

Projet de Fin d'Etudes

Pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Génie Rural

Conception d'un projet de réutilisation des eaux usées traitées en aval de la STEP de Tinghir

Présenté et soutenu publiquement par :

**MAGASSOUBA Bandjigui & OUEDRAOGO Wendenda Augustin Marie
Nathanaeel**

Devant le Jury composé de :

Pr. MONCIF Mohamed	Président	IAV Hassan II
Pr. HAMMANI Ali	Rapporteur	IAV Hassan II
Mme EL MEKNASSI Youssoufi Ehssan	Corapporteuse	IAV Hassan II
M. KHIYATI Mohammed Elghali	Corapporteur	Consultant
M. MAYAUX Pierre-Louis	Corapporteur	CIRAD
M. SAADANI Mohamed	Examineur	ONEE-Région Drâa-Tafilalet
Dr. LACOMBE Guillaume	Examineur	IAV Hasan II

Juillet 2022

DEDICACES

A ma très chère tendre mère SYLLA Djenabou, celle dont le Paradis se trouve à ses pieds, celle qui depuis ma naissance m'a accordée tout son amour inconditionnel, celle qui se sacrifie pour que mes frères et moi ne manquons de rien, celle qui ne m'abandonnera jamais, celle qui a toujours cru en moi, continue de croire et continuera de croire en moi, celle dont je suis l'espoir d'après la signification de mon prénom en malinké, celle qui constitue ma première source de motivation pour son amour inconditionnel, sa confiance, son soutien, ses conseils, ses prières, ses bénédictions et tout ce qu'elle a fait, continue de faire et continuera de faire pour mes frères, ma sœur et moi

A mon très cher tendre père Oumar, le chef de la famille, l'homme qui m'a toujours inspiré depuis ma tendre enfance, l'homme qui se bat quotidiennement pour sa famille, l'homme qui a toujours cru en moi, continue de croire et continuera de croire en moi, l'homme qui veut que je me surpasse à chaque fois, l'homme qui constitue ma seconde source de motivation pour tout son amour, son soutien, sa confiance, ses conseils, ses prières, ses bénédictions et tout ce qu'il a fait, continue de faire et continuera de faire pour mes frères, ma sœur et moi

A mes frères bien aimés Mohamed Bine, Alassane, Sanassi, Ibrahim, Abdoulaye

A ma sœur d'amour Djenabou, la princesse de la famille

A mon moi de maintenant et du futur

A mon binôme OUEDRAOGO Wendenda Augustin Marie Nathanaeel

A mes tantes Fatoufounè, Madjoula, Mariam, Hawa, Roukiya, Mariama Ciré

A mes oncles Abdoulaye, Souleymane, Sékou Amadou, Lansana Sanoussy, Amadou, Hama

A tous mes formidables proches amis qui ont toujours été là pour moi, mes frères et sœurs d'autres familles

A toutes ses formidables personnes rencontrées au Maroc

A tous mes professeurs du primaire, collège et lycée qui ont cru en moi, m'ont encouragé et soutenu

A toutes ces personnes qui de près ou de loin m'ont soutenu, encouragé

Je vous dédie ce sublime travail !

MAGASSOUBA Bandjigui

A mes parents qui m'ont toujours témoigné de leur soutien à tous les niveaux

Aux membres de ma famille, qui ont toujours su me motiver à chaque pas que j'ai eu à effectuer

A mon binôme MAGASSOUBA Ba(n)djigui

A tous mes proches et amis

A tous ces personnes bienveillantes qui de près ou de loin m'ont soutenu

Je vous dédie ce formidable travail !

OUEDRAOGO Wendenda Augustin Marie Nathanaeel

REMERCIEMENTS

Avant tout propos, nous remercions **DIEU le TOUT PUISSANT** pour le souffle de vie, la santé, le courage, la force, la détermination et tous les biens faits qu'Il nous comble et continue de nous combler.

Nos profonds remerciements et reconnaissances à l'égard de tous les agriculteurs, les responsables de l'ABH, l'ANDZOA, la commune de Tinghir, l'HCP, l'ONEE-Branche Eau, l'ORMVAO pour leur accueil chaleureux, leur aide et le temps qu'ils nous ont octroyé lors de notre séjour sur le terrain.

Nous adressons nos vifs remerciements à notre encadrante **Mme EL MEKNASSI Youssoufi Ehssan** pour son encadrement, ses conseils et remarques pendant toute la période de notre projet de fin d'études.

Nos remerciements à notre encadrant **Pr. HAMMANI Ali** pour tous les moyens mis à notre disposition pour le bon déroulement de notre séjour sur le terrain.

Nous remercions notre co-encadrant **M. KHIYATI Mohamed Elghali** pour son appui, sa formation accélérée, ses directives et remarques qui nous ont aidé dans notre projet de fin d'études.

Nous remercions également notre co-encadrant **M. MAYAUX Pierre-Louis** pour ses conseils et remarques qui nous ont été utiles dans le cadre de notre projet de fin d'études.

Nous remercions également notre co-encadrant **Dr. TAKY Abdelilah** pour son aide, ses conseils et remarques qui nous ont été utiles dans le cadre de notre projet de fin d'études.

Nous tenons à remercier les différents membres du jury **Pr. MONCIF Mohamed** (Président), **M. SAADANI Mohamed** (Examineur) et **Dr LACOMBE Guillaume** (Examineur) qui ont accepté examiner et évaluer notre travail.

Nos remerciements à l'**Agence Marocaine de Coopération Internationale (AMCI)** pour la coopération mise en place avec nos différents pays afin que nous puissions continuer nos études supérieures au sein de l'**Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II**.

Nous tenons à remercier l'**Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II** pour toutes les années pendant lesquelles nous avons bénéficié de la formation donnée.

Pour finir, nous remercions toutes les personnes qui de près ou de loin nous ont apporté leur aide dans notre projet de fin d'études.

Ce travail est financé par le projet Massire : "Intégration des institutions locales et des multiples sources d'eau pour l'amélioration de la sécurité alimentaire dans les zones rurales intérieures de l'Afrique du Nord par le renforcement des systèmes d'innovation agricole et rurale". Le projet Massire est financé par le FIDA, coordonnée par le CIRAD et mis en œuvre par un groupe d'institutions d'enseignement supérieur et de recherche française et maghrébine dont l'IAV Hassan II.

RESUME

Le présent travail traite l'amélioration et la valorisation des EUT de la STEP de Tinghir. Il a pour but d'apporter des réflexions et solutions sur la problématique à laquelle sont confrontées les zones oasiennes spécialement celle de Tinghir. Il s'agit notamment de la question portant sur la valorisation et de la préservation des ressources en eau et de leur raréfaction, compte tenu du contexte climatique alarmant observé dans la zone.

Pour appréhender notre problématique, nous avons mené des entretiens avec les différents acteurs intervenant dans un projet de REUT dans la commune de Tinghir. Ces différents entretiens ont été réalisés sur la base de questionnaires établis au préalable et de visites de terrain. Les enquêtes menées sur le terrain nous ont permis de faire l'état des lieux et d'étudier les possibilités liées à la réalisation d'un projet de REUT dans la commune de Tinghir. Cela nous a permis également de faire la lumière sur le rôle que chaque acteur aura dans la réussite d'un projet de REUT.

Les données collectées sur le terrain sont insuffisantes afin de proposer une technologie de traitement pour un traitement complémentaire adéquat. Le scénario de réutilisation possible et réalisable compte tenu des données à notre disposition s'avère être l'irrigation de l'aménagement d'un espace paysager, projeté par la commune de Tinghir de 30 ha. Après analyse des forces et faiblesses de différents scénarii nous avons opté pour l'irrigation de l'espace paysager avec les eaux provenant de la STEP tout en appliquant l'approche barrières multiples que l'OMS suggère dans ses Directives pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excreta et des eaux ménagères.

Mots clés : Eaux Usées Traitées, Station d'Épuration des Eaux Polluées, Oasis, Tinghir, Réutilisation des Eaux Usées Traitées.

ABSTRACT

The present work focuses on the improvement and valorisation of treated wastewater from the Tinghir wastewater treatment plant. It aims to provide reflections and solutions to the problem faced by the oasis areas, especially that of Tinghir. This is particularly the issue of the preservation of water resources and their scarcity, given the alarming climatic context observed in the area.

In order to understand our problem, we had to conduct interviews with the different actors involved in a reuse of treated wastewater project in the municipality of Tinghir. These interviews were accompanied by questionnaires drawn up beforehand and by exploratory visits. The surveys conducted in the field enabled us to assess the current situation and the possibilities for the implementation of a project for the reuse of treated wastewater in the municipality of Tinghir. This allowed us to shed light on the role that each actor will have in the success of a treated wastewater reuse project.

The data collected in the field are insufficient to propose a treatment technology for an adequate complementary treatment. The possible and feasible reuse scenario, given the data at our disposal, is the irrigation of a landscaped area, planned by the municipality of Tinghir of 30 ha of crops. After analyzing the strengths and weaknesses of different scenarios, we opted for the irrigation of the landscaped area with water from the Tinghir wastewater treatment plant while applying the multi-barrier approach suggested by WHO in its Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater.

Key words: Purified wastewater, Polluted water treatment plant, Oasis, Tinghir, Reuse of treated wastewater, Wastewater.

SOMMAIRE

DEDICACES	I
REMERCIEMENTS	III
RESUME	IV
ABSTRACT	V
SOMMAIRE	VI
LISTE DES TABLEAUX	XI
LISTE DES FIGURES	XII
LISTE DES ABREVIATIONS	XIV
NOMENCLATURE DES SYMBOLES	XVI
INTRODUCTION	1
1^{ère} PARTIE: REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	3
CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES EAUX USEES	4
CHAPITRE II : TECHNOLOGIES DE TRAITEMENT DES EAUX USEES	6
I. Procédés bas débit.....	6
I.1. Lagunage naturel.....	6
I.2. Filtres plantés	6
II. Procédés haut débit	7
II.1. Prétraitement	7
II.2. Traitement primaire	7
II.3. Traitement secondaire	7
II.4. Traitement tertiaire.....	8
III. Filière boue	9
CHAPITRE III : REUTILISATION DES EAUX USEES TRAITEES AU MAROC : CADRE JURIDIQUE, INSTITUTIONNEL ET ETAT DES LIEUX	10

I.	Législation relative à la REUT	10
I.1.	Loi 36-15 relative à l'eau promulguée par le Dahir n°1-16-113 du 6 Kaada 1437 10	
I.2.	Décret n°2-97-875 du 6 Chaoual 1418 (4 Février 1998)	11
I.3.	Décret n°2-97-787 du 6 Chaoual 1418 (4 Février 1998)	11
I.4.	Décret n°2-04-553 du 14 Doulhijja 1425 (24 Janvier 2005)	11
I.5.	Arrêté n°1607-06	12
I.6.	Arrêté n°1276-01	12
II.	Politique relative à la REUT	12
II.1.	Programme National d'Assainissement Liquide et d'Épuration des Eaux Usées (PNA) 12	
II.2.	Programme National d'Assainissement Liquide Mutualisé (PNAM)	12
III.	Acteurs intervenant dans la REUT	13
IV.	Contraintes liées à la REUT	13
V.	Utilisations des EUT	14
VI.	Démarches d'un projet de REUT	14
VII.	Bénéfices issus de la réussite d'un projet de REUT	15
	2^{ème} PARTIE : METHODOLOGIE DE TRAVAIL	16
	CHAPITRE IV : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE.....	17
I.	Situation géographique	17
II.	Climatologie.....	17
II.1.	Climat.....	17
II.2.	Températures.....	17
II.3.	Précipitations.....	18
III.	Hydrologie	19

IV.	Hydrogéologie.....	19
V.	Agriculture	20
VI.	Alimentation en eau potable	20
VII.	Assainissement.....	21
VIII.	Evolutions futures sur la commune de Tinghir	21
CHAPITRE V : OUTILS ET METHODOLOGIE DE TRAVAIL		22
I.	Outils de travail.....	22
I.1.	Outils techniques.....	22
I.2.	Outils informatiques et d'ingénierie	22
II.	Méthodologie de travail	22
II.1.	Travail cartographique	22
II.2.	Travail sur le terrain.....	23
II.3.	Analyse et Résultat	23
3^{ème} PARTIE : ANALYSE ET RESULTAT		26
CHAPITRE VI : STATION D'EPURATION DES EAUX POLLUEES DE TINGHIR		27
I.	Présentation de la STEP.....	27
II.	Description de la STEP	27
III.	Evaluation des performances de la STEP	35
III.1.	Caractéristiques nominales de la STEP	35
III.2.	Etude des caractéristiques des eaux entrantes à la STEP.....	35
III.2.1.	Evaluation quantitative des eaux entrantes dans la STEP	35
III.2.2.1.	Evaluation de la charge polluante des eaux à l'entrée de la STEP	36
III.2.2.2.	Evaluation de la concentration en pollution à l'entrée de la STEP	39
III.3.	Etude des caractéristiques des eaux sortantes de la STEP.....	42

III.4.	Rendement épuratoire de la STEP	45
III.5.	Résultats de l'analyse des données sur la STEP	47
III.6.	Analyse du dysfonctionnement de la STEP.....	47
CHAPITRE VII : EVALUATION DU POTENTIEL EN REUTILISATION DES EAUX USEES TRAITEES DE LA STEP DE TINGHIR		49
I.	Evaluation des ressources en EUT potentielles	50
II.	REUT dans le cadre de l'espace paysager de la commune.....	50
III.	REUT pour l'agriculture	52
IV.	REUT pour recharge de nappe et soutien de débit d'étéage de l'oued Toudgha	54
CHAPITRE VIII : CHOIX ET CONCEPTION DES SCENARII DE REUTILISATION DES EAUX USEES TRAITEES DE LA STEP DE TINGHIR		55
I.	Choix du traitement complémentaire.....	55
II.	Potentiel des EUT pour l'agriculture en aval de la STEP de Tinghir.....	55
III.	Scénario : Irrigation de la ceinture verte et de la forêt.....	56
III.1.	Evaluation des besoins de l'aménagement paysager	56
III.2.	Approche Multi barrières	57
III.2.1.	Evaluation des risques sanitaires	58
III.2.2.	Objectifs sanitaires et valeurs guides.....	59
III.2.3.	Démarches et mesures de prévention	61
III.2.4.	Surveillance et évaluation du système.....	64
CHAPITRE IX : DISCUSSIONS SUR L'IMPLICATION DES DIFFERENTS ACTEURS DANS LA REUSSITE D'UN PROJET DE REUTILISATION DES EAUX USEES TRAITEES.....		67
CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....		69
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....		71
ANNEXES		77

Annexe 1 : Définitions et caractérisation des eaux usées	78
Annexe 2 : Technologies de traitement des eaux usées	91
Annexe 3 : Utilisation des eaux usées en agriculture	102
Annexe 4 : Réutilisation des eaux usées traitées au Maroc	111
Annexe 5 : Méthodologie de travail.....	120
Annexe 6 : Questionnaires des enquêtes.....	128
Annexe 7 : Analyse et Résultat	137
ملخص.....	138

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Températures maximales, minimales et mensuelles moyennes de la commune de Tinghir.....	18
Tableau 2 : Répartition des 35 agriculteurs enquêtés par douar	23
Tableau 3 : Caractéristiques nominales de la STEP de Tinghir.....	35
Tableau 4 : Gammes habituelles des EUU marocaines	39
Tableau 5 : Vérification des temps de séjour au niveau des bassins de la STEP	48
Tableau 6 : Besoins en eau de l'aménagement paysager de la commune de Tinghir.....	52
Tableau 7 : Résultats de détermination des paramètres de dimensionnement des ouvrages de distribution	57
Tableau 8 : Recommandations de l'OMS pour la REUT	61
Tableau 9 : Les virus dans les EU.....	86
Tableau 10 : Les bactéries pathogènes dans les EU	87
Tableau 11 : Les parasites pathogènes dans les EU.....	87
Tableau 12 : Grille de qualité des eaux de surface	88
Tableau 13 : Avantages et inconvénients de divers procédés de traitement des EU	97
Tableau 14 : Concentrations d'organismes excrétés dans les EU.....	105
Tableau 15 : Paramètres de validation, de surveillance opérationnelle et de vérification pour différentes mesures de maîtrise de risques.....	106
Tableau 16 : Valeurs limites spécifiques de rejet domestique à partir de Juillet 2012.....	115
Tableau 17 : Valeurs limites spécifiques de rejet domestique à partir d'Août 2016	115
Tableau 18 : Valeurs limites générales de rejet applicable aux déversements des EU ne disposant pas des Valeurs Limites Spécifiques de Rejet	115
Tableau 19 : Normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation	116
Tableau 20 : Normes de qualité pour la REUT.....	118
Tableau 21 : Informations générales sur le secteur agricole de la commune rurale de Tinghir	120
Tableau 22 : Répartition de la superficie totale (4100 ha) de la commune rurale de Tinghir.....	121
Tableau 23 : Répartition de la SAU (480 ha) de la commune rurale de Tinghir	121
Tableau 24 : Situation de l'AEP de la commune de Tinghir	121
Tableau 25 : Stations de pompage en AEP de la commune de Tinghir.....	122
Tableau 26 : Evolution future de la consommation en eau potable de la commune de Tinghir	123
Tableau 27 : Evolution future de la production des EU de la commune de Tinghir	123
Tableau 28 : Estimation future des charges polluantes de la commune de Tinghir	124

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Cartographie des Acteurs par échelle de niveau : Cas commune de Tinghir.....	13
Figure 2 : Plan d'une étude de projet pour la REUT	15
Figure 3 : Présentation de la commune de Tinghir	17
Figure 4 : Précipitations mensuelles moyennes de la commune Tinghir.....	18
Figure 5 : Hydrographie de la commune de Tinghir.....	19
Figure 6 : Méthodologie et Outils	25
Figure 7 : Plan de la STEP.....	27
Figure 8 : Regard d'arrivée des EU	28
Figure 9 : Dessableur	28
Figure 10 : Répartiteur entre les bassins anaérobies	29
Figure 11 : Bassin anaérobie.....	29
Figure 12 : Répartiteur entre bassins facultatifs	30
Figure 13 : Bassin facultatif à coloration verdâtre.....	30
Figure 14 : Bassin facultatif coloration rougeâtre.....	30
Figure 15 : Bassin facultatif coloration verte.....	31
Figure 16 : Bassin facultatif coloration rougeâtre.....	31
Figure 17 : Répartiteur entre les bassins de maturation.....	31
Figure 18 : Bassin de maturation primaire verdâtre.....	32
Figure 19 : Bassin de maturation primaire rougeâtre.....	32
Figure 20 : Bassin de maturation secondaire verdâtre	33
Figure 21 : Bassin de maturation secondaire rougeâtre	33
Figure 22 : Lits de séchage de la STEP	33
Figure 23 : Bâtiment d'exploitation de la STEP	34
Figure 24 : Local gardiennage de la STEP	34
Figure 25 : Bâtiment de pompage de la STEP	35
Figure 26 : Variation des débits entrants	36
Figure 27 : Variation de la charge polluante en kg de MES/j.....	37
Figure 28 : Variation de la charge polluante des EU entrante en kg de DBO ₅ /j.....	38
Figure 29 : Variation de la charge polluante en kg de DCO/j	39
Figure 30 : Variation de la concentration des MES à l'entrée de la STEP	40
Figure 31 : Variation de la concentration de DBO ₅ à l'entrée de la STEP	41
Figure 32 : Variation de la DCO à l'entrée de la STEP	42
Figure 33 : Variation de la concentration des MES à la sortie de la STEP	43
Figure 34 : Variation de la DBO ₅ sortante de la STEP.....	43
Figure 35 : Variation de DCO sortante de la STEP.....	44
Figure 36 : Variation de la concentration en Oxygène dissous dans les EUT	45
Figure 37 : Rendement épuratoire par rapport à la MES	45
Figure 38 : Rendement épuratoire par rapport à la DBO ₅	46
Figure 39 : Rendement épuratoire par rapport à la DCO.....	47
Figure 40 : Cartographie des Acteurs de la commune de Tinghir	49
Figure 41 : Graphe représentant la disponibilité des EUT durant une année	50
Figure 42 : Carte d'aménagement projeté de la commune de Tinghir	51
Figure 43 : Acceptabilité pour l'utilisation des EUT.....	53
Figure 44 : Acceptabilité pour la tarification des EUT.....	53
Figure 45 : Graphe montrant la disponibilité des ressources en REUT après affectation au besoin d'aménagement.....	53

Figure 46 : Options pour la réduction des agents pathogènes viraux, bactériens et protozoaires par différentes combinaisons de mesures de protection sanitaire permettant de réaliser l'objectif lié à la santé de $\leq 10^{-6}$ DALY par personne et par an	60
Figure 47 : Mise au point d'un plan de gestion des risques.....	66
Figure 48 : Efficacité des techniques de filtration membranaire	93
Figure 49 : Cadre de Stockholm régissant l'élaboration de recommandations harmonisées pour la gestion des maladies infectieuses liées à l'eau.....	103
Figure 50 : Réseau projeté d'EP de la commune de Tinghir	125
Figure 51 : Réseau projeté d'EU de la commune de Tinghir	126
Figure 52 : Schéma réduit d'aménagement de la commune de Tinghir	127

LISTE DES ABREVIATIONS

ABH : Agence de Bassin Hydraulique

ABH GZR : Agence de Bassin Hydraulique Guir Ziz Rhéris

AEP : Alimentation en Eau Potable

AFD : Agence Française de Développement

ANDZOA : Agence National de Développement des Zones Oasiennes et de l'Arganier

AUEA : Associations des Usagers d'Eaux Agricoles

BO : Bulletin Officiel

BV : Bassin Versant

DBO : Demande Biochimique en Oxygène

DCO : Demande Chimique en Oxygène

ET0 : Evapotranspiration de référence

EU : Eaux Usées

EUD : Eaux Usées Domestiques

EUT : Eaux Usées Traitées

EUU : Eaux Usées Urbaines

MES : Matières En Suspension

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

ONEE : Office National de l'Électricité et de l'Eau Potable

ORMVA : Office Régional de Mise en Valeur Agricole

ORMVAO : Office Régional de Mise en Valeur Agricole Ouarzazate

PDREUE : Plan Directeur de Réutilisation des Eaux Usées Epurées en irrigation

PEHD : Poly Ethylène Haute Densité

PNA : Programme National d'Assainissement Liquide et d'Épuration des Eaux Usées

PNAM : Programme National d'Assainissement Liquide Mutualisé

PNAR : Programme National d'Assainissement Rural

PNUE : Programme des Nations Unies pour l'environnement

PVC : Poly Vinyl Chloride (Polychlorure de vinyle)

REUT : Réutilisation des Eaux Usées Traitées

RN10 : Route Nationale Numéro 10

SNDAL : Schéma Directeur d'Assainissement Liquide

SR6 : Station de Refoulement 6

STEP : Station d'Épuration des Eaux Polluées

USAID : Agence de Développement International des Etats Unis

NOMENCLATURE DES SYMBOLES

% : Pourcentage

°C : Degré Celsius

g/l : Gramme par litre

ha : Hectare

hab : Habitants

kg/j : Kilogramme par jour

km : Kilomètre

km² : Kilomètre carré

kW/kg : Kilowatts par kilogramme

l/s : Litre par seconde

m : Mètre

µm : Micromètre

m/s : Mètre par seconde

m² : Mètre carré

m³ : Mètre cube

m³/s : Mètre cube par seconde

m³/j : Mètre cube par jour

mg O₂/l : Milligramme de dioxygène par litre

mg N/l : Milligramme d'azote par litre

mg NH₄/l : Milligramme d'ammonium par litre

mg PT/l : Milligramme de phosphore total par litre

mg/l : Milligramme par litre

Mm³ : Million de mètre cube

Mm³/an : Million de mètre cube par an

mm : Millimètre

mm/j : Millimètre par jour

mm/an : Millimètre par an

ug/l : Microgramme par litre

us/cm : Microsiemens par centimètre

u.log : Unité logarithmique

INTRODUCTION

Ces dernières années, le Maroc fait face à une importante dégradation et raréfaction des ressources en eau. Les oasis de la région Drâa-Tafilalet font partie des régions marocaines les plus touchées par les pénuries d'eau et les effets des changements climatiques.

Face à cette situation, le Maroc s'est tourné vers la valorisation et l'utilisation des ressources en eau non conventionnelles. Ceci dans plusieurs domaines afin de réduire le recours aux eaux conventionnelles. Comparativement au dessalement, la REUT est la ressource en eau non conventionnelle idéale pour les zones arides notamment les oasis.

La commune de Tinghir est une zone oasienne qui se situe dans la région Drâa-Tafilalet, elle fait face aux mêmes problèmes. La commune de Tinghir a mis en place une STEP qui a été mise en service en Septembre 2017.

Notre étude s'intégrant dans le cadre du projet Massire, a pour objectif général la valorisation des EUT de la STEP de Tinghir ainsi que l'élaboration d'un système pour leur gestion. Les objectifs spécifiques consistent en :

1. La réalisation de l'état des lieux et les possibilités liées l'élaboration d'un projet de REUT ;
2. La détermination d'une solution de traitement complémentaire adaptée, durable et peu coûteuse ;
3. La détermination des différents scénarii de réutilisation des EUT de la STEP de Tinghir et le choix du scénario optimal.

Afin de mieux appréhender notre problématique, nous nous sommes posés les questions suivantes : Existe-il déjà un projet futur de REUT de la STEP de Tinghir ? Quels sont les différents acteurs qui interviendront dans un projet de REUT dans la commune Tinghir ? Quelle sera la contribution de ces différents acteurs pour la réussite d'un projet de REUT ? La STEP de Tinghir respecte-t-elle les normes de rejet ? Les agriculteurs interceptent-ils les EUT rejetées par la STEP de Tinghir pour irriguer leurs cultures ? Les EUT rejetées par la STEP de Tinghir s'infiltreront-elles vers la nappe ? Quel est le traitement complémentaire durable le plus adapté à la zone d'étude et moins coûteux ? Quels sont les différents scénarii de REUT possibles ? Quel sera l'acceptabilité des agriculteurs quant à la REUT ?

Pour ce faire, notre travail comporte trois parties.

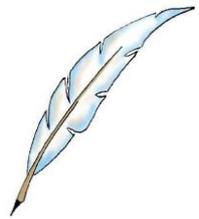
La première partie « revue bibliographique » se divise en trois chapitres. Le premier chapitre donne un aperçu sur les EU (définition, origines, caractéristiques et impacts). Le deuxième chapitre est dédié aux niveaux de traitement que peuvent subir les EU. Le troisième chapitre est consacré à la REUT au Maroc (cadre juridique, acteurs, états des lieux).

La deuxième partie « méthodologie de travail » se divise en deux chapitres. Le premier chapitre est consacré à la présentation de la zone d'étude. Le deuxième chapitre expose la méthodologie de travail et les outils utilisés.

La troisième partie « analyse et résultat » divisée en quatre chapitres, relate nos résultats et discussions y afférant. Le premier chapitre portant sur la présentation et l'évaluation des performances de la STEP. Le deuxième chapitre relate les résultats issus des enquêtes faites sur le terrain. Le troisième est consacré à l'élaboration et au choix d'un scénario optimal de REUT. Le quatrième chapitre expose les discussions autour du rôle des différents acteurs dans la réussite d'un projet de REUT à Tinghir.

1^{ère} PARTIE: REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

.....



CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES EAUX USEES

Les EU sont le résultat d'eaux qui ont été polluées. Selon l'OMS, on appelle EU toute eau ayant subi une pollution c'est-à-dire des modifications au niveau de ses propriétés physiques, chimiques ou biologiques. Tout rejet de nature liquide, solide ou gazeux pouvant créer des nuisances ou être nocif à l'Homme et à son environnement peut également être qualifié de pollution. Selon REJSEK (2002) les EU sont des eaux chargées de polluants pouvant être solubles ou non et qui proviennent majoritairement de l'activité de l'Homme. GROSCLAUDE (1999) quant à lui définit les EU comme un mélange de matières polluantes dissoutes et/ou dispersées dans l'eau ayant servi aux besoins domestiques ou industriels.

On peut définir donc les EU comme des eaux résiduairees qui ont perdues leurs propriétés naturelles du fait de l'activité humaine les ayant exposées à des matières polluantes. En plus de provenir d'activités humaines (besoins domestiques, industriels, agricoles), les EU peuvent également provenir des eaux de pluies, suite à leur ruissellement sur des surfaces imperméabilisées les mettant en contact avec toutes sortes de matières polluantes.

Selon l'usage auquel l'eau a servi, on peut avoir les eaux domestiques, industrielles, agricoles et pluviales :

- **Les eaux usées domestiques** : proviennent des eaux utilisées par les ménages afin de satisfaire tous les besoins et usages ménagers. La composition des eaux usées domestiques dépend fortement de la provenance de l'eau potable utilisée par les ménages, des différents produits d'entretiens, de solvants utilisés, de l'état de santé des ménages et des populations en général, de leurs habitudes alimentaires et autres différents facteurs liés à leurs conditions socio-économique ;
- **Les eaux industrielles** : elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Elles sont également très variables entre elles car leurs caractéristiques varient d'une industrie à une autre. En plus des matières organiques azotées et phosphorées, elles sont chargées en éléments chimiques et en métaux lourds ;
- **Les eaux agricoles** : elles sont appelées EU car ces eaux ont été exposées à des substances polluantes pouvant s'avérer nocives et compromettre la qualité des eaux. Ces produits d'origine agricoles ou industriels sont généralement utilisés dans des exploitations où l'agriculture se veut être performante et intensive ;
- **Les eaux de ruissellement** : elles sont causées par les écoulements sur les surfaces imperméables ou imperméabilisées qui sont sujettes pourtant à tout type de pollution. Ces eaux peuvent être collectées par le même réseau collectant les EU, ou par un réseau unique aux eaux pluviales. La composition des eaux de ruissellement est très variable selon l'activité de la région et la pollution de ces eaux est très diverse.

Les EU sont différentes entre elles et cela pour plusieurs raisons : entre autres la provenance, la zone climatique, la condition socio-économique des populations les ayant produites, etc. Afin de porter les actions et traitements efficaces et nécessaires pour permettre leur valorisation, il apparait donc qu'il est primordial d'étudier les EU à travers différents paramètres à savoir les paramètres physiques, organoleptiques, chimiques et bactériologiques.

Pour le cas d'une recherche de valorisation d'EUT provenant d'une STEP, les principaux paramètres suivis sont surtout les paramètres physico-chimiques (avec pour principaux

paramètres les MES, la DBO et la DCO sans oublier les substances indésirables et celles toxiques) et les paramètres bactériologiques (avec la surveillance des paramètres tels que les taux de coliformes fécaux, de bactéries et d'œufs d'helminthes présents dans les eaux). (Voir Annexe 1 : Définitions et caractérisation des eaux usées)

Les EU peuvent agir sur l'Homme à plusieurs niveaux. Elles peuvent agir indirectement par la dégradation de son milieu environnant constitué par les sols, la faune, la flore. Elles peuvent également avoir un impact direct sur la vie de l'Homme en portant atteinte à sa santé et à son bien-être.

Les EU qui n'ont subi aucun traitement constituent un potentiel et imminent danger pour la santé publique. Cela est généralement dû à une absence d'infrastructures d'hygiène et d'assainissement de base entraînant la mise en place d'une zone offrant des conditions bioécologiques favorables à la prolifération des germes pathogènes d'après BENAZIA et MAIASSI (2021).

Sur le plan humain la présence des agents pathogènes est déjà un danger pour les populations. Selon l'OMS, l'utilisation de ces eaux peuvent causer au sein d'une population de forts taux de diarrhée, de choléra de typhoïde et bien d'autres maladies infectieuses.

Sur le plan environnemental, les EU peuvent entraîner des désastres écologiques tels que des bouleversements des écosystèmes aquatiques pouvant même aller jusqu'à la disparition d'espèce. (Voir Annexe 1 : Définitions et caractérisation des eaux usées)

Ce sont autant de raisons poussant à avoir une caractérisation de chaque EU avant toute sorte de réutilisation afin de prendre les mesures et précautions nécessaire pour la protection de l'Homme et de son environnement.

CHAPITRE II : TECHNOLOGIES DE TRAITEMENT DES EAUX USEES

Dans ce chapitre est traité l'ensemble des technologies de traitement des EU (Annexe 2 : Technologies de traitement des eaux usées) particulièrement celles pouvant faire l'objet d'une éventuelle réutilisation. En général, ces technologies peuvent être décrites sous deux angles différents mais pourtant complémentaires : celui du principe et fonctionnement comme le suggère (MARA, 2004) et celui de la capacité à éliminer les agents pathogènes selon (OMS, 2012).

L'OMS (2012) décrit les technologies sous l'angle de leurs capacités à éliminer les agents pathogènes plutôt qu'à travers leurs fonctionnements et principes (MARA, 2004). Selon le point de vue de l'OMS (2012), les technologies peuvent être regroupées en deux grandes catégories : les systèmes biologiques bas débit et les procédés haut débit.

I. Procédés bas débit

Les systèmes biologiques bas débit sont constitués des technologies avec des temps de séjour prolongés.

1.1. Lagunage naturel

Les bassins de stabilisation ou lagunage naturel utilisant les facteurs naturels comme la température, la lumière du soleil, la sédimentation, la dégradation biologique, etc. pour traiter les EU (MARA, 2004). D'après OMS (2012), une bonne conception des bassins permet d'obtenir comme performances épuratoires :

- Une réduction de 3 u.log pour l'élimination des œufs d'helminthes ;
- Une réduction de 2-4 u.log pour l'élimination des virus ;
- Une réduction de 3-6 u.log pour l'élimination d'agents bactériens ;
- Une réduction de 1-2 u.log pour l'élimination des kystes et oocystes de protozoaires.

Pour fournir des performances optimales, les bassins doivent être conçus de manière à réduire au minimum ou à éliminer les courts-circuits hydrauliques, dans un environnement tropical (20–30°C).

1.2. Filtres plantés

Les filtres plantés sont connus sous plusieurs types de variantes : les filtres plantés à écoulement horizontal, vertical, sub-surfacique et superficiel (OMS, 2012). Ils sont conçus pour éliminer la DBO, les matières solides et les nutriments, mais pas spécifiquement pour obtenir une réduction des agents pathogènes. Néanmoins, ils réalisent aussi une certaine réduction de ces agents, même si celle-ci n'est pas régulière :

- La réduction des œufs d'helminthes peut atteindre 3 u.log ;
- Les réductions des bactéries, virus et protozoaires varient chacune entre 1-3 u.log.

II. Procédés haut débit

Les procédés haut débit sont constitués des technologies avec des temps de séjour brefs durant lesquels circulent de forts débits et comprenant généralement des installations techniques.

Pour chaque niveau de qualité d'eau des EUT souhaité il faudrait associer un certain degré de traitement de ces eaux. Il est généralement connu quatre niveaux de traitement. Il s'agit des niveaux de prétraitement, de traitement primaire, de traitement secondaire et de traitement tertiaire.

II.1. Prétraitement

A ce niveau il s'agit de retenir les déchets grossiers présents dans les eaux afin de permettre le bon fonctionnement de la STEP (éviter les obstructions de canaux, etc.) et aussi la protection des éventuels appareillages électromécaniques. A cette étape est généralement observée un dégrillage, un tamisage et un dessablage-dégraissage.

II.2. Traitement primaire

Ce niveau de traitement consiste essentiellement en la séparation des éléments en suspension par effet naturel de pesanteur soit directement (décantation libre), soit après avoir aggloméré les plus fins par des adjonctions de coagulant ce qui provoque leur grossissement et leur sédimentation plus rapide (floculation). Les polluants visés par cette étape sont les éléments particuliers et une partie des éléments colloïdaux. La CIRESS et l'ENGEES (2002) dans leur ouvrage intitulé *Traitement des eaux urbaines* parlent d'une élimination des MES de 50% à 90% suivant la technologie de traitement utilisée sous forme liquide (au plus 40g/l).

L'approche utilisée par l'OMS (2012) nous renseigne sur la performance de ce niveau de traitement. Selon l'OMS, des études à Mexico auraient montré qu'un traitement primaire avancé pouvait produire des effluents contenant 2-5 œufs d'helminthes par litre.

II.3. Traitement secondaire

Il repose sur l'utilisation des microorganismes naturellement présents dans les eaux qui sont chargés de dégrader la matière organique dissoute. Ces microorganismes naturellement présents exercent également un effet physique de rétention de la pollution particulaire et colloïdale par leur propension à se rassembler en films ou flocons. D'après l'OMS (2012) l'optimisation des performances des technologies utilisées dans le cadre d'un traitement secondaire peut permettre de réduire les agents pathogènes viraux et bactériens d'environ 2 u.log, les kystes et oocystes de protozoaires de 0-1 u.log et les œufs d'helminthes d'approximativement 2 u.log, selon la concentration de matières solides en suspension.

Diverses technologies sont possibles pour le traitement biologique :

- Le lagunage aéré est une épuration réalisée par voie biologique. D'après CIREES et ENGEES (2002) outre le fait que le lagunage demande des surfaces au sol importantes, cette technique a une efficacité variable en fonction du lieu géographique

d'implantation (ensoleillement, température). Par ailleurs il nécessite comme tout autre système d'épuration, une exploitation et un suivi soignés ;

- Les lits bactériens utilisent des cultures bactériennes immobilisées sur des supports minéraux (cendres volcaniques, cailloux) ou plastiques des eaux à traiter. Les performances épuratoires sont modestes, mais cette technique peut constituer un traitement suffisant si la sensibilité du milieu récepteur n'est pas très grande (CIREES et ENGEES, 2002) ;
- Les disques biologiques consistent à fixer la biomasse sur des disques en rotation autour d'un axe central et baignant en partie dans le bassin d'épuration ;
- Les boues activées consistent en la dégradation assurée par voie biologique aérobie grâce à des populations bactériennes sous forme de floculation (boues activées). Ce principe naturel de floculation rend possible la séparation ;
- La filtration ou biofiltration cumule les fonctions de filtration et d'épuration biologique. Elle doit donc répondre à une activité biologique maximale (grande surface de fixation) et à un fort pouvoir de rétention des MES. Cela implique donc des supports granulaires fins.

II.4. Traitement tertiaire

L'obtention d'une épuration plus poussée peut s'avérer nécessaire lorsque la sensibilité du milieu récepteur l'exige. Il peut s'agir des risques de baignades, de prises d'eau en aval de la station pour diverses activités possibles notamment l'irrigation. En fonction du degré de risque et de conséquences sur l'Homme et son environnement, une technologie de traitement devra être adoptée afin d'atteindre les exigences qualitatives de l'eau traitée.

