



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE: ... DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT : GENIE CIVIL ...

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : Benchaa Med et Benmbarak Naima

DOMAINE :..... Science et Technologie

FILIERERessources en Eau

OPTION :.....Ressources en Eau.....

Thème

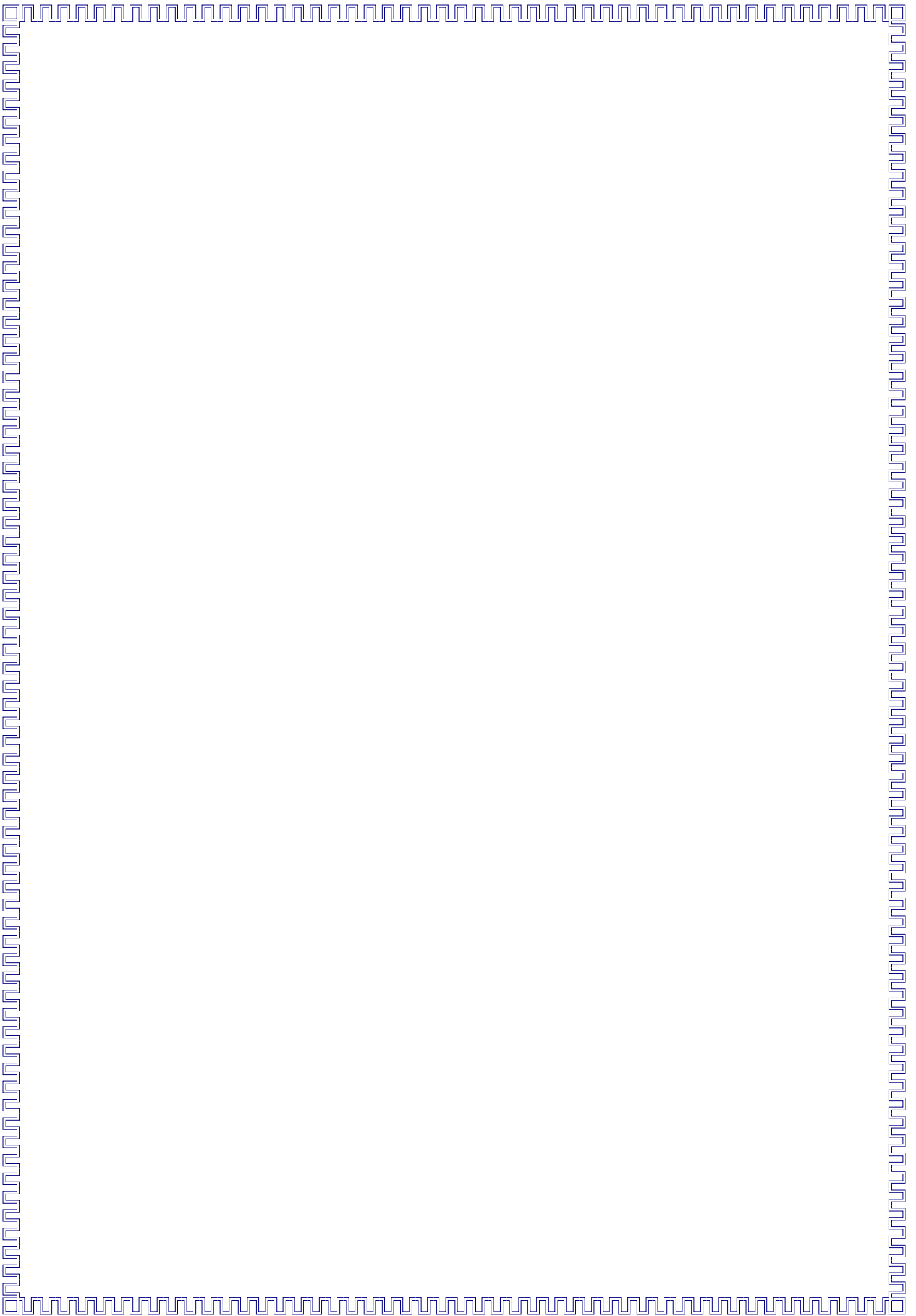
**GESTION DES RESSOURCES EN EAUX NON
CONVENTIONNELE EN REGION ARIDES PAR LA
REUTILISATION DES EAUX USEES
EPUREES
(cas de la région de Ghardaïa)**

Jury de soutenance :

**Mr.Hamlat A
Mr.Bouache M
Mr.Gafsi M
Mr.SekkoumM
Mr.Stamboul M**

**Président
Examinateur
Examinateur
Encadreur
Co-Encadreur**

2014/2015



Remerciements

Tous d'abord, nous remercions dieu tous puissant pour son aide et la force et la patience qu'il nous a donné pour l'élaboration de ce modeste travail, et d'avoir illuminé notre chemin de leur de science et de savoir.

La meilleure expression de remerciement et de gratitude pour tous les efforts fournis par notre encadreur :

M^r. Sekkoum M

Co-encadreur M^m. Yamani K

Nous avons eu le privilège de travailler avec vous et d'apprécier vos qualités et vos valeurs.

Votre sérieux, votre compétence et votre sens du devoir nous ont énormément marqués.

Veillez trouver ici l'expression de notre respectueuse considération et notre profonde admiration pour toutes vos qualités scientifiques et humaines.

Ce travail est pour nous l'occasion de vous témoigner notre profonde gratitude

Nous exprimons toute notre gratitude aux membres de jurys

M^r. Hamlat A et M^r.Bouache M et M^r.Gafsi M.

D'avoir bien voulu accepter de juger ce modeste travail.

On tient également à remercier tous les enseignants de l'option des Ressources en eau et les responsables du département de génie civil.

En dernier, nous tenons à remercier tous les personnes qui on aidé de pré ou de loin et contribuer a l'élaboration de ce travail.

Merci à Tous

Benchaa Med

Benmbarek Naima

Dédicaces

A mes parents

Je vous dois tous l'amour et la gratitude du monde entier, vous représente pour moi la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'on pas cessé de m'encourager et de prier pour moi.

A ma petite famille

*Particulièrement ma femme et mes petit fille, **Belkis***

A tous les membres de ma grande famille, petits et grands

Veillez trouver dans ce modeste travail l'expression de mon affection

A tous mes amies chaque un par son nom

Pour tous je dédiè ce travail.

Benchaà Mohamed -2015

NOMENCLATURE

CE	: Conductivité électrique.	~ s/Cm
C _v	: Charge volumique.	kg DBO ₅ /m ³ .j
DBO	: Demande biochimique en oxygène.	mg/L
DCO	: Demande chimique en oxygène.	mg/L
D _d	: Diamètre de décanteur.	m
DTO	: Demande théorique en oxygène.	mg/L
k	: Coefficient de perméabilité	m/j
L _b	: Largeur du bassin.	m
L _b	: Longueur du bassin.	m
L _e	: Charge polluante éliminé.	kgDBO ₅ /j
L _f	: Charge pollutant à la sortie.	kgDBO ₅ /j
L ₀	: Charge polluante à l'entrée.	kgDBO ₅ /j
MES	: Matière en suspension.	mg/L
MVS	: Matières volatiles en suspension.	mg/L
N _{éq/hab}	: Nombre d'équivalent habitant.	EqH
NTK	: L'azote total de KJEDAHL.	mg/L
Pa	: Puissance absorbée	w
Q _{moy}	: Débit moyen journalier.	m ³ /j
Q _{moyh}	: Débit moyeb horaire.	m ³ /h
Q _p	: Débit de pointe.	m ³ /j
SAR	: le rapport d'absorption en sodium	mgq/l
S _h	: Surface horizontale.	m ²
T	: Température.	⁰ C
TA	: Titre alcalimétrique.	⁰ F
TAC	: Titre alcalimétrique complet.	⁰ F
TH	: Le titre hydrométrique.	⁰ F
V _a	: Vitesse ascensionnelle des particules.	m/h
V _b	: Volume du bassin.	m ³
V _d	: Volume du décanteur.	m ³
X _a	: Concentration des boues dans le bassin	kgMES/m ³
η _{ép}	: Rendement de l'épuration.	

Abréviations:

AEP : Alimentation en eau potable.

CAP : Ciment Armé Précontraint.

DRE : Direction des ressources en eau de la Wilaya.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

ONA : Office National de l'Assainissement.

STEP : Station d'épuration.

ONAS : Office National de l'Assainissement de Tunisie.

FAO : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

SOMMAIRE

Résumés

Nomenclature

Liste des tableaux et des figures

INTRODUCTION GENERALE.....	01
CHAPITRE I : Considérations générales sur la pollution	
I.1. Généralités sur les eaux usées.....	03
I.1.1. Définition	03
A. Type de réseau	03
B. Raccordement des industries	03
C. Taille de l'agglomération	04
I.1.2. Evaluation de la pollution	04
A-Définition de la pollution.....	04
B- Principaux polluants	04
a)Pollution organique	04
b) Pollution minérale	05
c) Pollution microbiologique	05
d) Métaux lourds.....	05
C- Principaux paramètres de pollution.....	05
a) Paramètres physiques.....	05
b) Paramètres chimiques.....	06
D- Mesure de la pollution.....	08
I.1.3.Normes de rejets.....	09
I.1.4.Conséquences sur le milieu récepteur.....	09
I.2. Méthodes et procédés de l'épuration des eaux usées.....	10
I.2.1. Définition de l'épuration.....	10
I.2.2.Prétraitement.....	11
A- Dégrillage.....	11
B- Dessablage – Déshuilage.....	11
I.2.3.Traitement Primaire.....	11
A- Décantation primaire.....	12
I.2.4.Traitement secondaire.....	12
I.2.4.1- Traitements physico-chimiques.....	12
I.2.4.2- Traitement biologique.....	13
I.2.4.2.1.Procédés extensifs.....	14
I.2.4.2.2.Procédés intensifs.....	15
I.2.5. Traitement tertiaire.....	17
CHAPITRE II : La réutilisation des eaux usées traitées	
II.1. La réutilisation des eaux usées traitée.....	19
II.1.1.Historique sur la réutilisation.....	19

II.1.2.Réutilisation des eaux usées.....	21
II.1.3.Usages de réutilisation.....	21
II.1.3.1. Usage direct: cycle court.....	21
A. Usage agricole.....	21
B. Aquaculture.....	22
C. Usage urbain	22
D. Usage industriel.....	23
E. Usage à des fins d'AEP.....	23
II.1.3.2. Usage indirect : le cycle long.....	23
A. Recharge de nappes.....	23
B. Autres usages.....	24
II.1.4. Quelques exemples de la réutilisation dans le monde.....	24
II.1.4.1. Europe du Nord.....	24
II.1.4.2. Bassin méditerranéen.....	24
II.1.4.3. Continent américain.....	27
II.1.4.4. Japon.....	27
II.1.4.5. Australie.....	28
II.1.5. Aperçu général sur le problème d'eau.....	30
Conclusion.....	32
CHAPITRE III: Présentation de la zone d'étude	
III.1. Présentation de la zone d'étude	33
III.1.1. Situation géographique	33
III.1.2. Climatologie	33
a) Température	34
b) précipitations	34
c) Humidité	34
d) Evaporation.....	35
e) Vents.....	35
III.1.3. Aspect hydrologique	35
III.1.4. Aspect géologique et hydrogéologique	36
III.1.5. Ressources en eau	38
a) Eaux de surface	38
b) Eaux souterraines	39
III.1.6. Milieu physique	39
III.2 .Situation des réseaux de la ville	40
III.2.1. Alimentation en eau potable	41
III.2.2. réseau d'assainissement	41
CHAPITRE IV: Description de la STEP de Ghardaïa	
IV.1. Description de la STEP par lagunage(Ghardaïa)	42
IV.1.1 Données de base pour le dimensionnement.....	44
IV.1.1.1. Evolution de la population par agglomération.....	44
IV.1.1.2. Evolution des débits d'eau usées.....	44
IV.1.2. Description des ouvrages de traitement.....	45
IV.1.2.1. Collecteur principale d'aménée.....	45
IV.1.2.2. Dignes de protection de la STEP et chenal de déviation.....	46
IV.1.2.3. Prétraitement.....	47
IV.1.2.4. Traitement primaire.....	47
IV.1.2.5. Traitement secondaire.....	48

IV.1.2.6. Structure du dispositif d'étanchéité des lagunes	49
IV.1.2.7. Lits de séchage	49
IV.1.2.8. Bâtiment et clôture périphérique.....	50
CHAPITRE V: Analyse et réutilisation des eaux résiduaires de la STEP	
De Ghardaïa	
V.1. Les analyses physico- chimiques de l'eau brute et épuré par la STEP de Ghardaïa.....	51
V.1.1. Matériels et produits des analyses.....	51
V.1.2. L'eau brute.....	52
V.1.3. L'eau épurée	54
V.2. Analyse microbiologiques.....	55
V.3. Norme et qualité des eaux.....	56
V.4. La Réutilisation des eaux usées épurées au niveau de la station.....	57
V.5. La réutilisation de l'eau épuré en agriculture.....	58
V.5.1. Classification des eaux pour l'irrigation.....	58
-1) Classification mondiale (F.A.O1989).....	58
-2) Classification Russe	58
-3) Classification américaine.....	58
V.6. La réutilisation de l'eau épurée via la recharge des nappes.....	62
V.6.1. Les paramètres principaux dans la recharge des nappes.....	63
V.6.2. Comparaison des résultats aux normes de réalimentation des nappes.....	64
V.6.3. Méthode de recharge de la nappe.....	65
Conclusion.....	65
CONCLUSION GENERALE.....	66
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	

