau prétraitée est envoyée des dessableurs- dégraisseurs par une tuyauterie DN 1600 mm vers une chambre de répartition qui alimente trois décanteurs primaires.

La décantation primaire a pour but d'élimination les matières décantables et d'éliminer aussi environ 33% de la DBO5, 33% de la DCO, et 33% des MES.

Les décanteurs primaires sont de forme circulaire. Ce type présente l'avantage d'une meilleure diffusion hydraulique par une cheminée 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.

A-3 Canal de comptage

Les eaux décantées passent par un canal de comptage ou canal venturi qui est équipé par un débitmètre pour mesurer le débit à la sortie de la station avant de rejoindre le milieu récepteur.

A-4 Station des eaux de service ou eau industrielle

Une partie des eaux qui ont subies une décantation primaire est exploitée par la STEP pour des besoins de nettoyage des différents locaux par exemple le nettoyage des filtres à bande. Les eaux de service sont prises à partir des décanteurs primaires et ne sont réutilisées qu'après qu'elles subissent une filtration par le biais de 2 filtres pour éliminer ce qui reste de la matière flottante. Les eaux filtrées sont stockées et réutilisées en cas de besoin.

A-5 Poste toutes eaux

Les eaux de service réutilisées et les eaux excédentaires dans toute les unités sont collectées par des postes toutes eaux qui les renvoient en tête de la station vers les décanteurs primaires.

B- Filière boue :

La filière boue comporte les étapes suivantes :

- Epaissement gravitaire des boues
- Digestion anaérobie
- Stockage des boues digérées
- Déshydratation par le biais des filtres à bandes
- Module de cogénération

B-1 Epaissement gravitaire des boues

La fonction de cet ouvrage est de diminuer le taux d'humidité des boues en vue de les envoyer vers la digestion avec une concentration suffisante (> 70 g/l).

Dans le souci environnemental de limiter la consommation de 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 au centre de la partie conique du radier par pompage et envoyées vers les digesteurs.

Le liquide séparé des boues surnage et rejoint gravitairement la fosse toute eaux située en aval des déssableurs – déshuileurs.

B-2 Digestion Anaérobie

-Les boues sont extraites par pompage des épaisseurs, et dirigées directement vers le digesteur.

-Au refoulement de chaque conduite d'alimentation, les boues transitent par une bêche dite d'entrée, associée à chaque digesteur concerné.

-Le digesteur adopté est un ouvrage auquel est accolé un local technique regroupant les équipements nécessaires au brassage et au chauffage des digesteurs.

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.

La réaction biologique est optimum de 35 à 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.

La chaleur nécessaire au maintien en température provient d'eau chaude produite par des chaudières installées dans un bâtiment spécifique (la chaufferie). Les brûleurs de ces chaudières sont alimentés par le gaz de digestion lui-même (et en cas de secours, par du gaz naturel).

Le digesteur fonctionne à niveau constant, c'est-à-dire que tout volume de boues entrant est égal au volume de boues digérées qui en sort.

B-3 stockage des boues digérées

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

Le volume de la bêche est de 1800 m³, correspondant à 2 jours de stockage et permettant de gérer le fonctionnement de la déshydratation 6 jours sur 7.

B-4 Déshydratation

Les boues digérées sont envoyées du stockeur de boues vers la déshydratation. Cette opération est effectuée sur des Filtres A Bandes (FAB).

Les FAB sont alimentés par des pompes situées dans un local à côté du stockeur.

a) Préparation du polymère

Une installation automatique de préparation de polymères d'une capacité d'environ 2,8 kg/ j est installée.

La préparation de polymères à 3 g/l se fait avec de l'eau potable et la dilution en ligne avant dosage est faite avec de l'eau industrielle très filtrée. Aussi, 2 pompes doseuses sont installées pour les 3 filtres à bande (FAB).

b) Evacuation des boues

Pour améliorer les conditions d'évacuation, les boues sont évacuées par une bande transporteuse qui alimente une trémie d'une pompe pour être ensuite distribuées automatiquement vers trois bennes de stockage d'une capacité de 20 m³ chacune.