- La filtration membranaire caractérisée par l'utilisation de membranes de microfiltration, d'ultrafiltration, de nanofiltration. Elles sont aussi capables de réaliser une réduction pratiquement complète (c'est-à-dire supérieur à 6 u.log) de l'ensemble des agents pathogènes, y compris les virus (OMS,2012) ;
- La filtration sur sable qui permet l'élimination des agents pathogènes et d'autres matières particulaires lors du passage des effluents sur du sable. D'après l'OMS (2004), la réduction bactérienne peut atteindre jusqu'à 3 u.log ;
- La désinfection peut se faire par les technologies comme l'ozonation, les rayons ultraviolets avec les réacteurs à lampes UV, la chloration (Annexe 2 : Technologies de traitement des eaux usées).

Malgré le fait que l'OMS ait traité les technologies suivant leur capacité à réduire les agents pathogènes, force est de constater que l'élimination de l'azote et le phosphore n'ont pas été développés. En sortant du cadre d'élimination stricte des agents pathogènes, de nombreuses technologies sont également efficaces mais beaucoup plus dans la réduction des paramètres chimiques tels que les ions ammonium, les nitrates, les micropolluants métalliques, les hydrocarbures, les éléments traces minéraux, etc. Il s'agit des technologies de résine échangeuse d'ions, du charbon actif grain ou poudre, de l'électrodialyse, de la coagulation-floculation-décantation (Annexe 2 : Technologies de traitement des eaux usées).

III. Filière boue

Le traitement des EU crée des sous-produits issus de processus de traitement : les boues. Pour le CIRESS et l'ENGEES (2002) l'objectif final du traitement de boues est leur transformation pour les rendre compatibles avec une réutilisation quelconque ou assurer leur destruction lorsque leur composition est jugée dangereuse et tout ceci dans des conditions de respect des normes liées aux usages (Annexe 2 : Technologies de traitement des eaux usées).

CHAPITRE III : REUTILISATION DES EAUX USEES TRAITEES AU MAROC : CADRE JURIDIQUE, INSTITUTIONNEL ET ETAT DES LIEUX

Face au stress hydrique que connaît le Maroc, le recours aux ressources en eau non conventionnelles est devenu une nécessité. La REUT est donc un moyen pour palier à cette rareté des RE, tout en préservant le milieu récepteur et la santé humaine.

Les EUT constituent une source d'apport régulier pour divers usages non potables. Vu l'importance des EUT, le Maroc a adopté plusieurs lois et politiques afin de les valoriser et réutiliser.

I. Législation relative à la REUT

1.1. Loi 36-15 relative à l'eau promulguée par le Dahir n°1-16-113 du 6 Kaada 1437

Le Dahir n°1-16-113 du 6 Kaada 1437 (10 Août 2016) portant promulgation de la loi n°36-15 relative à l'eau (BO n°6506 du 6 Octobre 2016) fixe les règles d'une gestion intégrée, décentralisée et participative des ressources en eau. C'est une loi qui est venue compléter la loi 10-95 sur l'eau.

La promulgation de la loi n°10-95 sur l'eau avait précisé le développement, la rationalisation de l'utilisation de l'eau, la généralisation de l'accès à l'eau, la solidarité inter-régionale, la sécurité hydraulique sur l'ensemble du territoire Royaume, la valorisation des ressources en eau et leur protection contre la pollution à travers des aspects comme :

- Les conditions d'octroi des autorisations de déversements ;
- La définition des objectifs de qualité ;
- La fixation des valeurs limites de rejet et des normes de qualité ;
- L'élaboration de l'inventaire du degré de pollution.

Elle stipule la création des ABH qui assureront une gestion intégrée, participative, décentralisée des ressources en eau.

Comparément à la loi 10-95, la loi 36-15 met beaucoup plus en exergue la valorisation des ressources en eau non conventionnelles. Elle devrait aboutir à une meilleure rationalisation des ressources en eau et ainsi à une utilisation durable qui sera capable de faire face aux au problème majeur de déficit hydrique affectant le Maroc.

C'est dans ce cadre que la loi 36-15 vise la mise en place des règles, normes et outils de planification pour la REUT à savoir :

- L'existence au niveau de la loi d'un chapitre axé sur la valorisation et l'utilisation des eaux non conventionnelles avec une section première qui traite de la REUT et des boues d'épuration ;
- Dans le chapitre V section première : il est question des dispositions traitant des modalités d'utilisation et d'exploitation des EUT (Articles 65 et 64), des dispositions

traitant des modalités d'octroi et d'utilisation des autorisations d'utilisation des EUT (Articles 66 et 67), des dispositions traitant des modalités d'octroi du concours financier et l'assistance technique (Article 68 et 71) ;

- Au niveau de l'article 2 des dispositions qui se basent sur les principes comme celui du pollueur-payeur, préleveur-payeur ainsi que des dispositions prônant la mobilisation des eaux non conventionnelles comme partie intégrante dans la planification de l'eau.

1.2. Décret n°2-97-875 du 6 Chaoual 1418 (4 Février 1998)

Le Décret n°2-97-875 du 6 Chaoual 1418 (4 Février 1998) relatif à l'utilisation des EU stipule l'interdiction de l'utilisation de toute EU non traitées ainsi que la délivrance d'une autorisation d'utilisation des EUT par le directeur de l'ABH concernée.

Par ailleurs, il interdit la REUT pour la préparation, la boisson, le conditionnement ou la conservation de produits ou denrées alimentaires, le lavage ou le refroidissement des récipients ou autres objets destinés à contenir des produits de conditionnement ou leur conservation.

1.3. Décret n°2-97-787 du 6 Chaoual 1418 (4 Février 1998)

Le Décret n°2-97-787 du 6 Chaoual 1418 (4 Février 1998) relatif aux normes de qualités des eaux et à l'inventaire du degré de pollution des eaux définit les normes de qualité auxquelles une eau doit respecter afin d'en faire une éventuelle utilisation.

Les articles 1 et 9 traitent des caractéristiques physico-chimiques, biologiques et bactériologiques qu'une eau (cours d'eau, section de cours d'eau, canaux, lacs ou étangs) doit satisfaire selon qu'elle soit destinée à la l'irrigation, à l'alimentation ou à la production d'eau potable.

Ces objectifs de qualité sont fixés par arrêté conjoints des autorités gouvernementales chargées de l'Equipement et de l'Environnement après l'avis des autorités gouvernementales chargées de l'Intérieur, de l'Agriculture, de la Santé Publique, de l'Industrie et de l'Energie et des Mines.

1.4. Décret n°2-04-553 du 14 Douhijja 1425 (24 Janvier 2005)

Le Décret n°2-04-553 du 14 Douhijja 1425 (24 Janvier 2005) relatif aux déversements, écoulements, rejets, dépôts directs ou indirects dans les eaux superficielles ou souterraines (BO n°5292 du 17 février 2005) traite des modalités de déversements.

Le chapitre premier, traite des modalités d'octroi d'autorisation de déversement tandis que le chapitre II traite des caractéristiques physiques, chimiques, bactériologiques tout en déterminant des valeurs limites de rejet que tout déversement doit satisfaire.

Ces valeurs sont fixées par arrêtés conjoints des autorités gouvernementales chargées de l'Intérieur, de l'Eau, de l'Environnement, de l'Industrie, et de toute autre autorité gouvernementale concernée.

I.5. Arrêté n°1607-06

Cet arrêté porte sur la fixation des valeurs limites spécifiques de rejet domestique que doivent respecter les STEP avant tout rejet dans le milieu naturel. Ces valeurs limites spécifiques de rejet domestique sont applicables aux déversements d'EU ne disposant pas des valeurs limites spécifiques de rejet (Annexe 4 Tableau 16, Tableau 17 et Tableau 18).

I.6. Arrêté n°1276-01

L'article 2 de cet arrêté définit les normes de qualité que doivent satisfaire les eaux destinées à l'irrigation (Annexe 4 Tableau 19, Tableau 20).

II. Politique relative à la REUT

II.1. Programme National d'Assainissement Liquide et d'Épuration des Eaux Usées (PNA)

En 2006, le Ministère de l'Intérieur avec le Ministère d'Economie et de Finance et le Secrétariat d'Etat chargé du Développement Durable ont ensemble mis au point le PNA qui fut révisé en 2008 pour un meilleur recouvrement et optimisation.

Le PNA vise la réhabilitation et l'extension du réseau d'assainissement, le branchement et le renforcement du réseau pluvial, la réalisation des STEP, le renouvellement des équipements d'assainissement et l'acquisition du matériel d'exploitation.

Ses différents objectifs pour l'horizon 2020 et 2030 sont les suivants :

- Atteindre un taux de raccordement global au réseau d'assainissement en milieu urbain de 80% en 2020 ;
- Atteindre un volume des EUT de 60% en 2020 ;
- Rabattre la pollution domestique de 50% en 2015, de 80% en 2020 et de 100% en 2030 ;
- Traiter jusqu'au niveau tertiaire les EU et les réutiliser à 100% en 2030.

II.2. Programme National d'Assainissement Liquide Mutualisé (PNAM)

Le PNAM est né de la fusion du PNA, du PNAR, du PDREUE et du Programme de Traitement des EU en 2018. Cette nouvelle version de PNA combine à la fois le milieu rural et le milieu urbain.

Les principaux objectifs du programme sont de :

- Atteindre en milieu urbain à l'horizon 2020, un taux de raccordement aux réseaux d'assainissement liquide de 80% avec une réduction de la pollution de 60% ;
- Atteindre au niveau des centres chef lieux des communes rurales un taux de raccordement de 50% et un taux d'épuration de 40% en 2030 ;
- Atteindre un volume d'EUT réutilisable de 474 Mm³/an à partir de 2030 ;
- Atteindre un milliard de mètre cube d'eau traitée à l'horizon 2040. Ces eaux seront utilisées pour l'irrigation des espaces verts ainsi que pour l'agriculture.

III. Acteurs intervenant dans la REUT

Au Maroc, les acteurs intervenant dans un projet de REUT peuvent être classés en 3 grandes structures :

- **Structures administratives** : qui se composent du Département de l'Eau, du Département de la Santé, du Département chargé de l'Agriculture, Département chargé de l'Intérieur ;
- **Structures institutionnelles** : qui se composent de l'ABH, de l'ONEE-Branche Eau, des Régies, de la Direction régionale de l'Agriculture ou l'ORMVA, de l'ANDZOA ;
- Collectivités locales** : qui se composent de la Commune, des Usagers d'Eaux Agricoles.

Le développement de cette partie a été fait en Annexe 4 : Réutilisation des eaux usées traitées au Maroc.

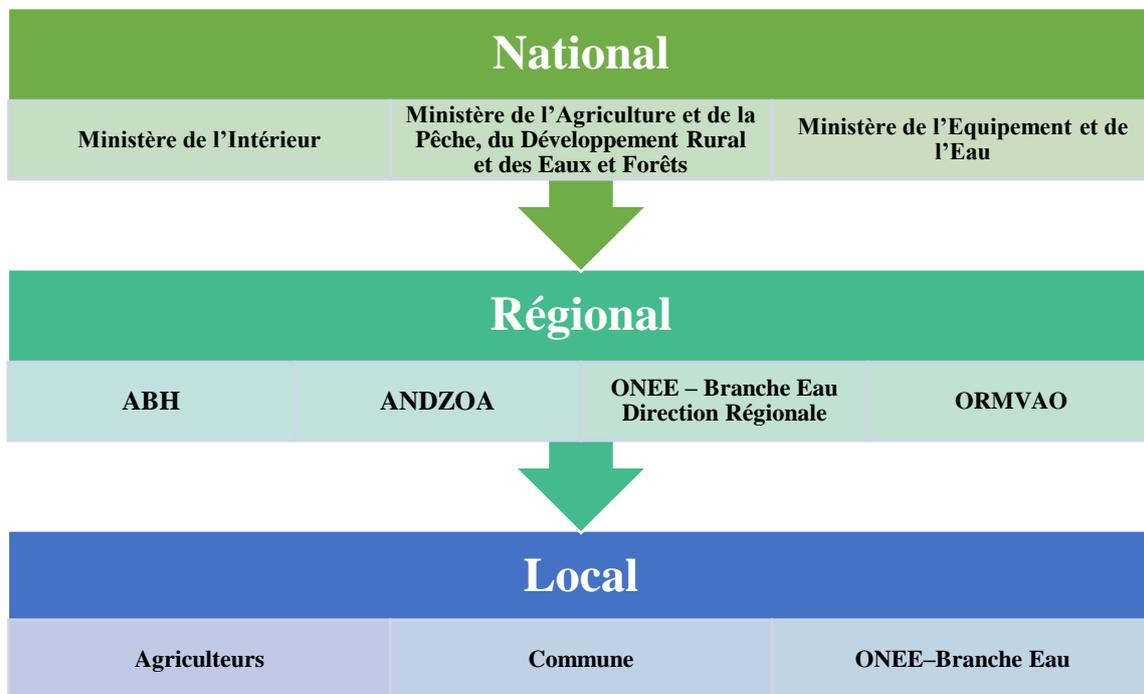


Figure 1 : Cartographie des Acteurs par échelle de niveau : Cas commune de Tinghir

IV. Contraintes liées à la REUT

Les différentes contraintes quant à la réussite d'un projet de REUT sont classées en sept catégories :

- Contraintes Règlementaires ;
- Contraintes Institutionnelles ;
- Contraintes Sanitaires ;

- Contraintes Techniques ;
- Contraintes Environnementales ;
- Contraintes Financières ;
- Contraintes Socio-économiques.

Le développement de cette partie a été fait en Annexe 4 : Réutilisation des eaux usées traitées au Maroc.

V. Utilisations des EUT

Au Maroc, les EUT ne sont réutilisées que dans le cadre de **l'irrigation de certaines cultures et espaces verts, le lavage des minerais, la recharge de la nappe, le soutien du débit d'étiage des cours d'eau.**

VI. Démarches d'un projet de REUT

En se basant sur la démarche proposée par FABY et al (1997), nous pouvons observer 3 études essentielles à faire :

- **Etude d'opportunité** : étude peu approfondie mais toutefois nécessaire. Elle permet de mettre en exergue les avantages qu'aura le maître d'ouvrage dans la mise en place d'un projet de REUT ;
- **Etude de faisabilité** : consiste en une analyse détaillée des scénarii découlant de l'étude d'opportunité préalablement faite. Il s'agit des comparaisons du point de vue économique des différents scénarii avec et sans REUT ;
- **Etude de faisabilité détaillée** : consiste à une comparaison approfondie des scénarii de REUT qui offrent les meilleurs coûts économiques. Cela aboutit au choix du scénario final retenu.

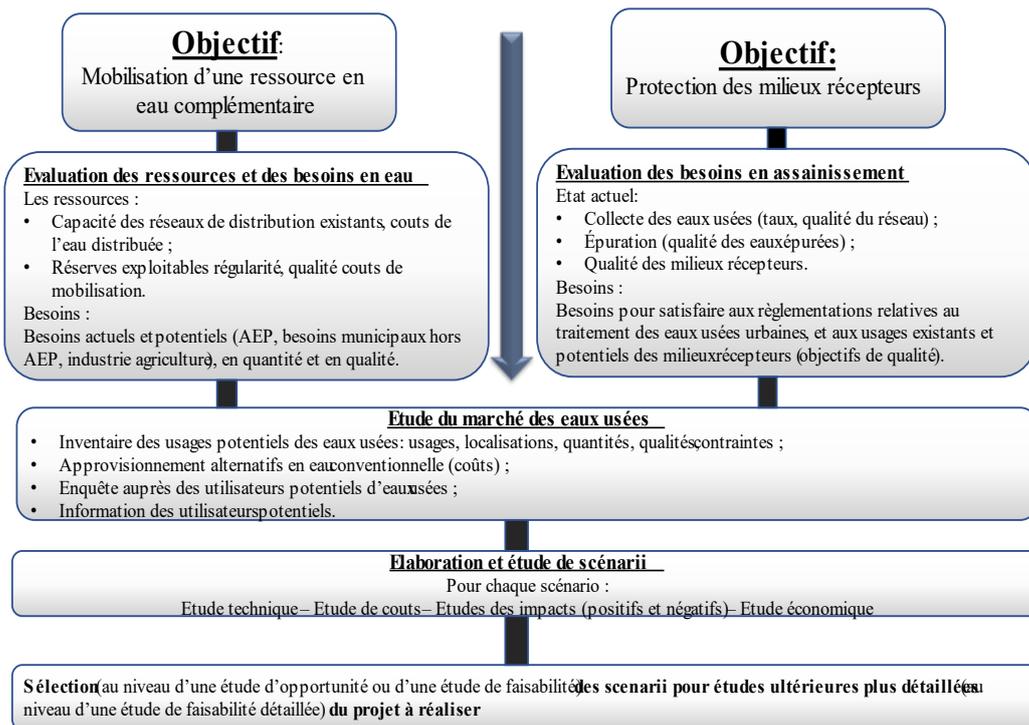


Figure 2 : Plan d'une étude de projet pour la REUT

Source : FABY J.A. et al (1997)

Afin de parvenir à l'élaboration d'un projet durable, l'intégration et l'implication de tous les acteurs est primordial. D'où la nécessité de la signature d'une **convention multipartite**.

VII. Bénéfices issus de la réussite d'un projet de REUT

Les bénéfices quant à la réussite d'un projet de REUT peuvent être répartis en cinq catégories :

- Ressources alternatives ;
- Conservation et préservation des ressources déjà existantes ;
- Développement durable ;
- Valeur économique ;
- Valeur environnementale.

Le développement de cette partie a été fait en Annexe 4 : Réutilisation des eaux usées traitées au Maroc.

2^{ème} PARTIE : METHODOLOGIE DE TRAVAIL



CHAPITRE IV : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

I. Situation géographique

La commune de Tinghir est située dans la région du Drâa-Tafilalet et dans la vallée de Toudgha qui s'étend sur 30 km. La ville traversée par la RN10 se trouve à 170 km de la ville d'Ouarzazate et à 130 km de la ville d'Errachidia.

La commune de Tinghir est le siège de la Province de Tinghir. Sa population prévue en 2020 par l'ONEE est 45850 hab en tenant en compte d'un taux d'accroissement de 1,45%.

La commune de Tinghir a pour coordonnées Lambert moyens :

- X = 486200 ;
- Y = 103200 ;
- Z = 1250 m.

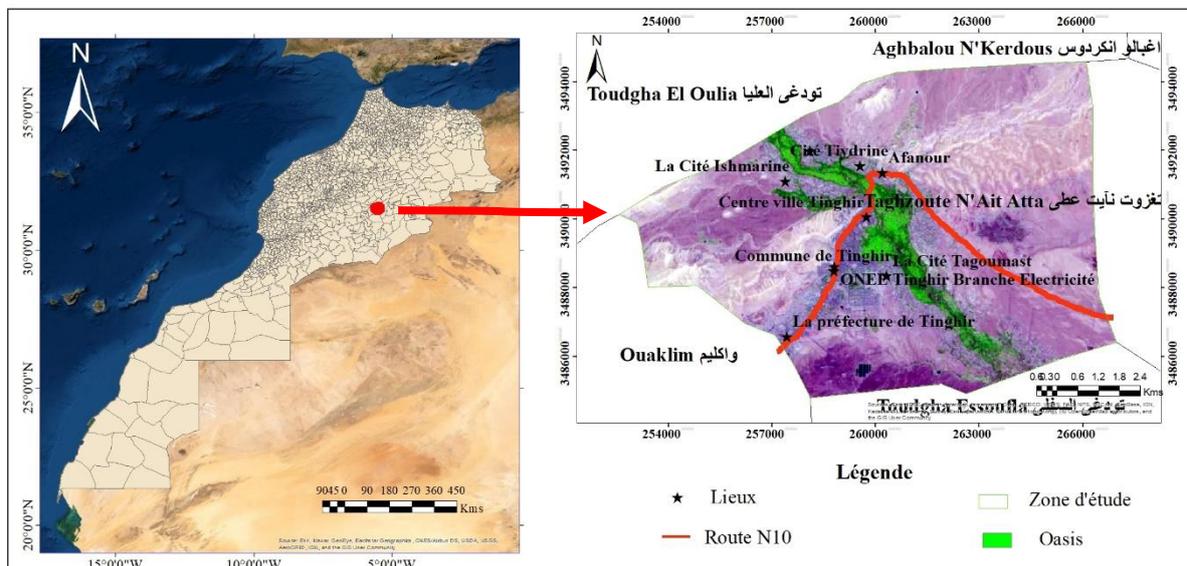


Figure 3 : Présentation de la commune de Tinghir

II. Climatologie

II.1. Climat

Le Climat de la commune de Tinghir est aride.

II.2. Températures

Les températures mensuelles de la commune de Tinghir enregistrées par la Station de Ait Ojana sont représentées dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Températures maximales, minimales et mensuelles moyennes de la commune de Tinghir

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
T max, en °C	13,9	15,5	19,7	23,8	27,3	32,2	35,7	34,3	29,4	24	17,8	14,3
T min, en °C	0,6	1,8	5,5	9,7	13,7	18	21,3	20,7	16,4	11,7	5,3	2
T moy, en °C	7,1	8,8	13	17,3	21,1	25,9	29,3	28,1	23,3	18,1	11,6	8

Source : Climate-Data.Org (de 1991 à 2021) (sur <https://fr.climate-data.org/afrique/maroc/tinerhir/tinerhir-10845/#climate-table>)

Nous observons que le mois le plus froid est le mois de Janvier avec une température de 0,6 °C et le mois le plus chaud est le mois de Juillet avec une température de 35,7 °C.

II.3. Précipitations

La Figure 4 représente les précipitations mensuelles moyennes de la commune de Tinghir enregistrées par la Station de Ait Ojana.

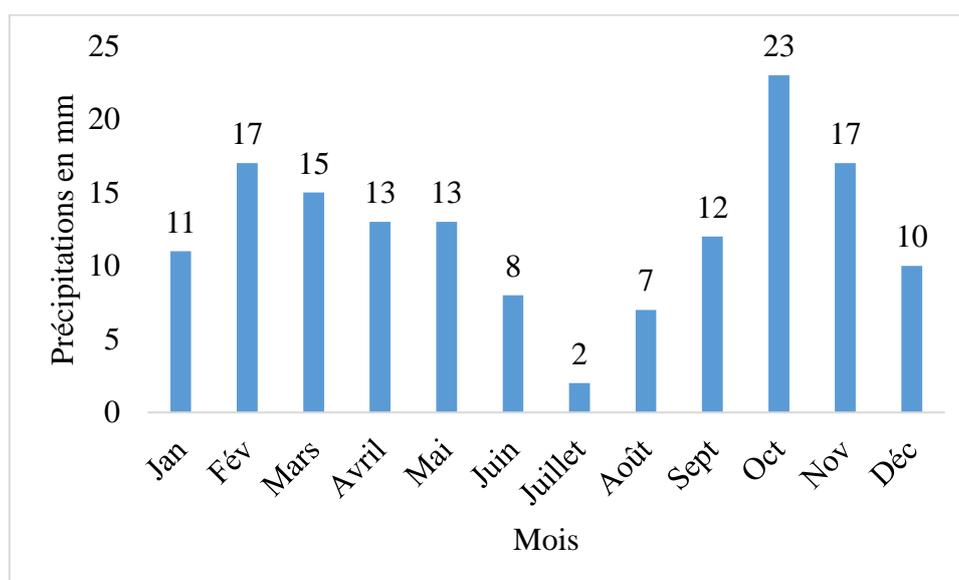


Figure 4 : Précipitations mensuelles moyennes de la commune Tinghir

Source : Climate-Data.Org (de 1991 à 2021) (sur <https://fr.climate-data.org/afrique/maroc/tinerhir/tinerhir-10845/#climate-table>)

Nous observons que le mois ayant le plus de précipitations est le mois d'Octobre avec 23 mm et le mois ayant le moins de précipitations est le mois de Juillet avec 2 mm.

En sommant les précipitations mensuelles moyennes, nous obtenons des précipitations annuelles moyennes de 148 mm.

III. Hydrologie

L'oasis de la commune de Tinghir est alimentée par l'oued Toudgha. L'oued Toudgha draine le BV de Toudgha dont il est le principal constituant.

L'oued Toudgha est un oued pérenne avec des débits réguliers au cours de l'année. C'est en automne qu'il y'a le maximum d'apport en eau.

La station hydrologique de Ait Boujane est la seule station existante du BV de Toudgha. Elle contrôle une superficie de 655 km².

Sur une moyenne de 30 ans, le débit moyen de l'oued Toudgha à Ait Boujane est 0,85 m³/s ce qui fait environ 27 Mm³/an.

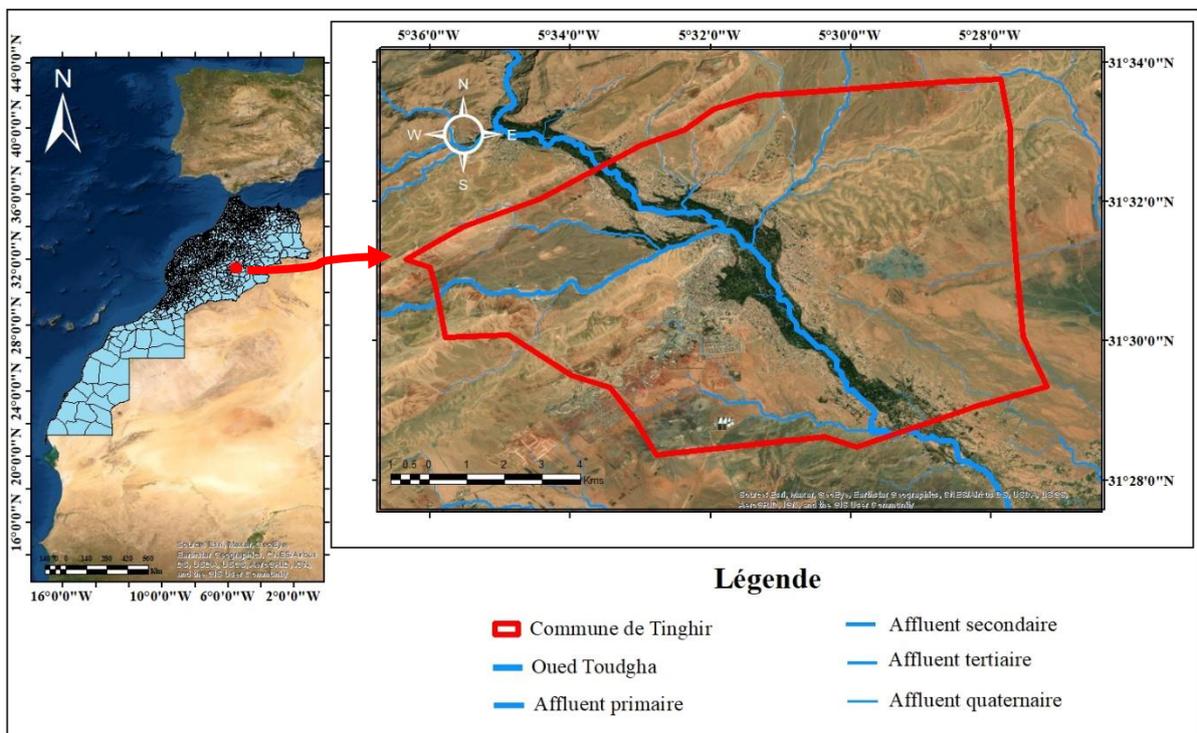


Figure 5 : Hydrographie de la commune de Tinghir

IV. Hydrogéologie

La nappe de Toudgha d'origine quaternaire s'étend sur une superficie de 100 km². Elle est située aux abords de l'oued Toudgha. Selon l'ONEE (2019) la nappe de Toudgha a une épaisseur moyenne de 20 m variant entre 12 m et 31 m.

L'alimentation de la nappe de Toudgha se fait entre autres par l'infiltration des eaux de l'oued Toudgha, la percolation des eaux d'irrigation. La production de la nappe varie entre 1 l/s et 25 l/s (ONEE, 2019).

La salinité des eaux est comprise entre 0,7 g/l et 2,1 g/l en amont plus précisément à Afanour et elle est comprise entre 1,5 l/s et à plus de 2,5 l/s en aval (ONEE, 2019).

D'après l'ONEE (2019) la nappe quaternaire de Toudgha ayant un niveau piézométrique par rapport au sol se situant entre 1 m et 21 m est composée d'éléments détritiques hétérogènes allant d'argiles et des silts jusqu'aux alluvions et aux galets, et en aval de conglomérats. Le substratum de la nappe est composé :

- Au nord de calcaires du jurassique ;
- Au centre de sables de l'infra-cénomaniens ;
- Au sud de schistes du primaire.

V. Agriculture

La commune rurale de Tinghir avait une population rurale de 12044 hab dont 1490 agriculteurs en 2018. Sa superficie totale est 4100 ha avec une SAU de 480 ha qui est constituée uniquement d'oasis et de Petites et Moyennes Hydrauliques.

La presque totalité des périmètres sont irrigués par gravitaire. L'eau d'irrigation provient de l'oued Toudgha et/ou des puits. L'eau de l'oued Toudgha est utilisée par tour d'eau de l'amont à l'aval par les 32 douars de la commune rurale. Chaque douar a un nombre défini de jours d'utilisation de l'eau de l'oued connu par tous.

Les différentes cultures irriguées sont : **le blé dur, le blé tendre, l'orge, le maïs, la luzerne, la fève, le petit pois, l'olivier, l'amandier, le palmier dattier, la vigne, le prunier, le nectarinier, le figuier, le grenadier, le pêcher, le cognassier.**

L'élevage a également son importance dans l'économie de la commune. D'après les données de l'ORMVAO en 2018 le cheptel était composé comme suit :

- Bovins : 1057 ;
- Ovins : 823 ;
- Caprins : 168 ;
- Equins : 514 ;
- Ruches : 400.

VI. Alimentation en eau potable

L'AEP de la commune de Tinghir se fait via cinq stations de pompage : trois forages dont un est non exploité cette année et deux puits. Le seul traitement que subissent les eaux pompées avant distribution est la désinfection par chloration.

Le stockage des eaux pompées se fait à l'aide de six réservoirs placés à différents étages de pression :

- Etage bas : 3 réservoirs de capacité totale 2475 m³ ;
- Etage haut : 1 réservoir de capacité totale 750 m³ ;
- Etage sup haut : 2 réservoirs de capacité totale 750 m³.

La distribution se fait sur un réseau de 195 km à l'aide de plusieurs conduites de diamètre différent. La plus grande conduite est une conduite en PVC de diamètre 400 mm. La plus petite conduite est une conduite en PEHD de diamètre 50 mm.

La commune de Tinghir n'a jamais été alimentée par un barrage. Des études sont menées par le bureau d'étude ADI afin d'alimenter la commune de Tinghir à partir du barrage Toudgha en construction.

VII. Assainissement

Le réseau d'assainissement de la commune de Tinghir est séparatif sauf le Pôle Urbain de Tinghir qui a un réseau unitaire à cause de l'ancienne société ALOMRANE qui gérait l'assainissement avant de céder cette mission à l'ONEE-Branche Eau.

Il existe six stations de refoulement mais seul la SR6 est opérationnelle. La SR6 est la station qui pompe toutes les EUD de la commune Tinghir vers la STEP de Tinghir.

La seule source de pollution des ressources en eau se fait à partir des EUD via le réseau d'assainissement ou les puits perdus.

La gestion des déchets solides revient à la commune de Tinghir. En 2020, elle avait en sa disposition 3 bennes tasseuses de 14 T, 1 mini benne tasseuse de 7 T, 3 pickups de 1,5 m³, 2 camions bennes, 1 tractopelle. La collecte se fait de porte à porte et par bacs à ordures. La fréquence de collecte est : 2 fois par jour pour le centre-ville et avenues, 1 fois par jour pour les quartiers de densité moyenne et 2 fois tous les 7 jours pour les quartiers de densité faible. Tous les déchets sont acheminés vers une décharge sauvage de 100 ha.

VIII. Evolutions futures sur la commune de Tinghir

En 2019, l'ONEE a mené des études sur les évolutions futures que connaîtra la commune de Tinghir. Ces études concernent la consommation en eau potable (Annexe 5 Tableau 26), la production d'eau usée (Annexe 5 Tableau 27) et les charges polluantes (Annexe 5 Tableau 28).

CHAPITRE V : OUTILS ET METHODOLOGIE DE TRAVAIL

I. Outils de travail

I.1. Outils techniques

Les différents outils utilisés pour collecter les différentes données sur le terrain sont :

- Les entretiens avec les différents acteurs : ABH, Agriculteurs, ANDZOA, Commune, ONEE-Branche Eau, ORMVAO ;
- La documentation ;
- Les questionnaires adressés aux différents acteurs : ABH GZR (Annexe 6.1), Agriculteurs (Annexe 6.2), ANDZOA (Annexe 6.3), Commune (Annexe 6.4), ONEE-Branche Eau (Annexe 6.5), ORMVAO (Annexe 6.6) ;
- Les visites de prospection sur le terrain.

I.2. Outils informatiques et d'ingénierie

Afin de mieux recueillir, traiter, analyser et interpréter les différentes données, nous avons utilisés différents outils qui sont :

- ArcMap 10.8 pour la cartographie ;
- Google Earth Pro pour repérer et placer différents points d'une zone et délimiter une zone ;
- Microsoft Excel 19 pour recueillir, analyser et interpréter les données collectées lors de nos enquêtes et pour faire les différents calculs de dimensionnement ;
- USGS pour télécharger et exporter le MNT de la zone d'étude.

II. Méthodologie de travail

Notre travail comporte trois étapes principales : le travail cartographique, le travail sur le terrain et analyse et résultat.

II.1. Travail cartographique

Cette étape nous a permis de tracer différentes cartes utiles pour le bon déroulement de notre travail. Les logiciels utilisés sont Google Earth Pro[®] et ArcMap[®]. Google Earth Pro[®] nous a permis de localiser différents points et de délimiter les zones dont nous avons besoin. Ces points et limites ont été exportés sur ArcMap[®] afin de tracer différentes cartes. Les cartes tracées sur ArcMap[®] sont celles de :

- La présentation de la commune de Tinghir ;
- L'hydrographie de la commune de Tinghir ;
- L'aménagement projeté de la commune de Tinghir.

Nous avons également utilisé le site de l'USGS¹ afin de télécharger le MNT de la zone d'étude afin de tracer la carte hydrographique.

II.2. Travail sur le terrain

Cette étape a été dédiée aux entretiens avec les différents acteurs intervenant dans un projet de REUT. Tous les questionnaires utilisés sont mentionnés en Annexe 6.

Elle s'est déroulée en 2 phases :

- **Première phase du 11 Avril au 25 Avril 2022** : elle a été consacrée à la collecte des données auprès de l'ABH GZR (Errachidia), de l'ONEE-Branche Eau (Tinghir et Errachidia), de l'ORMVAO (Ouarzazate). Nous avons également mené une visite de prospection à la STEP de Tinghir. Cette phase nous a également permis de faire le point sur la situation de la STEP de Tinghir ;
- **Deuxième phase du 30 Mai au 11 Juin 2022** : elle a été consacrée à la collecte des données auprès de 35 agriculteurs choisis aléatoirement dans 3 douars (Ait M'hamed, Ait Iaala, Amzaouro), de l'ANDZOA (Erfoud), de la Commune (Tinghir) et aux visites de prospection du périmètre irrigué.

Tableau 2 : Répartition des 35 agriculteurs enquêtés par douar

Douars	Nombre d'agriculteurs
Ait M'hamed	16
Ait Iaala	10
Amzaouro	9

II.3. Analyse et Résultat

Cette étape a consisté au traitement et à l'interprétation des données collectées afin d'élaborer le scénario de REUT le plus optimal et le traitement complémentaire le mieux adapté. Par ailleurs, c'est lors de cette étape que nous avons fait les différents dimensionnements (traitement complémentaire, périmètre irrigable).

Méthode de calcul des besoins en eau

Pour le calcul du besoin en eau, il faut :

- Calculer l'ET0
Elle est généralement calculée par la méthode de BLANEY CRIDDLE qui se base sur le pourcentage d'heures diurnes, c'est la méthode la plus utilisée au Maroc malgré qu'elle donne des valeurs décadaires, vu le manque de données ce qui nous empêche

¹ <https://earthexplorer.usgs.gov/>

de travailler par la formule de PENMANN MONTEITH. Les formules de calcul sont les suivantes :

$$ET_0 = ((0.457 * t) + 8.128) * p * K_t \quad (1)$$

$$K_t = 0.031 * T_{moy} + 0.24 \quad (2)$$

Avec p : le pourcentage d'heures diurnes qui dépend de la latitude de la région et du mois considéré.

- Calcul des besoins nets

$$B_n = ET_c - P_e \quad (3)$$

$$ET_c = ET_0 * K_c \quad (4)$$

Avec Pe : Pluie efficace
Kc : Coefficient cultural.

- Calcul des besoins bruts

$$B_b = \frac{B_n}{E_a} \quad (5)$$

$$E_a = E_i * CU \quad (6)$$

Avec Ea : Efficience d'application de l'eau à la parcelle. En général au Maroc, il est pris autour de 70% ;

Ei : représente le rapport entre le volume moyen stocké dans la zone racinaire et le volume d'eau apporté ;

CU : représente le coefficient d'uniformité de l'arrosage.

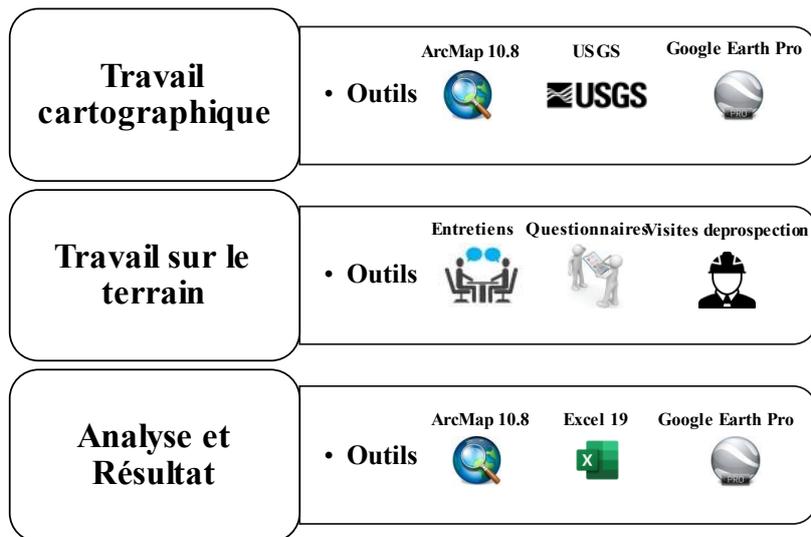


Figure 6 : Méthodologie et Outils

3^{ème} PARTIE : ANALYSE ET RESULTAT



CHAPITRE VI : STATION D'EPURATION DES EAUX POLLUEES DE TINGHIR

I. Présentation de la STEP

La commune de Tinghir bénéficie d'une STEP de type lagunage naturel où arrivent les EU collectées par le réseau d'assainissement de la commune. Elle est située à 3,3 km de la commune et s'étend sur une superficie de 20 ha. Ayant été mise en Septembre 2017, elle a un débit nominal de 2980 m³/j et le mode d'alimentation en EU se fait par pompage grâce à la station de pompage SR6.