Liste des tableaux

Tableau I.1: Caractéristique des eaux usées urbaines	07
Tableau I.2: Paramètres de pollution	08
Tableau I.3: Les normes appliquées en Algérie	09
Tableau II.1: Statistiques de disponibilité en eau de quelques pays (Année 2009).....	31
Tableau III.1: Températures moyennes mensuelles sur une observation (Année 2014)	34
Tableau III.2:précipitations sur une période d'observation(2014).....	34
Tableau III: Humidité moyenne mensuelle sur une période d'observation(2014).....	34
Tableau III.4: Evaporation sure sur une période d'observation(2014).....	35
Tableau III.5: Vitesse moyennes mensuelles sur une observation (2014).....	35
Tableau III.6:Satiation des réseaux de la ville de Ghardaïa par commune.....	40
Tableau IV.1:la population par agglomération.....	44
Tableau IV.2:les débits d'eau usées.....	44
Tableau V.1: Matériels et produits des analyses physico- chimiques	
Tableau V.2: Résultats d'analyse physico-chimique de l'eau brute.....	52
Tableau V.3: Résultats d'analyse physico-chimique de l'eau épuré et norme de rejet (FAO 1989).....	54
Tableau V.4 Résultats des d'analyses microbiologique de Léau épurée.....	55
Tableau V.5: Grille standard d'appréciation global de la qualité des eaux.....	56
Tableau V.6:possibilités de réutilisation des eaux usées épuré au niveau de la station	57
Tableau V.7: comparaison des résultats aux norme de FAO et normes tunisiennes de la réalimentation des nappes.....	64

Liste des figures

Figure I.1: La configuration d'une chaîne de traitement	10
Figure II.1: Répartition par secteur et localisation des expériences mondiales les plus importantes en réutilisation des eaux résiduaires urbaines.....	29
Figure III.1 : Limite administratives de la wilaya de Ghardaïa	33
Figure III.2 : Bassin versant des oueds de la région du M'zab	36
Figure III.3 : Coupe géologique schématique de la région du M'zab.....	37
Figure III.4 : Carte géologique de la wilaya de Ghardaïa.....	38
Figure III.5 : Carte géomorphologique de la wilaya de Ghardaïa (carte physique du sol).....	40
Figure IV.1 : Situation de la STEP de Ghardaïa	43
Figure IV.2 : Tracé du collecteur principal	46
Figure IV.3 Dignes de protection de la STEP et chenal de déviation.....	47
Figure IV.4 : Prétraitement/ traitement primaire/traitement secondaire (vue générale)	48
Figure IV.5 : Structure du dispositif d'étanchéité des lagunages.....	49
Figure IV.6 : Vue d'ensemble du projet.....	50
Figure V.1 : La recharge des nappes cas d'infiltration	62
Figure V.2 : La recharge des nappes cas d'injection.....	63

تتمحور هذه الدراسة حول تسيير المياه غير التقليدية في المناطق الجافة , مدينة غرداية
هذه المناطق المعروفة بأمطار قليلة مما يستلزم السقي في الزراعة.
قد تطرقنا في موضوعنا الى امكانيه اعاده استعمال مياه
المياه الجوفية. قد قمنا بعدة تحاليل فيزيوكيميائية و بيولوجية على هذه المياه من اجل تحديد نوعيتها, والنتائج المحصل
عليها من التحاليل قارنها مع معايير اللازمة في شتى القطاعات (, تزويد المياه الجوفية).
وفي الاخير هذه بيينت ان نوعية المياه المعالجة توفر امكانية استعمالها في
يه المياه الجوفية.

الكلمات المفاتيح: المياه غير التقليدية, مياه الصرف الصحي, , تزويد المياه الجوفية.

Résumé.

Cette étude concerne la gestion des eaux non conventionnelles dans une région aride. La ville de Ghardaia lieu de notre étude fait partie de ces zones. Les zones arides sont souvent caractérisées par des précipitations insuffisantes qu'il faut pratiquer l'irrigation pour y maintenir les cultures.

Notre sujet est établi sur la réutilisation des eaux usées traitées dans le secteur agricole et la recharge des nappes. Nous avons effectué des analyses physicochimiques et microbiologiques sur les eaux épurées. Les résultats d'analyses des eaux sont comparées ensuite avec les normes de qualité exigées par les différents secteurs de réutilisation (irrigation, recharge des nappes et industrie). Les résultats obtenus montrent que la qualité des eaux épurées offre une possibilité de leur réutilisation dans le secteur agricole et la recharge des nappes.

Mots clés : eau non conventionnelle, eau usée, zone aride, irrigation, recharge des nappes.

Abstract.

This study concerns the management of non-conventional water in an arid region. Ghardaia city place of our study is one of those areas. Drylands are often characterized by poor rainfall irrigation should be practiced in order to maintain crops.

Our subject is established on the reuse of treated wastewater in agriculture and groundwater recharge. We conducted physicochemical and microbiological analyzes of purified water. The results of water analysis are then compared with the standards of quality required by the various sectors of reuse (irrigation, groundwater recharge and industry). The results show that the quality of treated water is an opportunity for reuse in agriculture and groundwater recharge.

Key-Words: non-conventional water, wastewater, arid areas, irrigation, groundwater.

INTRODUCTION GENERALE

Une vérité absolue et éternelle dite dans notre saint coran “toute vie provient de l’eau :

- * Devant le changement climatique dans le monde par le réchauffement atmosphérique dû à l’excès de CO₂ industriel dégagé, et la désertification des sols par surexploitation des forêts.

- * Devant une démographie mondiale galopante, rendant l’eau plus précieuse, sa préservation et sa gestion municieusement est nécessaire.

- * Et face à la rareté chronique et la mauvaise répartition de l’eau dans les régions arides et semi –arides, la réutilisation des eaux usées apparaît comme la solution la plus appropriée. Elle permet d’une part, de fournir des quantités d’eau supplémentaires, d’autre part d’assurer l’équilibre du cycle naturel de l’eau et la protection de l’environnement. La réutilisation des eaux usées traitées en agriculture apporte en outre des bénéfices additionnels résultant, dans certains cas, de l’augmentation du rendement des cultures et de l’amélioration de l’efficacité des systèmes d’irrigation.

L’objectif de cette synthèse est de faire le point sur les différents travaux de recherches effectués sur l’amélioration de la qualité des eaux recyclées et les domaines d’utilisation.

La réutilisation des eaux usées est principalement pratiquée pour l’irrigation de terres agricoles. Toutefois de nombreux pays se servent de leurs eaux usées à diverses autres fins : pour la recharge de la nappe, à des fins industrielles, pour la production aquacole, à des fins loisirs, etc.

Si elle est effectuée de façon inappropriée, la réutilisation des eaux usées peut avoir des effets négatifs sur l’environnement et par conséquent menacer la santé humaine et animale. C’est la raison pour laquelle l’OMS et la FAO ont élaborés des recommandations relatives à la qualité sanitaire des eaux usées surtout réutilisées pour l’irrigation agricole.

Suivant leur degré de pollution et le type de réutilisation que l’on désire des eaux usées vont devoir subir des (re)traitements plus ou moins poussés.

De nombreux travaux ont été menés sur ce sujet et l’on dispose aujourd’hui de plusieurs références d’expériences intéressantes.

Actuellement, la réutilisation des eaux usées connaît un développement variable selon les pays en fonction de leurs ressources en eaux et de leurs conditions socio-économiques. La

valorisation des eaux usées en irrigation est considérée comme la création d'une nouvelle ressource mais aussi comme un traitement complémentaire du sol et permet d'éviter tout rejet direct dans le milieu naturel.

Cette mémoire tourne autour de cinq chapitres :

Le premier chapitre présente l'étude bibliographique qui décrit la pollution des eaux usées ainsi que les procédés de leur traitement.

Le deuxième chapitre décrit la réutilisation des eaux usées traitées.

Le troisième chapitre expose la présentation de la zone d'étude.

Le quatrième chapitre présente la description de la STEP de Ghardaïa

Le cinquième chapitre présente l'analyse réutilisation des eaux résiduaire de la STEP de Ghardaïa.

Finalement, une conclusion générale.

I.1.Généralités sur les eaux usées

I.1.1. Définition

Ce sont des eaux domestiques et industrielles véhiculant des déchets. La question de l'élimination des eaux usées a revêtu une importance croissante au début des années soixante-dix, compte tenu de la préoccupation générale exprimée partout dans le monde face au problème de plus en plus important de la pollution de l'environnement humain, de l'atmosphère, des rivières, des lacs, des océans et des eaux souterraines par les déchets ménagers, urbains, agricoles et industriels.

L'importance des rejets urbains dépend de certains facteurs notamment :

- Du type de réseau.
- Des industries raccordées ou non au réseau.
- La taille de l'agglomération.

a. Type de réseau :

Les principaux systèmes de collecte utilisés en assainissement sont :

- Le système unitaire qui reçoit dans les mêmes canalisations les eaux usées et les eaux pluviales.
- Le système séparatif comportant deux réseaux de canalisation différents, l'un pour les eaux pluviales et l'autre pour les eaux usées.
- Le système pseudo-séparatif, et actuellement peu utilisé, ce système divise les apports d'eaux pluviales en deux parties.

b. Raccordement des industries :

Le raccordement des rejets industriels aux égouts urbains permet d'obtenir un mélange d'eau usée trop chargé. Certaines d'entre elle doivent faire l'objet d'un prétraitement de la part des industriels avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte

Elles ne sont pas mélangées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des stations de dépollution.

c. Taille de l'agglomération :

Le volume d'eaux usées rejeté va généralement croissant avec la taille de l'agglomération par suite de certaines différences d'habitudes de vie, le niveau de développement et suivant la tarification de la consommation d'eau potable.

I.1.2. Evaluation de la pollution :**A- Définition de la pollution :**

La pollution est toute substance physique, chimique ou biologique rejetée dans une eau naturelle qui perturbe son équilibre, et induit d'importantes nuisances : mauvaise odeur, des fermentations diverses, risques sanitaires qui se répercutent, à court ou à long terme sur notre organisme, à travers la chaîne alimentaire de laquelle nous dépendons.

B- Principaux polluants :

La composition des eaux usées est fonction de nombreux paramètres :

- Propriété physico-chimique de l'eau potable distribuée.
- Mode de vie des usagers.
- Importance et le type des rejets industriels.

D'une manière générale la pollution des eaux se manifeste sous les formes principales suivantes :

a) Pollution organique :

La pollution organique constitue la partie la plus importante, et comprend essentiellement des composés biodégradables. Ces composés sont de diverses origines :

D'origine urbaine :

- Les protides (les protéines) : qui représentent tous les organismes vivants qui sont de nature protéique tels que les animaux, les plantes, les bactéries et même les virus. Ces protéines subissent une décomposition chimique au contact de l'eau (hydrolyse) en donnant des acides aminés.
- Les lipides (corps gras) : ce sont des éléments rejetés généralement par les eaux domestiques telles que les graisses animales, et les huiles végétales. Leur décomposition en milieu aérobie se traduit par une libération du CO₂, et en anaérobiose, il y a formation de CO₂ et CH₄.
- Les glucides : à l'état simple, il s'agit des sucres alimentaires, le glucose, et à l'état composé donnant les polysaccharides [01].

D'origine industrielle :

Ce sont les produits organiques toxiques tels que les phénols, les aldéhydes, les composés azotés, les pesticides, les hydrocarbures, et les détergents.

b) Pollution minérale :

Il s'agit principalement d'effluents industriels contenant des substances minérales telles que :

Les sels, les nitrates, les chlorures, les phosphates, les ions métalliques.

Ces substances suscitent [01] :

- Peuvent causer des problèmes sanitaires à l'individu.
- Perturbent l'activité bactérienne en station d'épuration.
- Affectent sérieusement les cultures.

c) Pollution microbiologique :

Les eaux usées sont des milieux favorables au développement d'un très grand nombre d'organismes vivants, dont des germes pathogènes surtout provenant des centres hospitaliers qui sont très résistants, ainsi qu'au déversement de déchets industries agro-alimentaires (abattoirs, élevage agricoles,.....). Les germes contenus dans les eaux usées sont :

Les bactéries : leur concentration est de 10^6 et 10^7 bactéries/100ml dont 10^5 proteus et entérobactéries, 10^3 à 10^4 streptocoques et 10^2 à 10^3 colistidium. La concentration en bactérie pathogènes et de 10^4 /l. Par ailleurs on trouve les salmonella, Escherichia Colie et flavobactéria [02].

d) Métaux lourds :

On trouve aussi dans les eaux usées les métaux lourds provenant surtout du déversement industriel le chrome (Cr), le plomb (Pb), le mercure (Hg), l'arsenic (As), le cadmium (Cd), le zinc (Zn), et le cuivre (Cu) et le bore peuvent provenir des industries du verre, des ciments, des faïences,etc [02].

Les métaux lourds se trouvent dans les eaux usées urbaines à l'état de trace.

C-Principaux paramètres de pollution :**a) Les paramètres physiques :****• La température :**

La température est un paramètre dont le contrôle est indispensable surtout en présence d'effluents industriels. Ce paramètre peut influencer sur la solubilité des sels, la concentration de l'oxygène dissout et sur l'activité microbienne [01].

- **Le pH :**

Le pH indique la concentration en ions H^+ présent dans l'eau. En milieu aérobie le pH favorable au micro-organisme est de 5 à 9 et de 6 à 8 en milieu anaérobie [01].

- **La conductivité :**

Elle donne une idée sur la salinité de l'eau. Des variations de cette dernière peuvent influencer le traitement biologique et la décantation [01].