Il est également prévu une alimentation vers une bêche de stockage de 60 m³ en cas de difficultés temporaires d'évacuation, dont la réalisation est prévue dans le cadre de la 2^{ème} phase.

c) Chaulage

Il est prévu un chaulage de sécurité qui sera utilisé en cas de maintenance lourde d'un digesteur pour compléter la stabilisation des boues.

Le chaulage sera éventuellement utile en cas de valorisation agricole des boues.

B-5 Module de 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 les mains 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 1^{ère} phase la consommation annuelle en énergie électrique est estimée à 4,4 millions kWh, soit environ 4,4 MDH d'économie sur une année d'exploitation

Une torchère sans flamme apparente sera 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 de digesteurs, soit pour les besoins du bâtiment d'exploitation.

Le bilan d'énergie se présente comme suit :

	Production	Besoins	Résultat
1^{ère} phase	16 000 KWh/ j	12 000 KWh/ j	Excédent de 4000 KWh/ j
2^{ème} phase	30 000 KWh/ j	66 000 KWh/ j	Besoin de 36 000 KWh/ j

Tableau 1: le bilan énergétique de la STEP

C – File gaz

La filière gaz commence au niveau des digesteurs, le gaz fournis passe par une unité de **désulfuration** pour transformer le 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 torçère a flamme invisible .

La filière de traitement des eaux retenue par la RADEEMA offre un fonctionnement simple et une facilité d'exploitation.

Avec son étape de digestion, la filière de traitement des boues engendra un faible volume de boue à déshydrater et à évacuer. De plus, la valorisation du biogaz par cogénération permettra des économies d'énergie.

Les prétraitements et le traitement primaire ont été dimensionnés avec une certaine marge de sécurité hydraulique

La filière de traitement des boues a été dimensionnée avec les critères usuels.

II - Les paramètres mesurés au sein de la station d'épuration

II-1 Mesure des débits

A- Mesure du débit en entrée de la station

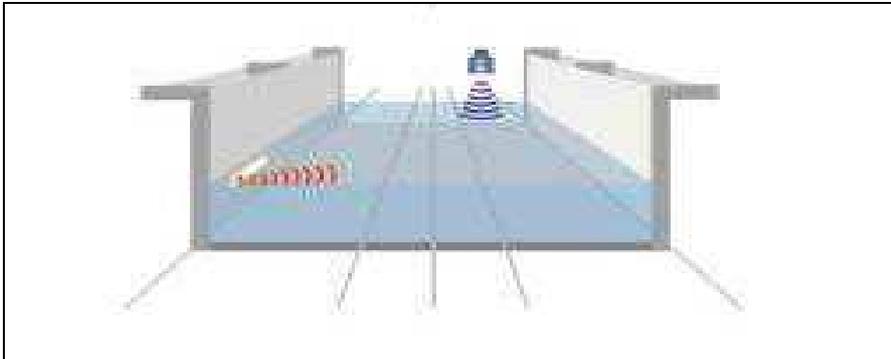
Les mesures de débit sont d'une très grande importance. Leur précision et leur fiabilité conditionnent celles de l'autocontrôle. En effet, la bonne connaissance des débits ou volumes écoulés permet de :

- 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. Le débitmètre situé en entrée est placé dans un dalot de forme carrée situé en amont de la fosse à bâtards avec la mise en place d'une mesure de vitesse au

centre du canal et d'une mesure de la hauteur d'eau par ultrason. La multiplication de la surface mouillée par la vitesse d'écoulement permet d'obtenir le débit.

La figure suivante illustre le principe de mesure mis en place en entrée de la station :



Mesure du débit en entrée de la station

B- Mesure du débit à la sortie de la station

A la sortie de la station, le débit est mesuré par un débitmètre placé sur un canal venturi la largeur du canal est connue la hauteur et la vitesse de l'eau sont mesurés par des sondes.