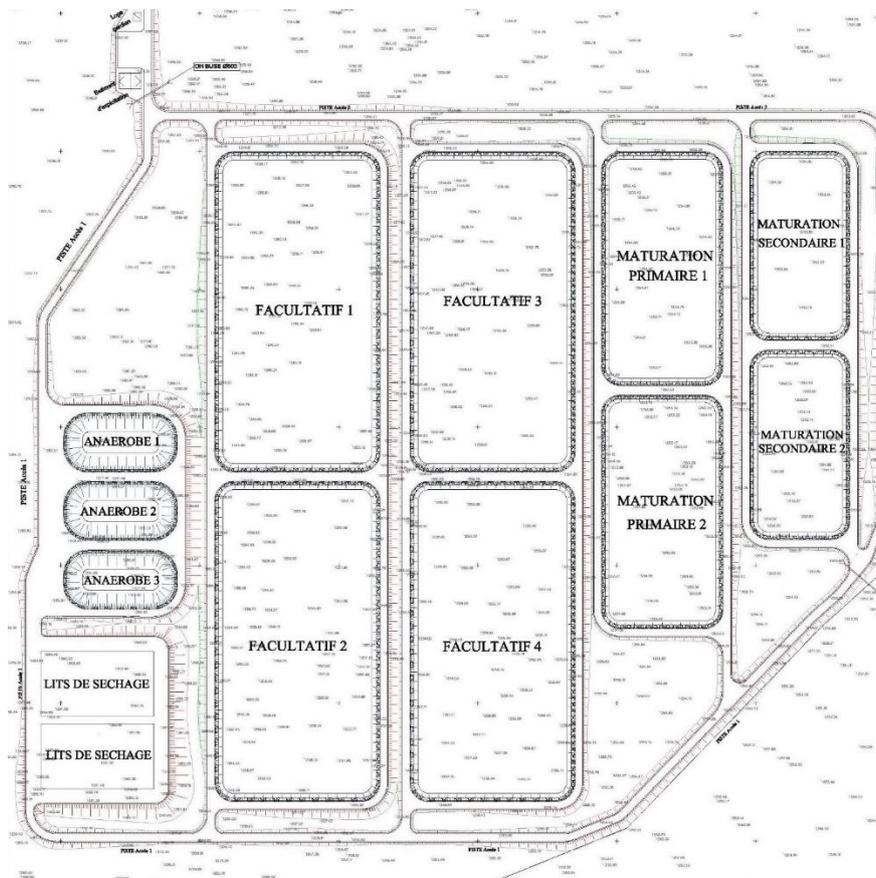


Figure 7 : Plan de la STEP

Source : ONEE (2019)

II. Description de la STEP

Les ouvrages d'épuration qui constituent la STEP se composent de :

- **Regard d'arrivée**

La conduite de refoulement de la SR6 s'arrête à la STEP au niveau du regard d'arrivée.



Figure 8 : Regard d'arrivée des EU

– **Dessableur**

Il est composé de 2 chenaux permet de retenir les sables. Au niveau du dessableur existe un batardeau qui permet de bloquer l'arrivée des EU.



Figure 9 : Dessableur

– **Répartiteur en aval du dessableur**

Il est composé de 3 canalisations permet de répartir équitablement les EU dans les 3 bassins anaérobies.



Figure 10 : Répartiteur entre les bassins anaérobies

– **3 bassins anaérobies**

Ils sont composés chacun de 2 entrées et 2 sorties. La profondeur des bassins est 4,5 m. Les dimensions au plan d'eau sont 58,60 x 29,30 m.



Figure 11 : Bassin anaérobie

– **Répartiteur en aval des bassins anaérobies**

Il est composé de 5 canalisations permet de répartir les eaux sorties des bassins anaérobies au niveau des 2 premiers bassins facultatifs (2 canalisations du répartiteur pour chacun bassin). La 3^{ème} canalisation au milieu du répartiteur refoule les eaux directement au niveau du regard de sortie des 2 premiers bassins facultatifs.



Figure 12 : Répartiteur entre bassins facultatifs

– **2 premiers bassins facultatifs**

Ils sont composés chacun de 2 entrées et 2 sorties. La profondeur des bassins est 1,2 m. Les dimensions au plan d'eau sont 170 x 85 m.



Figure 13 : Bassin facultatif à coloration verdâtre



Figure 14 : Bassin facultatif coloration rougeâtre

– **Regard de sortie en aval des 2 premiers bassins facultatifs**

Il recueille les eaux sorties des 2 premiers bassins facultatifs et les eaux refoulées par la 3^{ème} canalisation au milieu du répartiteur situé en aval des bassins anaérobies.

– **Répartiteur en aval des 2 premiers bassins facultatifs**

Il est composé de 5 canalisations permet de répartir les eaux sorties des bassins anaérobies au niveau des 2 derniers bassins facultatifs (2 canalisations du répartiteur pour chacun bassin). La 3^{ème} canalisation au milieu du répartiteur refoule les eaux directement au niveau du regard de sortie des 2 derniers bassins facultatifs.

– **2 derniers bassins facultatifs**

Ils sont composés chacun de 2 entrées et 2 sorties. La profondeur des bassins est 1,2 m. Les dimensions au plan d'eau sont 170 x 85 m.



Figure 15 : Bassin facultatif coloration verte



Figure 16 : Bassin facultatif coloration rougeâtre

– **Regard de sortie en aval des 2 derniers bassins facultatifs**

Il recueille les eaux sorties des 2 derniers bassins facultatifs et les eaux refoulées par la 3^{ème} canalisation au milieu du répartiteur situé en aval des 2 derniers bassins facultatifs.

– **Répartiteur en aval des 2 derniers bassins facultatifs**

Il est composé de 5 canalisations permet de répartir les eaux sorties des 2 derniers bassins facultatifs au niveau des 2 bassins de maturation primaire (2 canalisations du répartiteur pour chacun bassin). La 3^{ème} canalisation au milieu du répartiteur refoule les eaux directement au niveau du regard de sortie des 2 bassins de maturation primaire.



Figure 17 : Répartiteur entre les bassins de maturation

– **2 bassins de maturation primaire**

Ils sont composés chacun de 2 entrées et 2 sorties. La profondeur des bassins est 1 m. Les dimensions au plan d'eau sont 123 x 62 m.



Figure 18 : Bassin de maturation primaire verdâtre



Figure 19 : Bassin de maturation primaire rougeâtre

– **Regard de sortie en aval des 2 bassins de maturation primaire**

Il recueille les eaux sorties des 2 bassins de maturation primaire et les eaux refoulées par la 3^{ème} canalisation au milieu du répartiteur situé en aval des 2 derniers bassins facultatifs.

– **Répartiteur en aval des 2 bassins de maturation primaire**

Il est composé de 5 canalisations permet de répartir les eaux sorties des 2 bassins de maturation primaire au niveau des 2 bassins de maturation secondaire (2 canalisations du répartiteur pour chacun bassin). La 3^{ème} canalisation au milieu du répartiteur refoule les eaux directement au niveau du regard de sortie des 2 bassins de maturation secondaire.

– **2 bassins de maturation secondaire**

Ils sont composés chacun de 2 entrées et 2 sorties. La profondeur des bassins est 1m. Les dimensions au plan d'eau sont 98 x 69 m.



Figure 20 : Bassin de maturation secondaire verdâtre



Figure 21 : Bassin de maturation secondaire rougeâtre

– **Regard de sortie final en aval des 2 bassins maturation secondaire**

Il recueille les eaux sorties des 2 bassins de maturation secondaire et les eaux refoulées par la 3^{ème} canalisation au milieu du répartiteur situé en aval des 2 bassins de maturation primaire.

– **6 lits de séchage**

Avec évacuation du filtrat vers le point de collecte, permettent de rassembler les boues et débris. Dimensions 35 x 20 m chacun.



Figure 22 : Lits de séchage de la STEP

Tous les bassins sont recouverts de géomembrane pour assurer l'étanchéité. Le réseau de récollection des EUT est en PVC DN 400 mm.

Il existe également des ouvrages annexes de la STEP tels que :

- Un bâtiment d'exploitation (dimension 100 m²) qui sera utilisé comme laboratoire afin d'y effectuer des analyses ;



Figure 23 : Bâtiment d'exploitation de la STEP

- Une loge pour le gardien (dimension 20 m²) ;



Figure 24 : Local gardiennage de la STEP

- Un bâtiment de pompage des EUT afin d'irriguer les plantes de la STEP.



Figure 25 : Bâtiment de pompage de la STEP

III. Evaluation des performances de la STEP

III.1. Caractéristiques nominales de la STEP

Les données obtenues auprès de l'ONEE-Branche Eau Tinghir par rapport au dimensionnement de la STEP de Tinghir permettent d'avoir un visuel sur les capacités nominales de la STEP.

Tableau 3 : Caractéristiques nominales de la STEP de Tinghir

Caractéristiques	Valeurs	Unité
Débit moyen journalier	2980	m ³ /j
MES	2096	kg/j
DBO ₅	1467	kg/j
DCO	4192	kg/j

Source : ONEE (2019)

III.2. Etude des caractéristiques des eaux entrantes à la STEP

Les données obtenues auprès de l'ONEE-Branche Eau Tinghir permettent de couvrir une année complète de Février 2021 à Février 2022.

III.2.1. Evaluation quantitative des eaux entrantes dans la STEP

Les débits mesurés à l'entrée de la STEP de Février 2021 à Février 2022 sont représentés sur la Figure 26 qui montre également une comparaison entre les débits effectifs arrivant à la STEP et le débit nominal de la STEP.

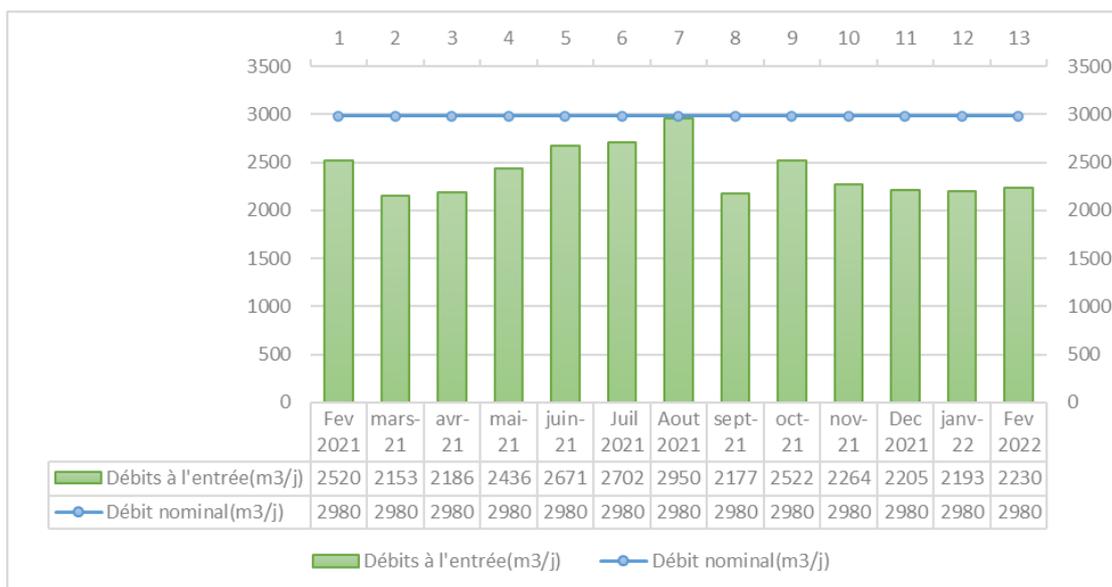


Figure 26 : Variation des débits entrants

Source : ONEE-Branche Eau Tinghir

Les débits enregistrés à l'entrée de la STEP durant la période de Février 2021 à Février 2022 montrent une variation de débit en allant du minimum observé en Mars 2021 (2153 m³/j) au maximum observé en Août 2021 (2950 m³/j).

Les données montrent également que le débit nominal n'est pas atteint ce qui implique que la STEP fonctionne en sous charge hydraulique, déficit variant entre 27% et 1%.

III.2.2. Evaluation qualitative des eaux entrantes de la STEP

Les analyses faites au niveau de la STEP de Février 2021 à Février 2022 ont été traitées et analysées afin d'en tirer une comparaison entre la qualité des eaux arrivant à la STEP et la qualité nominale pour laquelle la STEP a été conçue.

III.2.2.1. Evaluation de la charge polluante des eaux à l'entrée de la STEP

– Evaluation de la charge polluante en MES

Le graphe représenté dans la Figure 27 illustre les variations des charges polluantes des EU en MES pendant une année.

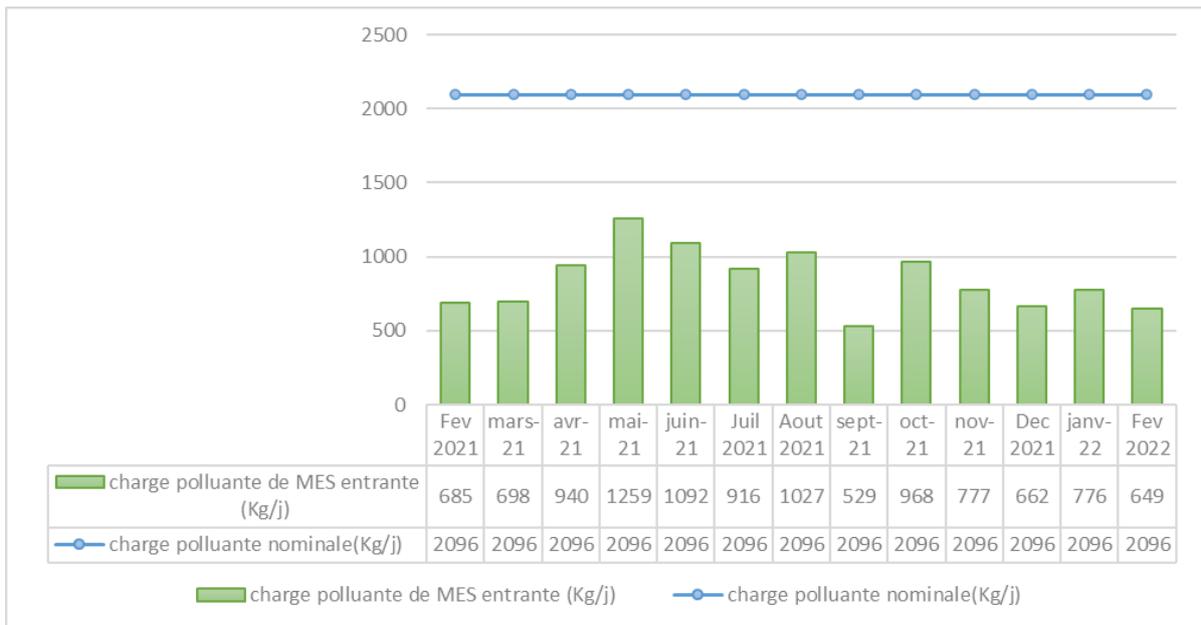


Figure 27 : Variation de la charge polluante en kg de MES/j

Source : ONEE-Branche Eau Tinghir

A l'entrée de la STEP, les eaux durant la période de Février 2021 à Février 2022 ont des charges polluantes variant du minimum en Septembre 2021 (529 kg de MES/j) au maximum observé en Mai 2021 (1259 kg de MES/j).

L'analyse des données permet de constater également qu'en aucune période durant, la charge nominale des MES n'a été atteinte.

– Evaluation de la charge polluante en DBO₅

Le graphe représenté dans la Figure 28 illustre les variations des charges polluantes des EU en DBO₅ pendant une année.



Figure 28 : Variation de la charge polluante des EU entrante en kg de DBO₅/j

Source : ONEE-Branche Eau Tinghir

Les charges polluantes entrant à la STEP pendant la période de Février 2021 à Février 2022 varient entre le minimum observé en Septembre 2021 (718 kg de DBO₅/j) et le maximum observé en Avril 2021 (1312 kg de DBO₅/j).

Ces charges sont toutes inférieures à la charge polluante de DBO₅ nominale de la STEP qui est de 1467 kg de DBO₅/j.

– Evaluation de la charge polluante en DCO

Le graphe représenté dans la Figure 29 illustre les variations des charges polluantes des EU en DCO pendant une année.

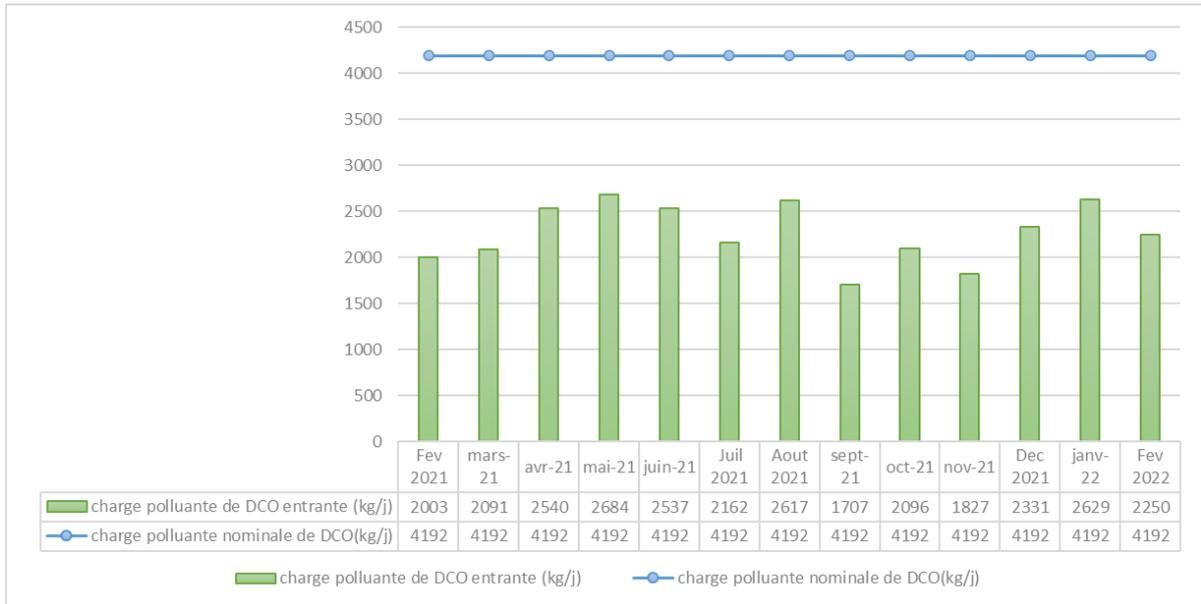


Figure 29 : Variation de la charge polluante en kg de DCO/j

Source : ONEE-Branche Eau Tinghir

Les charges polluantes entrant à la STEP pendant la période de Février 2021 à Février 2022 varient entre le minimum observé en Septembre 2021 (1707 kg de DCO/j) et le maximum observé en Mai 2021 (2684 kg de DCO/j).

Ces charges sont toutes inférieures à la charge polluante de DCO nominale de la STEP qui est de 4192 kg de DCO/j.

III.2.2.2. Evaluation de la concentration en pollution à l'entrée de la STEP

Pour l'évaluation de la qualité des eaux arrivant à la STEP, les valeurs habituelles des EEU marocaines sont utilisées.

Tableau 4 : Gammes habituelles des EEU marocaines

Paramètres	Gammes habituelles
MES totales (mg/l)	250-500
DBO ₅ brute (mg O ₂ /l)	200-400
DCO brute (mg O ₂ /l)	500-800
DCO/DBO ₅	2-2,5
MES/DBO ₅	1,2-1,5

Source : SDNAL (1998)

– **Evaluation de la concentration en MES**

Le graphe représenté dans la Figure 30 illustre les variations des concentrations des EU en MES pendant une année. Ces variations sont également comparées aux valeurs habituelles des EEU marocaines (Tableau 4).

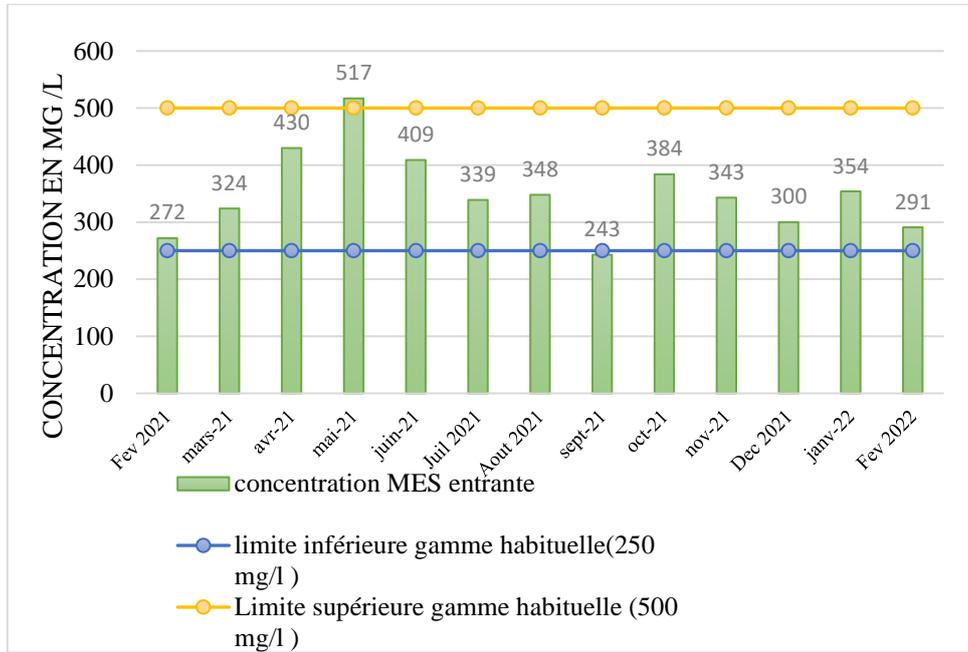


Figure 30 : Variation de la concentration des MES à l'entrée de la STEP

Source : ONEE-Branche Eau Tinghir

L'analyse des données montre que la concentration des MES varie durant l'année observée entre 243 mg/l en Septembre 2021 et 517 mg/l en Mai 2021.

En comparaison aux fourchettes de gammes habituelles des EEU marocaines (Tableau 4), 15% des valeurs sont hors fourchettes de la gamme habituelle (concentration supérieure à la limite en Mai 2021 avec 517 mg/l et concentration inférieure à la limite en Septembre 2021 avec 243 mg/l).

– **Evaluation de la concentration de DBO₅**

Le graphe représenté dans la Figure 31 illustre les variations des concentrations des EU en DBO₅ pendant une année. Ces variations sont également comparées aux valeurs habituelles des EEU marocaines (Tableau 4).

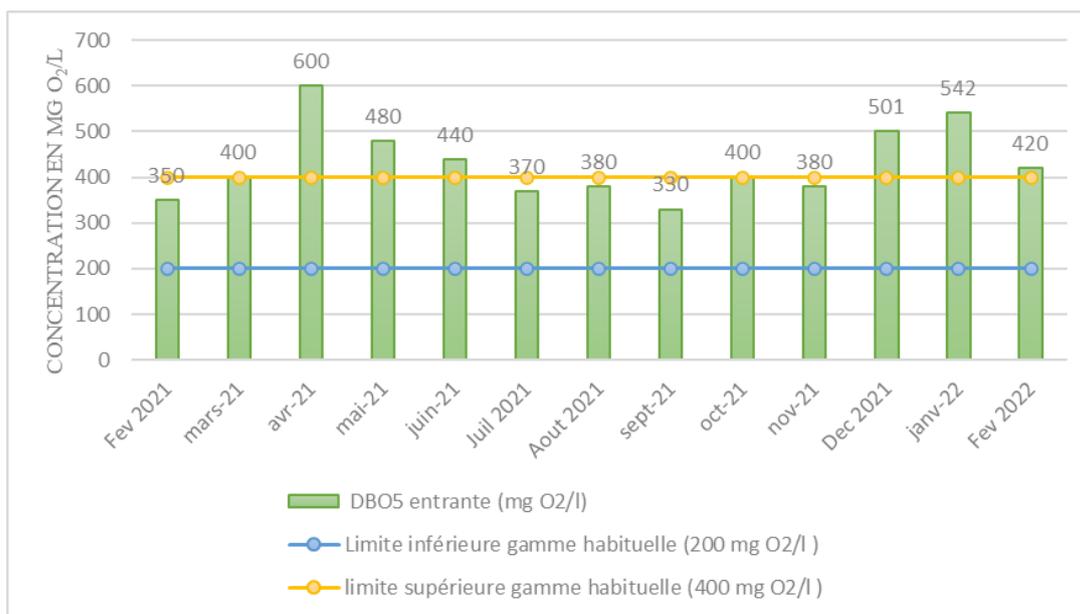


Figure 31 : Variation de la concentration de DBO₅ à l'entrée de la STEP

Source : ONEE-Branche Eau Tinghir

L'analyse des données montre que la concentration de DBO₅ varie durant l'année observée entre 330 mg O₂/l en Septembre 2021 et 600 mg O₂/l en Avril 2021.

En comparaison aux fourchettes de gammes habituelles des EEU marocaines (Tableau 4), 46% des valeurs sont hors fourchettes de la gamme habituelle (concentration supérieure à la limite observée en Avril 2021, Mai 2021, Juin 2021, Décembre 2021, Janvier 2022 et Février 2022).

– Evaluation de la concentration de DCO

Le graphe représenté dans la Figure 32 illustre les variations des concentrations des EU en DCO pendant une année. Ces variations sont également comparées aux valeurs habituelles des EEU marocaines (Tableau 4).

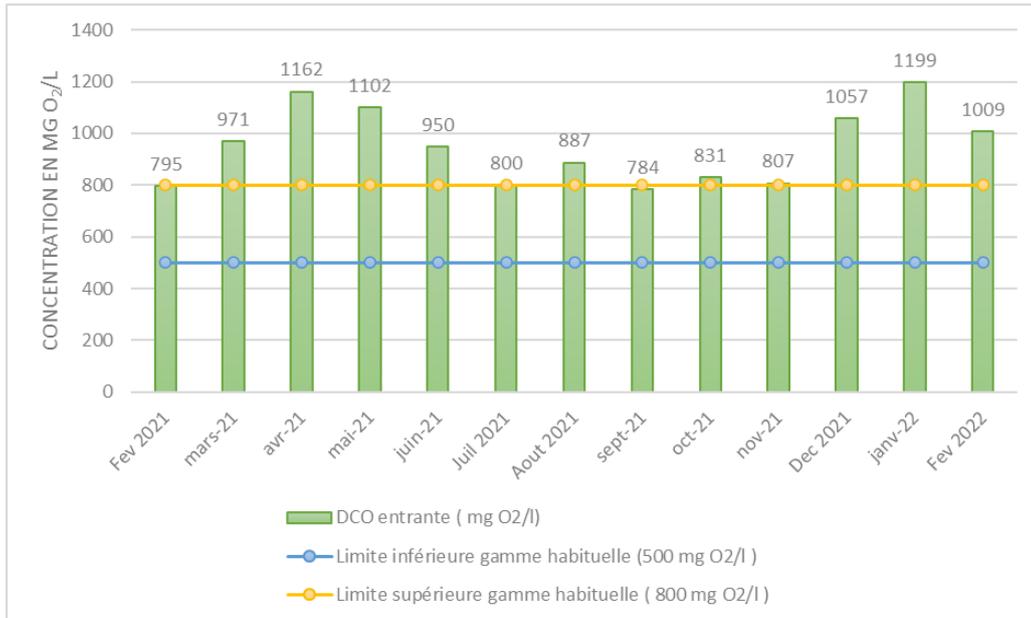


Figure 32 : Variation de la DCO à l'entrée de la STEP

Source : ONEE-Branche Eau Tinghir

L'analyse des données montre que la concentration de DCO varie durant l'année observée entre 784 mg O₂/l en Septembre 2021 et 1199 mg O₂/l en Janvier 2022.

En comparaison aux fourchettes de gammes habituelles des EEU marocaines (Tableau 4), 77% des valeurs sont hors fourchettes de la gamme habituelle (concentration supérieure à la limite observée en Mars 2021, Avril 2021, Mai 2021, Juin 2021, Août 2021, Octobre 2021, Novembre 2021, Décembre 2021, Janvier 2022 à Février 2022).

III.3. Etude des caractéristiques des eaux sortantes de la STEP

Les données obtenues auprès de l'ONEE-Branche Eau Tinghir permettent de couvrir une année complète de Février 2021 à Février 2022.

Cette étude a pour objectif d'analyser les caractéristiques de l'EUT ainsi que de les comparer aux valeurs limites spécifiques de rejet fixées par l'article 1 de l'arrêté n°1607-06 de Juillet 2006.

– Evaluation de la concentration de la concentration en MES

Le graphe représenté dans la Figure 33 illustre les variations des concentrations des MES des EUT pendant une année.

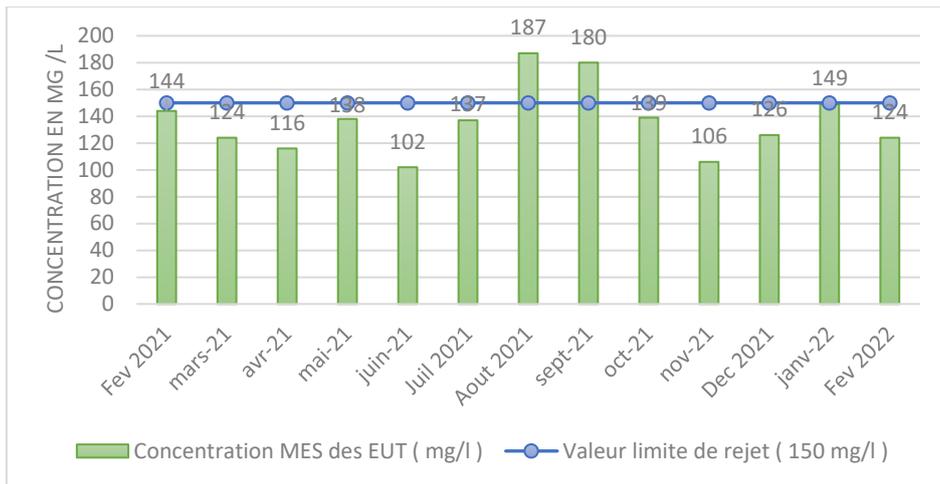


Figure 33 : Variation de la concentration des MES à la sortie de la STEP

Source : ONEE-Branche Eau Tinghir

L'analyse des données montre que la concentration des MES des EUT varie durant l'année observée entre 102 mg/l en Juin 2021 et 187 mg/l en Août 2021.

En comparaison aux valeurs limites spécifiques de rejet (150 mg/l), 15% des valeurs sont au-delà de la limite de rejet. Ce qui implique que durant les mois d'Août 2021 et de Septembre 2021, la STEP ne respecte pas les normes de rejet par rapport à la concentration des MES sortante.

– Evaluation de la concentration de DBO₅

Le graphe représenté dans la Figure 34 illustre les variations des concentrations des EUT en DBO₅ pendant une année.

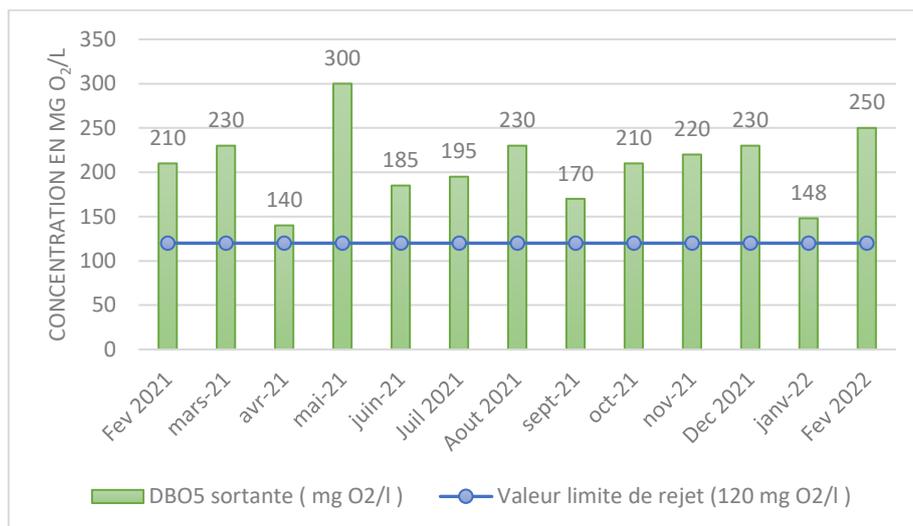


Figure 34 : Variation de la DBO₅ sortante de la STEP

Source : ONEE-Branche Eau Tinghir

L'analyse des données montre que la DBO₅ des EUT varie durant l'année observée entre 140 mg O₂/l en Avril 2021 et 300 mg O₂/l en Mai 2021.

En comparaison aux valeurs limites spécifiques de rejet (120 mg O₂ /l), 100% des valeurs sont au-delà de la limite de rejet. Ce qui implique que la STEP ne respecte pas les normes de rejet par rapport à la DBO₅ sortante.

– Evaluation de la concentration de DCO

Le graphe représenté dans la Figure 35 illustre les variations des concentrations des EUT en DCO pendant une année.

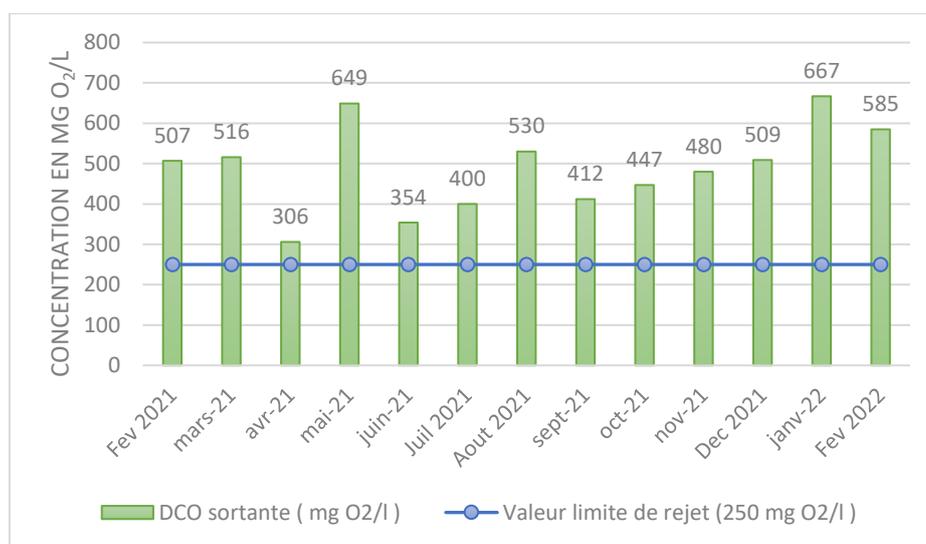


Figure 35 : Variation de DCO sortante de la STEP

Source : ONEE-Branche Eau Tinghir

L'analyse des données montre que la DCO des EUT varie durant l'année observée entre 306 mg O₂/l en Avril 2021 et 667 mg O₂/l en Mai 2021.

En comparaison aux valeurs limites spécifiques de rejet (250 mg O₂ /l), 100% des valeurs sont au-delà de la limite de rejet. Ce qui implique que la STEP ne respecte pas les normes de rejet par rapport à la DCO sortante.

– Evaluation de la concentration en oxygène dissous

Le graphe représenté dans la Figure 36 illustre les variations des concentrations en oxygène dissous pendant une année.

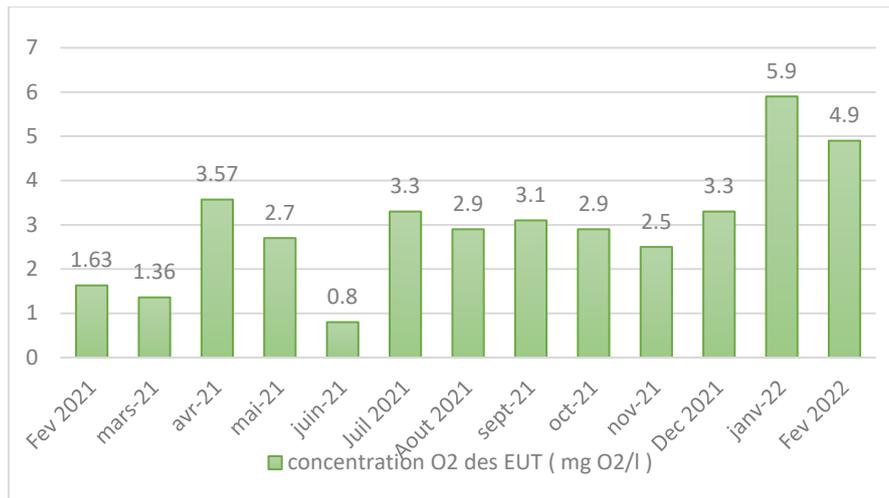


Figure 36 : Variation de la concentration en Oxygène dissous dans les EUT

Source : ONEE-Branche Eau Tinghir

L'analyse des données montre que l'oxygène dissous dans les EUT varie durant l'année observée entre 0,8 mg O₂/l en Juin 2021 et 5,9 mg O₂/l en Janvier 2022.

III.4.Rendement épuratoire de la STEP

Les graphes représentés dans les Figure 37, Figure 38, Figure 39 illustrent respectivement les variations des taux d'abattement des MES, de la DBO₅ et de la DCO pendant une année. Ces variations sont également comparées aux valeurs fixées par la Directive Européenne relative au traitement des eaux résiduaires de Mai 1991.

– Rendement épuratoire par rapport à la MES

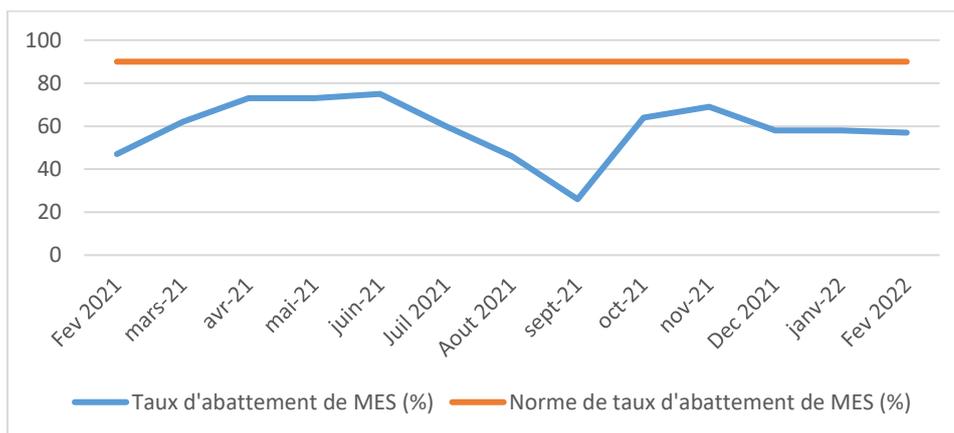


Figure 37 : Rendement épuratoire par rapport à la MES

Source : ONEE-Branche Eau Tinghir

L'analyse des données montre des taux d'abattement de l'ordre de 40%-75% avant de connaître une chute de rendement entre Juin 2021 et Septembre 2021 avec l'obtention d'un rendement minimum de 26%.