- **Les Matières en suspension (MES) :**

Il s'agit de matières qui ne sont ni solubilisées ni colloïdales, elles comportent des matières organiques et des matières minérales créent généralement une pollution et causent de sérieuses nuisances. Deux techniques sont actuellement utilisées pour la détermination de la matière en suspension (séparation par filtration, centrifugation). Les teneurs en MES sont obtenues après séchage à 150 C° [02].

- **Les matières volatiles sèches (MVS) :**

Elles représentent la fraction organique des matières en suspension, elles constituent environ 70-80 % de MES et mesurées par calcination à $650\text{ }^\circ\text{C}$ [02].

- **Couleur et odeur :**

Dans les eaux usées brutes la couleur est due à la présence de matières organiques dissoutes ou colloïdes par des composés chimiques solubles qui sont colorés. L'odeur est due à une fermentation des matières organiques.

b) Les paramètres chimiques

- Demande biologique en oxygène (DBO_5) : elle définit la teneur en matière biodégradable de l'eau.
- Demande chimique en oxygène (DCO) : elle permet la mesure globale des paramètres organique biodégradable et réfractaire.
- Eléments toxiques : la présence des métaux lourds (plomb, mercure, ...) et des substances toxiques (phénols) dans l'eau usées peuvent la rendre toxique, ils sont évalués par les tests biologiques.
- Les nutriments (azote, phosphore) : le phosphore est présent dans les eaux usées sous forme de sels minéraux (ortho et polyphosphates) provenant surtout des poudres à lessives, et sous forme organique provenant des matières fécales.

Le tableau ci-après montre les principaux paramètres de pollution d'une eau usée brut, les valeurs sont données qu'à titre indicatif pour fixer les ordres de grandeur [01].

Tableau I.1 : Caractéristique des eaux usées urbaines [03].

Eaux usées brutes	
Paramètres	Echelles de variation
pH	7,5 à 8,5
Conductivité électrique $\mu\text{s}/\text{cm}$	300-8000
MES total mg/ l	150 à 500
DBO ₅ mg/ l	100 à 400
DCO mg/ l	300 à 1000
DOT mg/ l	100 à 300
NTK mg/ l	30 à 100
N-NH ⁴⁺ mg/ l	20 à 80
N-NO ²⁻ mg/ l	<1
N-NO ³⁻ mg/ l	<1
Détergents mg/ l	6 à 13
P mg/ l	10 à 25

D- Mesure de la pollution :

C'est l'usage d'un certain nombre de paramètres pour caractériser la pollution des eaux. Ces paramètres seront regroupés sous forme de tableau.

Tableau I.2: Paramètres de pollution.

paramètres	unités	signification
MES	<i>mg / l</i>	Matières en suspension : c'est la pollution dissoute, la plus facile à éliminer.
DBO ₅	<i>mgO₂ / l</i>	Demande biochimique en oxygène en 5 jours : elle correspond à la quantité d'oxygène consommée au bout de 5 jours, par les micro-organismes pour dégrader la pollution organique biodégradable.
DCO	<i>mgO₂ / l</i>	Demande chimique en oxygène : elle représente la quantité d'oxygène à fournir pour dégrader par voie chimique la pollution contenue dans un effluent.
M.A	<i>mg / l</i>	Matières azotées : elles quantifient la teneur des différentes formes d'azote dans les eaux usées (organique, ammoniacal, nitrite, nitrate).
M.P	<i>mg / l</i>	Matières phosphorées : elles mesurent la teneur en phosphore dans un effluent
M.I	Equitox	Matières inhibitrices : elles permettent de définir le degré de toxicité des eaux usées industrielles.
EqH	90 g/j de MES 57 g/j de M.O 15g/j de M.A 4g/j de M.P	Equivalent habitant : c'est une unité conventionnelle de mesure de la pollution rejetée par un habitant et par jour.
Débit	<i>m³ / heure</i> <i>m³ / jour</i>	La mesure du débit est très importante du fait de sa variation au cours de la journée. Ainsi on pourra faire face aux pointes de débit dans les réseaux.

I.1.3. Normes de rejets :

En principe chaque pays à ces propres normes de rejets. Les normes appliquées en Algérie préconisent une épuration correspondant au niveau 4 (OMS).

Tableau I.3 : Les normes appliquées en Algérie [04].

Paramètres	Valeurs	Unités
DBO ₅	30-40	mg/l
DCO	90-120	mg/l
MES	30	mg/l
PH	5.5-8.5	-
Azote total	50	mg/l
Huiles et graisses	20	mg/l
Température	30	°C
Phosphates	2	mg/l
Détergents	1	mg/l

I.1.4. Conséquences sur le milieu récepteur :

Le rejet des eaux usées brutes perturbe l'équilibre du milieu récepteur, la quantité de pollution rejetée est devenu incompatible avec les capacités d'auto-épuration des cours d'eau et provoque des conséquences néfastes :

- Dégradation du milieu naturel.
- Pollution des mers, des lacs et des cours d'eau.
- Risque de contamination des eaux souterraines.

I.2. Méthodes et procédés de l'épuration des eaux usées.

I.2.1. Définition de l'épuration :

L'épuration est une technique qui consiste à éliminer les matières indésirables que l'eau véhicule naturellement ou artificiellement en vue de son déversement dans le milieu naturel de sa réutilisation dans des fonctions diverses.

On dispose de trois étapes de traitement pour une qualité d'eau épurée.

1. Le traitement primaire.
2. Le traitement secondaire
3. Le traitement tertiaire

Le schéma suivant donne la configuration d'une chaîne de traitement.

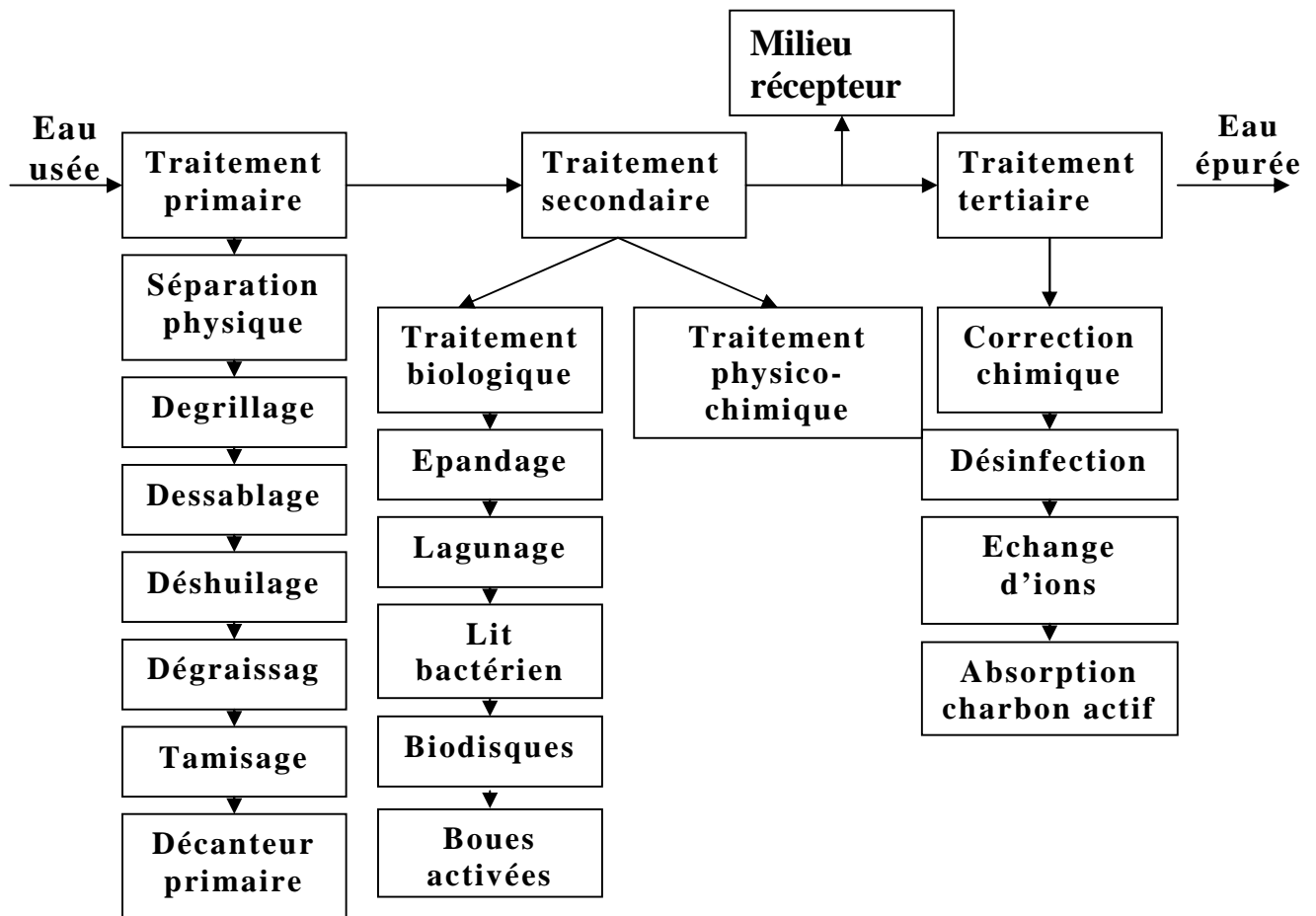


Figure I.1 : La configuration d'une chaîne de traitement [05].

I.2.2.Prétraitement :

Cette étape consiste à éliminer les gros débris solides, les sables, les graisses.

A- Dégrillage :

Consiste à faire passer les eaux usées au travers d'une grille (il en existe plusieurs types) dont les barreaux plus ou moins espacés, retiennent les éléments les plus grossiers. L'espacement est déterminé en fonction de la nature de l'effluent.

Le dégrillage est classé en trois catégories selon l'écartement entre barreaux de la grille:

- un pré-dégrillage : espacement de 30à100mm.
- un dégrillage moyen : espacement de 10à25mm.
- un dégrillage fin : espacement de 3à10mm.

Il existe différents types de grilles selon la conception des fabricants et la nature de l'effluent à traiter .On distingue :

- La grille manuelle.
- La grille mécanique.

B- Dessablage - Déshuilage :

Réalisé dans un décanteur commun aux deux traitements.

Le dessablage permet d'éliminer les MES de taille importante ou de densité élevée (utilisation d'un décanteur classique). C'est une étape indispensable notamment pour éviter le bouchage des canalisations et protéger les équipements contre l'abrasion.

Ce dessablage est pratiqué par décantation. Les sables extraits sont envoyés en décharge.

Le déshuilage est basé sur le principe de flottation afin de favoriser la remontée des corps gras moins denses que l'eau. C'est une étape indispensable pour assurer la protection du réacteur biologique. Les résidus huileux sont récupérés par écrémage [05].

I.2.3.Traitement Primaire :

Il consiste en une décantation primaire qui vise à optimiser la qualité des prétraitements notamment par la capture des MES naturellement décantables et par une élimination poussée des flottants (huiles et graisses). Elle s'effectue en décanteur lamellaire. Les boues décantées sont reprises par des racleurs de fond [05].

Les décanteurs lamellaires présentent de nombreux avantages :

- Permettent le fractionnement du débit.
- Assurent des écoulements non perturbés.

A- Décantation primaire :

La décantation, processus essentiel du traitement primaire, a pour but :

- de retenir une fraction importante de la pollution organique.
- d'alléger la charge du traitement biologique ultérieur.
- de réduire les risques de colmatage des systèmes de traitement biologique par culture fixée (lits bactériens, disques biologiques,...).
- d'éliminer 30 à 35% de la DBO₅, 60% des MES et 90% des matières décantables (pour une eau usée domestique).
- La décantation primaire a peu ou pas d'effets sur l'élimination des virus et des bactéries ; les diminutions sont de l'ordre de 10 à 30%.

Les décanteurs sont de très grands bassins rectangulaires ou circulaires, à fond plats avec système de raclage des boues ou à fond incliné pour que les boues glissent d'elles-mêmes vers le cône de collecte.

L'alimentation peut se faire frontalement (décanteur rectangulaire), par le centre ou par la périphérie (décanteur circulaire) [05].

I.2.4. Traitement Secondaire :

A ce niveau, le traitement permet de se débarrasser des impuretés présentes sous forme solubles ou lorsque leur taille ne permet pas d'être piégé dans le traitement primaire.

On distingue deux types de traitement :

- Le traitement physico – chimique.
- Le traitement biologique.

I.2.4.1- Traitements physico-chimiques :

Des traitements de coagulation et de floculation permettent, grâce à l'addition de réactifs chimiques, de séparer les fines particules en suspension isolement de la fraction colloïdale. Après la coagulation et la floculation, la séparation de la phase aqueuse de la phase solide est réalisée par un traitement physique, décantation ou flottation.

Ces procédés permettent d'obtenir des réductions de 50 à plus de 90 % des matières en suspension.

a) Avantages et inconvénients**• Avantage :**

- Réponse immédiate aux variations de charge.
- Capacité des installations, meilleure intégration au site.
- Bonne élimination de la pollution toxique.
- Déphosphatation simultanée.

• Inconvénients :

- Plus grande quantité de boues produites.
- Le coût élevé occasionné par les réactifs.
- Rendement d'épuration inférieur à l'épuration biologique.
- Risque de coloration (sels de fer sur eaux polluées).

I.2.4.2- Traitement biologique :

Le traitement biologique des eaux résiduaires a pour but d'éliminer la matière organique dissoute par action des bactéries et micro-organismes.