II-2 Mesure des charges polluantes

Les charges polluantes en DBO5, DCO et MES sont mesurées de la façon suivante :

A- Les matières en suspension (MES)

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

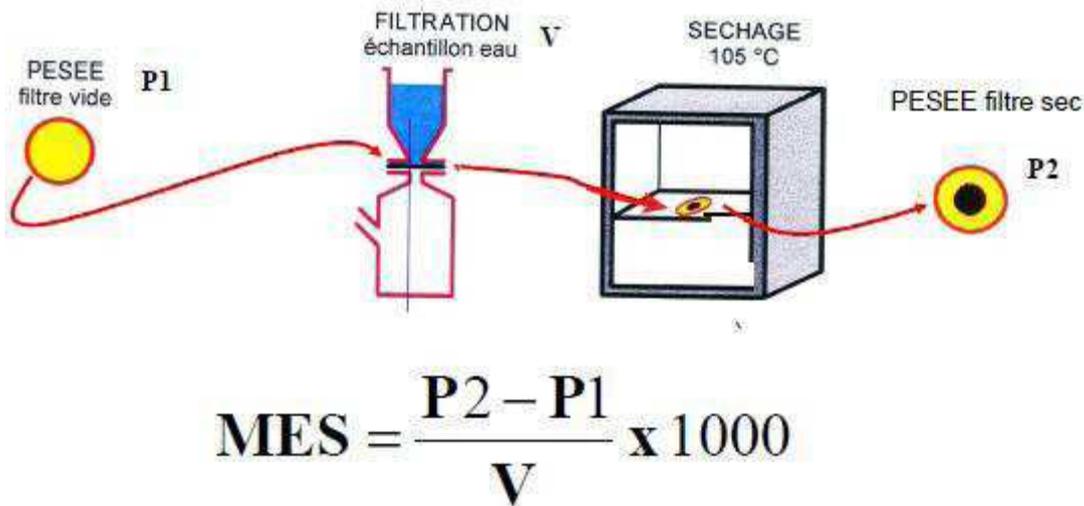
En fonction de la taille de ces particules, on distingue généralement :

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

Cette pollution particulière est à l'origine de nombreux problèmes comme ceux liés au dépôt de matières, à leur capacité d'adsorption physico-chimique ou aux phénomènes de détérioration du matériel (bouchage, abrasion,...).

Le principal effet des 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.

MESURE des MES



B- La demande biochimique en oxygène (DBO)

Définition et impact : 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 :

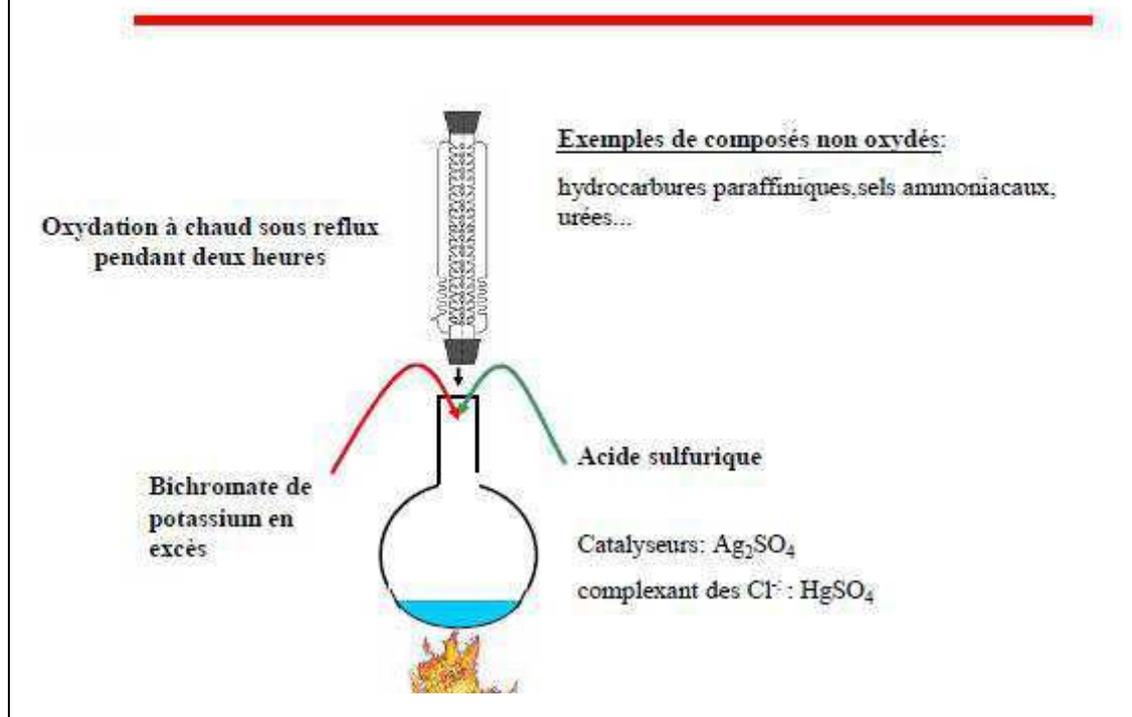
- Le premier stade est relatif aux composés carbonés, débute immédiatement et s'achève au bout de 20 jours environ
- Le deuxième stade, est relatif aux composés azotés, ne commence qu'au bout d'une dizaine de jours et s'étend sur une période très longue.