Le rendement nominal fixé par la Directive Européenne relative au traitement des EU (90%) n'a jamais été atteint. La baisse de rendement pendant Juillet 2021, Août 2021 et Septembre 2021 justifie les pics des MES sortantes observées pendant ces mois.

– **Rendement épuratoire par rapport à la DBO₅**

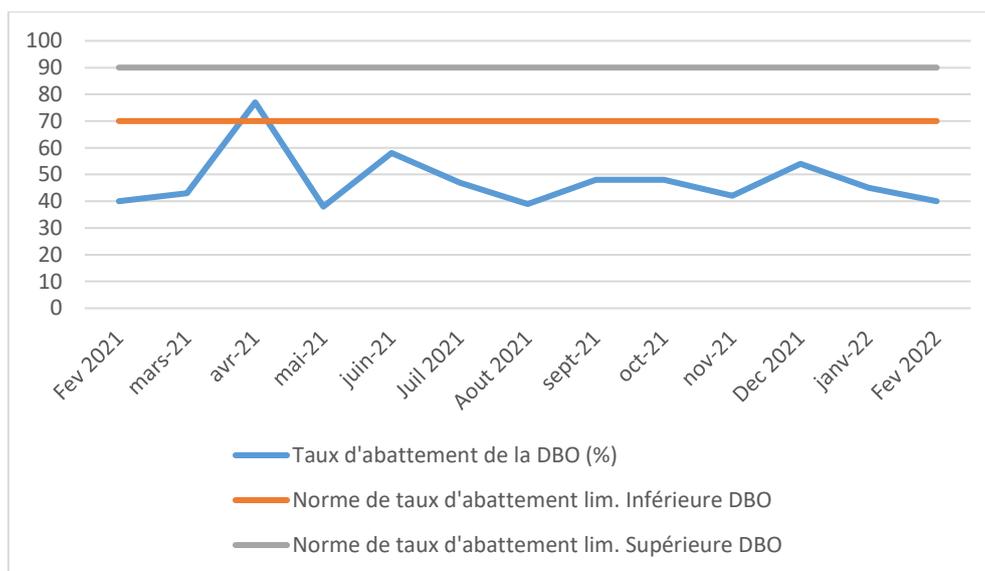


Figure 38 : Rendement épuratoire par rapport à la DBO₅

Source : ONEE-Branche Eau Tinghir

L'analyse des données montre des taux d'abattement variant en général entre 38% et 58%. De ce fait la STEP ne fonctionne pas la majeure partie de l'année avec les taux d'abattement requis (entre 70% et 90%). C'est durant le mois d'Avril 2021 que le taux d'abattement connaît une hausse jusqu'à 77%, largement dans la fourchette requise.

– **Rendement épuratoire par rapport à la DCO**

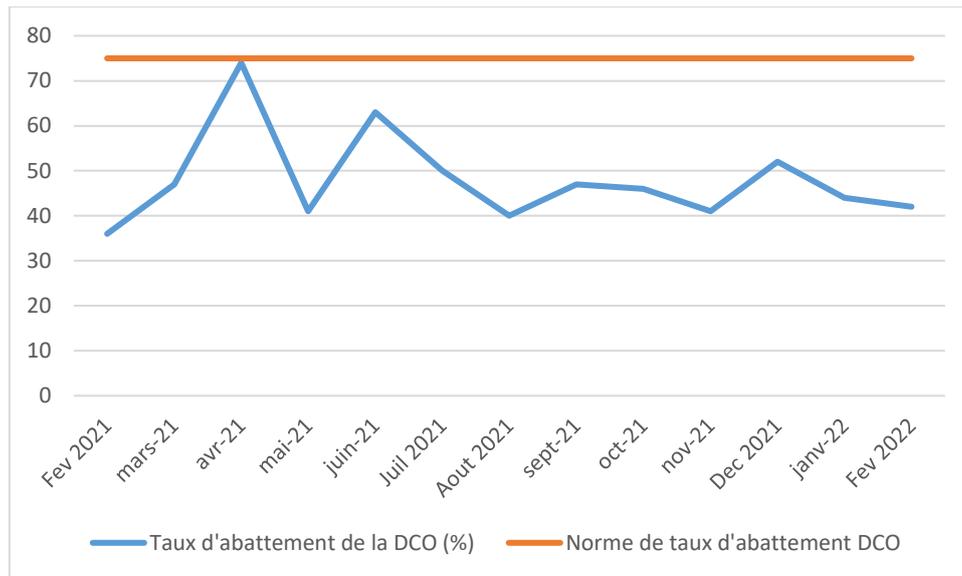


Figure 39 : Rendement épuratoire par rapport à la DCO

Source : ONEE-Branche Eau Tinghir

L'analyse des données montre des taux d'abattement variant en général entre 41% et 63%. De ce fait la STEP ne fonctionne pas avec les taux d'abattement requis (75%). C'est durant le mois d'Avril 2021 que le taux d'abattement connaît une hausse jusqu'à 75%, rendement recommandé par la Directive Européenne relative au traitement des EU.

III.5. Résultats de l'analyse des données sur la STEP

A travers l'analyse des données recueillies auprès de l'ONEE-Branche Eau Tinghir, nous sommes arrivés à la conclusion que les données des EUT montrent un dysfonctionnement de la STEP de Tinghir du fait qu'elle n'arrive pas à rejeter des eaux qui respectent les normes de rejet.

Il en découle que la qualité des EUT de la STEP ne répond pas aux normes de rejets.

III.6. Analyse du dysfonctionnement de la STEP

Lors de nos sorties sur terrains durant le mois d'Avril 2022, nous avons eu à énumérer un certain nombre de dysfonctionnements rencontrés dans la STEP de Tinghir. Trois grands points sont ressortis de nos observations : **l'apparence rougeâtre des plans d'eau de certains bassins, la disparition des algues et l'absence de curage des bassins.**

Le changement de couleur de certains bassins passant de la couleur verdâtre à la couleur rougeâtre peut avoir plusieurs causes et dans notre cas, un enchaînement de causes.

En général, les changements progressifs de couleur des lagunes peuvent avoir lieu à certaines périodes (pendant l'automne et le printemps). La surcharge organique ou la septicité des effluents à traiter peuvent en effet faire passer la couleur des bassins du vert au gris.

Pour le cas de la STEP de Tinghir, les plans d'eau ont viré à la couleur rougeâtre et cela peut être dû à plusieurs facteurs :

- Dans un premier temps, notre documentation sur le dimensionnement de la STEP, nous a permis d'observer sur la base de l'APS (Avant-Projet Sommaire) de l'étude d'assainissement de la ville de Tinghir de ONEE (2019), que les ouvrages ne respectent pas les temps de séjours requis qui assureraient un fonctionnement normal des bassins, nous étant basé les résultats des travaux de recherches de (AZARHOUN et TAOUILE, 2021). Il en découle le mauvais fonctionnement des bassins de traitement. C'est cela que le Tableau 5 met en exergue le point soulevé en indiquant les temps de séjours non respectés.

Tableau 5 : Vérification des temps de séjour au niveau des bassins de la STEP

Phase de traitement	Critère du fonctionnement normal du système dépuratif (valeur requise de temps de séjour)	Valeurs observées en 2019
Bassins anaérobies	$2 < t_s < 5$	$9,4 < t_s < 10,6$
Bassins facultatifs	$15 < t_s < 30$	$51 < t_s < 78,6$
Bassins de maturation primaire	$t_s = 3$	$11,1 < t_s < 18,8$

Source : ONEE (2019)

- Dans un second temps, le mauvais fonctionnement des bassins peut créer l'anaérobiose des couches inférieures dans les bassins entraînant la production de sulfure et favorisant ainsi le développement de cyanobactéries d'après RACAULT (1997).

CHAPITRE VII : EVALUATION DU POTENTIEL EN REUTILISATION DES EAUX USEES TRAITES DE LA STEP DE TINGHIR

Les EUT de la STEP de Tinghir offrent de nombreuses possibilités de valorisation. Cette valorisation peut passer entre autres par :

- L'utilisation des EUT pour les parcs, espaces verts, ceintures vertes et forêts ;
- L'utilisation des EUT pour l'agriculture ;
- L'utilisation des EUT pour la recharge de la nappe ;
- L'utilisation des EUT pour le soutien du débit d'étiage de l'oued Toudgha.

Lors de notre séjour sur terrain nous avons pu dresser une cartographie des acteurs impliqués dans des projets de REUT comme illustre la Figure 40.

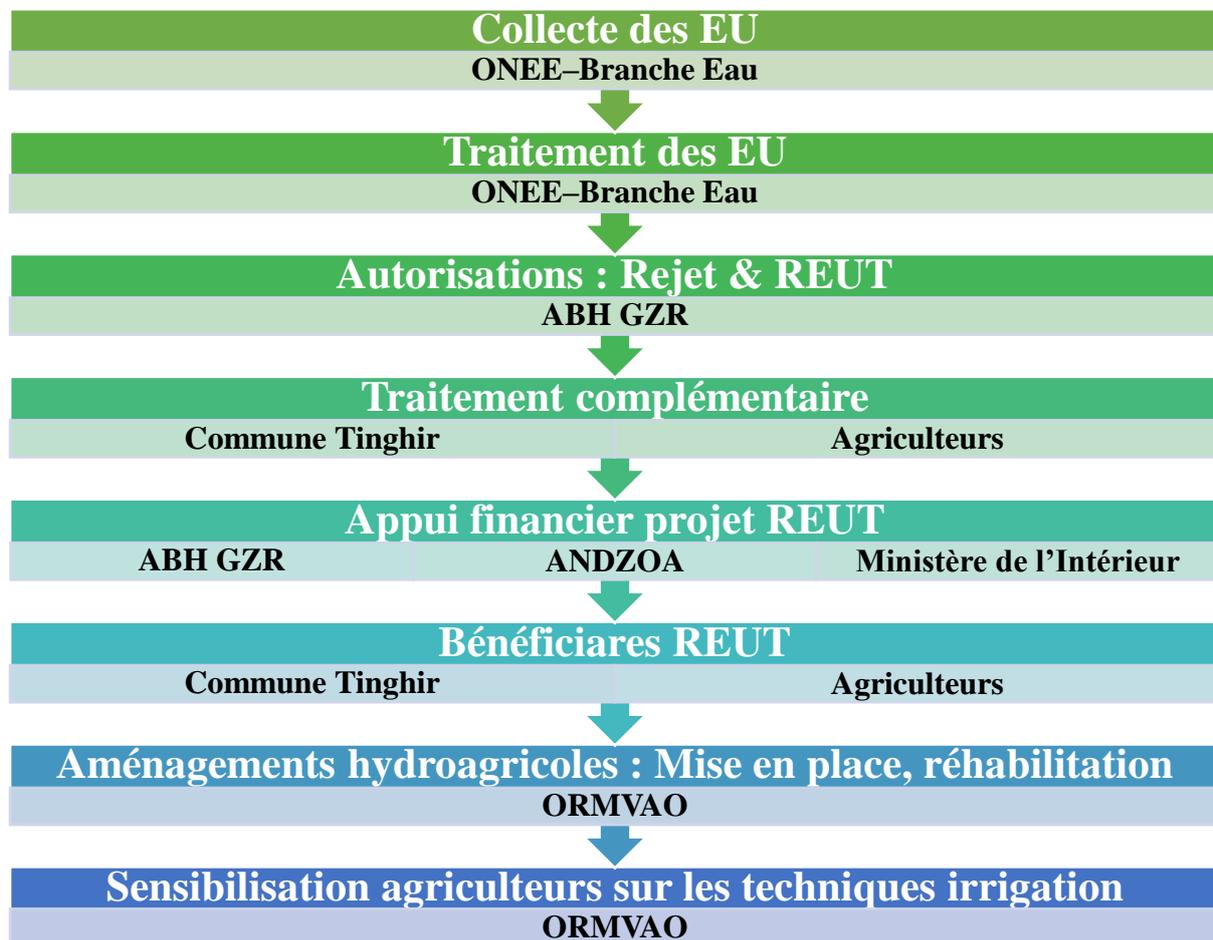


Figure 40 : Cartographie des Acteurs de la commune de Tinghir

La cartographie des acteurs est un outil qui sert à l'élaboration d'un projet de REUT durable, réaliste et réalisable. Cela permettra à chaque acteur de jouer pleinement son rôle dans le cadre de la réussite des projets de REUT.

I. Evaluation des ressources en EUT potentielles

Des résultats des enquêtes et de la documentation, une estimation de la quantité potentielle des EUT a été déterminée et développée au niveau de la Figure 41.

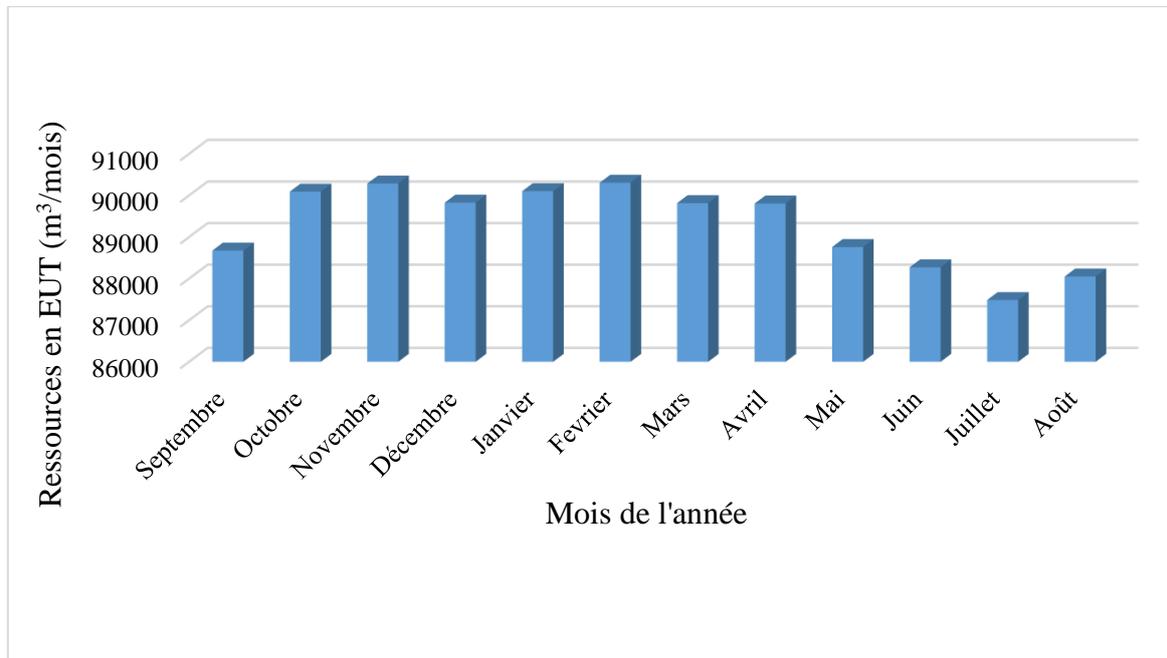


Figure 41 : Graphe représentant la disponibilité des EUT durant une année

Source : ONEE-Branche Eau Tinghir

Il est observé des fluctuations de la ressource en EUT pouvant aller de 90304 m³ en Février à 87484 m³ en Juillet avec **un volume annuel de 1,071Mm³**. Le constat est qu'il existe donc une quantité constante d'eau pouvant être utilisée au cours de l'année, autre que les précipitations.

Un autre constat est également visible : Au niveau de la Figure 41 les mois de Juillet et Août présentant les débits entrants les plus importants sont également les mois qui ont les quantités d'EUT mensuelles les plus faibles avec des ET0 pouvant aller jusqu'à 2137 m³.

II. REUT dans le cadre de l'espace paysager de la commune

Lors de nos rencontres avec les responsables de la commune de Tinghir, il est ressorti que la commune prévoit non seulement améliorer la qualité du traitement de la STEP, mais aussi l'utilisation de ces EUT. La commune prévoit de créer une ceinture verte autour de la STEP ainsi qu'une forêt et le tout sur une superficie 16 ha de ceinture autour de la STEP et une forêt de près de 14 ha.

La commune, malgré l'accroissement démographique important noté assure la fiabilité du plan d'aménagement projeté et des moyens dont elle dispose afin de mener à bien ce programme et de faire respecter les limitations projetées à travers l'implantation de panneaux et des éléments de délimitations (grilles, ...).

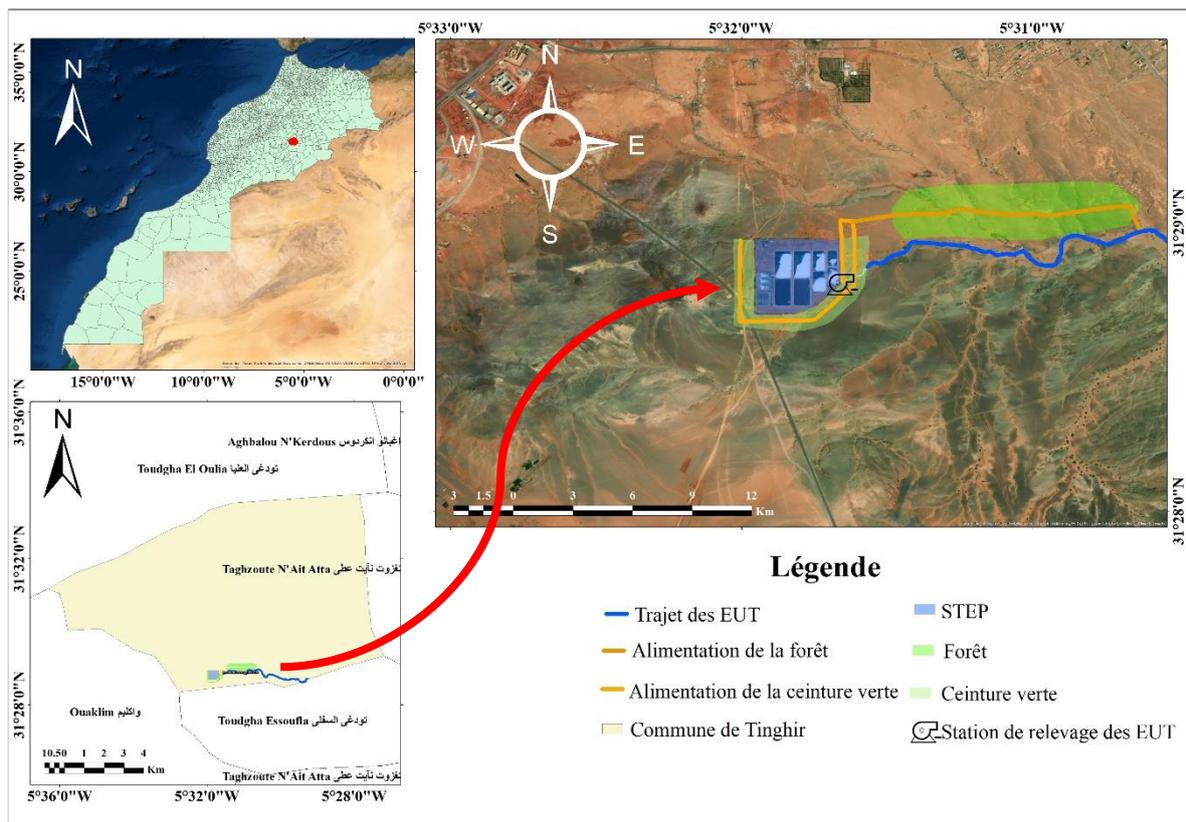


Figure 42 : Carte d'aménagement projeté de la commune de Tinghir

Les responsables de la commune conscients de la forte croissance démographique, et des risques de pression qui pourraient s'exercer sur les aires d'aménagement paysagers ont pris le soin à travers un plan projeté de la commune de s'assurer qu'à l'horizon 2050, les populations soient toujours éloignées de ces zones d'aménagement.

D'après les spécifications biologiques des normes de la qualité des eaux destinées à l'irrigation des espaces verts (Tableau 20), la forêt et la ceinture verte souhaitée appartiennent à la catégorie B. Cette catégorie d'espace vert est décrite au niveau de l'article 4 pour la délivrance des autorisations d'utilisation des EU conformément au décret susvisé n° 2-97-875 du 6 Chaoual 1418 (4 Février 1998).

La commune, dans l'élaboration de son plan d'aménagement n'a cependant pas déterminé l'espèce à utiliser dans la création de la ceinture verte et de la forêt. Dans le cadre du projet, nos recherches nous mènent vers la proposition de l'utilisation de mimosa. C'est une espèce à fort potentiel de production qui requiert peu d'entretien, appréciant les endroits ensoleillés et chauds mais surtout résistant à la sécheresse. Ce qui fait de lui une espèce adaptée au profil climatique de la zone de Tinghir.

Afin de déterminer les besoins en eau nous avons utilisé la méthode de BLANEY CRIDDLE.

De ce fait, le calcul des besoins liés à l'aménagement des paysages a donné les résultats consignés dans le Tableau 6.

Tableau 6 : Besoins en eau de l'aménagement paysager de la commune de Tinghir

Besoin en eau (Mimosa)													
	Sept	Oct	Nov	Déc	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Total
Besoin net (m ³ /ha)	467	202	79	77	55	60	164	233	433	608	822	697	3898
Besoin net 30 ha (m ³ /mois)	14013	6073	2369	2307	1653	1803	4916	7004	12994	18250	24668	20899	116951
Besoin brut 30 ha (m ³ /mois)	15481	6709	2617	2549	1826	1992	5432	7737	14356	20162	27252	23089	129203
Besoin brut (m ³ /j)	516	216	87	82	61	69	175	258	463	672	879	770	4249

III. REUT pour l'agriculture

Lors de nos entretiens avec les différents acteurs intervenant dans l'utilisation des EUT dans le domaine agricole à savoir l'ONEE-Branche Eau, la commune, l'ORMVAO et les agriculteurs il en est ressorti les possibilités et les contraintes liées à l'utilisation de ces eaux.

Dans un premier temps, de nos enquêtes sur 35 agriculteurs sont ressorties que la majorité des agriculteurs étaient favorables à l'utilisation des EUT comme l'illustre la Figure 44. D'un autre côté, la Figure 43 pointe le fait que beaucoup moins sont pour une tarification d'utilisation.

Cependant il serait judicieux de prendre le fort taux de 71% d'acceptabilité avec réserve car la tarification et l'établissement d'une grille tarifaire pourrait changer les taux d'acceptabilité et même de refus.

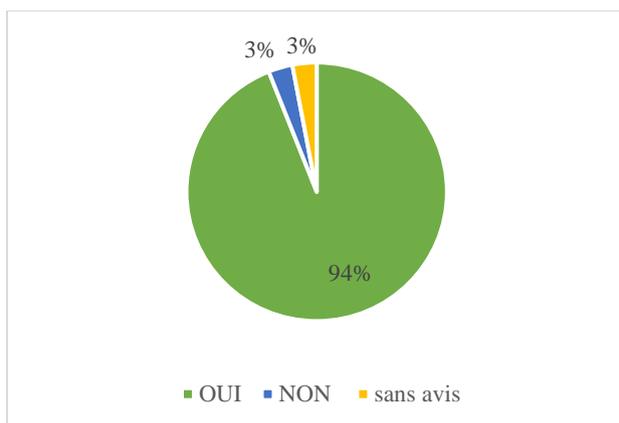


Figure 43 : Acceptabilité pour l'utilisation des EUT

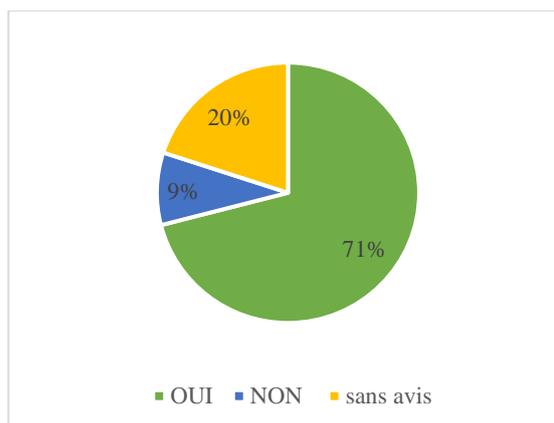


Figure 44 : Acceptabilité pour la tarification des EUT

Dans un second temps, de la documentation et des entretiens tenus à l'ORMVAO, il est ressorti la complexité et le fait qu'installer une irrigation localisée au niveau des oasis en aval de la STEP est impossible. De ce fait les EUT ne pourront être utilisées que par une irrigation de surface.

Au vu des différentes contraintes énoncées, les EUT seront utilisées pour des cultures de catégorie B préconisant une irrigation de surface ou localisée.

La commune ayant mis le projet d'aménagement d'une ceinture autour de la STEP et la forêt comme prioritaire, les ressources éventuellement restantes pourraient être utilisées à d'autres fins.

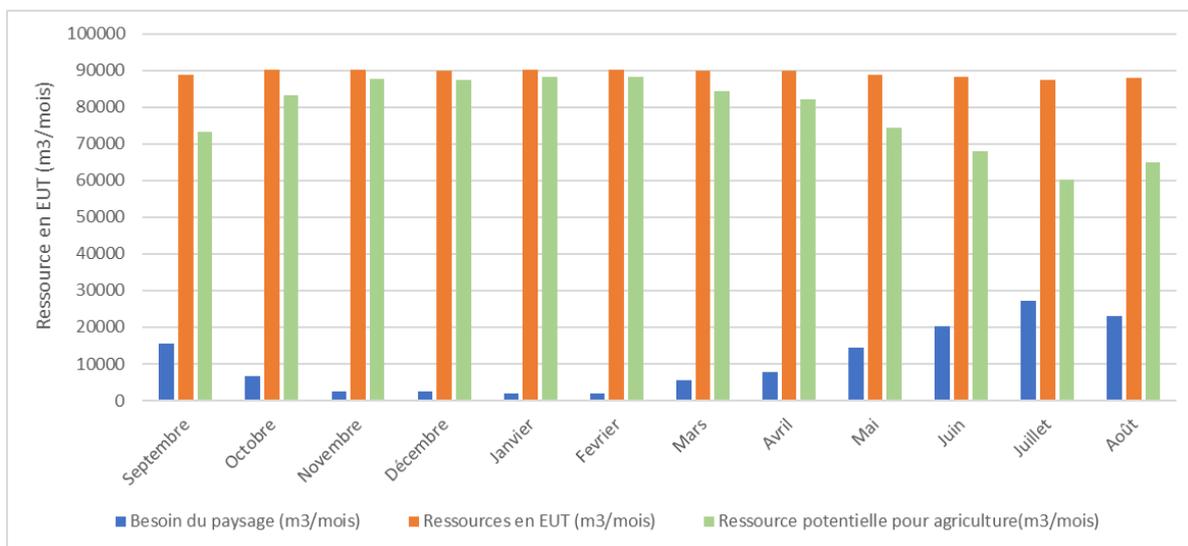


Figure 45 : Graphe montrant la disponibilité des ressources en REUT après affectation au besoin d'aménagement

La ressource en EUT satisfait largement les besoins pour l'aménagement paysager de la commune avec des variations de ressources restantes pouvant aller de 50000 m³ en Juillet à 80000 m³ en Janvier.

IV. REUT pour recharge de nappe et soutien de débit d'étiage de l'oued Toudgha

La REUT dans la recharge de la nappe a pour but principal de réapprovisionner la nappe Toudgha-Tinghir s'étalant sur environ 80 km² et s'écoulant dans le sens d'écoulement de l'oued Toudgha (du Nord-Ouest vers le Sud-Est) selon un gradient hydraulique variable, informations tirées des travaux de AZARHOUN et TAOUILE (2021).

Durant la campagne piézométrique de 2006, la mesure de la nappe Toudgha-Tinghir a en effet permis de mettre en exergue une exploitation intense de cette nappe. Depuis lors, les prélèvements semblent avoir considérablement augmentés.

Dans ses travaux sur le milieu physique et les ressources naturelles dans le bassin de Tinghir (oued Toudgha), EL HARRADJI (2000) souligne qu'en aval de Tinghir, la plaine alluviale repose sur une terrasse limono-sableuse récente. Cette formation limono-sableuse est le plus souvent sous des épaisseurs de plus d'1 m de sols argileux. Ces formations de sols sont propices à l'option de recharge de nappe par les EUT.

La REUT utilisée pour le soutien d'étiage de l'oued Toudgha est également une option dans la valorisation des EUT de la STEP de Tinghir. C'est également une option qui nécessite de maîtriser la caractérisation des EUT qui sortent de la STEP de Tinghir. La connaissance de la caractérisation des eaux issues de la STEP pourra permettre de prendre les mesures éventuelles afin d'éviter des contaminations éventuelles des nappes ou encore éviter des accumulations d'éléments toxiques dans les sols qui pourraient intoxiquer les végétaux, et des végétaux aux animaux et à l'Homme par transfert de toxicité.

CHAPITRE VIII : CHOIX ET CONCEPTION DES SCENARII DE REUTILISATION DES EAUX USEES TRAITES DE LA STEP DE TINGHIR

L'évaluation des performances que nous avons fait dans le CHAPITRE VI montre des rejets non conformes à la norme marocaine. Cependant, il est impératif de noter que durant les entretiens réalisés auprès de la commune de Tinghir et de l'ONEE-Branche Eau, les responsables ont soulevé le projet de transformation de la STEP durant la période 2022-2027. Il est prévu que la STEP passe du type lagunage naturel au type lagunage aéré.

Il existe de nombreuses possibilités d'utilisations de ces EUT :

- L'irrigation des espaces paysagers de la commune ;
- L'irrigation des oasis en aval de la STEP de Tinghir ;
- Le soutien du débit d'étiage de l'oued et la recharge de la nappe.

Dans ce présent chapitre, nous travaillerons à déterminer le choix du scénario optimal de la gestion des EUT de la STEP de Tinghir.

I. Choix du traitement complémentaire

De nos nombreux entretiens avec les différents acteurs intervenant dans la REUT de la STEP de Tinghir, il est ressorti que les facteurs pouvant influencer la mise en place d'un tel traitement sont la gestion et l'exploitation de tels infrastructures sans oublier le poids du coût d'exploitation et des analyses.

Lors de nos enquêtes, les données à notre disposition étaient des données qui vérifiaient les normes de rejet des EUT. Les données qui nous auraient été utiles dans le choix des technologies appropriées pour un éventuel traitement complémentaire étaient absentes. Il s'agit d'analyses sur les paramètres bactériologiques ainsi que des paramètres chimiques. Paramètres sans lesquels un choix de technologie n'est pas envisageable.

Conclusion : Faute de manque de données sur les paramètres bactériologiques, parasitologiques et chimiques des EUT rejetées par la STEP de Tinghir, notre étude ne pourra traiter du choix d'une technologie comme traitement complémentaire.

Par contre les EUT de la STEP de Tinghir peuvent faire l'objet d'une réutilisation dans le cadre l'aménagement paysager de la commune (à accès interdit) grâce à **l'approche barrières multiples**.

II. Potentiel des EUT pour l'agriculture en aval de la STEP de Tinghir

Nonobstant le fait qu'une technologie de traitement ne peut être proposée compte tenu de l'absence de caractérisation des EUT, force est de constater l'immense potentiel que constitue les EUT pour les oasis en aval de la STEP de Tinghir. C'est dans ce souci de valorisation de ces eaux que nous proposons dans ce paragraphe une évaluation et une estimation du potentiel des EUT pour l'agriculture.

La figure montre les ressources en EUT disponibles qui pourraient être utilisées pour l'agriculture. Les mois de Janvier et de Février sont considérés comme les plus importants côté apport avec près de 90000 m³/mois tandis que le mois de Juillet est le mois avec le moins d'apport annuel avec près de 60000 m³ le mois. Le potentiel total annuel pour l'agriculture, après satisfaction des besoins d'aménagement paysager de la commune, est d'environ **942259 m³/an.**

Le choix des cultures pour assolement ainsi que la technologie de traitement complémentaire sont fonctions des objectifs de traitement qui seront déterminés une fois la caractérisation de l'eau faite. De ce fait, la faisabilité de la réutilisation pour l'agriculture dans la zone oasienne en aval ferait éventuellement l'objet d'une étude ultérieure une fois les données acquises.

III. Scénario : Irrigation de la ceinture verte et de la forêt

Dans ce scénario on utilisera les ressources en EUT issues de la STEP dans le but d'irriguer la superficie d'aménagement de la commune.

III.1. Evaluation des besoins de l'aménagement paysager

Ayant les besoins en eau nécessaires pour satisfaire cette zone en irrigation calculés et indiqués dans le Tableau 6, les paramètres de dimensionnement peuvent être déterminés :

- Le débit fictif continu de pointe (dfcp) est connu comme le débit continu nécessaire à l'irrigation d'un hectare pendant le mois de pointe. Il est calculé par la formule :

$$dfcp(l/s/ha) = \frac{\text{Besoins en eau brut à la parcelle d'un hectare assolé}}{\text{Durée totale d'irrigation pendant le mois de pointe (DT)}} \quad (7)$$

- Le débit d'équipement qui est le débit avec lequel le dimensionnement des canaux et ouvrages de transport et de distribution sont faits. Il est calculé par la formule :

$$Q_e(l/s/ha) = \frac{dfcp}{E_r} \quad (8)$$

Avec E_r : Efficience de réseau généralement pris à 0,9 au Maroc.

Les résultats de l'analyse et de calculs de détermination des paramètres de dimensionnement sont consignés dans le Tableau 7 sur la base des besoins en eau mensuels Tableau 6.

Ce scénario et cette configuration nécessitera un pompage pour relever le niveau de l'eau par une petite station de relevage avec comme caractéristiques : un débit à débit de 120 m³/h et une hauteur manométrique totale de 23,83 m. Pour réduire le cout et éviter l'arrêt totale de pompe suite à une panne éventuelle de la pompe, nous proposerons 02 pompes centrifuges axiales de débit = 60 m³/h ayant des HMT de 23,83 m.

Tableau 7 : Résultats de détermination des paramètres de dimensionnement des ouvrages de distribution

Besoin net annuel Mimosa (mm/an)	390
Besoin brut annuel (m ³ /ha/an)	5569
Besoin brute de pointe(mm/j)	3,8
dfc (l/s/ha)	0,7
Débit équipé (l/s/ha)	1,06

III.2.Approche Multi barrières

En 2006, l’OMS, la FAO et le PNUE ont publié de nouvelles directives sur l’utilisation des EUT. Celles-ci encouragent l’utilisation d’une approche multi-barrière qui est relativement flexible et moins contraignante. La recherche de la flexibilité s’est basée sur la compréhension de la situation socio-économique des pays en développement et également sur le besoin urgent d’exploiter les EUT en zone aride.

Il ne s’agit pas cependant de compromettre la santé humaine mais plutôt de mettre en place un système de gestion des risques qui permettra l’utilisation des EUT sans danger pour la santé de l’Homme.

Ces nouvelles directives de l’OMS pour l’utilisation sans risques des EU en agriculture ont pour mission la mise en place d’un cadre harmonieux pour élaborer des recommandations et des normes afin d’éviter les dangers liés à l’utilisation de l’eau. Cela est rendu possible avec l’élaboration du cadre Stockholm (Annexe 3 : Utilisation des eaux usées en agriculture).

En somme deux principes sont préconisés par ces nouvelles lignes directrices :

- **Approche à barrières multiples** : qui cherche à réduire les risques sanitaires à toutes les composantes de la chaîne. Cette approche combine le traitement des EU, la restriction des cultures, les techniques d’irrigation, le contrôle de l’exposition aux EU ainsi que le lavage et la désinfection et la cuisson des produits ;
- **Principe de la DALY (Disability Adjusted Life Year)** : mesure du temps de vie perdu à cause de la maladie par rapport à un idéal de vie en bonne santé. Il quantifie les années perdues du fait d’une mort prématurée et celles vécues avec un handicap. L’OMS fixe pour objectif de respecter un seuil de risque de 10⁻⁶ DALY par personne et par an, pour la réutilisation des eaux usées traitées en irrigation directe.

Selon le rapport de l'AFD (2011) les DALY sont fortement dépendants des agents pathogènes et du mode de vie des populations. Ce qui fait que son utilisation est réduite d'après l'USAID (2013).

Les Directives OMS ont été élaborées autour de deux composantes :

➤ **La composante Santé :**

- Définit un niveau de protection sanitaire exprimé sous forme d'objectif lié à la santé pour chaque danger ;
- Identifie les mesures de protection sanitaire qui, appliquées seules ou collectivement, permettraient d'atteindre l'objectif lié à la santé fixé.

➤ **La composante Mise en œuvre :**

- Met en place des procédures de surveillance et d'évaluation du système ;
- Définit les responsabilités des institutions et des services de supervision ;
- Impose une documentation de l'état et du fonctionnement du système ;
- Impose la confirmation du bon fonctionnement du système par une surveillance indépendante.

III.2.1. Evaluation des risques sanitaires

On peut évaluer le risque associé à l'exposition humaine aux agents pathogènes présents dans les EU utilisées en agriculture à partir :

- De l'analyse microbienne qui est un processus important dans l'apport de données pour l'évaluation des risques. Elles rapportent les informations relatives aux types et aux nombres des différents agents pathogènes présents dans les EU. Ces données sont utilisées pour quantifier les risques. ;
- Des études épidémiologiques visent à évaluer les risques sanitaires liés à l'emploi des EU en comparant les niveaux de morbidité dans la population exposée avec ceux relevés dans une population non exposée ou témoin. Les enquêtes épidémiologiques sont difficiles à mettre en œuvre ;
- Des évaluations quantitatives des risques microbiens (QMRA) qui sont des méthodes d'évaluation des risques résultant de dangers spécifiques et de différentes voies d'exposition. C'est un outil sensible permettant d'estimer des risques qui seraient difficiles et coûteux à mesurer.

Généralement on ne dose pas directement les agents pathogènes dans les EU à cause de leurs concentrations variables et des méthodes analytiques difficiles ou coûteuses à mettre en œuvre. On utilise à la place des indicateurs de contamination fécale tels qu'*Escherichia coli* ou des coliformes thermotolérants comme indicateurs indirects d'agents pathogènes ayant des caractéristiques similaires et susceptibles d'être présents dans les EU.