Il permet de passer des éléments présents sous forme soluble ou colloïdale en éléments floculables et de constituer des agrégats que l'on peut séparer de l'eau.

Il faut aussi signaler que la plupart des procédés biologiques exigent un domaine optimum de pH compris entre 6,5 et 8,5 quant à l'activité microbienne, elle est optimale à 30°C et requière des quantités suffisantes en nutriments.

On peut grossièrement classer les micro-organismes en [06] [07]:

- * Germes aérobies qui exigent de l'oxygène pour leur métabolisme.
- Germes anaérobies qui tirent leurs besoins énergétiques de la matière organique en absence de l'oxygène.
- Germes aérobies facultatifs qui ont un métabolisme aérobie et un métabolisme anaérobie.

L'épuration des eaux usées fait appel à deux types de procédés:

- Les procédés extensifs.
- Les procédés intensifs.

I.2.4.2.1. Procédés extensifs :**A- L'épandage :****a) Principe :**

C'est le procédé le plus ancien, il consiste à déverser directement sur le sol perméable des eaux usées, où les granulats constituant le sol sont alors un matériau de support de micro-organismes, ces derniers servent à dégrader la matière organique. Ce procédé peut être dangereux dans la mesure où les eaux qui s'infiltrent à travers le sol peuvent contaminer la nappe [03] [06].

b) Avantages et inconvénients de l'épandage :**• Inconvénients :**

L'épuration par épandage présente un certain nombre de risques qui peuvent être : L'intoxication à travers la chaîne alimentaire, la contamination des nappes et le risque de colmatage des sols.

• Avantage :

L'épandage présente l'avantage d'être un procédé simple et très économique, n'exigeant pas de grands moyens de mise en œuvre ou d'exploitation et permet la fertilisation des sols pauvres par un apport de substances nutritives contenues dans l'effluent.

B- Le lagunage :

On distingue principalement deux types de lagunage :

- Le lagunage naturel.
- Le lagunage aéré.

Le lagunage naturel est un procédé de traitement des eaux usées fondé sur un écosystème constitué principalement d'algues et des bactéries aérobies et anaérobies.

Le rayonnement solaire est utilisé comme source énergétique pour la production de l'oxygène par photosynthèse par les algues microscopiques.

Ce type de lagunage se caractérise essentiellement par un temps de séjour très élevé des effluents, plusieurs dizaines de jours et par des mécanismes de fonctionnement biologique fortement liés à la température et aux saisons.

Dans le lagunage aéré, un apport supplémentaire de l'oxygène nécessaire à l'assimilation des matières organiques par les bactéries est fourni par brassage de surface grâce à des aérateurs mécaniques.

a) Avantages et inconvénients du lagunage naturel :**• Avantage :**

- Adaptation aux variations de charges polluantes ;
 - Contrôles et entretien réduit.
 - Aucune source d'énergie.
 - Investissement modéré si le terrain est disponible à bas prix.
 - Bon rendement sur les germes pathogènes.
 - Bon rendement sur le phosphore.

• Inconvénients [08] :

- Surface nécessaire très importante.
- Imperméabilité des bassins nécessaire.
- Rendement faible au climat froid.
- Temps de séjour élevé.

I.2.4.2.2. Procédés intensifs :**A- Le lit bactérien :****a) Principe :**

Ce traitement est basé sur le principe d'infiltration à travers le sol. Un lit bactérien se présente comme une colonne circulaire pouvant atteindre 4 à 5 mètres de hauteurs dans lequel nécessite des matériaux poreux.

Les eaux à traiter ruissellent à la surface de la pellicule biologique qui prolifère sur le support, celles-ci renferment une forte concentration de bactéries et de champignons.

Ces micro-organismes absorbent et métabolisent la matière organique de l'effluent, qui s'appauvrissent progressivement au cours de son trajet [06] [07].

b) Avantages et inconvénients du lit bactérien :**• Avantage :**

Un bon rendement est atteint avec un choix convenable du matériau et des dimensions des pores (augmentation de la surface spécifique). Les lits bactériens sont aussi performants dans le cas d'effluents urbains ou dans le cas de certaines industries spécifiques (parfumeries, agro-alimentaires).

Entre autre l'exploitation d'une station à lits bactériens reste très simple : pas de gestion de stock de boues.

• Inconvénients :

Les traitements préalables doivent être performants, faute de quoi, un encrassage progressif apparaît qui contraint à vider, laver et remettre en place le matériel du lit.

Les variations d'odeurs enregistrées au changement de saisons [03] [6].

B- Le disque biologique :

a) Principe :

Dans le procédé à biodisque, le support est constitué par des disques parallèles régulièrement espacés sur un axe horizontal, tournant à faible vitesse et immergés sur la moitié de leur hauteur. Ce mouvement induit une oxygénation de la culture pendant la période d'immersion.

Les performances de ce procédé sont liées à [03] [06]:

- La profondeur d'immersion des disques (généralement deux mètres) ;
- La vitesse de rotation de l'arbre qui doit être optimale pour permettre une aération et une fixation des bactéries convenables ;
- La température qui doit être comprise entre 15 et 29°C.

b) Avantages et inconvénients :

• Inconvénients :

Les disques ne s'adaptent pas au traitement à forte charge, ils sont très sensibles à la qualité des eaux à traiter, aux flux excessives en concentrations et de débits, aussi ce procédé par biodisque ne s'adapte qu'au traitement des effluents de petites agglomérations.

• Avantage :

Ce procédé est d'une extrême simplicité d'exploitation et économique.

C- Les boues activées :

a) Principe :

C'est le procédé le plus répandu actuellement pour l'épuration des eaux résiduaires urbaines des petites, moyennes ou grandes collectivités.

Le procédé à boues activées est un système continu dans lequel des micro-organismes sont mis en contact avec des eaux usées renfermant des matières biodégradables pendant un temps suffisant.

Ces amas biologiques sont maintenus en agitation au sein de l'eau de façon à assurer un contact avec toute la partie de l'effluent. L'oxygénation est fournie en quantités suffisantes par des aérateurs.

Ainsi, dans le bassin d'aération, en présence d'oxygène, les micro-organismes vont se développer et se reproduire aux dépens des matières biodégradables formant ainsi des flocons décantables, orientés par la suite vers un clarificateur. A la sortie une eau traitée et des boues seront produites, une partie de ces boues sera expédiée vers les organes de traitement des boues et l'autre partie réintroduite dans l'aérateur [03] [6].

a) Avantages et inconvénients du procédé à boues activées :

• **Avantage :**

Le procédé à boues activées permet de réduire le temps de séjour de la pollution ainsi que les surfaces du terrain utilisées.

Le procédé à boues activées offre l'avantage d'une recirculation de la culture bactérienne ceci conduit à un enrichissement du bassin par les micro-organismes épurateurs.

• **Inconvénients :**

Les installations à boues activées sont très coûteuses vue l'équipement qu'elles comportent (ouvrages en béton, ouvrages métalliques, appareillages électromécaniques...).

L'exploitation de ce type de station exige un personnel qualifié et une vigilance permanente, le bon rendement repose sur le bon fonctionnement des aérateurs.

I.2.5. Traitement tertiaire :

En générale, les techniques d'épuration, même les plus énergiquement poussées, laissent passer dans l'eau épurée des matières organiques difficilement biodégradables et échappant à la meilleure décantation.

Ainsi même après un traitement secondaire l'eau véhicule presque toujours des micro-organismes et des micropolluants qui risquent de provoquer des dangers. Si une éventuelle réutilisation de cette eau est envisagée, il convient par conséquent d'utiliser des procédés à l'élimination de cette pollution résiduelle. On parlera donc des corrections chimiques ce qui permettra de donner à l'eau une qualité meilleure pour sa réutilisation.

La principale méthode utilisée est la désinfection par le chlore, qui doit être appliquée avec des doses très fortes et des temps de contact plus long. Mais il convient de signaler que les chloramines formés sont toxiques et présentent un danger pour la vie aquatique, ainsi il y a lieu de penser à une opération de déchloration avant le rejet.

A côté de la désinfection par le chlore, d'autres procédés existent également mais qui restent pratiquement inutilisables dans les domaines de l'épuration des eaux usées.

Ceci s'explique par leurs coûts qui restent excessivement élevés, mais qui donnent une eau de qualité qui laisse à désirer. On peut citer pour exemple des échanges d'ions et

l'absorption par du charbon actif. Toutefois le coût excessif d'un traitement tertiaire, montre le pourquoi de son absence dans la majorité des stations d'épuration, son prix ne renferme pas seulement le prix des réactifs ou des équipements mais surtout celui d'un personnel hautement qualifié [6].

II.1. La réutilisation des eaux usées traitées

II.1.1. Historique sur la réutilisation :

Avant l'avènement des traitements des eaux usées, celles-ci étaient utilisées à l'état brute historiquement l'utilisation des eaux usées est très ancienne et se faisait à l'origine sans traitement.

Au 19^{ème} siècle en Angleterre, Allemagne, les régions parisiennes, le rejet des égouts utilisés directement pour la production agricole, les nuisances générées par l'épandage des eaux brutes, cette pratique a régressée, et ce déclin est dû à des considérations sanitaires objectives et précises. Car la composition des eaux usées brutes est extrêmement variable en fonction de leur origine (industrielle, domestique, etc.). Elles peuvent contenir de nombreuses substances, sous forme solide ou dissoute, ainsi que de nombreux micro-organismes représentent un danger à l'humanité par la pollution de l'environnement.

Exemple en Australie, la réutilisation des eaux usées brutes ont été pratiquées depuis 1880, l'épandage des eaux usées brutes sur les pâturages et les cultures maraîchères. En 1936 cette pratique a été arrêtée à la suite de maladies graves.

Sur cela la première logique historique a donc été de dépolluer les eaux rejetées par les égouts afin d'en supprimer les nuisances et de les réinsérer dans le cycle naturel. Les recherches sont préoccupées de réduire la charge organique polluante.

Dans les années 1950 et 1960, l'Australie a commencé la réutilisation des eaux usées traitées pour l'arrosage des golfs et les espaces verts, elle a été encouragée par le gouvernement de l'état qui l'a réglementée dans la loi pour la protection de l'environnement de 1995 [09].

La réutilisation des eaux usées traitées désignées "non conventionnelles " comme, le dessalement des eaux saumâtres de la mer, et (la Stimulation de pluie est également inclus dans cette catégorie) fait aujourd'hui partie des pratiques communes en méditerranée, son utilisation varie d'un pays à l'autre selon son avancement dans le domaine.

La réutilisation des eaux usées traitées dans l'agriculture est une pratique consolidée dans de nombreux pays méditerranéens cependant, il est nécessaire d'établir des systèmes de surveillance et de contrôle à fin d'assurer une réutilisation convenablement car dans de nombreux pays il y a eu de nombreuses signalisations des problèmes sanitaires graves relevant à la réutilisation des eaux usées malgré traitées.

Ce qui nous intéresse dans notre étude c'est la réutilisation des eaux usées qui sont utilisées préférentiellement dans les régions arides.

Depuis de la réutilisation des eaux usées en 1980, a contribué relativement à la solution de certains problèmes universels tel que la pollution de l'environnement le manque d'eau surtout dans les régions arides et le manque d'énergie (turbine hydraulique).

En 2011 la réutilisation des eaux usées dans le monde a été estimée 2%, ce qui représente un volume d'environ 7,1 milliards de m³, soit 0,18 % de la demande mondiale en eau. Toutes les études de la réutilisation prévoient une forte croissance dans les dix ou vingt années à venir. Au niveau mondial, le volume des eaux réutilisées va triplés dans les dix années à venir et dans certains pays comme la chine, il sera multiplié par dix. La croissance annuelle de la réutilisation en volume est estimée à environ 10 à 12 %. Soit 181 % de croissance dans les dix ans à venir a comparé à 102 % pour le dessalement. Plusieurs pays ont d'ores et déjà inclus la réutilisation dans leur politique nationale, avec pour objectif de satisfaire par ce biais de 10 à 30% de leur demande en eau [10].

Les objectifs qui ont conduit et qui conduisent à envisager la réutilisation des eaux usées :

- Quantitatif : ce sont surtout les zones arides et semi arides du globe qui sont concernées.
- Qualitatif : préservation environnemental.

L'objectif quantitatif est prépondérant dans la genèse des projets de réutilisation pour répondre à des pénuries chroniques ou occasionnelles, et après prise en compte des coûts d'investissement et d'exploitation, la réutilisation s'impose de plus en plus comme une solution économiquement pertinente.

Toutefois, la mise en œuvre effective de projets de réutilisation trouve des contraintes institutionnelles et organisationnelles, et également des réticences culturelles.

Afin de mettre en perspective les enjeux potentiels de la réutilisation, il convient de garder en mémoire que :

- Le volume total de l'eau prélevée par l'activité humaine dans le monde s'élève à 3800 milliard m³/an.
- La répartition de ce volume est à l'échelle mondiale de 70 % pour l'irrigation (2660 milliards), 22 % pour l'eau industrielle (soit 836 milliards m³/an) et 8 % pour l'eau à usage domestique (soit 304 milliards m³/an).

- Les eaux usées collectées (sur les 1140 milliards m³/an affectés à l'eau domestique et industrielle) représentent 370 milliards m³/an et un peu moins de la moitié fait l'objet d'un traitement, soit 160 milliards m³/an [10].

Il ressort de ces données numériques les enseignements suivants :

- Le gisement des eaux usées traitées encore à recycler est important
- La réutilisation n'est qu'une solution partielle à la forte demande en eau, notamment agricole à travers le monde et ne se substitue pas aux questions globales de la mobilisation de l'eau.