Il est convenu d'évaluer la demande biochimique en oxygène pendant cinq jours à 20°C désigné par le sigle DBO₅. Le résultat est exprimé en mg/l d'oxygène consommé pendant cinq jours.

C- Demande chimique en oxygène (DCO)

Définition et impact : 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, possède une bonne reproductibilité. La DCO est particulièrement indiquée pour mesurer la pollution d'un effluent industriel.

Mesure de la DCO



II -3 L'auto-surveillance de la station

En absence d'une réglementation marocaine en matière d'auto-surveillance des installations de traitement des eaux usées, seules les fréquences de prélèvements et analyses contractuelles sont applicables.

paramètre	Fréquence de mesure
Q	365 mesure / an
MES	156 mesure /an
DBO_5	104 mesure / an
DCO	104 mesure /an

Tableau 2 : Mesures contractuelles pour les prélèvements et analyses

ANNEXE II

Schéma de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Marrakech montrant les ouvrages du traitement secondaire et tertiaire



Traitement tertiaire

Coagulation +
Floculation +
Filtration sur sable

Clarificateur

Bassin d'aération

I - Caractéristiques des ouvrages de traitement secondaire

- **Zone de contact**

	Valeur
Nombre d'ouvrages	4 U
Volume utile unitaire	608 m ³
Surface	152 m ²
Diamètre	13,9 m

Tableau 1 : caractéristiques de la zone de contact

- **Bassin d'aération**

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

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.

- **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.

	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 2 : Caractéristiques de l'ouvrage de dégazage

- **Clarification**

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 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.

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

Tableau 3 : caractéristiques des clarificateurs

- **Comptage de l'effluent traité**

Le comptage des effluents traités est réalisé en canal ouvert de type venturi, avec dispositif de mesure à sonde.

Les caractéristiques techniques sont les suivantes :

	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

Tableau 4: Caractéristiques techniques de mesure du débit

II - Les ouvrages du traitement tertiaire

- **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.

	Valeur
Nombre de pompe	4+1 en secours
Type	Centrifuges immergées
Débit unitaire	1 100 m ³ /h
Nombre d'heure de fonctionnement	24 h

Tableau 5 : caractéristiques du poste de relevage

- **Coagulation**

Il est prévu pour chaque file principale de traitement un ouvrage de mélange rapide pour réaliser la coagulation. Il y aura donc au total deux ouvrages de coagulation.

Caractéristiques des ouvrages de coagulation :

	Valeur
Volume unitaire	105 m ³
Agitateur pendulaire rapide	2,9 kW

Tableau 6 : Caractéristiques des ouvrages de coagulation

Le stockage de chlorure ferrique est prévu en cuves en matière plastique armée. Les caractéristiques de ces dernières sont :

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

Tableau 7 : caractéristiques des stockeurs de chlorure ferrique

- **Floculation**

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 deux ouvrages de floculation. Un ajout de polymère est effectué afin de favoriser le grossissement des floccs et améliorer l'abattement des MES. Le dosage du polymère s'effectue par des pompes doseuses.

- **Filtration rapide sur sable**

La filtration est dimensionnée avec une vitesse de passage < 7 m/h. Chaque file principale du traitement tertiaire est divisée en 2 batteries indépendantes de filtres non couverts. On a donc au total 4 batteries de filtres indépendantes. Chaque batterie comportera 5 filtres de 36 m², soit une surface totale de 720 m².

	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

Tableau 8: caractéristiques des filtres

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 procéder à 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.