En croisant les éléments du Tableau 14 et le Tableau 19, nous pouvons être en mesure de déterminer les risques sanitaires associés à l'utilisation des EU pour l'irrigation. Nous pouvons

ainsi déterminer les risques sanitaires associés à l'utilisation de eaux usées pour le groupe exposé que sont les travailleurs agricoles et leurs familles :

- **Infections par les helminthes :**
Risque élevé d'infection par les helminthes pour les adultes comme pour les enfants ;
Risque d'ankylostomiase pour les travailleurs ne portant pas de chaussures ;
Le risque d'infection par les helminthes persiste en particulier pour les enfants même au-dessous d'une concentration de 1 œuf d'helminthe par litre tandis que le risque pour les adultes n'augmente pas ;
- **Infections bactériennes/virales :**
Risque accru de maladie diarrhéique ;
Risque élevé d'infection par la Salmonella ;
Séropositivité élevée pour les norovirus pour les travailleurs exposés aux eaux partiellement traitées ;
- **Infections par des protozoaires :**
Risque d'infection à Giardia intestinalis signalé comme insignifiant en cas de contact avec des EUT ;
- **Plan environnemental :** l'utilisation des EUT ne respectant pas les bonnes pratiques de réutilisation peuvent détériorer la qualité des sols (FAO,2003) et impacter la santé humaine indirectement ;
- **Composés organiques biodégradables (DBO, DCO) :** dont l'excès peut conduire à l'épuisement de l'oxygène dissout présente dans les eaux ;
- **Nutriments (N, P, K) :** dont l'excès peut causer la contamination des nappes par les nitrates. Les éléments N et P déversés dans un milieu aquatique peuvent conduire à l'eutrophisation ;
- **Composés organiques stables (phénols, pesticides, etc.) :** parmi lesquels certains sont toxiques à l'environnement et s'accumulent dans les sols ;
- **Eléments traces métalliques :** dont la toxicité vis-à-vis de l'activité biologique du sol peuvent être transférer vers les végétaux et intoxiquer l'Homme et les animaux par les chaînes trophiques ;
- **pH :** pouvant influencer la solubilité des métaux, l'alcalinité et la structure des sols sans parler de la croissance des plantes ;
- **Eléments inorganiques dissous :** dont le poids total des sels dissous doit respecter les normes de réutilisation prévues par la norme marocaine.

III.2.2. Objectifs sanitaires et valeurs guides

Dans notre cas nous aurons à faire une irrigation restrictive à accès limitée juste aux travailleurs. Dans cette modalité, le risque concerne plutôt les agriculteurs ou travailleurs en contact direct avec les EUT. Pour cette modalité, l'OMS préconise un objectif de réduction correspondant à une réduction de 3 u.log pour une irrigation hautement mécanisée.

Pour E. Coli, et compte tenu d'une concentration dans les effluents bruts de 107 à 108 /100ml, ceci conduit à viser respectivement pour les deux situations 103-104 et 105-106 /100ml.

Pour les œufs d'helminthes la recommandation est de moins de 1 œuf par litre.

La STEP de Tinghir a une concentration des EUT nominale de $3,6 \times 10^2$ u/100ml pour les coliformes fécaux et 0 u/l pour les œufs d'helminthes. La STEP est donc capable de remplir les critères pour permettre de se retrouver dans la situation G de la Figure 46.

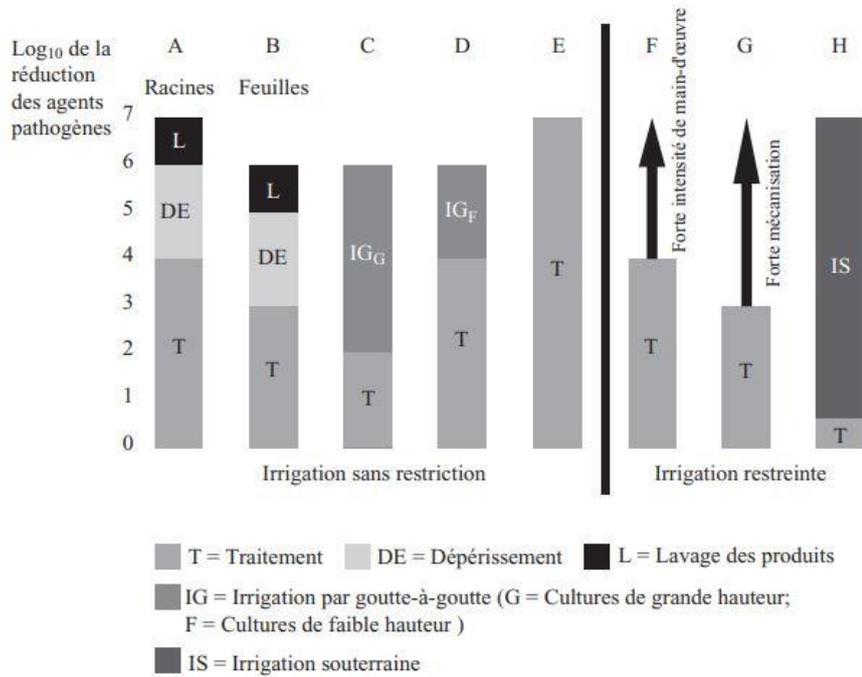


Figure 46 : Options pour la réduction des agents pathogènes viraux, bactériens et protozoaires par différentes combinaisons de mesures de protection sanitaire permettant de réaliser l'objectif lié à la santé de $\leq 10^{-6}$ DALY par personne et par an

Source : OMS (2012)

Nous pouvons donc sur la base des recommandations de l'OMS en 2006 pour la REUT, déterminer les objectifs sanitaires et valeurs guides (Tableau 8).

Tableau 8 : Recommandations de l’OMS pour la REUT

Scénario d'exposition	Cible sanitaire (en DALY/an/hab)	Qualité de l'eau Escherichia coli / 100ml d'eaux usées ou 100 g du sol)	Nombre d'œufs d'helminthe/litre
Irrigation non restrictive			
Laitue	$\leq 10^{-6}$	$10^3 - 10^4$	≤ 1
Oignon	$\leq 10^{-6}$	$10^3 - 10^4$	≤ 1
Irrigation restrictive			
Agriculture très mécanisée	$\leq 10^{-6}$	10^5	≤ 1
Agriculture intense en main d'œuvre	$\leq 10^{-6}$	10^3-10^4	≤ 1
Irrigation goutte-à-goutte			
Culture hautes	$\leq 10^{-6}$	10^5	Pas de recommandations
Cultures basses	$\leq 10^{-6}$	10^5	≤ 1

Source : OMS (2006)

La norme marocaine exige également une certaine qualité des EUT à utiliser, normes décrites au niveau du Tableau 19.

Pour répondre aux besoins des végétaux pour leur croissance, la qualité physicochimique des EUT servant à l’irrigation des cultures doit être conforme aux valeurs guides fixées le Maroc.

III.2.3. Démarches et mesures de prévention

Comme indiqué dans le III.2.2, l’objectif de ne pas dépasser une charge de morbidité supplémentaire de 10^{-6} DALY par personne et par an peut être réalisé lorsqu’on utilise des EUT pour irriguer les cultures avec une combinaison de barrières sanitaires qui réalisent dans l’ensemble une réduction des agents pathogènes de 6-7 u.log. Les traitements des EU aident à réduire les risques :

- Aux maladies liées aux excréta ;
- Aux irritations cutanées ;
- A la schistosomiase.

Cependant ils n’ont pas d’impact sur les maladies à transmission vectorielle (OMS, 2012). C’est la raison pour laquelle les mesures de protection sanitaire sont combinées avec les traitements des EU.

Dans le cas de nouveaux schémas, il peut être souhaitable de prévoir des restrictions portant sur les cultures dans la mesure où l’objectif de $\leq 10^{-6}$ DALY par personne et par an est atteint par une réduction des agents pathogènes de 2-3 u.log seulement, au lieu des 6-7 u.log nécessaires pour l’irrigation sans restriction (OMS, 2012). Il s’agit par conséquent d’une option moins onéreuse.

L'efficacité de ces combinaisons dépend de plusieurs facteurs qui doivent être soigneusement pris en compte. Il s'agit :

- De la disponibilité des ressources (comme la main d'œuvre, les équipements, les terres et l'eau) ;
- Des pratiques sociales et agricoles existantes ;
- Des schémas de morbidité liée aux excréta ;
- Des capacités institutionnelles et des compétences afin de garantir l'efficacité des mesures de protections sanitaires prises à savoir faire respecter et le degré de traitement des eaux usées requis et le bon fonctionnement des barrières mises en place.

L'analyse des maillons de la chaîne de l'utilisation des EUT proposée permet de repérer les points à risque clés qui permettront d'appliquer les mesures de protection sanitaire nécessaires. Nous observerons trois points clés :

○ **La sortie des EUT de la STEP de Tinghir :**

A ce niveau, la STEP devra effectuer des analyses des EUT à la sortie de la STEP afin de s'assurer du bon fonctionnement des différents ouvrages ce qui permettra l'atteinte des concentrations à la sortie nominale. Cela dans le but de desservir des eaux respectant les normes de réutilisations énoncées au niveau du Tableau 19.

○ **La restriction des cultures :**

L'utilisation des EUT de la STEP de Tinghir devra être utilisée juste pour l'irrigation des mimosas (en accord avec les normes de réutilisation pour l'irrigation).

Les paysages aménagés devront être à accès limité uniquement aux travailleurs pour entretien de ces zones. L'agriculture qui y sera pratiquée devra utiliser le moins de travailleurs possibles (à raison de moins de 100 jours par an selon l'OMS) et utiliser au contraire les engins mécanisés tels que les tracteurs, etc.

Par ailleurs, l'arrêt de l'irrigation une ou deux semaines avant manutention dans les zones aménagées permettent le dépérissement d'un certain nombre d'agents pathogènes (OMS, 2012). La valeur précise de cette réduction dépend des conditions climatiques. Le dépérissement s'effectuant plus rapidement (approximativement 2 u.log par jour) par temps chaud et sec et plus lentement (approximativement 0,5 u.log par jour) par temps froid ou humide sans beaucoup d'ensoleillement direct (STRAUSS, 1996).

○ **La limitation de l'exposition humaine :**

Les travailleurs agricoles dans les aires d'aménagement paysager sont exposés à un risque potentiel et souvent effectif d'infection parasitaire. La réduction de l'exposition aux agents pathogènes que ces mesures de protection sanitaire permettraient d'obtenir n'a pas été quantifiée d'après l'OMS, mais il est attendu un effet positif important :

- L'utilisation d'équipements de protection individuelle tels que les bottes pour les pieds, les gants à mains adaptés ainsi que des combinaisons également adaptées ;
- La chimiothérapie et la vaccination des travailleurs : La chimiothérapie et la vaccination ne peuvent normalement être considérées comme des stratégies adaptées pour protéger les travailleurs agricoles et leurs familles. Néanmoins, lorsque ces travailleurs relèvent de structures organisées, telles que des fermes d'État ou d'entreprise et dans notre cas la commune de Tinghir, la chimiothérapie et la vaccination peuvent être bénéfiques en tant que mesures palliatives, en attendant une amélioration de la qualité des EU utilisées ou l'adoption d'autres mesures de limitation de l'exposition ;
- La lutte contre les vecteurs et les hôtes intermédiaires et la réduction du contact avec les vecteurs ;
- La promotion de la santé et de l'hygiène à tenir auprès des groupes exposés avec des gestes tels que l'utilisation du savon pour se laver les mains, le port des équipements de protections, les gestes et pratiques à tenir dans les aires irriguées avec les EUT.
- L'inspection (par l'ONSSA et les services d'hygiène)

Dans le cas où il existe la possibilité que les communautés locales interceptent ou utilisent les EUT ou encore dans le cas où l'utilisation des EUT entraîne l'intensification des maladies à transmissions vectorielles, il faudra :

- Assurer un traitement complémentaire. Cela passe tout d'abord par l'obtention des analyses des EUT à la sortie de la STEP. Le choix de la technologie de traitement sera fonction des caractéristiques des EUT par rapport aux normes de réutilisation pour l'irrigation marocaine ;
- Restreindre l'accès aux espaces et structures hydrauliques, et sensibiliser les populations sur risques liés à toute utilisation de EUT n'ayant pas atteint un niveau de catégorie A. Les messages clés doivent leur être présentés sous une forme compréhensible par tous ses membres ;
- Promouvoir auprès des communautés locales la santé et l'hygiène tels que le respect des interdictions d'utilisation de toute sortes (irrigation, abreuvement de troupeaux, baignades, etc.), les bonnes pratiques et l'hygiène à tenir ;
- Les efforts pour informer et sensibiliser les communautés locales doivent être proactifs et non réactifs ;
- Effectuer des campagnes de chimiothérapie et de vaccination surtout dans le cas où la prévalence de la schistosomiase est modérée. D'après l'OMS (2002) dans les communautés à prévalence faible, les enfants d'âge scolaire doivent être traités à deux reprises : une fois en début et une fois en fin de cette scolarité ;
- Assurer aux communautés locales un accès à une eau saine pour les divers usages afin de les empêcher de se tourner vers les EUT avec pour motif le manque d'eau. L'apport en eau du barrage Toudgha qui est en construction permettra ainsi aux communautés locales d'avoir cet accès à l'eau et aux assainissements nécessaires.

III.2.4. Surveillance et évaluation du système

Le suivi et le contrôle sont des composantes indispensables afin d'assurer la durabilité et la sécurisation des projets de REUT. Le suivi devra porter essentiellement sur :

- Les effluents utilisés pour la réutilisation (à la sortie de la STEP) ;
- Les sols ;
- Les eaux de surfaces et souterraines à l'aval de la zone de réutilisation.

La surveillance a trois objectifs décrits comme :

- La validation : qui a pour but de prouver que le système est en mesure de répondre aux exigences de la conception du système. Elle intervient en général lors de la mise au point d'un nouveau système ou de l'adjonction de nouveaux procédés ;
- La surveillance opérationnelle : fournissant les informations relatives au fonctionnement des différentes composantes des mesures de protection sanitaire. Elle intervient au quotidien et aide les gestionnaires à prendre des mesures correctives (Tableau 15) ;
- La vérification : s'assurant que le système remplit les objectifs fixés et intervient généralement à la fin des procédés.

La validation, la surveillance opérationnelle et la vérification permettent à travers leurs paramètres respectifs de maîtriser les risques éventuels en couvrant tous les maillons de la chaîne des mesures de protection sanitaire (Tableau 15).

La liste des paramètres à suivre est variable selon les réglementations. En croisant le système de suivi minimum proposé par l'OMS en 2012 et les normes marocaines on obtient le système de suivi et de contrôle minimum qui devra être respecté :

- **Au niveau de la STEP :**
4 par an à raison d'un par trimestre pour analyser les métaux lourds ;
24 par an à raison d'un tous les 15 jours pour analyser les paramètres bactériologiques, parasitologiques et physico-chimiques.
Les prélèvements d'échantillons susmentionnés doivent s'effectuer à la sortie de la station d'épuration ;
- **Au niveau de l'irrigation :**
Des enquêtes annuelles devront être effectuées pour vérifier les méthodes d'irrigation utilisées ;
- **Lors de la cessation d'irrigation avant manutention :**
Des enquêtes annuelles afin de vérifier la qualité microbiologique des EU utilisées ;
- **Restriction des cultures :**
Des enquêtes le long de la chaîne afin de détecter les éventuels détournements d'usages de la part des agriculteurs en aval de la STEP de Tinghir ;
- **Chimiothérapie et la vaccination :**
Des enquêtes annuelles afin de déterminer le taux de population vaccinée et l'efficacité du vaccin ;
- **Le port des vêtements de protection :**
Des inspections de conditions de travail des travailleurs ;

– **La lutte contre les vecteurs :**

Des inspections généralement visuelles de la croissance des végétaux indésirables dans les canaux des EUT et la quantification des larves d'insecte par pêche larvaire dans les EUT.

L'absence de risque dans l'utilisation des EUT n'est jamais totale et nécessite l'adoption d'une démarche de gestion des risques couvrant toutes les étapes de la chaîne. La Figure 47 présente un schéma de gestion de risques mis au point par l'OMS (2004).

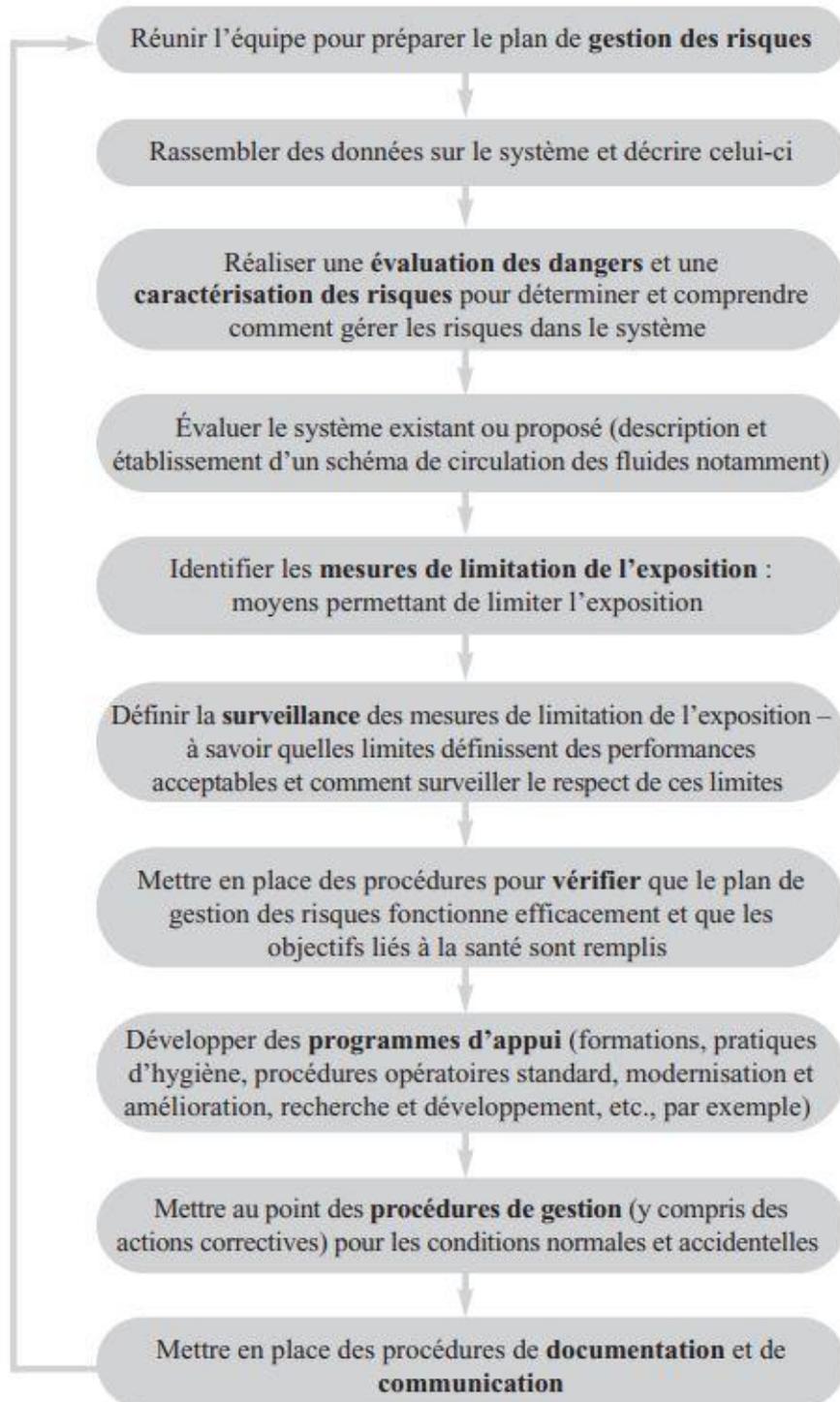


Figure 47 : Mise au point d'un plan de gestion des risques

Source : OMS (2004)

CHAPITRE IX : DISCUSSIONS SUR L'IMPLICATION DES DIFFERENTS ACTEURS DANS LA REUSSITE D'UN PROJET DE REUTILISATION DES EAUX USEES TRAITEES

Pour aboutir à la signature d'**une convention multipartite**, il faudra organiser différents ateliers de concertation entre les différents acteurs. Pour la réussite d'un projet de REUT de la STEP de Tinghir, les différents acteurs doivent jouer pleinement leur rôle comme indiqué sur la Figure 40. Il faudra mettre un accent particulier sur le côté informations et communication car tous les acteurs doivent avoir accès aux mêmes informations.

Ci-dessous, nous avons abordé quelques implications par acteur issues des synthèses des enquêtes effectuées entretiens avec chaque représentant des différents acteurs :

1. ABH

Les différents acteurs attendent de l'ABH de faciliter l'obtention de l'autorisation de REUT, de faire l'étude technique du projet de REUT, de faciliter l'octroi du concours financier, de suivre et de s'assurer du respect des normes de REUT par le gestionnaire.

2. ANDZOA

L'ANDZOA joue uniquement un rôle d'appui financier dans les projets de REUT.

3. Commune de Tinghir

L'ONEE-Branche Eau attend de la commune de Tinghir de leur déléguer la gestion du traitement complémentaire vu leur expertise en plus de la gestion de la STEP. Par ailleurs, la commune devra suivre et s'assurer du respect des normes de REUT par le gestionnaire, sensibiliser les populations locales et environnantes sur le respect des recommandations et bonnes pratiques quant à la REUT en irrigation ; sensibiliser les ouvriers quant aux mesures préventives à tenir lors de l'irrigation des forêts.

4. ONEE-Branche Eau :

Les différents acteurs principalement bénéficiaires (la commune) ont des attentes envers les gestionnaires sous deux aspects.

Au niveau de la STEP : assurer une bonne gestion et exploitation de la STEP, respecter les normes de rejet et de REUT, faire régulièrement un diagnostic du processus de traitement des eaux, entamer la reconversion du lagunage naturel en lagunage aéré, effectuer les différentes analyses pour s'assurer de la qualité des eaux, mettre en pratique les recommandations des différents résultats des analyses ;

Au niveau du Traitement complémentaire et barrières mise en place : assurer une bonne gestion et exploitation du traitement complémentaire, respecter les normes de REUT en irrigation, faire régulièrement un diagnostic du processus de traitement des eaux, sensibiliser les agriculteurs et les population locales sur le respect des recommandations et bonnes pratiques quant à la REUT en irrigation restrictive, suivre les différents paramètres conformément à la

règlementation en vigueur, mettre en pratique les recommandations des différents résultats des analyses, tenir un registre de gestion de réutilisation, contrôler les équipements de stockage, de transport et de distribution des EUT, informer les agriculteurs sur équipements de stockage, de transport et de distribution des EUT.

5. ORMVAO

Il est attendu de l'ORMVAO de former les agriculteurs sur les bonnes pratiques en irrigation gravitaire, de réhabiliter les aménagements hydroagricoles, de sensibiliser les agriculteurs sur le respect des recommandations quant à la REUT en irrigation et des bonnes pratiques à adopter.

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

L'objectif principal de notre travail porte sur la mise en valeur des eaux usées traitées de la STEP de Tinghir ainsi que l'élaboration d'un système pour leur gestion. Ce qui permettra de faire face à la raréfaction des ressources en eau dans la zone oasienne située en aval de ladite STEP. Pour atteindre cet objectif, plusieurs objectifs spécifiques se dessinent :

1. La réalisation de l'état des lieux et les possibilités liées l'élaboration d'un projet de REUT ;
2. La détermination d'une solution de traitement complémentaire adaptée, durable et peu coûteuse ;
3. La détermination des différents scénarii de réutilisation des EUT de la STEP de Tinghir et le choix du scénario optimal.

Pour ce faire, nous avons d'abord fait l'état des lieux en vue de l'élaboration d'un projet de REUT. Ensuite, nous avons déterminé la solution adéquate qui permettrait la valorisation et une gestion durable des eaux usées traitées de la STEP de Tinghir.

Après l'examen de l'état des lieux, nous avons constaté que la STEP de Tinghir ne respecte pas les normes de rejet. Le gestionnaire ayant remarqué ce dysfonctionnement de la STEP, la commune et l'ONEE envisagent d'opter pour un nouveau procédé qui est le lagunage aéré.

Afin de mettre en place un système de valorisation des eaux usées traitées, en tenant compte des contraintes environnementales, financières et surtout techniques énoncées nous avons opté pour l'irrigation restrictive à accès limité en faveur de l'aménagement de l'espace paysager projeté de la commune de Tinghir. La possibilité de réutilisation de ces eaux usées traitées pour les zones oasiennes est toujours d'actualité, moyennant une étude après caractérisation des eaux sortant de la STEP.

Enfin, nous ne manquerons pas de signaler que face au stress hydrique important que connaît la zone oasienne, les différents acteurs sont prêts à tout mettre en place pour la réussite d'un projet de REUT dans la commune de Tinghir.

L'étude que nous avons portée comporte de nombreux résultats qui nécessiteraient des études plus poussées à savoir :

- Les performances de la STEP qui changeront dans la période 2022-2027 ;
- Le manque d'analyses précises et pertinentes sur les sols de la zone autour de la STEP pour d'éventuelles mise en place de traitement, ce qui pourrait faciliter la prise de décision pour des réutilisation comme la recharge de la nappe, etc. ;
- Le manque de données auprès des institutions qui traitent de la REUT, notamment des analyses portant sur les paramètres de réutilisation des eaux usées traités sans lesquels un choix adéquat de technologies de traitement est impossible.

Une étude plus approfondie et plus complète est nécessaire afin d'ajuster l'exactitude des dimensionnements. Nous parlons entre autres de :

- L'analyse et le sondage des horizons pédologiques ;

- L'analyse du contexte géologique de la zone d'étude ;
- Une étude de perméabilité de la zone d'implantation du traitement complémentaire (la zone de la STEP de Tinghir) ;
- Une étude sur la sensibilité environnementale et sanitaire (traces d'hydromorphies, proximité des périmètres de protection des zones de captage d'alimentation en eau potable, ...).

D'un autre coté avoir un traitement complémentaire performant ne suffit pas à garantir une qualité des eaux souhaitée. Il faut également que la STEP respecte les normes de rejet. Et pour assurer de bonnes performances épuratoires, le gestionnaire de la STEP doit adopter certaines bonnes pratiques qui sont entre autres :

- Le curage des bassins : se fait en moyenne tous les 8-10 ans ;
- Les observations des anomalies et dysfonctionnement : odeurs, pannes, by-pass d'effluent, pertes de boues, présence d'algues, couleur des effluents, prolifération d'animaux ou végétaux, ... ;
- Le relevage hebdomadaire des débits admis et/ou traités ;
- Le suivi épidémiologique et de la qualité des eaux ;
- Les bilans d'autosurveillance ;
- La vérification du bon écoulement de l'eau ;
- Le contrôle de l'état des géomembranes ;
- Le suivi et contrôle hebdomadaire du dégrilleur, dessableur ;
- Le nettoyage si nécessaire du dégrilleur ;
- Le suivi hebdomadaire des ouvrages d'autosurveillance (débitmètres, préleveurs, ...) et électromécaniques (pompes, capteurs, compteurs, ...) ;
- L'élaboration d'une fiche de vie détaillant les caractéristiques des différents ouvrages (principales références, marques et adresses des fournisseurs), toutes les interventions menées sur les ouvrages (vidanges, réparations, travaux, ...) et le nombre d'heures de fonctionnement de l'ouvrage à chaque intervention.

Les boues de la STEP de Tinghir n'étant pas valorisé, nous proposons comme procédé de valorisation des boues le co-compostage ou la poterie.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES



BIBLIOGRAPHIE

- [1] **ARRIS S.** (2008). Etude Expérimentale de l'Élimination des Polluants Organiques et Inorganiques par Adsorption sur des Sous-Produits de Céréales. Mémoire pour l'obtention du Doctorat en Génie des Procédés, Département de chimie industrielle, Université de Constantine, Algérie, p. 7.
- [2] **AZARHOUN K., TAOUILE H.** (Septembre 2021). Identification de sites de collecte, de traitement et de réutilisation des eaux usées et conception d'un projet pilote adapté aux zones oasiennes. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Génie Rural, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc, BP : 6202.
- [3] **BAHMED L. et al.** (2004). Démarche d'intégration du concept qualité – sécurité - environnement aux systèmes d'alimentation en eau potable. Journal du laboratoire de recherche en hydraulique souterraine et de surface, Recherches 2002 - 2003, n°3, Université de Biskra, Algérie, p. 117-120.
- [4] **BAUMONT S. et al.** (2004). Réutilisation des eaux usées épurées : Risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Observatoire Régional de Santé d'Ile-de-France, Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région Ile-de-France, France, p. 12-27.
- [5] **BENGOUGA K.** (2010) : Contribution à l'étude du rôle de la végétation dans l'épuration des eaux usées dans les régions arides. Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider Biskra, Algérie.
- [6] **CIRSEE, ENGEES** (2002). Traitement des eaux urbaines.
- [7] **DELARRAS C.** (2010). Surveillance sanitaire et microbiologique des eaux : Réglementation - Micro-organismes Prélèvement - Analyse 2ème édition. Edition LAVOISIR, p. 88-100.
- [8] **DIRECTION DE L'EAU ET DE L'ASSAINISSEMENT.** Mutualisation des Programmes Nationaux d'Assainissement Liquide (PNA et PNAR) et de la Réutilisation des Eaux Usées.
- [9] **DIRECTION DE L'IRRIGATION ET DE L'AMENAGEMENT DE L'ESPACE AGRICOLE** (Février 2013). Eau Usée en Agriculture Expériences et Perspectives.
- [10] **EL HARRADJI A. E.** (2000). Le milieu physique et les ressources naturelles du bassin de Tinghir (Oued Toudgha). IMAROM Working Paper (6).
- [11] **EL MEKNASSI Y. E.** (Décembre 2020). La réutilisation des eaux usées. Cours 3ème année du Génie Rural, Département Génie Rural, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc, BP : 6202.
- [12] **EL MEKNASSI Y. E. et al** (Septembre 2021). Réutilisations multi-échelles des eaux usées dans le système oasien (Maroc, Todgha).

- [13] **FABY J. A. et al** (1997). L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation.
- [14] **FAO (2003)**. Déverrouiller le potentiel de l'eau en agriculture. Rome, Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture.
- [15] **FARAH G.T.** (Juin 2011). Séminaire International sur la Réutilisation des Eaux Usées Traitées dans la Région Arabe.
- [16] **GROSCLAUDE G.** (1999). L'eau Tome 2 : Usages et polluants. Edition Quae.
- [17] **MARA D. D.** Natural sewage treatment in the UK: selection guidelines. Water and Environment Journal, 2004, Volume 18, no 4, p. 230-234.
- [18] **MINISTERE DELEGUE AUPRES DU MINISTERE DE L'ENERGIE, DES MINES, DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT, CHARGE DE L'EAU** (Juin 2014). Préservation de la qualité des ressources en eau et lutte contre la pollution (Valeurs Limites des Rejet à respecter par les déversements (Normes de pollution)).
- [19] **OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU** (2011). Valorisation des eaux usées épurées pour l'irrigation : Synthèse technique.
- [20] **OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU, AGENCES DE L'EAU, CEMAGREF, COMMISSION EUROPEENNE** (2001) : Guide : Procédés extensifs d'épuration des eaux usées.
- [21] **OFFICE NATIONAL DE L'EAU POTABLE** (2019). Etude d'Assainissement de la ville de Tinghir : Avant-Projet Sommaire.
- [22] **OFFICE REGIONAL DE MISE EN VALEUR AGRICOLE DE OUARZAZATE** (Mars 2007) : Mémoire explicatif du périmètre de Todgha.
- [23] **ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE** (2002). Schistosomiase et géohelminthiases : prévention et lutte : rapport d'un Comité d'experts de l'OMS. Genève, Organisation mondiale de la Santé (OMS, Série de Rapports techniques, N° 912.
- [24] **ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE** (2004). Guidelines for drinking-water quality, 3rd ed. Geneva, World Health Organization.
- [25] **ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE** (2006). Directives pour l'utilisation sans danger des eaux usées, excréta et eaux ménagères en agriculture et aquaculture (2006)
- [26] **ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE** (2012). Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta, eaux ménagères : Volume 1 Considération d'ordre politique et réglementaire.
- [27] **ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE** (2012). Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères. Volume II : Utilisation des eaux usées en agriculture, Genève : Organisation Mondiale de la Santé.

- [28] **RACAULT Y.** (1997). Le lagunage naturel : les leçons tirées de 15 ans de pratique en France. Editions Quae.
- [29] **REJSEK F.** (2002). Analyse des eaux – aspects réglementaire et techniques. Edition Scérén.
- [30] **RODIER J.** (2005) : Analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer : Chimie, physicochimie, biologie, interprétation des résultats. Edition Dunod.
- [31] **RODIER F.** (2002). Analyse des eaux : Aspects règlementaires et techniques.
- [32] **SECRETARIAT D'ETAT AUPRES DU MINISTERE DE L'ENERGIE, DES MINES, DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT, CHARGE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT** (2007). Normes de qualité : Eaux destinées à l'irrigation.
- [33] **STRAUSS M.** (1996). Health (pathogen) considerations regarding the use of human waste in aquaculture. Environmental Research Forum, 5-6 : 83-98.
- [34] **USAID** (Mars 2013). Compétitivité Economique au Maroc : Analyse des contraintes entravant les projets de Réutilisation des Eaux Usées Traitées en Agriculture.
- [35] **USAID** (Mars 2013). Compétitivité Economique au Maroc : Ebauche de révision des normes de qualité des Eaux Usées Traitées destinées à l'irrigation des cultures et à l'arrosage des espaces verts.

WEBOGRAPHIE

[1] **ACTUENVIRONNEMENT.com**. Traitement des boues en station d'épuration. Disponible sur <https://www.actu-environnement.com/ae/dossiers/traitement-des-boues/traitement-boues-station-epuration.php4>, consulté le 03 Juin 2022.

[2] **BENAZIA A., MAIASSI Z.** (2021). Contribution à la connaissance de la composition des eaux usées urbaines de la ville d'El Oued. Mémoire de Fin d'Etudes en vue de l'obtention du diplôme de Master Académique en Sciences Biologiques. Disponible sur : <http://dspace.univ-eloued.dz/bitstream/123456789/10145/1/589.01.084.pdf#page18>, consulté le 16 Mai 2022.

[3] **CLIMAT-DATA.ORG**. Climat Tinerhir (Maroc). Disponible sur : <https://fr.climate-data.org/afrique/maroc/tinerhir/tinerhir-10845/#climate-table>, consulté le 06 Juillet 2022.

[4] **DESJARDINS R.** (1997). Traitement des eaux : 2^{ème} édition. Canada : Presses Internationales Polytechnique. Disponible sur : https://books.google.fr/books?hl=fr&lr=lang_fr&id=i3Jnfi13pQwC&oi=fnd&pg=PR3&dq=Desjardins.+R.,+1997.+Traitement+des+eaux.+2%C3%A8me+%C3%A9dition&ots=D1JZyFIIvt&sig=jTWfXAwDRvH09tF1ntik3PidJCw#v=onepage&q&f=false, consulté le 10 Mai 2022.

[5] **DIRECTION GENERALE DE L'EAU DU MINISTERE DE L'EQUIPEMENT ET DE L'EAU** : Agence de Bassin Hydraulique - ABH. Disponible sur : <http://81.192.10.228/ressources-en-eau/agence-de-bassins-hydrauliques-abh/>, consulté le 03 Février 2022.

[6] **MINISTERE DE L'ECONOMIE ET DES FINANCES** : Dahir n 1-95-154 du 18 Rabii I 1416 (16 Août 1995) portant promulgation de la loi n°10- 95 sur l'eau. Disponible sur : <https://www.finances.gov.ma/Publication/depp/2013/loi%20n10-95%20sur%20l%20eau.pdf>, consulté le 25 Janvier 2022.

[7] **MINISTERE DE LA SANTE** : Dahir n° 1-03-59 du 10 Rabii I 1424 (12 Mai 2003) portant promulgation de la loi n° 11-03 relative la protection et la mise en valeur de l'environnement. Disponible sur : <https://www.sante.gov.ma/Reglementation/ProtectionSante/Documents/loi%20n%C2%B0%2011-03.pdf>, consulté le 04 Février 2022.

[8] **MINISTERE DE LA TRANSITION ENERGETIQUE ET DU DEVELOPPEMENT RURAL** : Organisme - sous tutelles. Disponible sur : https://www.mem.gov.ma/Pages/organisme_sous-tutelle.aspx, consulté le 22 Janvier 2022.

[9] **MINISTERE DE LA TRANSITION ENERGETIQUE ET DU DEVELOPPEMENT RURAL** : Programme National d'Assainissement Liquide. Disponible sur : <http://www.environnement.gov.ma/fr/eau?id=207>, consulté le 27 Janvier 2022.

[10] **MINISTERE DE LA TRANSITION ENERGETIQUE ET DU DEVELOPPEMENT RURAL : DEPARTEMENT DU DEVELOPPEMENT RURAL** : Grille de qualité des eaux de surface. Disponible sur :

http://www.environnement.gov.ma/PDFs/grille_de_qualite_des_eaux_de_surface.pdf, consulté le 08 Juin 2022.

[11] **ONSSA** : Dahir n°1-03-60 du 10 Rabii I 1424 (12 Mai 2003) portant promulgation de la loi n°12-03 vise à mener les études sur l'environnement. Disponible sur : http://www.onssa.gov.ma/images/reglementation/reglementation_connexe/LOI.12-03.FR.pdf, consulté le 04 Février 2022.

[12] **ONSSA** : Décret n°2-97-875 du 6 Chaoual 1418 (4 Février 1998) relatif à l'utilisation des eaux usées. Disponible sur : http://www.onssa.gov.ma/images/reglementation/reglementation_connexe/DEC.2-97-875.FR.pdf, consulté le 04 Février 2022.

ANNEXES

.....



Annexe 1 : Définitions et caractérisation des eaux usées

Concept et définition

Les EU sont le résultat d'eaux qui ont été polluées. Selon l'OMS, on appelle EU toute eau ayant subi une pollution c'est-à-dire des modifications au niveau de ses propriétés physiques, chimiques ou biologiques. Tout rejet de nature liquide, solide ou gazeux pouvant créer des nuisances ou être nocif à l'Homme et à son environnement peut également être qualifié de pollution.

Selon REJSEK (2002) les EU sont des eaux chargées de polluants pouvant être solubles ou non et qui proviennent majoritairement de l'activité de l'Homme.

GROSCLAUDE (1999) quant à lui définit les EU comme un mélange de matières polluantes dissoutes et/ou dispersées dans l'eau ayant servi aux besoins domestiques ou industriels.

On peut définir donc les EU comme des eaux résiduaire qui ont perdues leurs propriétés naturelles du fait de l'activité humaine les ayant exposées à des matières polluantes. En plus de provenir d'activités humaines (besoins domestiques, industriels, agricoles), les EU peuvent également provenir des eaux de pluies, suite à leur ruissellement sur des surfaces imperméabilisées les mettant en contact avec toutes sortes de matières polluantes.