II.1.2.La réutilisation des eaux usées :

Selon toutes les considérations sus citées on peut poser la question du traitement des eaux usées dans le cadre de la réutilisation selon l'alternative suivante :

Soit être dans une logique de cycle court, le traitement de l'eau ayant alors pour objectif de respecter uniquement les normes ou recommandations fixées pour la réutilisation.

Soit, dans une logique de cycle long, leur faire subir un traitement visant :

– Dans un premier temps à un retour de l'eau au milieu naturel sans préjudice pour ce milieu.

– Puis dans un second temps à sa reprise pour réutilisation avec une compatibilité de la qualité de l'eau avec les usages souhaités après son parcours dans le milieu naturel. Cela concerne simultanément les questions d'objectifs de qualité, d'autoépuration puis de respect des normes ou recommandations de réutilisation.

II.1.3.Usages de réutilisation [10] :

Quasiment tous les domaines relatifs aux usages de l'eau sont concernés par la réutilisation sauf ce qui touche aux eaux thermales et minérales, dont les exigences de qualité sont telles qu'elles n'entrent pas dans les champs de la réutilisation.

II.1.3.1. Usage direct : cycle court

Dans cette nomenclature, l'eau usée traitée passe directement du statut d'eau usée au statut de nouvelle ressource après avoir transité par des mécanismes d'épuration.

A. Usage agricole :

L'emploi des eaux usées en agriculture est très ancien et les champs d'épandage ont constitué les premiers systèmes d'épuration (lagunage). Aujourd'hui l'intérêt principal de la réutilisation des eaux usées en culture est l'apport d'eau indispensable aux plantations

(zones arides).

Dans le cas spécifique de l'irrigation, les bénéfices ne résident pas seulement dans la préservation du milieu et de la ressource, mais aussi dans la nature des eaux usées, elles contiennent des éléments fertilisants (azote, phosphore et potassium) ainsi que des oligo-éléments (fer, cuivre, manganèse, zinc, etc.) qui sont bénéfiques pour les cultures, et qui peuvent augmenter significativement le rendement.

L'utilisation d'eaux usées à la place d'engrais de synthèse coûteux est économiquement intéressante pour les agriculteurs. De plus, l'arrosage avec des eaux usées constitue une sorte de fertigation, c'est-à-dire l'application combinée d'eau et de fertilisants via le système d'irrigation. La fertigation permet un apport fractionné et à faible dose des engrais ; en cela elle est bénéfique pour l'environnement car elle évite la pollution des sols et les dépendances aux fertilisants.

B. Aquaculture :

Cette valorisation est encore relativement embryonnaire à travers le monde mais elle est déjà pratiquée en Inde ainsi que des pays asiatiques à la fois comme procédé d'épuration et pour l'économie piscicole qui en résulte. N'oubliant que l'utilisation des eaux usées dans les étangs piscicoles est aussi ancienne que l'aquaculture. Cette utilisation nécessite un traitement minimum indispensable (lagunage, épuration classique, prédilution, dilution simultanée). Une deuxième condition, non moins importante, est la sélection exclusive des eaux usées domestiques et rurale afin d'éviter la présence de métaux lourds et autre substances toxiques des rejets industriels.

C. Usage urbain :

Dans cet usage figurent :

- L'irrigation d'espaces verts (par réseau spécifique ou par camionnage), dont la gestion incombe le plus souvent à la collectivité.
- L'alimentation de plans d'eau récréatifs : cette valorisation s'apparente également à la catégorie du cycle long car souvent les eaux usées traitées viennent s'ajouter à l'eau de plans d'eau existants.
- Le lavage des rues et des marchés.
- Des recyclages d'eaux grises à l'échelle d'un immeuble en vue d'alimenter des circuits particuliers de chasse d'eau ; les expériences japonaises dans ce domaine sont particulièrement avancées.

La réutilisation en zone urbaine nécessite un réseau double qui permet de distribuer séparément les eaux épurées et l'eau potable. Il peut y avoir un réseau double à l'échelle de la

ville entière ou à l'échelle de l'habitation. Lors de la modification d'un système déjà existant, l'installation d'un second réseau de distribution peut représenter jusqu'à 70 % du prix d'un projet de réutilisation, ce qui peut rendre le projet économiquement irréalisable ; cependant, si le double réseau est installé en une seule fois, lors de la construction d'un nouveau lotissement par exemple, le coût est moins élevé.

D. Usage industriel :

La réutilisation industrielle des eaux usées et le recyclage interne sont désormais une réalité technique et économique. Pour les pays industrialisés, l'eau recyclée fournit 85 % des besoins globaux en eau. Les centrales thermiques et nucléaires (eau de refroidissement) sont parmi les secteurs qui utilisent les eaux usées en grande quantité. La qualité de l'eau réutilisée dépend de l'industrie ou de la production industrielle.

La réutilisation industrielle peut donc être intéressante dans le secteur de l'énergie, dans les circuits de refroidissement fermés ou ouverts. Les autres applications possibles concernent les laveries industrielles, les stations de lavage de voiture, l'industrie du papier, la production d'acier, de textiles, les industries d'électroniques et de semi-conducteurs, etc.

La qualité requise est spécifique à chaque industrie parce que sa composition chimique peut avoir des répercussions sur les processus industriels. Les préoccupations concernent principalement les phénomènes d'entartrage, de corrosion, de développement de bactéries, d'encrassement, de formation de mousse, et d'inhalation d'aérosols par les travailleurs. Il n'y a pas de problème sanitaire spécifique à l'industrie et on retrouve les mêmes contaminants que pour les autres usages.

E. Usage à des fins d'AEP :

La réutilisation des eaux à des fins de consommation en eau potable est une catégorie comptant un nombre réduit de projets dans le monde, exemple en Australie, la ville de Goulburn a mis en œuvre un projet de ce type, également le cas en Namibie(Windhoek) et à Singapour ou l'eau est mixée avec une ressource conventionnelle, le seul frein à la floraison de ces projets est d'ordre psychologique.

II.1.3.2. Usage indirect : le cycle long

A. Recharge de nappes :

Consiste à faire infiltrer ou percoler les eaux usées traitées dans le sous-sol, plusieurs objectifs sont atteints :

- La restauration d'une nappe surexploitée par excès de pompage et dont le rabattement est préjudiciable.

- La protection des aquifères côtiers contre l'intrusion d'eau salée.
- Le stockage des eaux pour une utilisation différée.
- L'amélioration du niveau de traitement de l'eau, utilisant de la sorte le pouvoir autoépuration du sol.
- La protection de l'environnement en évitant de rejeter les effluents dans un cours d'eau ou en mer.

B. Autres usages :

Le soutien d'étiage peut avoir pour objectif le maintien en vie faunistique.

En zones humides pour sauvegarder et valoriser le patrimoine environnemental, là aussi ce sont principalement les enjeux floristiques et faunistiques qui sont ciblés.

II.1.4. Quelques exemples de la réutilisation dans le monde [09] :

Comme il a été noté dans la partie introductive de ce chapitre, la réutilisation des eaux usées à des fins agricoles connaît une large expansion dans le monde. Pour bien fixer les idées nous donnerons à titre illustratif des cas de certaines régions :

II.1.4.1. Europe du Nord :

En Europe du nord, l'épandage des eaux usées était une tradition. Cette pratique qui datait de très longtemps est sur le point de disparaître avec l'avènement des nouvelles technologies de traitement.

Ainsi, en Grande Bretagne, la recharge des nappes par des eaux usées traitées constitue une forme de recyclage des eaux. En Allemagne les eaux usées utilisées dans l'irrigation des champs de céréales, de betteraves, de pomme de terre et les prairies.

On peut aussi citer l'exemple de la Hongrie où 200 millions de mètres cubes d'eaux usées ont été utilisées en 1991 pour l'irrigation de diverses cultures, de prairies, de rizières et de peupleraies.

II.1.4.2. Bassin méditerranéen [09] :

La réutilisation agricole des eaux usées a toujours existé et est aujourd'hui une pratique largement répandue sur le pourtour de la Méditerranée, de l'Espagne à la Syrie. En effet, le bassin méditerranéen est une région où la pénurie en eau est particulièrement ressentie. C'est aussi l'une des régions où la réutilisation agricole des effluents urbains est la plus pratiquée. Cette réutilisation est parfois l'objet d'une politique nationale comme en terre occupée. Dans ce pays, environ 20% des eaux usées sont infiltrées et rechargent les nappes souterraines dans la région de Tel-Aviv

L'excellente qualité de l'eau traitée obtenue convient à de nombreux usages tels que l'irrigation agricole de produits consommés crus, les utilisations industrielles. En 1996, la réutilisation de l'eau usée ; en terre occupée concerne uniquement les projets d'irrigation.

A. La Grèce [09] :

La ville d'Athènes a développé en 1996 une stratégie de réutilisation des eaux usées traitées.

Parmi les réutilisations favorisées, l'irrigation des cultures est largement prédominante (71%). L'estimation de l'usage des eaux usées urbaines dans les industries est particulièrement basse par rapport aux niveaux de réutilisation dans les autres centres urbains industrialisés (5.2%). Ceci est localement dû à la dispersion géographique des industries fortement consommatrices d'eau.

B. La France [09] :

En France, la réutilisation des eaux épurées est peu développée. Cela est essentiellement dû à l'abondance de leurs ressources en eau. En effet, sur les parties du territoire les moins arrosées, la pluviométrie moyenne annuelle ne descend guère au-dessous de 600 millimètres. De plus, ces régions et notamment le midi méditerranéen ont été très tôt desservis par de grands équipements hydrauliques, satisfaisant leurs besoins en eau. En conséquence, à part quelques situations locales, il n'existe pas de véritable pénurie d'eau en France. Si certaines réalisations existent, c'est pour répondre à des nécessités locales. Comme nous l'avons précisé en introduction, les motivations inhérentes à ces projets peuvent être de deux ordres. D'une part, elles peuvent induire un accroissement des ressources en eau et d'autre part, supprimer ou au moins réduire les rejets d'eaux usées dans un milieu récepteur sensible.

En générale la réutilisation des eaux usées en France est utilisée en industrie plus encore chaque zone industrielle possède sa station d'épuration pour ne pas polluer l'environnement par ses déchets et réutilise son effluent dans ses besoins industriels en eau.

C. La Tunisie [6]:

La Tunisie par rapport ses voisins est très avancée dans ce domaine mais le secteur industriel n'est pas encore attiré par la réutilisation des eaux usées traités. Dans ce cadre, il nécessaire d'évaluer la possibilité de substituer les ressources en eau conventionnelle par les eaux usées traitées, en outre une étude de sa réalisation du point de vue économique et technique est nécessaire dans de tels projets. Cela peut se faire par la coopération entre l'Agence de réutilisation des eaux usées traités, l'ONAS et les bénéficiaires du côté industriel.

Par contre, dans le secteur agricole, l'expérience est déjà en constante progression. « Le potentiel mobilisable des ressources en eau identifiées (1999) est de quatre milliards de mètres cubes dont 80 % ou plus sont déjà mobilisées ».

Ce volume « est potentiellement disponible sous forme d'eau usée traitée à partir du parc des 55 stations d'épuration existantes. Ils subissent un traitement secondaire et sont fournis gratuitement par l'ONAS ».

La principale filière de réutilisation des eaux usées traitées est l'irrigation. Les périmètres irrigués par ces eaux couvrent actuellement une superficie totale d'environ 6400 ha. Les volumes réutilisés demeurent très variables d'une année à l'autre allant de 12,5 Mm³ en 1994 à 35 Mm³ en 1996.

Les principales cultures irriguées sont les cultures fourragères et les céréales qui couvrent plus de 2/3 de ces terres. Il y a aussi l'arboriculture et les cultures industrielles. Enfin, cette irrigation avec les eaux usées traitées s'étend aux terrains de golf qui couvrent une superficie d'environ 6000 ha. Le volume total réutilisé sur l'ensemble de terrain de golf a été de 4 Mm³ en 1996. Ainsi, les principaux exploitants des eaux usées traitées sont le Ministère de l'Agriculture et l'Agence Foncière du Tourisme. Cette dernière se charge de l'adduction des eaux usées traitées pour l'arrosage des terrains de golf et de quelques jardins d'hôtels dans les grandes zones touristiques.

D. L'Algérie [11] :

Si cette idée de réutilisation des eaux usées est généralement admise comme étant une hypothèse très sérieuse pour une augmentation substantielle des volumes d'eau mobilisable, car elle répond à des besoins précis, il n'existe pas une grande expérience réelle dans ce domaine.

On a peu de statistiques sur les stations d'épuration algériennes, la station d'épuration de l'oued Athmania (Mila) réutilise ses boues et ses eaux usées traitées en agriculture depuis sa création (fertigation). La méthode d'épuration utilisée est la boue activée à faible charge, épurant 3000 m³/j d'eau usée de type urbaine. Le rejet de l'affluent de la station se fait dans l'oued Rhumel. Les agriculteurs prennent l'eau pour l'irrigation de la pomme de terre directement de celui-ci (cycle long). Les boues sont aussi utilisées sur les champs de blé dur. (Deux agriculteurs réguliers seulement qui font cette pratique et sont très satisfaits).

Les résultats obtenus sont :

- Augmentation du rendement des cultures.
- Economie de charge de fertilisation.

Une autre étude est lancée, sur la station d'épuration de la ville de Constantine (volume épurée 5000 m³/j, filière boues activées) ; et celle de Souk-Ahras (volume épurée 5000 m³/j filière boues activée).