Origine

Selon l'usage auquel l'eau a servi, on peut classer les EU en quatre principaux groupes :

➤ Eaux domestiques

Les EU d'origine domestiques proviennent des eaux utilisées par les ménages afin de satisfaire tous les besoins et usages ménagers. On distingue deux types d'EU produites par les ménages :

- **Les eaux grises** : constituées des eaux de cuisine (essentiellement les matières organiques : glucides, lipides, protides), des eaux de buanderie (principalement les détergents), des eaux de salles de bains (en général constituées des matières grasses hydrocarbonées) ;
- **Les eaux noires ou eaux vannes** : provenant des sanitaires, sont des eaux très chargées en matières organiques hydrocarbonées, en composés azotés, en phosphates et en microorganismes.

La composition des EUD est extrêmement variable car elle dépend de la composition originelle de l'eau potable, des différentes utilisations (différents produits d'entretiens, de solvants, etc.) et des utilisateurs eux-mêmes (état de santé, niveau socio-économique, etc.).

➤ Eaux industrielles

Elles sont très différentes des EUD. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à une autre. En plus des matières organiques azotées et phosphorées, elles sont chargées en éléments

chimiques et en métaux lourds. On peut les répartir selon leur origine industrielle tout en tenant compte de la nature des polluants que ces industries déversent :

- Pollution due aux matières en suspension minérales (lavage de charbon, carrière, industries productrices d'engrais phosphatés, etc.) ;
- Pollution due aux matières en solutions minérales (usines de décapage, de galvanisation, etc.) ;
- Pollution due aux matières organiques et graisses (industries agroalimentaires, pâte à papier, etc.) ;
- Pollution due aux rejets hydrocarbonés et chimiques divers (raffineries de pétrole, produits pharmaceutiques, etc.) ;
- Pollution due aux rejets toxiques (déchets radioactifs non traités, etc.).

➤ **Eaux agricoles**

Ces eaux sont appelées EU car elles ont été exposées à des substances polluantes pouvant s'avérer nocives et compromettre la qualité des eaux. Ces produits d'origine agricoles ou industriels sont généralement utilisés dans des exploitations où l'agriculture se veut être performante et intensive. Ils sont de deux types :

- **Les fertilisants** : ce sont généralement les excréments des animaux produits au niveau de l'exploitation ou non, et les engrais minéraux de commerce ;
- **Les produits phytosanitaires** : d'après GROSCLAUDE (1999) ce sont essentiellement les insecticides, les herbicides, etc.

Ces eaux agricoles proviennent :

- Des apports directs par traitement des milieux aquatiques et semi-aquatiques (désherbage des plans d'eau, faucardage chimique, etc.) ;
- Des apports indirects comme pour exemple l'entraînement de polluants par ruissellement, résidus de polluants présents dans des emballages détruits ou mal rincés, ou encore des eaux résiduaires provenant des usines de fabrication et de conditionnement.

➤ **Eaux de ruissellement**

Les surfaces imperméables ou imperméabilisées sont le facteur qui permet le ruissellement et donc la formation des eaux de ruissellement. Ces eaux peuvent être collectées par le même réseau collectant les EU, ou par un réseau unique aux EP. La composition des eaux de ruissellement est très variable selon l'activité de la région et la pollution de ces eaux est très diverse. Elle peut être liée à :

- La dégradation des revêtements de surface et à l'érosion des zones perméables et des chantiers ;
- La pollution des véhicules à moteur et aux produits de lutte contre le verglas ;
- La pollution atmosphérique ;
- Les débris végétaux et aux excréments animaux.

Caractérisation des EU

Les EU sont différentes entre elles et cela pour plusieurs raisons : entre autres la provenance, la zone climatique, la condition socio-économique des populations les ayant produites, etc. Afin de porter les actions et traitements efficaces et nécessaires pour permettre leur valorisation, il apparaît donc qu'il est primordial d'étudier les EU à travers les paramètres physiques, organoleptiques, chimiques et bactériologiques.

➤ **Paramètres Organoleptiques**

– **Turbidité**

La turbidité d'un effluent représente l'opacité de ce milieu trouble d'après REJSEK (2002) cité dans BENGOUGA (2010).

Plus il y'a de matières non dissoutes dans un liquide, plus la transparence de ce liquide diminue. Pour BENGOUGA (2010) la turbidité des liquides est principalement due aux MES plutôt fines (argiles, limons, microorganismes, ...) et aussi aux matières colloïdales.

Selon la normalisation de l'ASTM (American Society for Testing Material), trois types d'unités peuvent être utilisées pour quantifier la turbidité : l'unité NTU (Nephelometric Turbidity Unit), l'unité JTU (Jackson Turbidity Unit), l'unité FTU (Formazine Turbidity Unit).

– **Couleur**

D'après BENAZIA et MAIASSI (2010) la couleur des EU varie généralement du jaune pâle au brun rougeâtre. Selon REJSEK (2002) cité dans BENGOUGA (2010) la couleur dépend du pH et de la turbidité. La couleur des EU dépend également des matières colorantes qui ont polluées l'EU.

➤ **Paramètres physico-chimiques**

– **pH**

Le pH est un paramètre qui mesure la concentration en ions H^+ dans un liquide. En d'autres mots, une solution aqueuse peut être déterminée comme acide, neutre ou alcaline en se basant sur la concentration de ces ions H^+ ou H_3O^+ .

En général le pH des eaux naturelles varie entre 7,2-7,6 et dépend fortement de la nature des zones traversées. Les eaux alcalines ont un pH supérieur à 7 tandis que les eaux acides ont un pH inférieur à 7.

– **Température**

La température est un facteur important pour les EU. Selon RODIER (2005) c'est un paramètre qui influe grandement sur la solubilité des sels et des gaz, sur la conductivité électrique, les éventuels mélanges, etc.

Pour BENAZIA et MAIASSI (2021) la solubilité d'un gaz diminue avec l'augmentation de la température. De ce fait l'augmentation ou la diminution de la température des eaux impacte directement sur la concentration en oxygène dissous dans ces eaux.

– MES

Les MES sont des éléments particuliers pouvant être organiques ou de nature minérale et qui sont transportées par les eaux. REJSEK (2002) cité dans l'écrit de BENGOUGA (2010) les définit comme des particules dont la taille est supérieure à 10 μm et qui sont en suspension. Pour également remplir les critères d'une MES, il faut que ces particules aient une vitesse minimale d'écoulement dans l'effluent de 0,5 m/s.

BENGOUGA (2010) pousse un peu plus loin l'analyse et considère comme MES une partie des matières colloïdales : qui sont des particules de dimensions plus petites (se situant entre 1 et 10^{-2} μm) constituant la frontière entre la phase dissoute et la phase solide.

– DBO

La DBO est un facteur qui permet d'apprécier la charge en matières organiques d'un effluent. Elle détermine la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation de la matière biodégradable.

D'après AZARHOUN et TAOUILE (2021) la partie biodégradable peut être déterminée par la quantification de l'oxygène dont les organismes aérobies ont besoin pour dégrader la matière organique présente dans cette eau.

Pour cela la DBO_5 est beaucoup plus utilisée. Elle consiste à réaliser la dégradation de la matière organique par incubation à 20°C et à l'obscurité pendant 5 jours car au bout de ce délai 90% de la matière biodégradable a été dégradée. Elle est un paramètre de performance au niveau des STEP.

– DCO

La DCO constitue un moyen de déterminer la totalité de la matière organique présente dans l'EU. Elle permet la mesure de la concentration suffisante qui permettra d'oxyder les matières organiques d'un échantillon donné.

C'est également un facteur de performance pour les STEP.

– Oxygène dissous

L'oxygène dissous constitue un élément vital à la faune et constitue un impératif pour qu'il y ait réactions biologiques dans les écosystèmes aquatiques.

Les substances organiques en elles-mêmes ne sont pas toxiques, ce sont leurs dégradations par voie bactérienne consommant l'oxygène dissous dans les EU qui le sont. D'après RODIER (1996) cité dans AZARHOUN et TAOUILE (2021), cette consommation en oxygène dissous affecte la qualité biologique de l'eau.

Pour BENGOUGA (2010) l'oxygène dissous dépend de facteurs comme la température, le pH, la force ioniques et la pression du milieu. L'unité utilisée pour la quantification de l'oxygène dissous est le mg O₂/l.

– Conductivité

BENGOUGA (2010) définit la conductivité comme la propriété qu'a l'eau de laisser passer le courant électrique. Cette propriété est possible grâce à la mobilité des ions dans la solution aqueuse.

D'après BAHMED et al (2004) deux facteurs influent la conductivité : la température et la viscosité.

Lorsque la température augmente, elle entraîne une plus grande mobilité des ions et par conséquent augmente la conductivité de la solution aqueuse.

Cependant lorsque la viscosité augmente, un ralentissement est observé au niveau de la mobilité des ions ce qui entraîne une diminution de la conductivité.

➤ Substances indésirables

– Azote

L'azote est présent à la fois sous forme organique et minérale. L'azote se présente sous deux principales formes : les formes réduites qui sont l'azote organiques et l'azote ammoniacale (NH⁴⁺), et les formes oxydées notamment les nitrites (NO²⁻) et les nitrates (NO³⁻).

En général un paramètre utilisé pour quantifier la teneur en azote est le paramètre Azote Total Kjeldhal (NTK) qui constitue la quantité d'azote de forme réduite (azote organique et ammoniacale) contenue dans l'eau exprimée en mg/l.

Les nitrates se trouvent généralement sous des concentrations naturelles ne dépassant pas 3 mg/l et proviennent de l'écoulement des eaux sur le sol d'après BENGOUGA (2010). Cependant une augmentation marquée des nitrates se constate dans les EU essentiellement due : à l'agriculture utilisant massivement les engrais azotés et les rejets d'effluents d'élevage, à l'urbanisation et stations d'épuration où l'élimination de l'azote n'est pas complète rejetant alors les nitrates ou des ions ammonium pouvant se transformer en nitrates, au secteur industriel en particulier les industries de fabrication d'engrais azotés par leurs rejets.

En général la forme ammoniacale est la forme que l'on rencontre essentiellement dans les EU.

– Phosphore

Le phosphore est présent sous forme organique et minérale constituant le Phosphore Total (PT) et s'observe généralement sous deux aspects : l'ortho-phosphate et les ions phosphates condensés entre eux ou liés à des molécules organiques.

Il provient généralement des détergents et des rejets physiologiques de l'Homme. La forme de phosphore la plus prédominante est la forme inorganique : le polyphosphate et l'orthophosphate.

– **Oligo-éléments**

Ils sont dans la nature sous forme de traces. Leur nuisance vient du fait qu'ils ont une capacité d'accumulation au niveau de la chaîne alimentaire appelée bioaccumulation. Il s'agit du **Fer (Fe)**, **Cuivre (Cu)**, **Zinc (Zn)**, **Cobalt (Co)**, **Manganèse (Mn)**.

Malgré leur présence en quantité infime, les oligo-éléments peuvent nuire à l'Homme et à son environnement.

➤ **Substances toxiques**

Il existe certains éléments qui peuvent être retrouvés dans la nature et qui sont toxiques pour l'Homme et son environnement, constate également ARRIS (2008). En se référant à la grille de qualité de l'article 9 de l'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°1275-01 du 10 Chaabane 1423 (17 Octobre 2002) définissant la grille de qualité des eaux de surface (Ministère de l'Équipement et Ministère chargé de l'Aménagement du territoire, de l'Urbanisme, de l'Habitat et de l'Environnement (2002)) sont déclarés toxiques : **Arsenic (As)**, **Cadmium (Cd)**, **Cyanures (CN⁻)**, **Chrome total (Cr)**, **Plomb (Pb)**, **Mercuré (Hg)**, **Nickel (Ni)**, **Sélénium (Se)**.

➤ **Paramètres bactériologiques**

La nuisance causée par les microorganismes provient surtout des microorganismes pathogènes qui constituent des risques sanitaires. C'est le constat qu'a fait l'OMS à travers son guide intitulé « L'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères. Volume 1 » en affirmant que la présence des agents pathogènes dans les EU utilisées entraîne de forts taux de diarrhée, de maladies infectieuses et de forts taux d'infestations par les protozoaires et les virus.

La majorité des microorganismes issus des EU proviennent des matières fécales. La plupart d'entre eux constituent des germes pathogènes. Selon BAUMONT et al. (2004) les microorganismes sont classés selon l'ordre croissant suivant : les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes.

– **Coliformes**

Les coliformes regroupent un grand nombre de bactéries de la famille des Enterobacteriaceae. Ils vivent de façon préférentielle et en abondance dans les matières fécales et constituent un indicateur significatif de pollution des eaux.

L'Organisation Internationale de Standardisation (ISO) les définit comme étant des organismes en bâtonnets non sporogènes, Gram négatifs, anaérobies facultatives, oxydases négatives, ayant des aptitudes de croissance en présence de sels biliaires ou encore en présence d'agents de

surface possédant des activités qui inhibent des croissances similaires. Ils ont également des capacités de fermentation de lactose avec production d'acide et d'aldéhydes entre 35°C et 37°C en 48 heures selon RODIER (2005) cité dans BENAZIA et MAIASSI (2021).

En général ils sont scindés en deux groupes de coliformes :

- **Coliformes fécaux**

Pour DESJARDINS (1997) les coliformes fécaux sont l'ensemble des coliformes ayant la capacité de former des gaz dans un intervalle de 24 heures à 44,5°C.

Ils sont généralement trouvés en grand nombre dans les intestins et excréments des animaux à sang chaud. Et, selon toujours DESJARDINS (1997) cette particularité est mise en avant pour utiliser les coliformes fécaux comme indicateurs de qualité des EU afin de déceler à la source les éléments pathogènes.

- **Les coliformes totaux**

Les coliformes totaux se retrouvent disséminés dans la nature : dans les sols, sur les végétaux, sur les animaux et même dans les eaux riches en éléments nutritifs.

Selon DESJARDINS (1997) leur présence dans une eau ne signifie pas nécessairement qu'il y'a contamination. De plus ils survivent beaucoup plus longtemps dans l'eau et ont une meilleure résistance à la chloration.

- **Streptocoques fécaux**

Microorganismes pathogènes, ce sont des streptocoques ayant une substance antigénique appelée acide téichoïque qui est une caractéristique du groupe D de Lancefield, d'après BENGOUGA (2010).

Ce sont essentiellement le *E. faecium*, le *E. hirae*, le *Streptococcus bovis*, l'*Enterococcus*, le *S. suis* et le *S. equinus*.

Les streptocoques fécaux sont utilisés comme des indicateurs pour les pathologies infectieuses d'origine hydriques. Ce sont également des indicateurs de pollution fécale. Cependant il faudrait noter que toute contamination de streptocoques fécaux n'est pas nécessairement d'origine fécale.

- **Salmonelles**

Ce sont un ensemble de bactéries appartenant à la famille des Entérobactéries. Elles sont Gram négatifs, asporulées, anaérobies facultatives et oxydases négatives, en forme de bâtonnet formant des colonies typiques sur milieu sélectif solide.

Selon RODIER (2002) elles sont pathogènes et présentent les spécificités sérologiques et biochimiques de ce genre d'Entérobactéries.

– **Staphylocoques**

Les staphylocoques sont des microorganismes très répandus que ce soit dans l'air, dans l'eau, au sol, ou sur les surfaces. Ce sont des Gram positifs, aérobies ou anaérobies facultatifs qui font fermenter les sucres tout en produisant de l'acide lactique.

– **Clostridium sulfito-réducteurs**

Le genre Clostridium est constitué des bactéries Gram positifs, sporulés, qui sont sous forme bacille en paires ou en chainettes courtes dans leur forme végétative, selon BENAZIA et MAIASSI (2021).

D'après BENGOUGA (2010) ils sont très souvent utilisés comme indicateur d'une pollution fécale ancienne ou intermittente, confirme DELARRAS (2010).

– **Pseudomonas**

Ces microorganismes de forme bacille viennent de la famille des Pseudomonacea et sont Gram négatifs, aérobies stricts et ubiquitaires.

Impact des EU

Les EU peuvent agir sur l'Homme à plusieurs niveaux. Elles peuvent agir indirectement par la dégradation de son milieu environnant constitué par les sols, la faune, la flore. Elles peuvent également avoir un impact direct sur la vie de l'Homme en portant atteinte à sa santé et à son bien-être.

➤ **Incidence sur la santé humaine**

Les EU qui n'ont subi aucun traitement constituent un potentiel et imminent danger pour la santé publique. Cela est généralement dû à une absence d'infrastructures d'hygiène et d'assainissement de base entraînant la mise en place d'une zone offrant des conditions bioécologiques favorables à la prolifération des germes pathogènes, d'après BENAZIA et MAIASSI (2021).

Selon l'OMS, l'utilisation des EU non traitées est très forte dans les pays ou régions où il y'a un faible taux d'aménagement en infrastructures d'hygiène et d'assainissement de base. L'utilisation qui en est faite est principalement dans l'agriculture. Cette pratique n'est pas sans danger car ces eaux constituent des risques sanitaires élevés essentiellement dus aux helminthes.

En plus des helminthes, les autres pathogènes liés aux matières fécales constituent également des risques sanitaires, comme il l'est indiqué dans les forts taux de diarrhée et bien d'autres maladies infectieuses, comme le choléra, la typhoïde, le choléra, etc. L'OMS le confirme également avec les forts taux d'incidence des infestations par des protozoaires et les infections virales observés.

Dans l'Annexe 1, ont été recensés la majorité des virus, bactéries et microorganismes pathogènes qui sont généralement rencontrés dans les EU avec les maladies et symptômes qui leurs sont associés.

➤ **Dégradation de l'environnement**

Des EU chargées en DBO peuvent être la cause de la chute du taux d'oxygène dissous dans l'eau. L'accumulation de sédiments benthiques peuvent également créer une réduction d'oxygène dissous.

Cela peut créer un bouleversement dans les écosystèmes aquatiques et peut causer même l'appauvrissement de la diversité biologique à travers la menace de disparition de certaines espèces du fait du manque d'oxygène dissous.

Le manque d'oxygène dissous n'est pas le seul facteur nuisible dans les EU. La présence des polluants toxiques peut également provoquer la disparition de certaines espèces. C'est ce que souligne BENAZIA et MAIASSI (2021) en évoquant que des concentrations élevées d'ammoniac pourraient causer des hécatombes de poissons.

Tableau 9 : Les virus dans les EU

Agent pathogène	Symptômes, maladie	Nombre pour un litre d'EU	Voies de contamination principales
Virus de l'hépatite A	Hépatite A		Ingestion
Virus de l'hépatite E	Hépatite E		Ingestion
Rotavirus	Vomissement, diarrhée	400 à 85000	Ingestion
Virus de Norwalk	Vomissement, diarrhée		Ingestion
Adénovirus	Maladie respiratoire, conjonctivite, vomissement, diarrhée		Ingestion
Astrovirus	Vomissement, diarrhée		Ingestion
Calicivirus	Vomissement, diarrhée		Ingestion
Coronavirus	Vomissement, diarrhée		Ingestion/Inhalation
Réovirus	Affection respiratoire bénigne et diarrhée		Ingestion
Entérovirus			
Poliovirus	Paralyse, méningite, fièvre	182 à 492000	Ingestion

Coxsackie A	Méningite, fièvre, pharyngite, maladie respiratoire		Ingestion
Coxsackie B	Myocardite, anomalie congénitale du cœur (si contamination pendant la grossesse), éruption cutanée, fièvre, méningite, maladie respiratoire		Ingestion
Echovirus	Méningite, encéphalite, maladie respiratoire, rash, diarrhée, fièvre		Ingestion
Entérovirus 68-71	Méningite, encéphalite, maladie respiratoire, conjonctivite hémorragique aiguë, fièvre		Ingestion

Source : AZARHOUN et TAOUILE (2021) tiré de ASANO (1998) et du site du Ministère de la Santé du Canada (www.hc-sc.gc.ca)

Tableau 10 : Les bactéries pathogènes dans les EU

Agent pathogène	Symptômes, maladie	Nombre pour un litre d'EU	Voies de contamination principales
Salmonella	Typhoïde, paratyphoïde, salmonellose	23 à 80000	Ingestion
Shigella	Dysenterie bacillaire	10 à 10000	Ingestion
E. coli	Gastro-entérite		Ingestion
Yersinia	Gastro-entérite		Ingestion
Campylobacter	Gastro-entérite	37000	Ingestion
Vibrio	Choléra	100 à 100000	Ingestion
Leptospira	Leptospirose		Cutanée/Inhalation/Ingestion
Legionella	Légionellose		Inhalation
Mycobacterium	Tuberculose		Inhalation

Source : AZARHOUN et TAOUILE (2021) tiré de ASANO (1998) et du site du Ministère de la Santé du Canada (www.hc-sc.gc.ca)

Tableau 11 : Les parasites pathogènes dans les EU

Organisme	Symptômes, maladie	Nombre pour un litre d'EU	Voies de contamination principales
Protozoaires			
Entamoeba histolytica	Dysenterie amibienne	4	Ingestion
Giardia lamblia	Diarrhée, malabsorption	125 à 100 000	Ingestion

Balantidium Coli	Diarrhée bénigne, ulcère du colon	28-52	Ingestion
Cryptosporidium	Diarrhée	0,3 à 122	Ingestion
Toxoplasma gondii	Toxoplasmose : ganglions, faible fièvre		Inhalation/Ingestion
Cyclospora	Diarrhée, légère fièvre, perte de poids		Ingestion
Microsporidium	Diarrhée		Ingestion
Helminthes			
Ascaris	Ascariase : diarrhée, troubles nerveux	5 à 111	Ingestion
Ancylostoma	Anémie	6 à 188	Ingestion/Cutanée
Necator	Anémie		Cutanée
Tænia	Diarrhée, douleurs musculaires		Ingestion de viande mal cuite
Trichuris	Diarrhée, douleur abdominale	10 à 41	Ingestion
Toxocora	Fièvre, douleur abdominale		Ingestion
Strongyloïdes	Diarrhée, douleur abdominale, nausée		Cutanée
Hymenolepis	Nervosité, troubles digestifs, anorexie		Ingestion

Source : AZARHOUN et TAOUILE (2021) tiré de ASANO (1998) et du site du Ministère de la Santé du Canada (www.hc-sc.gc.ca)

Tableau 12 : Grille de qualité des eaux de surface

			Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
	Paramètres	Unités	Excellente	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
Organoleptiques							
1	Couleur (échelle PT)	mg PT/l	< 20	20-50	50-100	100-200	> 200
2	Odeur (dilué à 25°C)		< 3	3-10	10-20	> 20	
Physico-chimiques							
3	Température	°C	< 20	20-25	25-30	30-35	> 35

4	pH		6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-9,2	< 6,5 ou > 9,2	< 6,5 ou > 9,2
5	Conductivité à 20°C	us/cm	< 750	750-1300	1300-2700	2700-3000	> 3000
6	Chlorures (Cl)	mg/l	< 200	200-300	300-750	750-1000	> 1000
7	Sulfates (SO ₄)	mg/l	< 100	100-200	200-250	250-400	> 400
8	MES	mg/l	< 50	50-200	200-1000	1000-2000	> 2000
9	O ₂ dissous	mg/l	> 7	7-5	5-3	3-1	< 1
10	DBO ₅	mg/l	< 3	3-5	5-10	10-25	> 25
11	DCO	mg/l	< 30	30-35	35-40	40-80	> 80
12	Oxydabilité KMnO ₄	mg/l	< 2	2-5	5-10	> 10	-
Substances Indésirables							
13	Nitrates (NO ₃ ⁻)	mg/l	≤ 10	10-25	25-50	> 50	-
14	NTK	mg N/l	≤ 1	1-2	2-3	> 3	-
15	Ammonium	mg NH ₄ /l	≤ 0,1	0,1-0,5	0,5-2	2-8	> 8
16	Baryum (Ba)	mg/l	≤ 0,1	0,1-0,7	0,7-1	> 1	-
17	Phosphates (PO ₄ ⁻)	mg/l	≤ 0,2	0,2-0,5	0,5-1	1-5	> 5
18	Phosphore total (Pt)	mg/l	≤ 0,1	0,1-0,3	0,3-0,5	0,5-3	> 3
19	Fer total (Fe)	mg/l	≤ 0,5	0,5-1	1-2	2-5	> 5
20	Cuivre (Cu)	mg/l	≤ 0,02	0,02-0,05	0,05-1	> 1	-
21	Zinc (Zn)	mg/l	< 0,5	0,5-1	1-5	> 5	-
22	Manganèse (Mn)	mg/l	≤ 0,1	0,1-0,5	0,5-1	> 1	-
23	Fluorure (F ⁻)	mg/l	≤ 0,7	0,7-1	1-1,7	> 1,7	-
24	Hydrocarbures	mg/l	≤ 0,05	0,05-0,2	0,2-1	> 1	-
25	Phénols	mg/l	≤ 0,001	0,001-0,005	0,005-0,01	> 0,01	-
26	Détergents anioniques	mg/l	≤ 0,2	≤ 0,2	0,2-0,5	0,5-5	> 5
Substances toxiques							
27	Arsenic (As)	ug/l	≤ 10	≤ 10	10-50	> 50	-
28	Cadmium (Cd)	ug/l	≤ 3	≤ 3	3-5	> 5	-
29	Cyanures (CN ⁻)	ug/l	≤ 10	≤ 10	10-50	> 50	-
30	Chrome total (Cr)	ug/l	≤ 50	≤ 50	≤ 50	> 50	-
31	Plomb (Pb)	ug/l	≤ 10	≤ 10	10-50	> 50	-
32	Mercure (Hg)	ug/l	≤ 1	≤ 1	< 1	> 1	-
33	Nickel (Ni)	ug/l	≤ 20	≤ 20	20-50	> 50	-
34	Sélénium (Se)	ug/l	≤ 10	≤ 10	≤ 10	> 10	-
35	Pesticides par subst.	ug/l	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1	> 0,1	-

36	Pesticides totaux	ug/l	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	> 0,5	-
37	HPA totaux	ug/l	≤ 0,2	≤ 0,2	≤ 0,2	> 0,2	-
Bactériologiques							
38	Coliformes fécaux	/100ml	≤ 20	20-2000	2000-20000	> 20000	-
39	Coliformes totaux	/100ml	≤ 50	50-5000	5000-50000	> 50000	-
40	Streptocoques Fécaux	/100ml	≤ 20	20-1000	1000-10000	> 10000	-
Biologique							
41	Chlorophylle a	ug/l	< 2,5	2,5-10	10-30	30-110	> 110

Source : Ministère de l'Équipement et Ministère chargé de l'Aménagement du territoire, de l'Urbanisme, de l'Habitat et de l'Environnement (2002). BO : N°5062 du 5/12/2022

Annexe 2 : Technologies de traitement des eaux usées

Vu l'impact sur l'environnement et la santé humaine que peuvent avoir les EU, il est primordial de les traiter. Afin de traiter les EU, plusieurs technologies peuvent être utilisées. L'objectif visé et les moyens disponibles influencent le choix de la technologie à adopter.

Les EU sont sujettes à de nombreux traitements après leur acheminement à travers les canalisations d'assainissement. Une fois traitées, elles peuvent être rejetées dans le milieu naturel sans risque d'éventuelles pollutions ou réutiliser. Avant toute réutilisation, en fonction du traitement subi par les EU il faudra envisager un traitement complémentaire si nécessaire. Le choix de la technologie qui fera office de traitement complémentaire dépendra en grande partie de l'utilisation finale voulue et du budget disponible.

L'énumération et la description des différentes technologies de traitement des EU feront l'objet de cette partie.

Lits Bactériens

Ils consistent à faire passer les EU sur des matériaux poreux ou encore des substrats neutres où sont cultivés les bactéries. Il est perçu la formation d'un film biologique issu des microorganismes autant anaérobies que aérobies. L'aération par tirage ou par ventilation constitue une source d'apport importante en oxygène qui est lui-même nécessaire au bon fonctionnement des microorganismes. Cette technologie peut constituer un traitement suffisant si la sensibilité du milieu récepteur n'est pas très grande (CIRSEE et ENGEES, 2002).

Disques biologiques

Ce type de procédé utilise des disques semi-immergés où sont cultivés les microorganismes. Les microorganismes aérobies forment un film biologique épurateur au niveau de la surface des disques. L'apport en oxygène aux microorganismes est assuré par une rotation des disques semi-immergés. Afin de parvenir au bon fonctionnement de ces disques, leurs dimensionnements devront être réalisés avec des marges de sécurité importantes.

Boues activées

C'est un procédé biologique aérobie de type culture libre où les bactéries sont dispersées dans le liquide à traiter sous forme de floccs constituant les boues activées. Après dégradation de la matière organique, l'effluent traité passe dans un clarificateur et les boues sont acheminées vers la filière boue où elles seront traitées. Une partie de la boue décantée est recyclée. Un mélange intime et une agitation des EU avec des boues activées liquides bactériologiquement très actives sera nécessaire. Ceci provoquera une dégradation aérobie de la pollution analogue à celle observée dans les milieux naturels lors de l'autoépuration.

Infiltration-percolation

L'infiltration-percolation est utilisée sur les EUT biologiquement. C'est une technique rustique utilisée pour la désinfection en utilisant des bassins d'infiltration constitués de sable de différentes granulométries.

Le principe dans l'infiltration-percolation est de permettre la dégradation importante de la matière organique : 90 à 95% sur les MES, la DBO₅, la DCO (Office International de l'Eau, 2011).

Filtres plantés

Ils combinent traitement physique, chimique et biologique respectivement à travers la filtration sur support fin, l'adsorption et complexation, et la biomasse fixée sur le support fin.

Les filtres plantés qu'ils soient à écoulement horizontal ou vertical, sont généralement remplis de couches successives de gravier ou de sable de granulométrie variable. La biomasse est fixée sur le sol et l'apport d'oxygène est fait par convection et diffusion.

Procédés à cultures libres

La technologie de lagunage consiste à faire traverser l'effluent brut dans plusieurs bassins et ainsi lui faire passer un long séjour jusqu'à obtenir le niveau de désinfection souhaité.

Le lagunage naturel se base sur la photosynthèse des algues qui produiront ainsi l'oxygène nécessaire aux bactéries afin qu'elles assurent à leur tour la dégradation de la matière organique.

Le lagunage aéré est une technique qui consiste à doter un système de lagunage naturel d'un aérateur de surface ou d'une insufflation d'air ce qui augmentera les rendements épuratoires. La production de boue devient également plus importante. L'épuration revient à 1,8-2 kW/kg de DBO₅ éliminée.

Ce procédé extensif consistant à l'utilisation des bassins pour la rétention des eaux à des hauteurs d'eau différentes. Cette technique est basée sur le pouvoir auto-épurateur du milieu naturel.

L'intérêt dans l'utilisation de la lagune de finition est la possibilité d'abattement de la DBO₅ de près de 50% en environ 48 heures. La lagune de finition a également la capacité d'utiliser le pouvoir de nitrification afin de réduire de 3 à 4 u.log la concentration bactérienne exprimée en germes-test (coliformes fécaux) pour un temps de séjour de 30 jours environ et pour une température de l'eau de 15 à 20°C.

Filtration des Matières En Suspension et des colloïdales résiduelles

Pour parvenir à une filtration des MES, il existe plusieurs techniques qui peuvent être utilisées. Le choix et l'utilisation d'une des techniques de filtration dépend du degré de filtration voulu. Chaque technique est différente de par son efficacité, de sa tendance à se colmater et aussi de la pression de travail qu'elle nécessite.

La Figure 48 permet de comparer les efficacités des différentes techniques par rapports aux polluants et éléments indésirables présents dans les EUT.

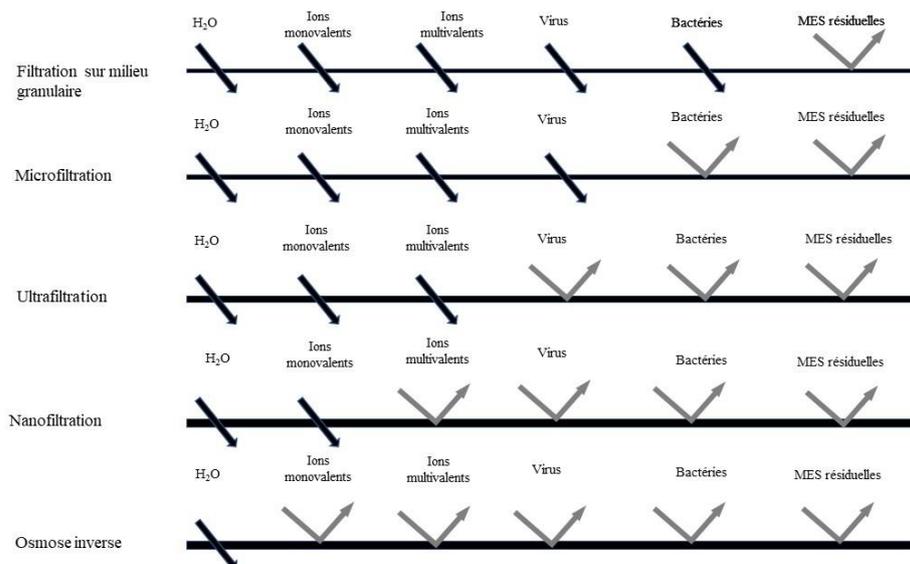


Figure 48 : Efficacité des techniques de filtration membranaire

Source : Office International de l'Eau (2011)

Réduction des paramètres chimiques

Afin de parvenir à la réduction des éléments présents dans l'eau que l'on souhaite éliminer, d'autres techniques autres celles de filtration, peuvent être utilisées :

➤ Coagulation-floculation-décantation

Cette technique est réalisée grâce à l'ajout de réactifs. L'injection des réactifs permet aux particules non décantables de s'agglomérer et de former des floccs. Par la suite les floccs décantent et permettent la séparation entre les particules et la phase eau.

➤ Résines échangeuses d'ions

Les EUT passent par une résine dans laquelle les constituants de la résine interagissent avec certains constituants des EUT.

Le principal intérêt dans l'utilisation des résines échangeuses d'ions est la possibilité d'élimination des ions ammonium, l'élimination des nitrates, des micropolluants métalliques, des solides dissous et des matières organiques d'après Office International de l'Eau (2011).

➤ Charbon actif grain ou poudre

La structure microporeuse obtenue grâce à l'utilisation du charbon actif en grain ou poudre permet de retenir les molécules de très fines tailles.

Selon l'Office International de l'Eau (2011) le principal intérêt de l'utilisation du charbon actif réside dans l'élimination efficace des éléments traces organiques à savoir les solvants, les pesticides, les hydrocarbures, et les éléments traces minéraux à savoir les micropolluants métalliques.

➤ **Electrodialyse**

Le principe de l'électrodialyse est de permettre la séparation électrochimique grâce à laquelle les ions sont transportés à travers des membranes sélectives sous l'influence d'un courant électrique.

L'intérêt que présente cette technique est de permettre l'élimination des ions mais cela, moins efficacement que l'utilisation de l'osmose inverse.

➤ **Désinfection**

Cette étape consiste essentiellement en la destruction des germes pathogènes. Elle permet d'éliminer les risques d'infections dus à la présence de microorganismes pathogènes. Il existe différentes techniques utilisées qui varient essentiellement de par leur efficacité. Ce sont : les rayons ultra-violet, la désinfection par le chlore et ses dérivés, la désinfection par l'ozone.

– **Désinfection par les rayons ultra-violet**

D'après l'Office International de l'Eau (2011) ce type de désinfection est possible grâce à la radiation électromagnétique apparaissant à une longueur d'onde égale à 254 nm.

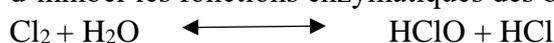
Le principe est d'agir directement sur l'ADN des microorganismes et permet l'interruption de leur processus de vie et de reproduction.

L'utilisation de la désinfection par les rayons ultra-violet permet d'empêcher la formation des sous-produits et permet une facilité d'utilisation et de sécurité d'exploitation. D'un autre côté, il existe un risque de contamination si le réseau est endommagé. Ce type de désinfection est également sensible aux variations de turbidité et n'a pas d'effet rémanent.

– **Désinfection par le chlore et ses dérivés**

La chloration des EUT dans un but de réutilisation peut être effectuée avec différents dérivés de chlore :

- L'utilisation du Bioxyde de chlore (ClO_2) à l'état gazeux dont le principe est d'inhiber les fonctions enzymatiques des bactéries à travers plusieurs possibilités de réactions. En plus de l'effet rémanent que le Bioxyde de chlore possède, il a également une grande efficacité contre les microorganismes pathogènes et il ne réagit pas avec la matière organique. Cependant le prix élevé et l'instabilité du Bioxyde de chlore pouvant engendrer la création de chlorites (ClO_2^-), peut contraindre à ne pas en faire utilisation ;
- L'utilisation du chlore gazeux (Cl_2) dont le principe est à l'instar du Bioxyde de chlore, d'inhiber les fonctions enzymatiques des bactéries à travers la réaction :



En plus de l'effet rémanent de la chloration, la présence d'un résiduel dans le traitement garantit la désinfection. Elle présente également des inconvénients à savoir l'apparition possible des formes de résistance, l'aspect corrosif du gaz, l'éventuelle formation de sous-produits ;

- L'utilisation de l'eau de Javel (NaClO) à l'état liquide dont le principe est également d'inhiber les fonctions enzymatiques des bactéries. La réaction de formation du composé inhibant est :



– Désinfection par l'ozone

L'utilisation de l'ozone (O₃) à l'état gazeux produit une décharge électrique dans de l'air ou de l'oxygène tout en produisant un radical détruisant les microorganismes : le radical hydroxyle libre (HO[•]). Selon l'Office International de l'Eau (2011) la formation des composés détruisant les microorganismes se produit grâce à la réaction :



La désinfection à l'ozone présente de nombreux avantages à savoir la très haute efficacité contre les virus, le spectre d'action large et surtout l'absence de formation de sous-produits indésirables comme les trihalométhanes. Cependant malgré les nombreux avantages qu'elle présente, la désinfection à l'ozone consomme énormément d'énergie en plus d'un coût d'investissement important. De plus, l'ozone est un gaz très instable en plus d'avoir un effet non rémanent.

Remarque : Dans le cadre d'un projet de REUT pour l'irrigation, lors du traitement complémentaire il n'est pas nécessaire d'éliminer l'azote et le phosphore qui sont des nutriments pour les plantes.

Filière boue

➤ Définition et composition

EL MEKNASSI (2020) définit les boues comme des produits dérivés des processus de traitement des EU.

Les boues obtenues lors des processus de traitement des EU sont de trois types :

- **Boues primaires** : se forment après décantation primaire des MES contenues dans les EU ;
- **Boues secondaires** : se forment à partir de la charge polluante dissoute utilisée par les cultures bactériennes libres ou fixées en présence d'oxygène ;
- **Boues de lagunage** : s'accumulent au fond des bassins de lagunes.

Selon EL MEKNASSI (2020) les boues sont composées de :

- Eau : < 5% MS ;
- Matière organique ;

- Azote (N), Phosphore (P), Potassium (K) ;
- Microorganismes pathogènes ;
- Oligo-éléments : Cuivre (Cu), Manganèse (Mn), Zinc (Zn) ;
- Eléments traces métalliques (ETM) : Cadmium (Cd), Plomb (Pb), Zinc (Zn) ;
- Micropolluants organiques : hydrocarbures aromatiques polycycliques, pesticides, substances médicamenteuses.

➤ **Traitement des boues**

Il existe plusieurs techniques de traitement des boues dont les principaux objectifs sont :

- De stabiliser les matières organiques afin d'éviter les nuisances olfactives dues à des fermentations éventuelles ;
- D'éliminer autant que possible l'eau se trouvant dans les boues.

– **Epaississement**

Cette technique permet de diminuer la quantité d'eau des boues par flottaison, centrifugation ou par sédimentation.

– **Déshydratation mécanique**

Cette technique permet de diminuer la teneur en eau des boues via filtration (filtres à bandes, filtres presses à plateaux) ou centrifugation.

– **Déshydratation par géomembrane**

Cette technique permet de diminuer la teneur en eau des boues par le biais des géotubes aux pores minuscules.

– **Séchage thermique**

Cette technique permet d'évaporer l'eau contenue dans les boues.

– **Séchage solaire**

Cette technique permet d'éliminer l'eau contenue dans les boues via rayonnement solaire sur une serre couverte, fermée ou chauffée.

– **Lits macrophytes**

Cette technique permet d'éliminer l'eau contenue dans les boues sur une surface drainante couverte de roseaux.

– **Stabilisation chimique**

Cette technique consiste à mélanger aux boues déshydratées de la chaux vive (CaO) ou de la chaux éteinte (Ca(OH)₂) afin de bloquer l'activité biologique par augmentation du pH des boues (pH > 12).

– **Stabilisation biologique aérobie**

Cette technique permet l'oxydation de la matière organique des boues par le biais d'un bassin d'aération.

– **Digestion anaérobie**

Cette technique permet de diminuer une grande quantité de la matière organique des boues après passage dans un digesteur. Elle s'accompagne de production de biogaz. Elle permet également d'éliminer les virus et bactéries contenues dans les boues.

Tableau 13 : Avantages et inconvénients de divers procédés de traitement des EU

Traitement	Avantages	Inconvénients
Systèmes biologiques bas débit		
Bassins de stabilisation, réservoirs de stockage et des usées	<p>Efficaces pour réduire la concentration d'agents pathogènes (tous les types de pathogènes)</p> <p>Faibles coûts de construction, d'exploitation et de maintenance</p> <p>Simplicité du fonctionnement et de la maintenance</p> <p>Production d'une faible quantité de boue contenant peu d'œufs d'helminthes</p> <p>Bon fonctionnement sous les climats chauds avec une évaporation faible à moyenne</p> <p>Aucun besoin en énergie électrique pour le fonctionnement</p>	<p>La présence de courts-circuits hydrauliques peut réduire l'efficacité d'élimination des agents pathogènes</p> <p>La présence d'algues dans les effluents peut gêner l'épandage de l'eau d'irrigation</p> <p>Importants besoins en terrain (en particulier dans les environnements tempérés)</p> <p>Risque de favoriser la reproduction de vecteurs de maladie en cas d'insuffisance de l'entretien</p> <p>Sous les climats arides, la forte évaporation conduit à une perte de ressources en eau et à une augmentation de la salinité des effluents</p>
Marais artificiels (Filtres plantés)		

	<p>Participation à la réconciliation de la production d'eaux usées avec la demande en eau d'irrigation en raison de la possibilité de stocker de l'eau en vue de son utilisation pendant les pics de demande</p> <p>Réduction efficace des concentrations d'agents pathogènes – Efficacité moyenne dans l'élimination des bactéries et des virus</p> <p>Coût bas, faible complexité</p> <p>Fonctionnement et exigences en matière de maintenance relativement simples</p> <p>Pas de besoins en électricité</p> <p>Possibilités d'amélioration de l'environnement pour d'autres espèces (oiseaux, par exemple)</p>	<p>Élimination des agents pathogènes variable et conditionnée par divers facteurs</p> <p>Aménagement et végétaux à mettre en place différents selon le contexte</p> <p>Sous les climats arides, la forte évapotranspiration conduit à une perte de ressources en eau et à une augmentation de la salinité des effluents</p> <p>Risque de favoriser la reproduction de vecteurs de maladie</p> <p>Les excréta de la faune peuvent entraîner une détérioration de la qualité des effluents</p>
Procédés Haut débit		
Sédimentation primaire	<p>Faible coût</p> <p>Technologie simple</p>	<p>Faible élimination des agents pathogènes</p>
Traitement chimiquement amélioré	<p>Amélioration de la sédimentation primaire à faible coût</p> <p>Peu de besoins en terrain</p> <p>Élimination très efficace des œufs d'helminthes</p> <p>Production d'effluents adaptés aux besoins agricoles</p>	<p>Production d'une plus grande quantité de boues qu'une sédimentation primaire normale</p> <p>Nécessité de traiter les boues produites pour inactiver les agents pathogènes</p> <p>Nécessité d'utiliser des produits chimiques</p>
Boues activées ou filtres à lit biologique + secondaire + désinfection	<p>Technologie largement disponible et bien comprise</p> <p>Possibilité d'optimiser les performances pour obtenir une bonne élimination des agents pathogènes</p>	<p>Coût élevé et grande complexité</p> <p>Nécessité de disposer de personnel formé</p> <p>Besoins en électricité</p> <p>Production de grands</p>

		<p>volumes de boues, qui doivent être manipulés, traités et éliminés</p> <p>Nécessité de traiter les boues produites pour inactiver les agents pathogènes</p> <p>Le gonflement des boues peut faire augmenter la quantité d'œufs d'helminthes présente dans les effluents</p>
Réacteur anaérobie à lit de boues à flux ascendant	Faible coût Efficacité moyenne dans l'élimination des œufs d'helminthes	<p>Risque de mauvaises odeurs dues aux effluents</p> <p>Nécessité de disposer de personnel formé</p> <p>Nécessité de digérer et/ou de traiter les boues pour inactiver les agents pathogènes</p>
Lagune aérée + bassin de décantation	Technologie largement disponible et bien comprise Possibilité d'optimiser les performances pour obtenir une bonne élimination des agents pathogènes Sédimentation primaire inutile	<p>Besoins en électricité</p> <p>Nécessité de disposer d'une surface de terrain plus importante que pour les autres procédés haut débit</p> <p>Coût et complexité moindres que pour les autres procédés haut débit</p>
Coagulation, floculation et sédimentation	Meilleure efficacité de l'élimination/de l'inactivation des virus et autres agents pathogènes Faible coût additionnel	<p>Nécessité de traiter les boues pour inactiver les agents pathogènes</p> <p>Augmentation de la production de boues</p> <p>Nécessité de traiter les boues pour inactiver les agents pathogènes</p>
Filtration sur sable granulaire ou bas débit	Amélioration de l'élimination des agents pathogènes Technologie bien comprise Faible coût additionnel	<p>Nécessité d'une gestion attentive pour optimiser les performances</p> <p>Les filtres bas débit nécessitent plus d'espace</p> <p>Nécessité de traiter les boues pour inactiver les agents pathogènes</p>
Filtration double sur lit	En cas d'utilisation après un traitement primaire, élimination efficace des	Faible efficacité dans l'élimination des bactéries et des virus

	<p>kystes et oocystes de protozoaires et des œufs d'helminthes</p> <p>En cas d'utilisation après un traitement secondaire, élimination efficace des agents pathogènes</p> <p>Technologie bien comprise</p> <p>Faible coût additionnel</p>	<p>Nécessité d'une gestion attentive pour optimiser les performances</p>
Chloration (chlore libre)	<p>Méthode de désinfection la moins onéreuse</p> <p>Technologie bien comprise</p> <p>Inactivation efficace des bactéries et des virus</p>	<p>Procédé nécessitant un prétraitement pour être efficace</p> <p>Faible efficacité dans l'inactivation des protozoaires et des helminthes</p> <p>Génération de sous-produits de désinfection</p> <p>Produits chimiques dangereux</p>
Désinfection à l'ozone	<p>Inactivation efficace des bactéries, des virus et de certains protozoaires</p>	<p>Procédé efficace lorsque la teneur en matières organiques est faible</p> <p>Procédé plus coûteux et plus complexe que la chloration</p> <p>Faible efficacité dans l'inactivation des protozoaires et des helminthes</p> <p>Nécessité de générer l'ozone sur le site</p> <p>Production de sous-produits dangereux</p>
Désinfection par les ultraviolets	<p>Efficacité dans l'inactivation des bactéries, des virus et de certains protozoaires</p> <p>Faible coût</p> <p>Ni utilisation, ni génération de produits chimiques toxiques</p>	<p>Procédé efficace uniquement sur des effluents ayant une faible teneur en matières solides en suspension et présentant une transmittance élevée</p> <p>Pas d'inactivation des œufs d'helminthes</p> <p>Risque de baisse des performances du fait de la présence de matières particulaires ou de la formation de films biologiques</p>

		Nécessité de bien entretenir les lampes
Sédimentation primaire bioréacteurs membranes	+ à Élimination de tous les agents pathogènes	Procédé complexe Procédé coûteux Nécessité de traiter les boues pour inactiver les agents pathogènes Encrassement des membranes

Source : OMS (2012)

Annexe 3 : Utilisation des eaux usées en agriculture

Face à la croissance démographique, la rareté et la dégradation des ressources en eau, le recours aux EU pour l'agriculture est significatif dans les pays pauvres, pays en voie développement, pays industrialisés.

L'utilisation des EU en agriculture est permise via des barrières multiples. Les barrières multiples consistent à l'utilisation d'une ou plusieurs mesures préventives pour constituer une barrière contre les dangers (OMS, 2012).

Les mesures préventives qui seront données ci-dessous ont pour but de préserver la santé publique et d'optimiser les ressources. Ces mesures préventives sont tirées du *Volume II des Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères : Utilisation des eaux usées en agriculture* (2012).

Cadre Stockholm

D'après l'OMS (2012) le Cadre Stockholm est une approche intégrée qui associe évaluation et gestion des risques pour lutter contre les maladies liées à l'eau. Ce cadre s'applique aux maladies microbiennes, aux affections liées dues aux expositions à des produits toxiques se trouvant dans l'eau et aux risques liés l'utilisation des EU en agriculture.

Le Cade Stockholm est une approche harmonisée pour l'évaluation et la gestion des risques sanitaires. Selon l'OMS (2012) cette évaluation se fait en préalable de la définition des objectifs liés à la santé et à l'établissement de valeurs indicatives, la définition des stratégies de base pour les risques maîtrisés et l'évaluation de l'impact de cette combinaison d'approches sur la santé publique.

Ce Cadre doit être adapté à chaque pays en fonction de leur situation sociale, culturelle, économique et environnementale.

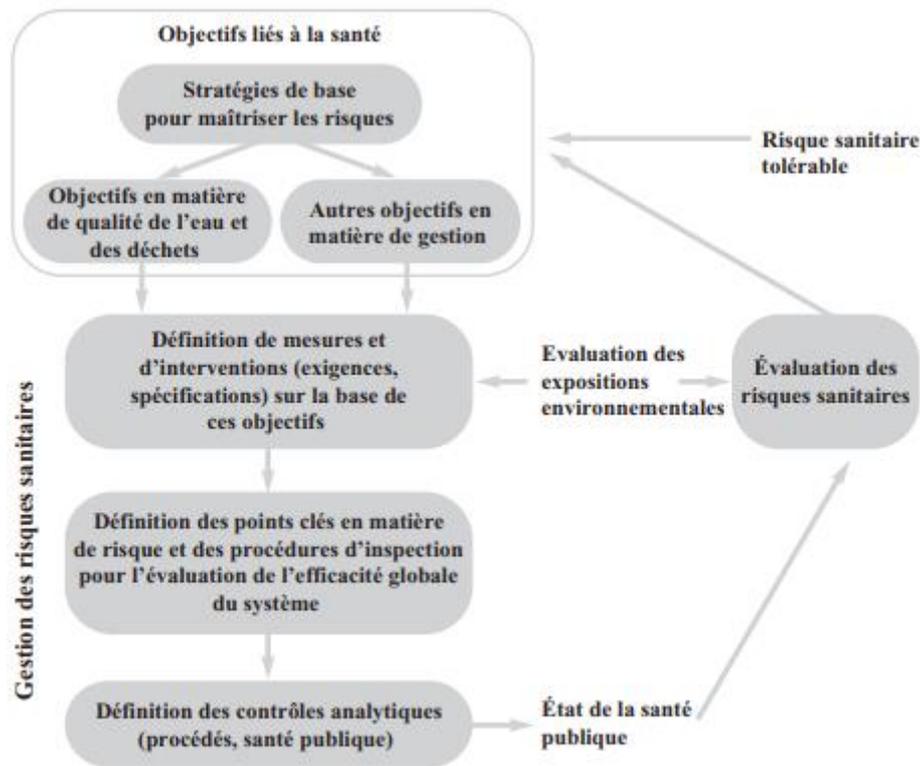


Figure 49 : Cadre de Stockholm régissant l'élaboration de recommandations harmonisées pour la gestion des maladies infectieuses liées à l'eau

Source : OMS (2012) tiré de BARTRAM et al (2001)

Évaluation de l'exposition environnementale

L'évaluation de l'exposition environnementale permet de faire le point sur les différents dangers présents dans l'environnement et leurs différentes voies de transmission et d'exposition pour l'Homme ou les animaux (OMS, 2012).

Cette évaluation est primordiale afin de mieux évaluer et gérer les risques liés à l'utilisation des EU.

Évaluation des risques sanitaires

Selon l'OMS (2012) les analyses chimiques et microbiologiques en laboratoire, les études épidémiologiques et l'évaluation quantitative des risques microbiens et chimiques sont les trois sources d'évaluation des risques sanitaires.

Objectifs liés à la santé

Ces objectifs indiquent pour chaque niveau de risque le niveau de protection correspondant. Ils doivent être étroitement liés aux conditions de chaque pays. Les objectifs liés à la santé doivent

être réalistes et mise à jour périodiquement. Ils utilisent comme référence le risque tolérable de la maladie.

Mesures de protection sanitaire

Pour l'OMS (2012) les mesures préventives pour protéger les travailleurs et leurs familles sont :

- L'utilisation d'équipements de protection individuelle ;
- L'accès à une eau de boisson saine et à des installations d'assainissement dans les fermes ;
- La promotion de la santé et de l'hygiène ;
- La chimiothérapie et la vaccination ;
- La lutte contre les vecteurs et les hôtes intermédiaires ;
- La réduction du contact avec les vecteurs.

Par ailleurs, afin de protéger la communauté locale l'OMS (2012) préconise :

- Le traitement des eaux usées ;
- La restriction de l'accès aux champs irrigués et aux structures hydrauliques ;
- L'accès à une eau saine pour les usages récréatifs, notamment pour les adolescents ;
- L'accès à une eau de boisson saine et à des installations d'assainissement dans les communautés locales ;
- La promotion de la santé et de l'hygiène ;
- La chimiothérapie et la vaccination ;
- La lutte contre les vecteurs et les hôtes intermédiaires ;
- La limitation des contacts avec les vecteurs.

Surveillance et évaluation du système

D'après l'OMS (2012) la surveillance a pour buts : la validation du système, la surveillance opérationnelle et la vérification.

La validation du système effectuée au départ permet de confirmer que le système remplit les buts visés.

La surveillance opérationnelle s'effectue à partir des mesures simples et rapides. Elle permet de vérifier que le système fonctionne comme prévu et de prévenir ou résoudre d'éventuels problèmes.

La vérification effectuée à la fin permet de savoir si le système a atteint ses objectifs liés à la santé.

Pour l'OMS (2012) afin de s'assurer d'une absence de risque quant à l'utilisation des EU pour l'irrigation, il faudra adopter une approche globale de gestion des risques sanitaires. Cette gestion des risques couvre toutes les étapes du processus, de la génération des déchets au traitement, et à l'emploi des EU et à l'utilisation et à la consommation des produits.

La gestion des risques a un impact direct sur la réalisation des objectifs liés à la santé. L'évaluation du système, l'identification des mesures de maîtrise des risques et des méthodes de surveillance correspondantes et le développement d'un plan de gestion sont les trois composantes qui permettent de gérer les risques sanitaires.

Aspects environnementaux

L'utilisation des EU pour l'irrigation a des impacts positifs et négatifs sur l'environnement (OMS, 2012). La planification, la bonne gestion et soigneuse et les bonnes pratiques d'irrigation permettent d'accroître les bénéfices de l'utilisation des EU.

Planification et mise en œuvre

L'OMS (2012) préconise de prévoir des volets communication avec les parties prenantes, sur les interactions avec elles et sur la collecte et l'exploitation des données lors de la planification et de la mise en œuvre des programmes d'irrigation par des EU. Il faudra que ces programmes d'irrigation par les EU remplissent les priorités sanitaires les plus urgentes.

La durabilité de l'utilisation des EU pour l'irrigation dépend de l'évaluation et de la compréhension de huit critères importants : la santé, la faisabilité économique, l'impact social et perception par le public, la faisabilité financière, l'impact environnemental, la faisabilité commerciale, institutionnelle et technique (OMS, 2012).

Tableau 14 : Concentrations d'organismes excrétés dans les EU

Organismes	Nombres des organismes dans les EU par litre
Bactéries	
Coliformes thermotolérants	10^8-10^{10}
Campylobacter jejuni	$10-10^4$
Salmonella spp.	$1-10^5$
Shigella spp.	$10-10^4$
Vibrio cholerae	10^2-10^5
Helminthes	
Ascaris lumbricoides	$1-10^3$
Ancylostoma duodenale/Necator americanus	$1-10^3$
Trichuris trichiura	$1-10^2$
Schistosoma mansoni	
Protozoaires	
Cryptosporidium parvum	$1-10^4$
Entamoeba histolytica	$1-10^2$
Giardia intestinalis	10^2-10^5
Virus	
Virus entériques	10^5-10^6

Rotavirus	10^2-10^5
-----------	-------------

Source : OMS (2012)

Paramètres de validation, de surveillance opérationnelle et de vérification pour différentes mesures de maîtrise de risques

Tableau 15 : Paramètres de validation, de surveillance opérationnelle et de vérification pour différentes mesures de maîtrise de risques

Mesures de limitation de l'exposition	Exigences pour la validation	Paramètres de surveillance opérationnelle	Paramètres de vérification
Traitement des eaux usées	<p>Efficacité des procédés de traitement en matière d'inactivation/d'élimination des agents pathogènes et des organismes indicateurs (E. coli, œufs d'helminthes)</p> <p>Conception du système (temps de séjour, courts-circuits dans le bassin de stabilisation révélés par un test de coloration, par exemple)</p> <p>Procédures analytiques pour détecter les indicateurs et/ou les agents pathogènes (y compris la mesure de leur viabilité)</p>	<p><u>Systemes biologiques bas débit</u> :</p> <p>Débits</p> <p>DBO (les débits de charge peuvent varier pendant les périodes plus froides)</p> <p>Concentrations d'algues et types d'espèces</p> <p>Oxygène dissous à différentes profondeurs des bassins (bassins facultatifs et de maturation)</p> <p><u>Procédés haut débit</u> :</p>	<p>E. coli</p> <p>Œufs d'helminthes (y compris Schistosome spp., le cas échéant)</p>
	<p>Efficacité du traitement dans l'élimination des produits chimiques toxiques localement importants</p>	<p>DBO</p> <p>Turbidité</p> <p>pH</p> <p>Carbone organique</p> <p>Dénombrement</p>	<p>Produits chimiques toxiques localement importants</p>

	Procédures analytiques et capacités de détection des produits chimiques dans les eaux usées, les excréta ou l'eau des bassins	nt des particules Intégrité des membranes (pression d'épreuve) Chlore résiduel	
Promotion de la santé et de l'hygiène	Test du matériel de promotion avec des groupes de parties prenantes bien choisis	Programmes locaux en cours de mise en œuvre Matériel de promotion disponible Intégration de la promotion dans les programmes d'enseignement	Sensibilisation aux problèmes de santé et d'hygiène de groupes clés de parties prenantes Amélioration des pratiques
Chimiothérapie et vaccination	Efficacité de différents vaccins/médicaments dans la prévention ou le traitement d'infections localement importantes	Nombre de personnes vaccinées/traitées Ciblage des villages/écoles situés à proximité des zones d'utilisation des eaux usées Fréquence des campagnes	Réduction de la prévalence et de l'intensité des infections Baisse du nombre de flambées épidémiques dans les zones visées
Restrictions portant sur les produits	Enquêtes auprès des consommateurs de produits pour déterminer quelles espèces sont toujours consommées après une cuisson complète	Types de végétaux cultivés dans les zones d'utilisation des eaux usées	Analyse de la qualité des eaux usées pour s'assurer que l'eau utilisée pour l'irrigation sans restriction est conforme aux objectifs de réduction

	<p>Analyse des possibilités de commercialisation des différentes espèces/cultures</p> <p>Viabilité économique des produits agricoles non destinés à la consommation humaine</p>		<p>microbienne de l'OMS</p>
<p>Épandage des eaux usées/ calendrier d'épandage</p>	<p>Évaluer par des tests le temps nécessaire au déperissement des agents pathogènes dans différentes conditions climatiques et pour différents agents pathogènes/indicateurs entre l'épandage des eaux usées et la récolte des cultures afin de garantir une contamination minimale</p>	<p>Surveiller le déroulement dans le temps de l'épandage des eaux usées et le moment de la récolte</p>	<p>Déterminer analytiquement la contamination des végétaux</p>
<p>Lavage et désinfection des produits, cuisson des aliments</p>	<p>Rechercher les méthodes les plus efficaces dans la réduction de la contamination et l'inactivation des agents pathogènes</p> <p>Test du matériel de formation avec des parties</p>	<p>Inspection par les autorités de sécurité sanitaire des aliments pour s'assurer de l'application de procédures correctes sur les marchés ou dans les restaurants où les</p>	<p>Analyses microbiennes périodiques pour contrôler l'hygiène des espaces de préparation des aliments sur les marchés et dans les restaurants, analyse des produits pour déterminer où se produit la contamination</p> <p>Inspection des marchés pour évaluer la</p>

	prenantes appropriées	produits sont préparés	disponibilité d'eau de boisson saine pour le lavage ou le rafraîchissement des produit
Accès contrôlés, port d'équipements de protection individuelle	<p>Contrôler l'efficacité des mesures de contrôle des accès dans la prévention de l'exposition du public aux eaux usées</p> <p>Identifier les équipements de protection individuelle disponibles à faible coût que porteront les travailleurs</p> <p>Contrôler l'efficacité de ces équipements dans la prévention de l'exposition aux dangers</p>	<p>Inspection visuelle des zones d'utilisation des eaux pour vérifier la présence de panneaux de mise en garde, de clôtures, etc.</p> <p>Inspection visuelle des travailleurs pour s'assurer qu'ils portent des vêtements de protection individuelle appropriés</p>	<p>Surveillance de la santé des travailleurs pour documenter les réductions des maladies cutanées, de la schistosomiase (le cas échéant) et des ankylostomiasés</p>
Hôtes intermédiaires et lutte contre les vecteurs	<p>Tester le système pour évaluer son effet sur la reproduction des insectes vecteurs et/ou sur la survie et le développement des espèces d'escargots concernés</p> <p>Tester les mesures de limitation de l'exposition telles que la réduction de la végétation émergente et leur impact sur la reproduction des</p>	<p>Inspection visuelle des installations pour surveiller la croissance végétale dans les canaux d'irrigation ou les bassins de traitement</p> <p>Inspection de l'eau à la recherche de larves d'insectes</p>	<p>Surveillance sanitaire pour collecter des données sur les maladies à transmission vectorielle ou la schistosomiase chez les travailleurs et les communautés locales</p>

<p>vecteurs de maladie ou des escargots hôtes intermédiaires Vérifier l'absence d'obstruction des drains, d'eaux d'infiltration ou d'une élévation du niveau des eaux souterraines pouvant entraîner une accumulation d'eau stagnante</p>	<p>préoccupants ou d'escargots hôtes intermédiaire s</p>
---	--

Source : OMS (2012)

Annexe 4 : Réutilisation des eaux usées traitées au Maroc

Structures administratives

➤ Département de l'Eau

Ce département rattaché au Ministère de l'Equipement et de l'Eau a pour but l'élaboration de la stratégie de l'eau y compris le volet REUT.

➤ Département de la Santé

Ce département est chargé de la surveillance du traitement des EU et la qualité des EUT. Il assure également la mise en place des normes de qualité.

➤ Département chargé de l'Agriculture

Dans le cadre d'un projet de REUT en agriculture, ce département assure le financement des aménagements hydroagricoles.

➤ Département chargé de l'Intérieur

Ce département, en collaboration avec les départements chargés de l'Agriculture, de l'Eau, de l'Environnement et des Finances, est chargé de la mise en œuvre du PNAM. Il peut également offrir une aide financière aux projets de REUT.

Structures institutionnelles

➤ ABH

Chaque bassin est géré par une agence dotée de la personnalité morale et de l'autonomie financière. Dans le cadre de la REUT, elle est chargée de :

- Délivrer les autorisations de déversements des EU et de REUT ;
- Octroyer l'aide financière et l'assistance technique à toute personne physique ou morale engageant un projet de REUT ;
- Fixer les valeurs limites de rejet ;
- Veiller au respect des normes de rejet par les STEP ;
- Octroyer le concours financier aux utilisateurs des EUT et accorder son assistance technique à ces utilisateurs.

➤ ONEE-Branche Eau

Elle est placée sous la tutelle de la Direction Générale de l'Eau. L'ONEE-Branche Eau a pour mission l'assainissement liquide et le traitement des EU pour un rejet dans le milieu naturel lorsque la commune qui en est normalement chargée les lui confie en vertu de la loi n°31-00 modifiant le Dahir n°1-72-103 du 3 Avril 1972, promulguée par le Dahir n°1-00-103 du 3 Avril 1972 qui a étendu ses attributions à l'assainissement.

➤ **Régies**

Les collectivités locales créent ou chargent les régies pour assurer l'assainissement liquide et le traitement des EU pour un rejet dans le milieu naturel tout en respectant les normes de rejet établies par l'ABH.

➤ **Direction Régionale de l'Agriculture**

Dans le cadre d'un projet de REUT en agriculture, elle a pour missions :

- La réalisation des aménagements et équipements hydroagricoles ;
- La promotion et le développement de l'agriculture dans sa zone d'action ;
- L'assistance aux organismes de crédit.

Ces missions peuvent être assurées par l'ORMVA dans sa zone d'action.

➤ **ANDZOA**

L'ANDZOA créé par le Dahir n°1-10-187 du 7 Moharrem 1432 (13 Décembre 20110) portant promulgation de la loi n°6-10 appuie financièrement tout projet de développement des zones oasiennes. Les projets de REUT peuvent également bénéficier d'un appui financier après dépôt de dossier.

Collectivités locales

➤ **Commune**

La loi n°78-00 relative à la charte communale promulguée par le Dahir n°1-02-297 du 3 Octobre 2002, confère à la commune la mission d'assurer l'assainissement liquide et le traitement des EU de sa zone d'action. Dans le cas où la commune serait le bénéficiaire direct des EUT, elle devra assurer le coût lié au traitement complémentaire.

La commune peut déléguer cette mission d'assainissement liquide et de traitement des EU à l'ONEE ou à une régie.

➤ **Usagers d'Eaux Agricoles**

Il s'agit des agriculteurs appartenant à l'AUEA et/ou des agriculteurs indépendants.

Concernant les AUEA, elles sont régies la loi n°02-84 relative aux AUEA et leur constitution est du ressort du département chargé de l'Agriculture. Leur but est de faciliter le processus de REUT par la prise en charge des frais du traitement complémentaire, la répartition des EUT entre les différents agriculteurs, l'obtention d'une seule autorisation de REUT pour tous délivrée par l'ABH.

Concernant les agriculteurs indépendants, chaque agriculteur prendra en charge les frais du traitement complémentaire et devra se procurer son autorisation de REUT au niveau de l'ABH.

Contraintes liées à la REUT

Il existe plusieurs contraintes qui peuvent entraver la réussite d'un projet de REUT. Les différentes contraintes sont classées en sept catégories :

- **Contraintes Règlementaires** : problème de prise en charge du traitement complémentaire, non-respect des normes et faible applicabilité de la législation dans certaines situations, contrôle limité, disparité institutionnelle, normes de qualité pour l'irrigation strictes impossible à atteindre, dispositions règlementaires ne couvrant pas tous les aspects ou des aspects restent à préciser, absence de disposition pour pallier la divergence d'intérêts entre les différents acteurs ;
- **Contraintes Institutionnelles** : manque de clarté et précision des objectifs des institutions, marginalisation des agriculteurs qui sont en fin de chaîne ;
- **Contraintes Sanitaires** : risques microbiologiques entraînant les infections gastro-intestinales, risques chimiques liés aux métaux lourds, aux éléments traces métalliques, substances pharmaceutiques ;
- **Contraintes Techniques** : mise en place des bassins de stockage, insuffisances en matière de maîtrise des effluents industriels à l'amont des STEP, plusieurs points de rejets dans les grandes villes, manque de main d'œuvre qualifié pour assurer un meilleur suivi à différents niveaux (collecte, épuration, réutilisation), variabilité de la qualité des effluents à la sortie des STEP ;
- **Contraintes Environnementales** : problème d'infiltration, salinisation, alcalinité et réduction de la perméabilité du sol (métaux lourds), accumulation d'éléments potentiellement toxiques, de nutriment, problème d'eutrophisation, pollution nitrique souterraine ;
- **Contraintes Financières** : insuffisance financière pour le fonctionnement durable des STEP, coûts élevés de gestion et de maintenance, coûts supplémentaires liés au traitement complémentaire, coûts liés aux analyses ;
- **Contraintes Socio-économiques** : consentement des agriculteurs à payer, concurrence entre eaux conventionnelles et eaux non conventionnelles.

Utilisations des EUT

En général, les EUT sont utilisées pour deux grands usages qui varient essentiellement de par les exigences de qualité.

➤ Usages potables

Nous distinguons deux types de production d'eau potable via les EUT :

- **Production directe** : à travers des traitements très poussés les EUT sont directement utilisées pour l'alimentation en eau potable.
- **Production indirecte** : à travers des traitements poussés les EUT sont utilisées pour recharger la nappe ou sont mélangées aux eaux conventionnelles pour ensuite être utilisées pour l'alimentation en eau potable.

➤ Usages non potables

Les usages non potables sont divers et permettent de répondre à la demande en eau dans d'autres secteurs autre que l'eau potable :

- **Irrigation des cultures** : les EUT sont utilisées pour irriguer les cultures maraîchères, céréalières, fourragères, les arbres fruitiers ;
- **Utilisations urbaines** : les EUT sont utilisées pour l'irrigation des espaces verts, parcs, terrains, la protection contre les incendies, le lavage des routes, véhicules ;
- **Recharge indirecte des nappes** : les EUT sont utilisées pour recharger les nappes afin de les réapprovisionner et résoudre le problème de surexploitation des nappes ;
- **Utilisations industrielles** : les EUT sont utilisées comme eaux de refroidissement, eaux de chaudières et eaux de nettoyage des équipements et minerais ;
- **Utilisations récréatives** : les EUT sont utilisées pour soutenir le débit d'étiage des cours d'eau.

Bénéfices issus de la réussite d'un projet de REUT

Il existe plusieurs bénéfices qui peuvent découler de la réussite d'un projet de REUT. Nous pouvons classer ces bénéfices en cinq catégories.

- **Ressources alternatives** : les EUT sont des ressources fiables indépendamment des aléas climatiques, elles permettent également d'augmenter les ressources en eau mobilisables ;
- **Conservation et préservation des ressources déjà existantes** : les EUT permettent de réduire la surexploitation des nappes souterraines ;
- **Développement durable** : les EUT permettent la protection des milieux sensibles et la restauration des zones humides et la réduction des coûts énergétiques et environnementaux comparés au dessalement et à l'exploitation des aquifères ;
- **Valeur économique** : les EUT constituent une source de revenus pour le gestionnaire, l'économie circulaire engendre des revenus complémentaires grâce à la vente des produits dérivés et à l'eau recyclée ;
- **Valeur environnementale** : la diminution de la pollution du milieu récepteur, la réduction d'utilisation des produits chimiques et autres pesticides dans le cadre de l'irrigation et de l'arrosage des espaces verts.

Réussites de REUT dans le monde

Parmi les innombrables réussites de projet de REUT dans le monde, nous pouvons citer entre autres :

- **L'Italie** : une usine de recyclage et de désinfection des EUT permet d'irriguer plus de 20000 ha de cultures maraîchères à forte valeur ajoutée (LAZAROVA et BRISSAUD (2007) cité dans FARAH (2011)) ;
- **L'Espagne** : les EUT sont utilisées pour l'irrigation des cultures et golfs, la recharge des nappes et le soutien du débit d'étiage des cours d'eau. Le volume annuel moyen des EUT est 368 Mm³ (ANGELAKIS et al. (2007) cité dans FARAH (2011)) ;
- **Les Etats-Unis** : l'utilisation des EUT pour l'irrigation des cultures est très répandue. En Californie, 63% du volume total des EUT sont utilisés pour l'agriculture. Par

ailleurs, une partie des EUT y est utilisée pour la production d'eau potable (ECOSSE (2001) cité dans FARAH (2011)) ;

- **La Namibie** : les EUT de la ville de Windhoek sont utilisées pour la production d'eau potable. La capacité de production journalière est 21000 m³. Les EUT sont également utilisées pour l'irrigation des terrains et parcs (MENGE (2009) cité dans FARAH (2011)) ;
- **La Jordanie** : les EUT sont essentiellement utilisées pour l'irrigation des cultures, les besoins industrielles ;
- **Singapour** : les EUT sont utilisées en industrie, pour la production indirecte d'eau potable et dans les tours de refroidissement.

Tableau 16 : Valeurs limites spécifiques de rejet domestique à partir de Juillet 2012

Paramètres	Valeurs limites spécifiques de rejet domestique	BO	Date d'effet
DBO ₅ mg O ₂ /l	300	N°5448 du 17/08/2006	Juillet 2012
DCO mg O ₂ /l	600		
MES mg/l	250		

Source : Ministère délégué auprès du Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, chargé de l'Eau (2006). BO : N°5448 du 17/08/2006

Tableau 17 : Valeurs limites spécifiques de rejet domestique à partir d'Août 2016

Paramètres	Valeurs limites spécifiques de rejet domestique	BO	Date d'effet
DBO ₅ mg O ₂ /l	120	N°5448 du 17/08/2006	Août 2016
DCO mg O ₂ /l	250		
MES mg/l	150		

Source : Ministère délégué auprès du Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, chargé de l'Eau (2006). BO : N°5448 du 17/08/2006

Tableau 18 : Valeurs limites générales de rejet applicable aux déversements des EU ne disposant pas des Valeurs Limites Spécifiques de Rejet

Paramètres	Valeurs limites spécifiques de rejet domestique	BO	Date d'effet
Température (°C)	30		
pH	5,5-9,5		
MES (mg/l)	100		
Azote Kjeldahl (mg/l)	40		
Phosphore total (mg/l)	15		

DCO (mg O ₂ /l)	500	N°6199 du 28/10/2013	Janvier 2018
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	100		
Chlore actif (Cl ₂) (mg/l)	0,2		
Dioxyde de chlore (ClO ₂) (mg/l)	0,05		
Aluminium (Al) (mg/l)	10		
Détergents (anionique, cationique et ionique) (mg/l)	3		
Conductivité électrique (µS/cm)	2700		
Salmonelles/5000 ml	Absence		
Vibrions cholériques/5000 ml	Absence		
Cyanures libres (CN ⁻) (mg/l)	0,5		
Sulfates (SO ₄ ²⁻) (mg/l)	600		
Sulfures libres (S ²⁻) (mg/l)	1		
Fluorures (F ⁻) (mg/l)	20		
Indice de Phénols (mg/l)	0,5		
Hydrocarbures par Infra-rouge (mg/l)	15		
Huiles et graisses (mg/l)	30		
Antimoine (Sb) (mg/l)	0,3		
Argent (Ag) (mg/l)	0,1		
Arsenic (As) (mg/l)	0,1		
Baryum (Ba) (mg/l)	1		
Cadmium (Cd) (mg/l)	0,25		
Cobalt (Co) (mg/l)	0,5		
Cuivre total (Cu) (mg/l)	2		
Mercure total (Hg) (mg/l)	0,05		
Plomb total (Pb) (mg/l)	1		
Chrome total (Cr) (mg/l)	2		
Chrome hexavalent (Cr ⁶⁺) (mg/l)	0,2		
Etain total (Sn) (mg/l)	2,5		
Manganèse (Mn) (mg/l)	2		
Nickel total (Ni) (mg/l)	5		
Sélénium (Se) (mg/l)	0,1		
Zinc total (Zn) (mg/l)	5		
Fer (Fe) (mg/l)	5		
AOX (mg/l)	5		

Source : Ministère délégué auprès du Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, chargé de l'Eau (2013). BO : N°6199 du 28/10/2013

Tableau 19 : Normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation

Paramètres		Valeurs limites
Paramètres bactériologiques		
1	Coliformes fécaux	1000/100 ml
2	Salmonelle	Absence dans 5 l
3	Vibron Cholérique	Absence dans 450 ml
Paramètres parasitologiques		

4	Parasites pathogènes	Absence
5	Œufs, Kystes de parasites	Absence
6	Larves d'Ankylostomides	Absence
7	Fluococercaires de Schistosoma hoematobium	Absence
Paramètres toxiques		
8	Mercure (Hg) en mg/l	0.001
9	Cadmium (Cd) en mg/l	0.01
10	Arsenic (As) en mg/l	0.1
11	Chrome total (Cr) en mg/l	0.1
12	Plomb (Pb) en mg/l	5
13	Cuivre (Cu) en mg/l	0.2
14	Zinc (Zn) en mg/l	2
15	Sélénium (Se) en mg/l	0.02
16	Fluor (F) en mg/l	1
17	Cyanures (Cn) en mg/l	1
18	Phénols en mg/l	3
19	Aluminium (Al) en mg/l	5
20	Beryllium (Be) en mg/l	0.1
21	Cobalt (Co) en mg/l	0.05
22	Fer (Fe) en mg/l	5
23	Lithium (Li) en mg/l	2.5
24	Manganèse (Mn) en mg/l	0.2
25	Molybdène (Mo) en mg/l	0.01
26	Nickel (Ni) en mg/l	0.2
27	Vanadium (V) en mg/l	0.1
Paramètres physico-chimiques		
28	Salinité totale (STD) en mg/l	7680
	Conductivité électrique (CE) ms/cm à 25°C	12
29	Coefficient d'absorption du sodium	
	SAR* = 0 – 3 et CE=	< 0,2
	SAR* = 3 – 6 et CE=	< 0,3
	SAR* = 6 – 12 et CE=	<0,5
	SAR* = 12 – 20 et CE=	< 1,3
	SAR* = 20 – 40 et CE=	<3
Ions toxiques (affectant les cultures sensibles)		
30	Sodium (Na) en mg/L	
	Irrigation de surface (SAR)	9
	Irrigation par aspersion	69
31	Chlorure (Cl) en mg/l	
	Irrigation de surface	350
	Irrigation par aspersion	105
Ions toxiques (affectant les cultures sensibles)		
32	Bore (B) en mg/l	3
Effets divers (affectant les cultures sensibles)		
33	Températures en °C	35
34	pH	6.5 – 8.4
35	Matières en suspension en mg/l	

	Irrigation de surface	2000
	Irrigation par aspersion et localisée	100
36	Azote nitrique (N-NO ₃ -) en mg/l	30
37	Bicarbonate (HCO ³⁻) irrigation par aspersion en mg/l	518
38	Sulfate (SO ₄ ²⁻) en mg/l	250

SAR* = Sodium Absorption Ratio (coefficient d'absorption du sodium).