II.1.4.3.Continent américain [6] :

La réutilisation des eaux traitée est pratiquée depuis 1955 aux Etats-Unis. Outre l'arrosage de parcs, de parcours de golf et de jardins publics, on peut signaler la création de lacs artificiels alimentés en tout ou partie par des eaux usées épurées. Des études publiées en 1994 ont montré que les traitements poussés des eaux usées par des procédés à membranes étaient appropriés pour respecter les réglementations.

En effet, les réglementations concernant la réutilisation aux états unis sont très sévères, par exemple, 2.2 coliformes fécaux par 100 millilitres en 1993 (état de Californie).

Ce qui est très loin de la réglementation imposée par l'organisation mondiale de la santé (OMS) qui est de 100 coliformes fécaux par 100 millilitres. Dans ce pays 34 états disposent des réglementations ou des recommandations relatives à l'utilisation des eaux usées à des fins agricoles.

Sur le continent américain, cette pratique est également réalisée dans plusieurs pays d'Amérique du Sud ainsi qu'au Mexique. Par exemple, la ville de Mexico utilise les effluents traités par ses 16 stations d'épuration pour l'irrigation des parcs, des jardins publics et des équipements de loisirs. Il faut souligner que seulement 6% des eaux usées brutes sont épurés. En 1996, les eaux usées brutes de Mexico étaient encore utilisées en irrigation agricole et notamment le plus grand taux d'irrigation du monde (irrigation de 85000 hectares de maïs, d'orge et de tomates).

II.1.4.4.Japon [09] :

Malgré une moyenne de précipitation annuelle haute (environ 1730 mm par an), le Japon connaît certains problèmes d'approvisionnement en eau en raison d'une forte densité de population sur un territoire restreint. De ce fait, plusieurs projets de réutilisation des eaux usées ont vu le jour dans les grandes métropoles. Contrairement aux régions arides ou semi-arides du monde où l'irrigation agricole et des espaces verts constituent le mode le plus développé, la réutilisation des eaux usées au Japon est prédominante dans le cas des usages urbains tels que l'alimentation des chasses d'eau dans les immeubles, les usages industriels ou encore dans la restauration et l'augmentation des débits des cours d'eau urbains aménagés.

La réutilisation des eaux usées dans les grandes villes est appréciée par la population comme un élément important du cycle de l'eau et comme une ressource particulièrement utile dans l'environnement urbain. En effet, les eaux usées traitées peuvent être utilisées dans les

situations d'urgence engendrées par des catastrophes telles que les tremblements de terre et les incendies.

II.1.4.5.Australie [09] :

L'Australie est l'un des continents les plus secs. L'intensité des précipitations est très variable dans l'espace puisque le quart du continent concentre 80% des précipitations. Depuis 1991, il y a eu un rapide développement des initiatives liées au recyclage de l'eau et notamment dans le cadre de la réutilisation des eaux usées urbaines.

La population australienne (18 millions) est peu dense au regard d'un territoire vaste (8 millions de km²). Une forte proportion de la population vit dans les métropoles situées au sud de continent qui est favorisées par de forte précipitation. Dans ce continent, la réutilisation des eaux usées concerne l'irrigation des cultures, des prairies, des espaces verts ou l'usage industriel. Dans les zones tempérées de l'Australie, la réutilisation concerne essentiellement l'irrigation des cultures telles que la canne à sucre alors que dans les zones arides, c'est l'irrigation des plantations d'arbres qui prédomine.

C'est une description exhaustive des cas de réutilisation dans le monde. On pourrait encore citer de nombreux exemples tels que la ville de Taif en Arabie Saoudite. Cette ville est équipée d'une station d'épuration traitant 70000 m³ d'eau par jour. C'est l'une des plus grandes stations au monde.

La **Figure II.1** résume les principales voies de réutilisation dans les pays ayant une expérience significative dans ce domaine. Il apparaît que la réutilisation pour l'irrigation est essentiellement présente dans les pays réputés agricoles mais dont les ressources hydriques sont faibles, comme le bassin méditerranéen, le Sud des Etats-Unis. Les plus grands projets de réutilisation ont été développés dans les régions de l'Ouest et de l'Est des Etats-Unis, l'espace méditerranéen, l'Australie, l'Afrique du Sud.

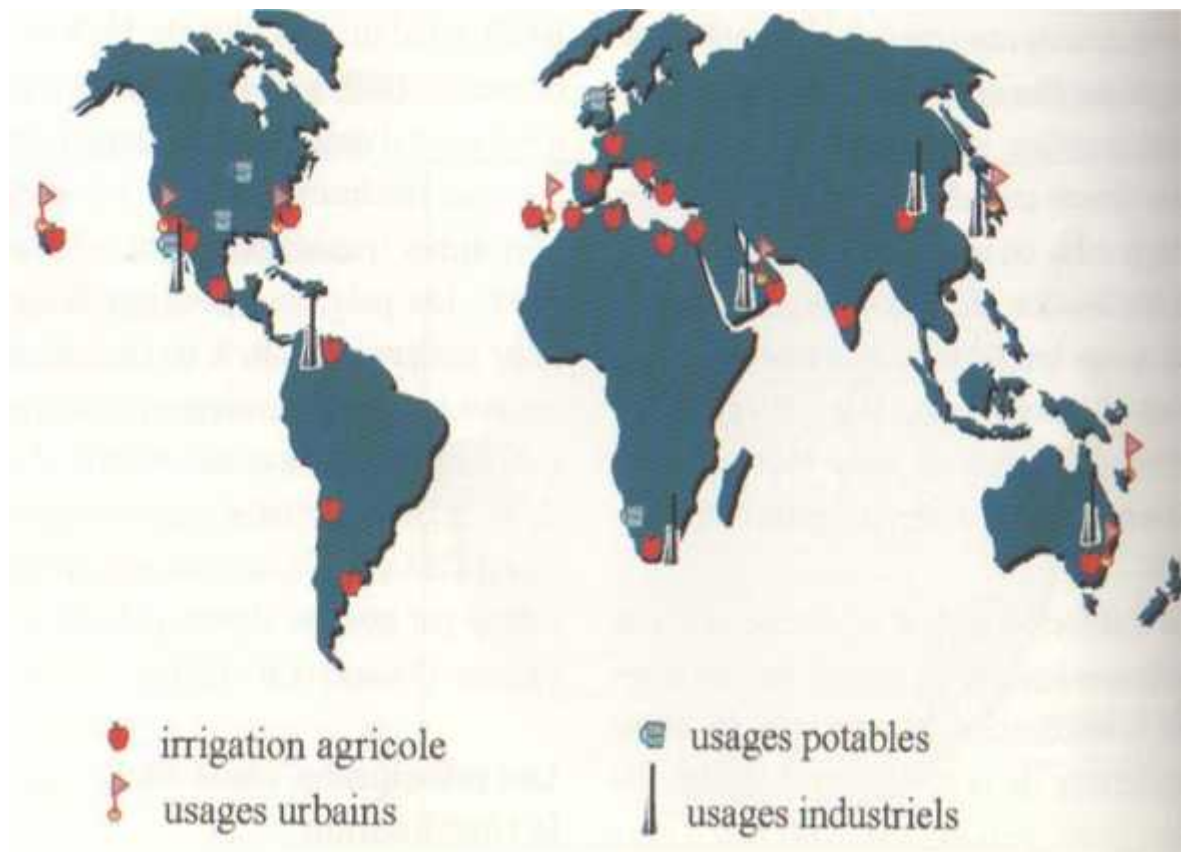


Figure II.1: Répartition par secteur et localisation des expériences mondiales les plus importantes en réutilisation des eaux résiduaires urbaines.

II.1.5. Aperçu général sur le problème d'eau [12] :

La Banque Mondiale classe le Maghreb et le Moyen-Orient comme la région du monde la plus pauvre en ressources hydrauliques naturelles renouvelables. Les pays arabes, tous inclus dans cette grande aire régionale. Ils représentent en 2007 4,8 % de la population mondiale mais ne disposent que de 0,67% des ressources hydrauliques naturelles, leurs ressources en eau renouvelable qui étaient de l'ordre de 3000 m³/an/habitant en 1960 ne s'élèvent qu'à 884 m³ /an/habitant en 2009. A titre de comparaison, le niveau de la ressource est de 36 619 m³/an/habitant en Océanie, 23 103 en Amérique latine, 18 742 en Amérique du Nord, 14 659 en Europe orientale et en Asie centrale, 7 485 en Afrique au Sud du Sahara, 5 183 en Europe occidentale, 3 283 en Asie. On note avec cette première approximation l'ampleur du handicap du Monde Arabe. L'eau est sans aucun doute une des ressources naturelles les plus mal réparties à la surface de la planète.

Des normes internationales ont été établies pour juger plus exactement les différentes situations :

- Le seuil de pénurie est fixé à 1 000 m³/an/habitant.
- En dessous de 1 000 m³/habitant on estime qu'un pays peut être confronté à des pénuries régionales.
- A 500 m³/an/habitant la situation est considérée comme critique.
- En dessous de 100, le recours impératif à de coûteuses ressources non conventionnelles est inévitable.

Tableau II.1 : Statistiques de disponibilité en eau de quelques pays (Année 2009).

PAYS	DISPONIBILITES EN EAU m ³ /habitant		POPULATION millions
	Ressources totales renouvelables	Ressources internes renouvelables	
Algérie	339	322	35,4
Arabie Saoudite	84	84	28,7
Bahreïn	100	100	1,2
Emirats Arabes Unis	98	98	5,1
Egypte	738	23	78,6
Irak	2500	1133	30
Jordanie	153	119	5,9
Koweït	7	7	3
Liban	1231	1231	3,9
Libye	95	95	6,3
Maroc	906	906	32
Oman	323	323	3,1
Qatar	36	36	1,4
Soudan	1820	709	42,3
Syrie	1196	320	21,9
terre occupée	200	200	4
Tunisie	442	404	10,4
Yémen	179	179	22,9

Source: Calculs de la FAO sur la base de données de la Banque Mondiale et d'autres organismes.

La situation des pays arabes que l'on peut observer au tableau 4 apparaît fort préoccupante. La moyenne arabe se situe en dessous du seuil de pénurie en 2009 avec 884 m³/an/habitant.

Cette situation ira en s'aggravant dans les années à venir : les ressources évidemment resteront les mêmes alors que la population va inéluctablement augmenter. En retenant les projections démographiques habituelles qui tiennent compte de la récente inflexion de la fécondité, on peut estimer que la dotation moyenne d'ensemble s'abaissera à 692 m³/an/habitant vers les années 2025/2030 et 526 en 2050. En se fiant à ces normes internationales, le Monde arabe va globalement entrer dans une situation de pénurie.

Ces moyennes d'ensemble cachent en fait des situations très contrastées entre pays arabes comme nous l'indique l'observation du tableau précédent :

- Seuls 4 pays représentent 24% de la population arabe se situent au-dessus du seuil de 1 000 m³/an/habitant en 2009 (Liban, Syrie, Soudan, Irak).
- 2 pays (Egypte, Maroc) se trouvent déjà dans une situation de pénuries régionales.
- Enfin 12 pays (37 % de la population) se trouvent placés au-dessous du seuil critique de 500 m³/an/habitant et 5 d'entre eux disposent de moins de 100 m³/an/habitant.

Conclusion :

Au terme de ce chapitre nous avons survolé sur plusieurs thèmes les eaux usées leur provenance, leur pollution, leur traitement et leur réutilisation dans le monde et surtout dans les régions arides par conséquent leur réutilisation a deux buts essentiels :

- La préservation de l'environnement celle-ci concerne le monde entier (zone aride, semi-aride et humide).
- Mobilisation des réserves d'eau supplémentaires, utilisées dans chaque pays là où est nécessaire.