Source : Secrétariat d'Etat auprès du Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, chargé de l'Eau et de l'Environnement (2007). BO : N°5062 du 05/12/2002

L'ABH doit respecter les critères de l'article 4 de l'arrêté n°1276-01 pour délivrer les autorisations d'utilisation des EUT.

Pour les EUT, le nombre minimal d'échantillons sur la base duquel une eau destinée à l'irrigation est dite conforme aux normes est fixé comme suit :

- 4 par an à raison de 1 par trimestre pour analyser les métaux lourds ;
- 24 par an à raison de 1 tous les 15 jours pour analyser les paramètres bactériologiques, parasitologiques et physico-chimiques.

Le prélèvement des échantillons d'EUT doit s'effectuer à la sortie des stations d'épuration.

Tableau 20 : Normes de qualité pour la REUT

Catégories	Conditions de réalisation	Groupes exposés	Nématodes intestinaux (a) [moyenne arithmétique du nombre d'œufs par litre (b)]	Coliformes fécaux [moyenne géométrique du nombre par 100 ml (b)]	Procédés de traitement des eaux usées susceptibles d'assurer la qualité microbiologique voulue
A	Irrigation des cultures destinées à être consommées crues, des terrains de sport, des jardins publics (c)	Ouvriers agricoles, Consommateurs, Public	Absence	< 1000 (d)	Une série de bassins de stabilisation conçus de manière à obtenir la qualité microbiologique voulue ou tout autre traitement équivalent
	Irrigation des cultures céréalières,	Ouvriers agricoles	Absence	Aucune norme n'est	Rétention en bassin de stabilisation

B	industrielles et fourragères, des pâturages et des plantations d'arbres (d)			recommandé	pendant 8-10 jours ou tout autre procédé permettant une élimination équivalente des helminthes et des coliformes fécaux
C	Irrigation localisée des cultures de la catégorie B si les ouvriers agricoles et le public ne sont pas exposés	Aucun	Absence	Sans objet	Traitement préalable en fonction de la technique d'irrigation, mais au moins une décantation primaire

(a) *Ascaris*, *trichuris* et *ankylostomes*. (b) Durant 10 période d'irrigation. (c) Une directive stricte (< 200 coliformes fécaux par 100 ml) est justifiée pour les pelouses avec lesquelles le public peut avoir un contact direct, comme les pelouses d'hôtels. (d) Dans le cas des arbres fruitiers, irrigation doit cesser deux semaines avant la cueillette et aucun fruit tombé ne doit être ramassés. L'irrigation par aspersion est interdite.

Source : Secrétariat d'Etat auprès du Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, chargé de l'Eau et de l'Environnement (2007). BO : N°5062 du 05/12/2002

Annexe 5 : Méthodologie de travail

Enquêtes effectuées et déroulement des enquêtes

Les enquêtes menées lors de nos sorties de terrain avaient principalement pour but de connaître : les utilisations actuelles faites des rejets des EUT en aval de la STEP, la position des populations quant à l'acceptabilité d'utilisation et de tarification de cette utilisation des EUT.

La première à savoir les utilisations actuelles des EUT a fourni le résultat selon lequel aucune utilisation n'est faite de ces eaux. Résultat que l'on a pris avec réserve compte tenu des travaux de AZARHOUN et TAOUILE (2021) qui affirment que ces eaux sont utilisées en aval par certains agriculteurs.

La question sur l'acceptabilité montre que la quasi majorité des population serait pour l'utilisation des EUT.

La question sur l'acceptabilité par rapport à la tarification donne un pourcentage de 71% de gens réceptifs mais ce chiffre est à affiner davantage avec l'ajout de grille tarifaire. L'approche un peu sommaire qui a été réalisée lors de nos sorties sur terrain nous ont permis de constater que les gens sont prêts à utiliser les EUT de la STEP de Tinghir moyennant une tarification si et seulement si la somme à payer est strictement inférieure aux couts auxquels ils sont confrontés avec l'utilisation des eaux conventionnelles. Cela nous permet de déterminer un seuil acceptable par les agriculteurs de 50 dirhams par heure de pompage ou d'utilisation.

Les questions posées sont issues du questionnaire détaillé dans Annexe 6 : Questionnaires des enquêtes.

Le choix des agriculteurs enquêtés était de façon aléatoire dans le sens où les agriculteurs rencontrés dans les champs ou dans les douars voulaient bien participer à nos campagnes d'enquêtes. Ainsi des agriculteurs ont été enquêtés dans leurs champs, au niveau des mosquées, au niveau des environs de leurs maisons respectives. Il est également à prendre en compte le fait que la période de nos enquêtes était une période où beaucoup arrêtent l'agriculture (par manque de ressources en eau et de précipitations) et changent d'activité ou même voyagent. Ce qui réduit le potentiel des enquêtes auprès des agriculteurs de Tinghir en période sèche.

Tableau 21 : Informations générales sur le secteur agricole de la commune rurale de Tinghir

Nombre de douars	32
Population totale (hab)	42044
Population rurale (hab)	12044
Population urbaine (hab)	30000
Nombre de foyers	7904
Nombre d'agriculteurs	1490 dont 1420 hommes et 70 femmes
Superficie Totale en ha	4100
Superficie Agricole Utile en ha	480
Grandes Hydrauliques en ha	0

Petites et Moyennes Hydrauliques en ha	480
Nombre d'exploitations équipées en goutte à goutte	5
Nombre de tracteurs	8
Nombre d'associations	14
Nombre de coopérations	4
Nombre de centres de collecte du lait	1

Source : ORMVAO (2018)

Tableau 22 : Répartition de la superficie totale (4100 ha) de la commune rurale de Tinghir

	Superficie Agricole Utile	Inculte	Parcours	Forêt
Superficie en ha	480	2620	1000	0

Source : ORMVAO (2018)

Tableau 23 : Répartition de la SAU (480 ha) de la commune rurale de Tinghir

	0 à 0,5 ha	0,5 à 1 ha	1 à 2 ha	> 2 ha	Melk	Habous
Superficie en ha	280	200	0	0	465	15

Source : ORMVAO (2018)

Tableau 24 : Situation de l'AEP de la commune de Tinghir

Taux de branchement	98%
Débit équipé	125 l/s
Débit exploité	87 l/s
Rendement global des réseaux de distribution	62.02%
Rendement global des adductions	99.08%
Nombre d'abonnés	10241

Source : ONEE (2019)

Tableau 25 : Stations de pompage en AEP de la commune de Tinghir

Installations	Année n				Année n-1	Ecart (n/n-1)
	Débit équipé (l/s)	Débit exploité (l/s)	Volume produit (m ³)	Taux d'utilisation	Volume produit (m ³)	Ecart volume produit (m ³)
SP SUR PUITES 2767/56	25	22	39714	67.4	16785	137
SP SUR FORAGE 2382/56	15	13	26593	76.37	9601	177
SP SUR PUITES 2461/56	25	22	350	0.59	194	80
SP SUR FORAGE 1010/55	30	17	0	0	34180	-100
SP SUR FORAGE 2533/56	30	13	49698	142.73	46748	6
Total	125	87	116355	287.09	107508	300

Source : ONEE (2022)

Tableau 26 : Evolution future de la consommation en eau potable de la commune de Tinghir

Année	2019	2020	2025	2030	2035	2040	2050
Population totale (hab)	45192	45850	49283	52973	56939	61202	70710
Taux de branchement AEP	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%
Dotations (l/hab/j)							
Population branchée	55	55	55	55	55	55	55
Population non branchée	30	20	20	20	20	20	20
Administrative	6	6	6	6	6	6	6
Industrielle	5	5	5	5	5	5	5
Nette globale	66	65	65	65	65	65	65
Consommation (m³/j)							
Population branchée	2436	2471	2656	2855	3069	3299	3811
Population non branchée	27	18	20	21	23	24	28
Administrative	271	275	296	318	342	367	424
Industrielle	226	229	246	265	285	306	354
Totale	2960	2994	3218	3459	3718	3996	4617

Source : ONEE (2019)

Tableau 27 : Evolution future de la production des EU de la commune de Tinghir

Année	2019	2020	2025	2030	2035	2040	2050
Population totale (hab)	45192	45850	49283	52973	56939	61202	70710
Taux de raccordement	50%	60%	80%	85%	88%	90%	95%
Population raccordée (hab)	22596	27510	39426	45027	50106	55082	67175
Dotation nette globale (l/hab/jour)	66	65	65	65	65	65	65
Taux de retour	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%
Débit EU en m ³ /j	1184	1437	2060	2352	2618	2877	3509
Débit EU en l/s	13,70	16,63	23,84	27,22	30,30	33,30	40,62

Débit d'infiltration en l/s	1,37	1,66	2,38	2,72	3,03	3,33	4,06
Coefficient de pointe journalière	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Coefficient de pointe horaire	2,09	2,04	1,95	1,92	1,90	1,88	1,84
Débit de pointe horaire en l/s	38,65	45,72	62,79	70,68	77,80	84,72	101,43
STEP							
Débit moyen en l/s	15,07	18,30	26,22	29,95	33,33	36,63	44,68
Débit moyen en m ³ /j	1302	1581	2266	2587	2879	3165	3860

Source : ONEE (2019)

Tableau 28 : Estimation future des charges polluantes de la commune de Tinghir

Année	2019	2020	2025	2030	2035	2040	2050
Données générales							
Population totale (hab)	45192	45850	49283	52973	56939	61202	70710
Taux de raccordement	50%	60%	80%	85%	88%	90%	95%
Population raccordée (hab)	22596	27510	39426	45027	50106	55082	67175
Production des eaux usées							
Débit moyen en m ³ /j	1302	1581	2266	2587	2879	3165	3860
Charges unitaires de polluantes (g/hab/j)							
DBO5	23,6	24	25	26	27	28	30
DCO	52	52	56,7	61,4	66	70,8	80
MES	25,6	26	28,4	30,8	33,2	35,6	40
Charges polluantes totales (kg/j)							
DBO5	533	660	986	1171	1353	1542	2015
DCO	1175	1431	2236	2765	3307	3900	5374
MES	578	715	1120	1387	1664	1961	2687
Concentration (mg/l)							
DBO5	409	418	435	452	470	487	522
DCO	902	905	987	1069	1149	1232	1392
MES	444	452	494	536	578	620	696

Source : ONEE (2019)

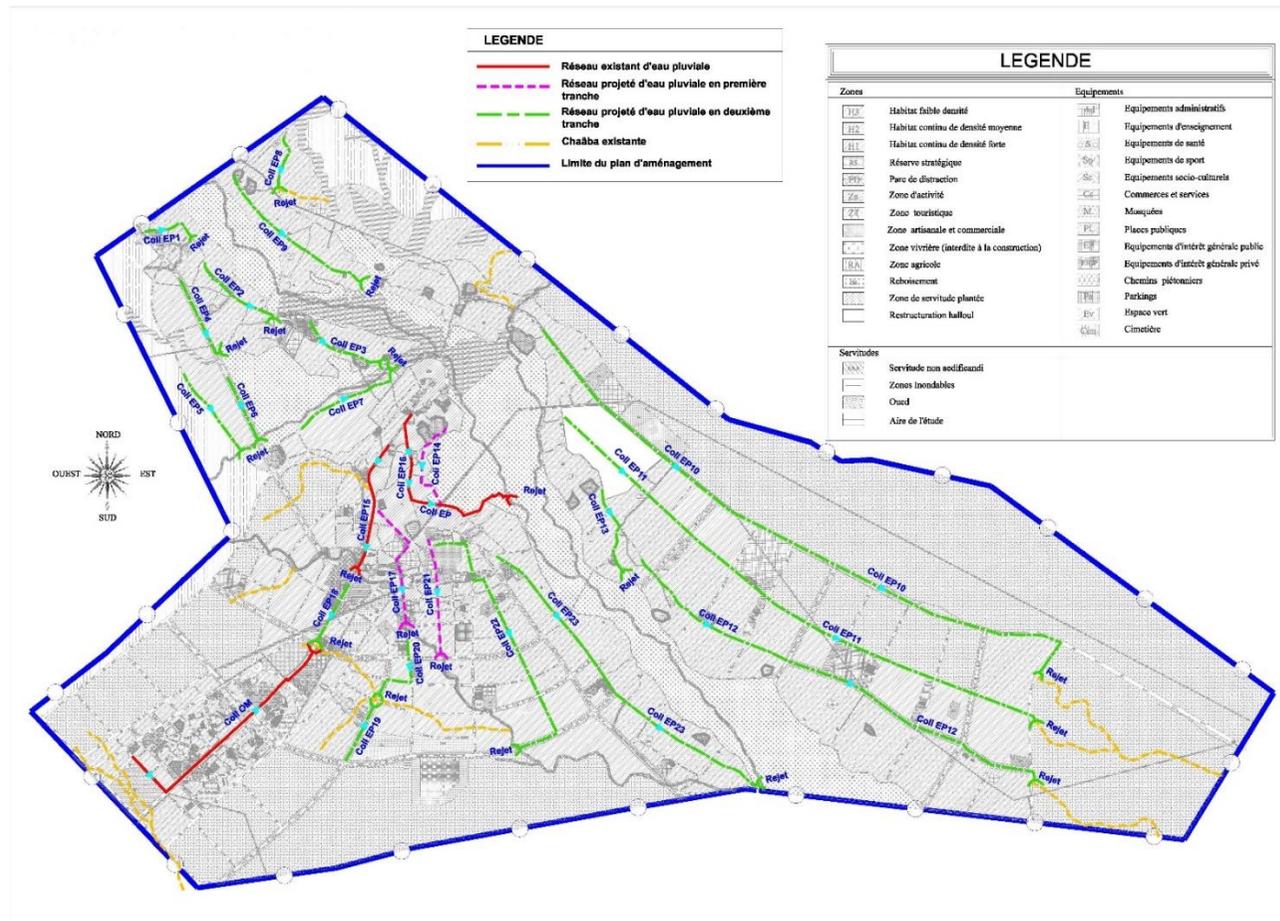


Figure 50 : Réseau projeté d'EP de la commune de Tinghir

Source : ONEE (2019)

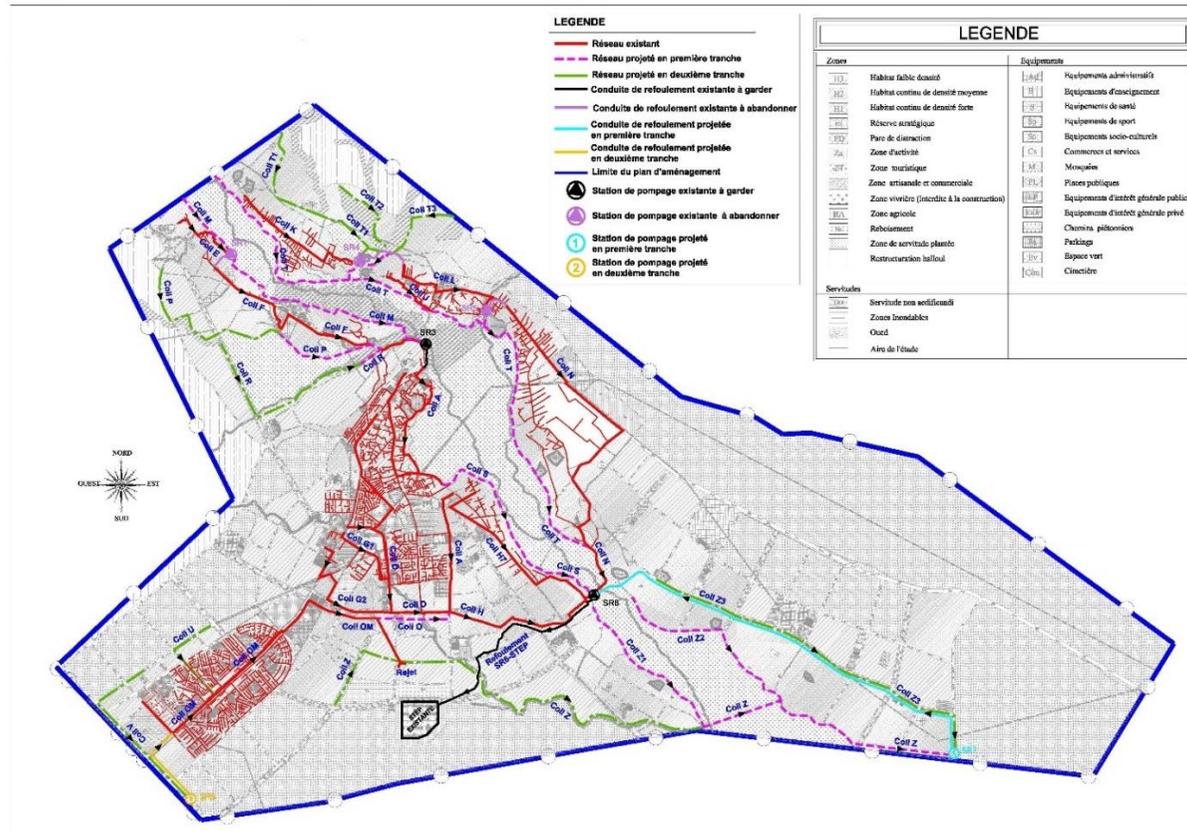


Figure 51 : Réseau projeté d'EU de la commune de Tinghir

Source : ONEE (2019)

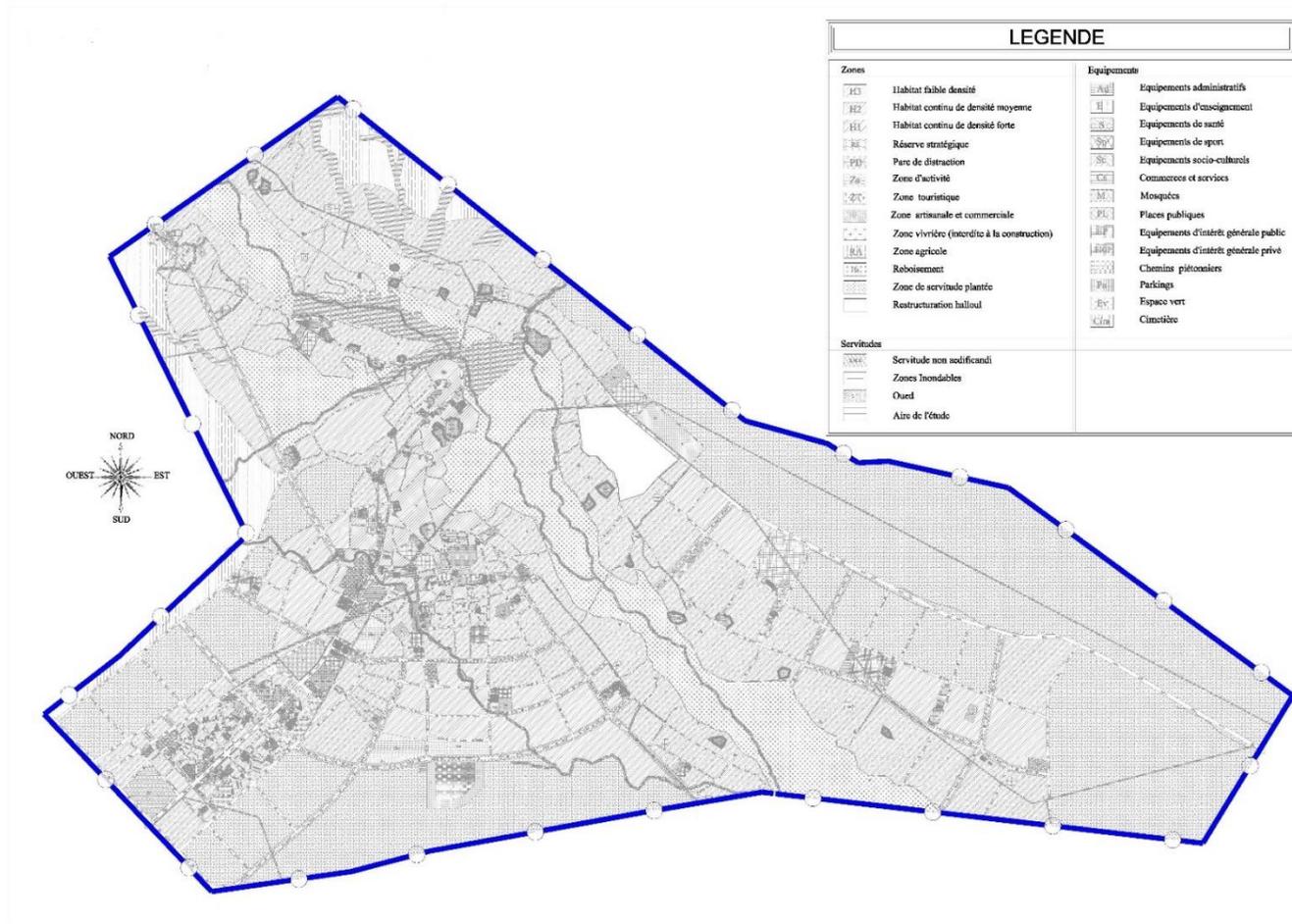


Figure 52 : Schéma réduit d'aménagement de la commune de Tinghir

Source : ONEE (2019)

Annexe 6 : Questionnaires des enquêtes

ANNEXE 6.1 : Questionnaire adressé à l'ABH

Nom et Prénom de la personne enquêtée :	
Questions	Réponses
Quelle est la politique de l'ABH quant à la REUT ?	
L'ABH est-elle déjà menée des études techniques dans le cadre d'un projet de REUT ?	
L'ABH a-t-elle déjà été au problème d'acceptabilité sociale dans le cadre des projets de REUT ?	
Quelle approche l'ABH proposerait-elle pour pallier au problème d'acceptabilité sociale ?	
Quels sont les facteurs qui peuvent empêcher l'ABH de valider un projet de REUT du point de vue financière ?	
Dans le cadre d'un projet de REUT quel sera le rôle de l'ABH ?	
Quelles sont les conditions pour bénéficier du concours financier de l'ABH ?	
Quelle est la position de l'ABH par rapport au fait que la redevance du principe pollueur-payeur que paie la Commune soit utilisée pour couvrir les frais des analyses ?	
Dans le cadre d'un projet de REUT quels sont les acteurs avec lesquels l'ABH opère ?	
Quelle est l'intervention de l'ABH du point de vue des STEP ?	
Avez-vous déjà effectué des analyses à la sortie de la STEP de Tinghir ?	

ANNEXE 6.2 : Questionnaire adressé aux agriculteurs

Nom et Prénom de la personne enquêtée :	
Questions	Réponses
Quelles cultures pratiquez-vous ?	
Quelle est la superficie de vos terres cultivées ?	
Pratiquez-vous l'élevage ?	
Etant donné que l'irrigation avec l'eau de l'oued se fait par tour d'eau, quelle est votre période de tour d'eau ? Quelle est sa durée ?	
Utilisez-vous une autre source d'eau pour l'irrigation ? Si oui, laquelle ? Quelle est sa tarification ?	
Quelle est la période des pluies ? Quelle est la période de la sécheresse ?	
Avez-vous toujours pratiqué l'agriculture ?	
Quel a été l'impact de la sécheresse sur vos cultures ? Avez-vous abandonné des cultures ?	
Accepterez-vous quitter vos terres pour d'autres terres qu'on vous proposerait ?	
Si le manque d'eau empire envisagez-vous la possibilité d'arrêter l'agriculture ?	
Comptez-vous changer de cultures à cause de la sécheresse ?	
Accepterez-vous utiliser les EUT pour l'irrigation ?	
Quels facteurs peuvent vous freiner pour l'utilisation des EUT ?	
Etes-vous prêt à utiliser les EUT en contre parti d'une tarification ? Si oui, à quel prix ?	
S'il y'a la possibilité entre REUT et l'eau du barrage lequel serait votre premier choix ?	

ANNEXE 6.3 : Questionnaire adressé à l'ANDZOA

Nom et Prénom de la personne enquêtée :	
Questions	Réponses
Quelles sont les missions de l'ANDZOA ?	
Quelle est la position de l'ANDZOA par rapport à un projet de REUT pour la sauvegarde des oasis ?	
L'ANDZOA a-t-elle déjà été un acteur dans des projets de REUT ? Si oui, lesquels ?	
Quelle pourrait être la contribution de l'ANDZOA pour la réussite d'un projet de REUT en aval de la STEP de Tinghir ?	
L'ANDZOA pourrait-elle apporter un appui financier pour la réussite d'un projet de REUT en aval de la STEP de Tinghir ? Si oui, quelles sont les conditions à remplir ? Quelle est la démarche à suivre ?	

ANNEXE 6.4 : Questionnaire adressé à la commune

Nom et Prénom de la personne enquêtée :	
Questions	Réponses
Quelle est la monographie de la commune de Tinghir ?	
Quel est le plan d'aménagement de la commune de Tinghir ?	
Comment s'effectue la collecte des déchets solide au sein de commune de Tinghir ?	
Quel est la position de la Commune par rapport à un projet de REUT de la STEP de Tinghir ?	
Par le passé la Commune a-t-elle eu des projets de REUT de la STEP de Tinghir qui ont échoué ? Si oui, quelles étaient les causes ?	
La Commune envisage-t-elle de réutiliser les EUT de la STEP de Tinghir ? Si oui, dans quel domaine ? Quel serait le débit journalier dont elle aura besoin ? Pouvons-nous avoir le plan du projet de REUT de la commune ?	
Combien de jardins publics comptent la commune de Tinghir ? La Commune envisage-t-elle les irriguer avec les EUT de la STEP de Tinghir ?	
Quelle est la position de la Commune par rapport à un projet de REUT en agriculture ?	
Quelles sont les conditions de validation d'un projet de REUT en agriculture par la Commune ?	
La Commune pourrait-elle appuyer financièrement les agriculteurs pour la mise en place et la réussite d'un projet de REUT ?	

ANNEXE 6.5 : Questionnaire adressé à l'ONEE-Branche Eau

Nom et Prénom de la personne enquêtée :	
Questions	Réponses
AEP	
Comment se fait l'AEP de la commune Tinghir ?	
Quels sont les débits des 5 stations de pompage utilisées ?	
Comment se fait le pompage ?	
Comment se fait le stockage des eaux destinées à l'AEP ?	
Quel traitement subissent les eaux destinées à l'AEP avant distribution ?	
Comment se fait la distribution de l'eau potable ?	
Quel est le taux de branchement de la commune de Tinghir ?	
Quel est le rendement global des réseaux de distribution ?	
Quel est le rendement global des adductions ?	
Quel est le nombre d'abonnés ?	
Quel est le réseau d'assainissement de la commune de Tinghir ?	
Combien de stations de refoulement existe-il ?	
Y'avait-il un barrage qui alimentait la commune de Tinghir en eau potable ?	
Y'aura-t-il un barrage qui alimentera la commune de Tinghir en eau potable ?	
Quelles sont les sources de pollution des ressources en eau ?	
Quelle est l'évolution future de la consommation en eau potable ?	
Quelle est l'évolution future production EU ?	
STEP - REUT	
Où se situe la STEP de Tinghir ?	
Quelle est la date de mise en service de la STEP ?	
Quels sont les ouvrages et bâtiments qui compose la STEP ?	
Quel est le procédé de traitement de la STEP ? Comment se fait le traitement ?	
Quel est le débit nominal de la STEP ?	
Est-ce que toutes les EU de la commune de Tinghir arrivent-elles à la STEP ?	
Où les EUT sont-elles rejetées ?	
Faites-vous le curage des bassins ? Si oui, à quelle fréquence ?	
Valorisez-vous les boues accumulées ?	
Prévoyez-vous changer de procédé de traitement des EUB ?	

Quelle sera votre rôle dans un projet de REUT à Tinghir ?	
Quels sont les facteurs qui pourront vous pousser à plus vous impliquez dans un projet de REUT ?	
Pouvez-vous assurer le traitement complémentaire ? Si oui, quelle tarification des EUT pouvez-vous appliquer ?	
Quel serait pour vous le scénario idéal quant à la gestion d'un projet de REUT ?	

ANNEXE 6.6 : Questionnaire adressé à l'ORMVAO

Nom et Prénom de la personne enquêtée :	
Questions	Réponses
Quelles sont les cultures pratiquées dans la commune de Tinghir ?	
Quelle est la technique d'irrigation utilisée à Tinghir ?	
L'ORMVAO applique-t-il une tarification pour l'eau d'irrigation dans la commune de Tinghir ?	
Quel est le type d'élevage pratiqué dans la commune de Tinghir ?	
Quelle est la production annuelle de la commune de Tinghir en agriculture ?	
L'ORMVAO prévoit-il d'implémenter d'autres cultures dans la commune de Tinghir ?	
Dans un projet de REUT quel sera le champ d'intervention de l'ORMVAO ?	
Afin de minimiser les pertes d'eau en irrigation, quelle est la position de l'ORMVAO quant à la prise en charge de la reconversion des zones qui bénéficieront d'un projet de REUT en agriculture ?	
Vu que la reconversion est difficile quelle stratégie adoptera l'ORMVAO pour minimiser les pertes en eau ?	
L'ORMVAO accorde-t-il des subventions aux agriculteurs ? Y'a-t-il des subventions accordées dans le cadre d'un projet de REUT en agriculture ?	

ANNEXE 6.7 : Liste des personnes enquêtées

Nom et Prénom	Acteurs	Contact
ABAA Ismail	ABH GZR	-
AMZAWRO Hassan	Agriculteur	-
ANONYME	Agriculteur	-
ASOFOH Mohammed	Agriculteur	-
ASSABANE Jamal	ONEE-Branche Eau	-
ASSAKA Abderahman	Agriculteur	-
BEN BASSOU Mohamed	Agriculteur	-
BEN ISSA Issa	Agriculteur	-
BEN MOHAMED Mohamed	Agriculteur	-
BEN MOHAMED Mohamed	Agriculteur	-
BENLAMJIBBED Mohamed	ONEE-Branche Eau	-
BENMOUMEN Oulkhire	Agriculteur	-
DAWDI Said	Agriculteur	-
EL ASSRI Ali	Agriculteur	-
EL ASSRI Mohammed	Agriculteur	-
EL AZAOUI Abdel Kader	Agriculteur	-
EL BOURKHISSI M'hamed	Commune	-
EL FAROK Mohamed	Agriculteur	-
EL HABIB Taeib	Agriculteur	-
EL HACHMI Abdel Aziz	Agriculteur	-
EL HAJME Omar	Agriculteur	-
EL HAJMI Abdoullah	Agriculteur	-
EL HANAOUI El Arbi	Agriculteur	-
EL KARMI Jamal	Agriculteur	-
EL MARKHI El Houssein	Agriculteur	-
FADELI Mohamed	ANDZOA	-
HAMID Fatima Ezzahra	ABH GZR	f.ezzahrahamid@gmail.com
HITWI Said	Agriculteur	-
JAKANI Mohamed	Agriculteur	-
KADRI El houssain	Agriculteur	-
KADRI Youssef	Agriculteur	-
KOKO Lmadani	Agriculteur	-
MAAJOUN Lahcen	ORMVAO	lahcenmaajoun@gmail.com
MAKROUKI Abdessalame	Agriculteur	-
MALOKI Lhoussain	Agriculteur	-
MIZIANI Hicham	Agriculteur	-
MOFIH Mohamed	Agriculteur	-
MOKHLISS Abderahman	Agriculteur	-
MOUKHTARI Rachid	Agriculteur	-
OUASSA Mohamed	ONEE-Branche Eau	-
OUBAMOU Mohamed	Agriculteur	-
OUHDAN Yassine	HCP	y.ouhdan@hcp.ma
OUHOHA Mohamed	ONEE-Branche Eau	-
SAADANI Mustapha	ONEE-Branche Eau	-

SADOK Abdelwahed	Agriculteur	-
TARGUI Abdelilah	ORMVAO	a.targui@gmail.com
ZOUZOW Mohamed	Agriculteur	-

Annexe 7 : Analyse et Résultat

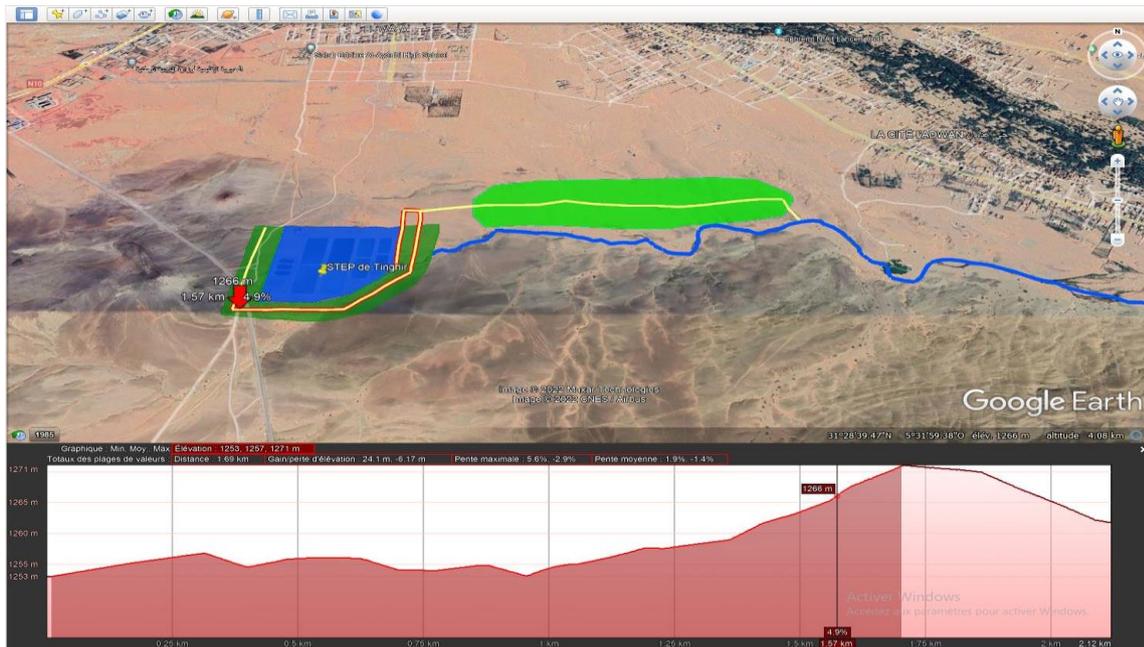


Figure 53 : Profil de dénivelé du tronçon de relevage des EUT pour alimentation de l'aménagement paysager

ملخص

يتناول هذا العمل تحسين واستعادة مياه الصرف الصحي المُعالَجة من محطة معالجة المياه الملوثة في تنغير، ويهدف إلى تقديم تأملات وحلول حول المشكلة التي تواجهها مناطق الواحات، وخاصة منطقة تنغير. ويهم هذا بشكل خاص مسألة ندرة الموارد المائية وضرورة تنميته والحفاظ عليها، بالنظر إلى السياق المناخي المقلق بالمنطقة.

ولمقاربة هذه الإشكالية، قمنا بإجراء عدة مقابلات مع مختلف الجهات الفاعلة المنخرطة في مشروع إعادة استعمال مياه الصرف الصحي المعالجة في بلدية تنغير، وهذا بالاستناد على استبيانات تم إعدادها مسبقاً وزيارات استطلاعية. وقد تمكنا بفضل هذه الاستجابات الميدانية من تقييم الوضع فيما يتعلق بتنفيذ هذا المشروع في بلدية تنغير. الشيء الذي سمح لنا ذلك بتسليط الضوء على الدور الأساسي الذي يقوم به كل فاعل في عملية إعادة استخدام المياه العادمة المعالجة.

نظراً لكون البيانات التي تم جمعها في الميدان غير كافية لاقتراح تقنية مناسبة للمعالجة التكميلية، تبين أن سيناريو الممكن تحقيقه بالنظر إلى البيانات المتاحة هو تخطيط وري منطقة ذات مناظر طبيعية من قبل بلدية تنغير التي تبلغ مساحتها 30 هكتاراً. و بعد تحليل نقاط القوة والضعف في السيناريوهات المختلفة، اخترنا ري المنطقة بالمياه من محطة معالجة مياه الصرف الصحي مع تطبيق نهج الحواجز المتعددة الذي تقترحه منظمة الصحة العالمية في إرشاداتها للاستخدام الآمن لمياه الصرف الصحي والمياه الرمادية.

الكلمات المفتاحية: مياه الصرف الصحي المعالجة، محطة معالجة المياه الملوثة، منطقة الواحات، بلدية تنغير، إعادة استخدام مياه الصرف المعالجة، مياه عادمة

مشروع نهاية الدراسات

لنيل دبلوم مهندس الدولة في الهندسة القروية

تصميم مشروع إعادة استعمال مياه الصرف الصحي المعالجة عند مصب محطة تنغير لمعالجة المياه العادمة

قدم للعموم و نوقش من طرف :

ماغاسوبا بانديجي & ويدراوغو وينديندا اوغستان ماري ناثانايل

أمام اللجنة المكونة من :

معهد الحسن الثاني للزراعة و البيطرة	رئيس	الأستاذ: منصف محمد
معهد الحسن الثاني للزراعة و البيطرة	مقرر	الأستاذ: حماني علي
معهد الحسن الثاني للزراعة و البيطرة	مقررة	السيدة: المكناسي اليوسفي إحسان
مستشار	مقرر	السيد: الخياطي محمد الغالي
مركز التعاون الدولي في البحوث الزراعية من أجل التنمية	مقرر	السيد: مايو پيير لويس
م.و.م.ك :جهة درعة تافيلالت	ممتحن	السيد: السعداني محمد
معهد الحسن الثاني للزراعة و البيطرة	ممتحن	دكتور: اكومب غيوم

يوليو 2022