III.1.Présentation de la zone d'étude

III.1.1. Situation géographique :

La région à étudier est la commune d' el Atteuf qui constitue l'aval de la vallée de m'Zab la commune de d'el Atteuf fait partie de la wilaya de Ghardaia, située à 600km au sud de la capitale Alger et 21km à l'est du chef lieu de la wilaya Ghardaia,

La Wilaya de Ghardaïa est limitée :

- Au Nord par la Wilaya de Laghouat ;
- Au Nord Est par la Wilaya de Djelfa ;
- À l'Est par la Wilaya de Ouargla ;
- Au Sud par la Wilaya de Tamanrasset ;
- Au Sud-ouest par la Wilaya d'Adrar ;
- À l'Ouest par la Wilaya d'El-Bayadh ;

La Wilaya couvre une superficie de 86560 km²

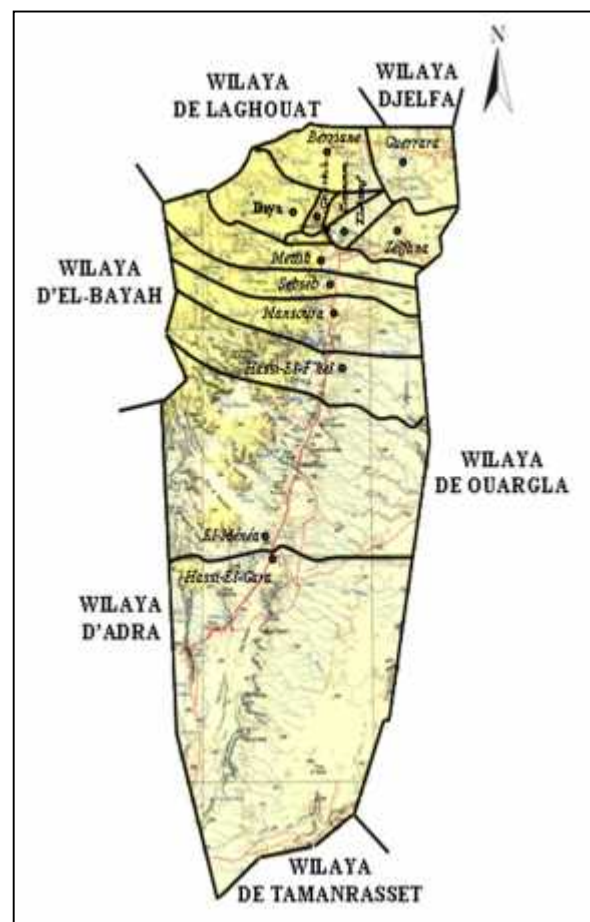


Figure III.1:Limites administratives

de la wilaya de Ghardaïa

III.1.2. Climatologie :

Le climat de la wilaya est saharien, se caractérise par des étés aux chaleurs torrides

Et des hivers doux, surtout pendant la jour

a)- Températures:

L'analyse d'une série d'observations statistiques enregistrée au niveau de la Wilaya de Ghardaïa, sur une période d'observations de 10 ans, a fait ressortir que la température moyenne mensuelle enregistrée, est de 22,40 °C, Comme il est indiqué dans le (tableau III. 1)

Tableau III.1 : Température moyenne mensuelle sur une période d'observation (2005/2014) [13]

<i>Mois</i>	<i>Jan</i>	<i>Fev</i>	<i>Mar</i>	<i>Avr</i>	<i>Mai</i>	<i>Jui</i>	<i>Juil</i>	<i>Aou</i>	<i>Sep</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dec</i>
<i>température moy men (°C)</i>	10,86	13,10	17,63	21,34	25,71	31,26	34,60	33,30	28,77	23,84	16,17	11,78

b)-Précipitations :

Selon les données statistiques, sur une période d'observation de 10 ans, on constate que la pluviométrie est très faible. La moyenne annuelle est de 74,95 mm. Le nombre de jours de pluie ne dépasse pas onze (11) jours (entre les mois de janvier et mars). (Tableau III. 2)

Tableau III.2 : Précipitations sur une période d'observation (2005/2014) [13]

<i>Année</i>	<i>2005</i>	<i>2006</i>	<i>2007</i>	<i>2008</i>	<i>2009</i>	<i>2010</i>	<i>2011</i>	<i>2012</i>	<i>2013</i>	<i>2014</i>	<i>P_{moy an} (mm)</i>
<i>Précipitation (mm/an)</i>	28,8	98,9	34,6	48,2	51,6	47	171,5	97,8	109,6	61,5	74,95

c)- Humidité :

Les données de la station météorologique de Ghardaïa montrent qu'il y a une période de sécheresse de mois de juin au mois de juillet et il y a une période humide qui est en automne et en hiver, (tableau III. 3).

Tableau III.3: Humidité moyenne mensuelle sur une période d'observation (2005/2014) [13]

<i>Mois</i>	<i>Jan</i>	<i>Fev</i>	<i>Mar</i>	<i>Avr</i>	<i>Mai</i>	<i>Jui</i>	<i>Juil</i>	<i>Aou</i>	<i>Sep</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dec</i>
<i>Humidité moy men (%)</i>	56,90	46,10	38,50	33,60	29,40	24,70	21,30	25,30	35,10	39,70	50,80	56,70

d)-Evaporation :

La quantité d'eau évaporée dans la région de Ghardaïa est influencée par le degré de température et les vents et les précipitations, elle augmente quand ceux-ci augmentent et vice versa (tableau III. 4).

Tableau III. 4 : Evaporations sur une période d'observation (2005/2014) [13]

<i>Année</i>	<i>2005</i>	<i>2006</i>	<i>2007</i>	<i>2008</i>	<i>2009</i>	<i>2010</i>	<i>2011</i>	<i>2012</i>	<i>2013</i>	<i>2014</i>
<i>Evaporation (mm/an)</i>	<i>3649</i>	<i>3826</i>	<i>2981</i>	<i>2850</i>	<i>2681</i>	<i>2580</i>	<i>2439</i>	<i>2503</i>	<i>2549</i>	<i>2412</i>

e)-Vents :

Les vents dominants d'été sont forts et chauds tandis que ceux d'hiver sont froids et humides. Les vents de sable sont très fréquents dans la région d'El-Ménéa surtout pendant le printemps, les mois d'avril, mai et juin.

Pour ce qui est du Sirocco dans la zone de Ghardaia, on note une moyenne annuelle de 11 jours/an pendant la période qui s'étend du mois de mai à septembre, comme le montre le (tableau III. 5).

Tableau III. 5 : Vitesse moyenne mensuelle sur une période d'observation (2005/2014) [13]

<i>Mois</i>	<i>Jan</i>	<i>Fev</i>	<i>Mar</i>	<i>Avr</i>	<i>Mai</i>	<i>Jui</i>	<i>Juil</i>	<i>Aou</i>	<i>Sep</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dec</i>
<i>Vents moy men (m/s)</i>	<i>3,41</i>	<i>3,72</i>	<i>3,68</i>	<i>4,06</i>	<i>4,22</i>	<i>3,72</i>	<i>3,45</i>	<i>3,25</i>	<i>3,50</i>	<i>3,01</i>	<i>3,15</i>	<i>3,39</i>

III.1.3.Aspect hydrologique :

La région de Ghardaïa est jalonnée par un grand réseau d'oueds dont les principaux sont : oued Sebseb, oued Metlili, oued M'zab, oued N'sa et oued Zegrir.

L'ensemble de ces oueds constitue le bassin versant de la dorsale du M'zab (fig.2), ils drainent en grande partie les eaux de la dorsale de l'Ouest vers l'Est, leur écoulement est sporadique, il se manifeste à la suite des averses orageuses que connaît la région. [14]

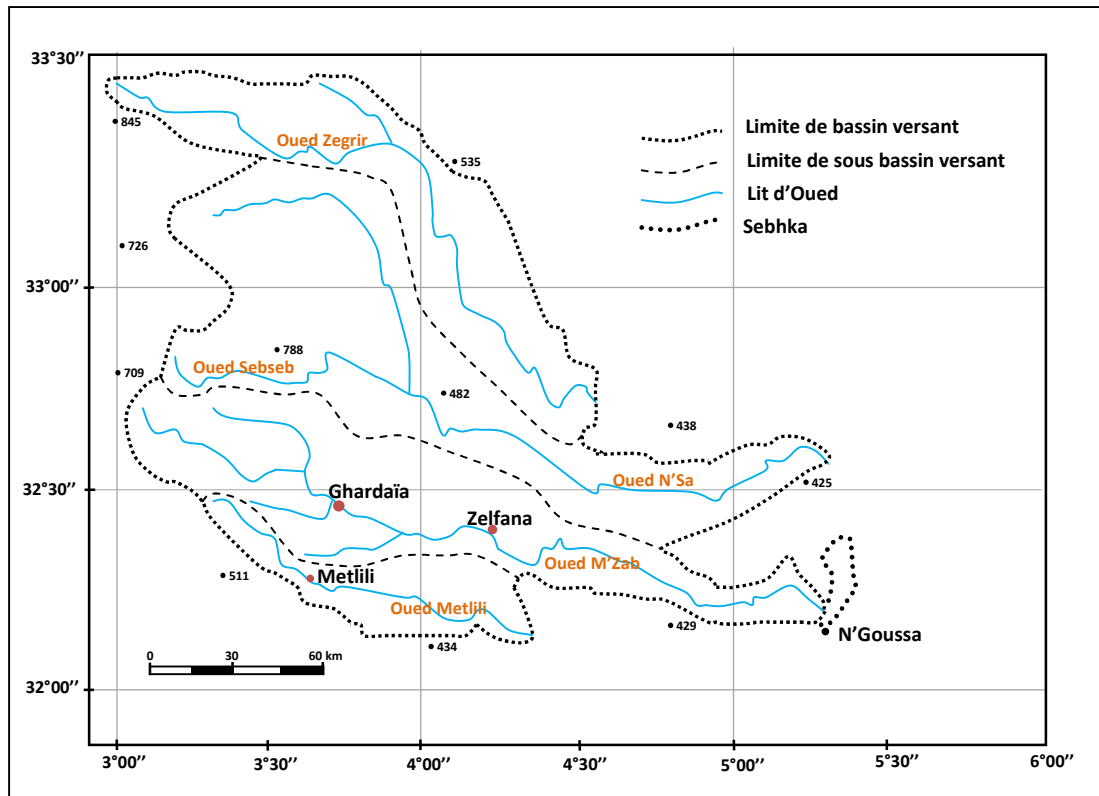


Figure III. 2 : Bassin versant des oueds de la région du M'zab [14]

Exceptionnellement, quand les pluies sont importantes, surtout au Nord-Ouest de la région de Ghardaïa, ces oueds drainent d'énormes quantités d'eaux. Une étude des crues de l'oued Mzab (ANRH,1994) a estimé les débits de crue décennale et centennale à 205et722 m³/s.

Les conséquences sont parfois catastrophiques et les dégâts sont souvent remarquables, notamment pour l'oued M'zab, et Metlili où à chaque pluie exceptionnelle cause beaucoup de dommages principalement dans les agglomérations. [14]

III.1.4.Aspect géologique et hydrogéologique :

Du point de vue géologique, la wilaya de Ghardaïa est située aux bordures occidentales du bassin sédimentaire secondaire du Sahara, sur un grand plateau sub-horizontale de massifs calcaires d'âge Turonien appelé couramment " la dorsale du M'zab". L'épaisseur de ses massifs calcaires recoupés par les sondages est de l'ordre de 110 mètres. Sous les calcaires turoniens on recoupe une couche imperméable de 220 mètres formée d'argile verte et de marne riche en gypse et en anhydrite; elle est attribuée au Cénomaniens. L'étage de l'Albien est représenté par une masse importante de sables fins à grès et d'argiles L'étage de L'albien est

représenté par une masse importante de sables fins à grés et d'argiles, vertes. Elle abrite des ressources hydrauliques considérables, l'épaisseur est de l'ordre de 300 mètres.

Les alluvions quaternaires formées de sables, galets et argiles tapissent le fond des vallées des oueds de la dorsale, d'une épaisseur de 20 à 35 mètres. Ces alluvions abritent des nappes superficielles d'Inféro-flux (nappes phréatiques) (fig.3) (fig.4). [14]

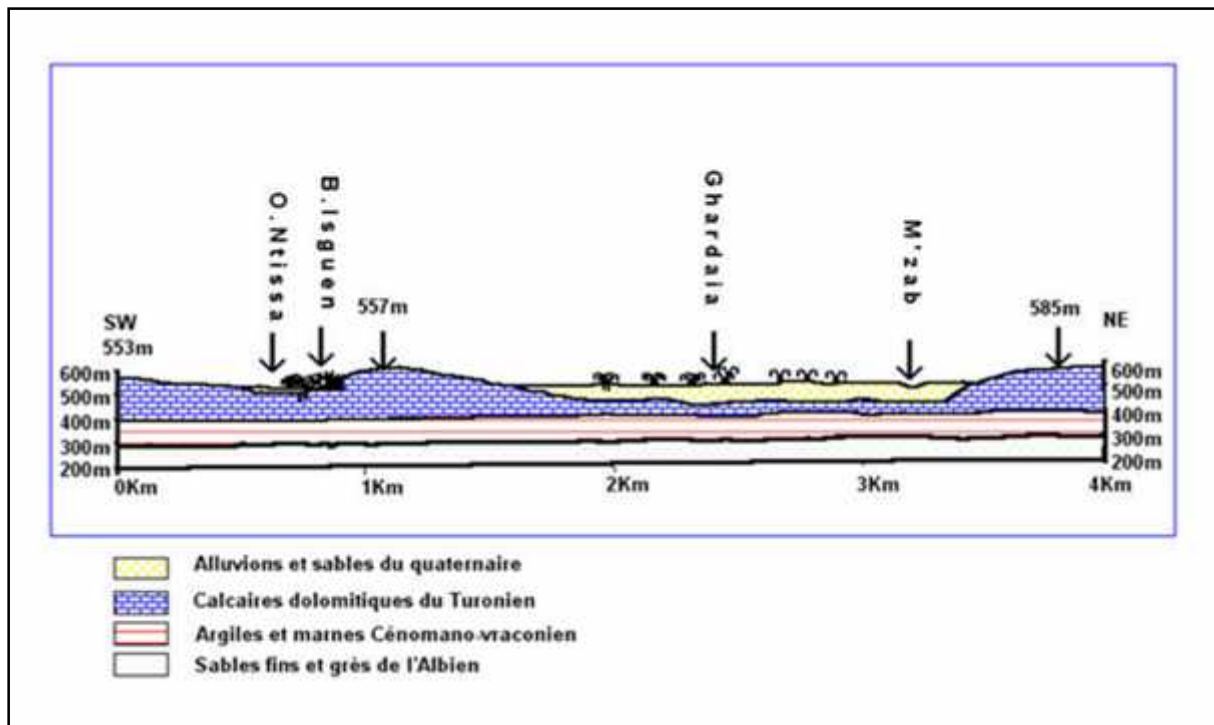


Figure III. 3 : Coupe géologique schématique de la région du M'zab [14]

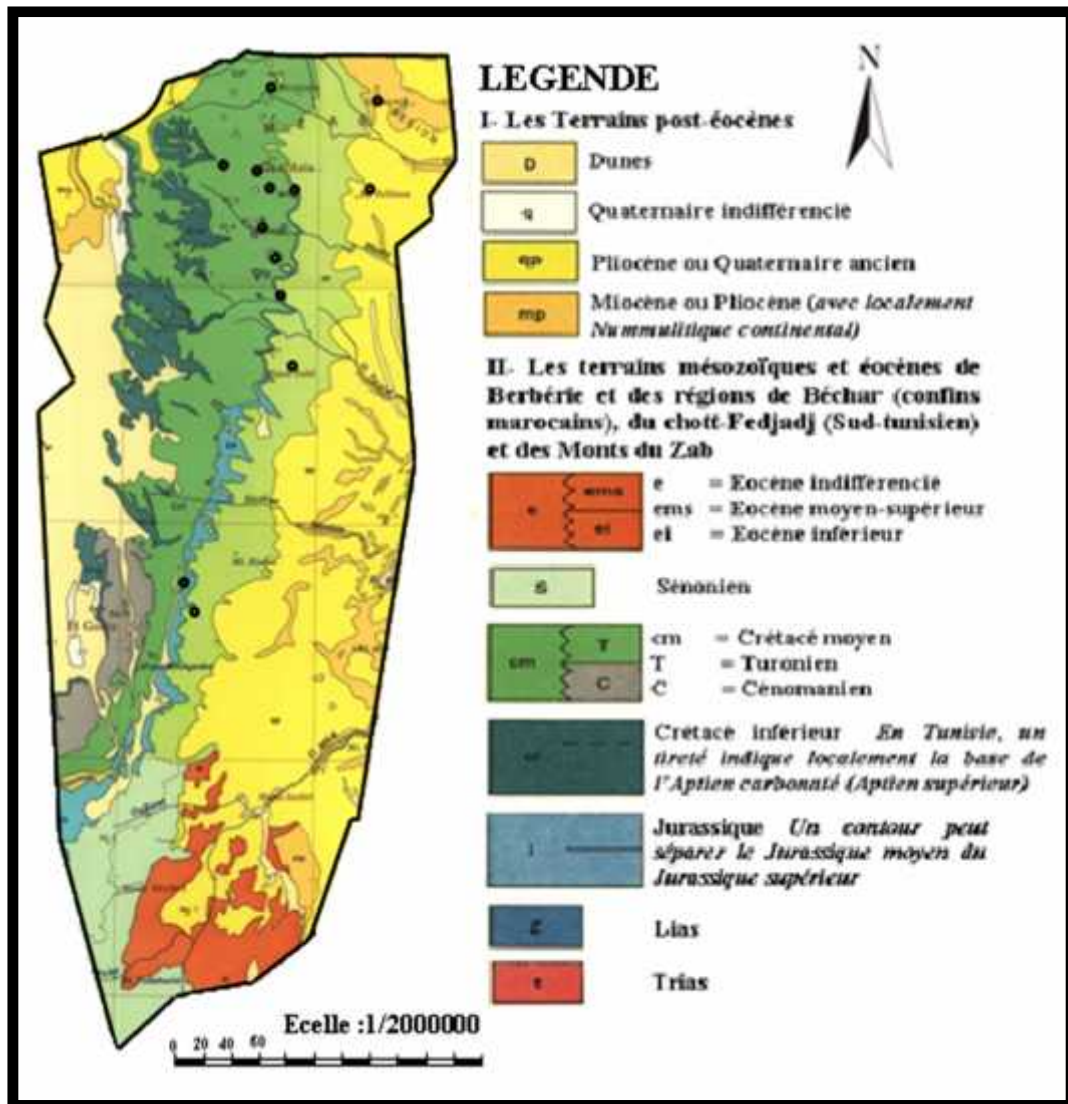


Figure III. 4 : Carte géologique de la wilaya de Ghardaïa [14]

III.1.5. Ressources en eau :

Les ressources hydrauliques de la Wilaya sont essentiellement souterraines. Les ressources en eaux de surface proviennent généralement des crues importantes de l'Oued M'zab inondant ainsi que la région de Ghardaïa. Ces crues sont générées par les averses sur la région de Laghouat - Ghardaïa. [14]

a)-Eaux de surface :

Les inondations créées par les crues des Oueds alimentent les nappes inféro-flux et irriguent les palmeraies par des digues.

b)-Eaux souterraines :**b-1)-Nappes phréatiques:**

D'une manière générale, les vallées des oueds de la région sont le siège de nappes phréatiques. L'eau captée par des puits traditionnels d'une vingtaine de mètres de profondeur en moyenne mais qui peuvent atteindre 50 m et plus, permet l'irrigation des cultures pérennes et en particulier les dattiers. [14]

L'alimentation et le comportement hydrogéologique sont liés étroitement à la pluviométrie.

La qualité chimique des eaux est comme suit : [14]

- à l'amont, elle est bonne à la consommation.
- à l'aval, elle est mauvaise et impropre à la consommation, contaminée par les eaux urbaines.

b-2)-Nappe du Continental Intercalaire:

La nappe du Continental Intercalaire draine, d'une façon générale, les formations gréseuses et grésio-argileuses du Barrémien et de l'Albien. Elle est exploitée, selon la région, à une profondeur allant de 250 à 1000m. Localement, l'écoulement des eaux se fait d'Ouest en Est.

L'alimentation de la nappe bien qu'elle soit minime, provient directement des eaux de pluie au piémont de l'Atlas Saharien en faveur de l'accident Sud-Atlasique. [14]

La nappe du CI, selon l'altitude de la zone et la variation de l'épaisseur des formations postérieures au CI, elle est : [14]

- Jaillissante et admet des pressions en tête d'ouvrage de captage (Zelfana. Guerrara et certaines régions d'El Menia).
- Exploitée par pompage à des profondeurs importantes, dépassant parfois les 120m (Ghardaïa, Metlili, Berriane et certaines régions d'El Menia).

III.1.6. Milieu physique :

L'ensemble géomorphologique dans lequel s'inscrit le M'zab, est un plateau rocheux, le HAMADA, dont l'altitude varie entre 300et 800 mètres.

Le paysage est caractérisé par une vaste étendue pierreuse où affleure une roche nue de couleur brune et noirâtre.

Ce plateau a été masqué par la forte érosion fluviale du début du quaternaire qui a découpé dans sa partie Sud des buttes à sommet plat et a façonné des vallées. L'ensemble se nomme la CHEBKA "filet" à cause de l'enchevêtrement de ses vallées. L'Oued M'zab traverse ce filet de 38.00 km² du Nord-Ouest vers le Sud-est. (Fig.5)

La vallée du M'zab atteint GHARDAIA, une altitude de 500 mètres. C'est dans le creux de l'Oued M'zab, sur des pitons rocheux, que s'est érigée la pentapole. [15]

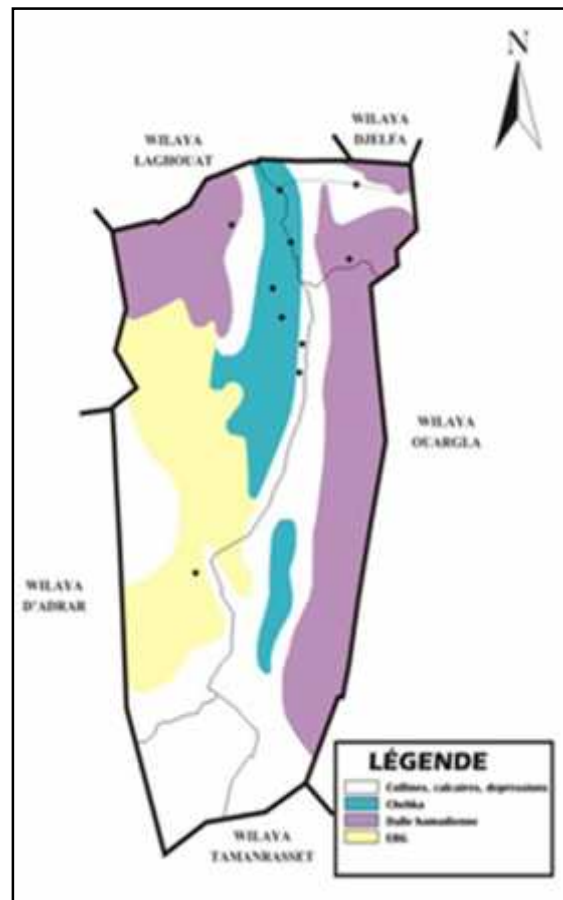


Figure III. 5 : Carte géomorphologique de la wilaya de Ghardaïa (carte physique du sol)

III.2. Situation des réseaux de la ville :

La ville de Ghardaïa est constituée de 4 communes, chacune une d'entre elles est couverte par des réseaux d'AEP et d'assainissement avec des pourcentages différents, comme le montre le (tableau III. 6).

Tableau III. 6 : Situation des réseaux de la ville de Ghardaïa par commune [15]

<i>Commune</i>	Réseau d'AEP		Réseau d'assainissement		<i>Forages</i>		<i>Réservoirs</i>	
	<i>Longueur (Km)</i>	<i>Taux de raccordement (%)</i>	<i>Longueur (Km)</i>	<i>Taux de raccordement (%)</i>	<i>N^{bre}</i>	<i>Débit (m³/j)</i>	<i>N^{bre}</i>	<i>Capacité (m³)</i>
<i>Ghardaïa</i>	<i>216,858</i>	<i>98</i>	<i>181,381</i>	<i>84</i>	<i>33</i>	<i>44755</i>	<i>19</i>	<i>22800</i>
<i>Daya</i>	<i>46,610</i>	<i>94</i>	<i>11,405</i>	<i>10</i>	<i>12</i>	<i>22176</i>	<i>06</i>	<i>5500</i>
<i>El-Atteuf</i>	<i>45,445</i>	<i>94</i>	<i>39,971</i>	<i>95</i>	<i>16</i>	<i>15840</i>	<i>07</i>	<i>6800</i>
<i>Bounoura</i>	<i>26,298</i>	<i>95</i>	<i>42,183</i>	<i>97</i>	<i>12</i>	<i>15206</i>	<i>07</i>	<i>8500</i>
<i>TOTAL</i>	<i>335,211</i>	<i>-</i>	<i>274,940</i>	<i>-</i>	<i>73</i>	<i>97977</i>	<i>39</i>	<i>43600</i>

III.2.1. Alimentation en eau potable :

Le réseau d'eau potable de la ville de Ghardaïa est de type mixte, il a une longueur totale de 335,211 Km. Le système comprend 73 forages et 39 réservoirs [15].

III.2.1.1. Dotation en eau potable :

La dotation qui est alimente l'habitant de ville de Ghardaïa est égale à 200 l/j/hab [15].

III.2.2. Réseau d'assainissement :

Le raccordement au réseau d'assainissement de la ville de Ghardaïa est intercommunal se fait avec des pourcentages différents, qui varient d'une commune à l'autre de 10 % à 97 %. Le réseau est de type unitaire (eau usée + eau de pluie) [15].

III.2.2.1. Rejet des eaux usées :

Les eaux usées générées par l'agglomération de la ville de Ghardaïa sont rejetées directement vers le milieu récepteur qui est l'oued M'zab par un collecteur principal de diamètre de 1000 mm.

IV.1.Description de la STEP par lagunage (kef Addoukhan) el Atteuf Ghardaïa [16]:

_ Objectifs généraux visés par le projet:

- Supprimer les nuisances en zones urbanisées.
- Protéger le milieu récepteur et la nappe phréatique.
- Rendre possible la réutilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation.

_ principaux élément du projet :

- Aménagement de digues de rétention sur les oueds el Abiod,el Haimeur, et Bou Brik.
- Calibrage et protection des berges de l'oued M'zab.
- mise en place d'un collecteur principale pour les eaux usées.
- constriction d'une STEP par lagunage.

_ Localisation de la STEP:

- D'une superficie d'environ **79 ha** , la STEP est située à environ **21km** au sud –est de G hardaia.à l'aval de la digue d'el Atteuf.



Figure. IV.1: Situation de la STEP d'elAtteuf Ghardaïa.

VI.1.1.Données de base pour le dimensionnement:

Les données de base pour le dimensionnement de la STEP de Ghardaïa sont les suivantes[16]:

IV.1.1.1.Evolution de la population par agglomération:**Tableau: IV.1.**La population par agglomération.

Habitants	2000	2010	2020	2030
Daya .D	10900	17100	24500	33400
Ghardaïa	88600	115100	148200	190000
Bounoura	27700	36400	45100	54600
El Atteuf	15000	23100	35800	53700
Totale	142200	191700	253600	331700

IV.1.1.2.Evolution des débits d'eau usées:**Tableau: IV.2.** Les d'ébits d'eau usées.

Eaux usées	U	2010	2020	2030
Taux de branchement	%	90	95	100
EH Raccordés	U	172530	240920	331700
Débit moyens	M3/J	24154	33729	64438
Capacité nominal	%	52	73	100

IV.1.2.Description des ouvrages de traitement [16]:

La STEP est composée d'un ensemble d'ouvrage:

- _ Collecteur principale d'amenée.
- _ Dignes de protection de la STEP et chenal de déviation.
- _ Prétraitement.
- _ Traitement primaire.
- _ Traitement secondaires.
- _ Structure du dispositif d'étanchéité des lagunes
- _ Lits de séchage.
- _ bâtiment et clôture périphérique.

IV.1.2.1.Collecteur principale d'amenée:

- Composé de 02 conduites de 1000 mm de diamètre.
- **79** regards (préfabriqués et coulés en place).
- pente régulière de 0,2 % sur un linéaire de 5134m (de la digue d'El Atteuf, jus qu'au répartiteur principal du traitement primaire).
- Débit maximal de conception: 1396 l/s.
- Construit sure une digue de protection sur la rive gauche de l'oued M'zab.

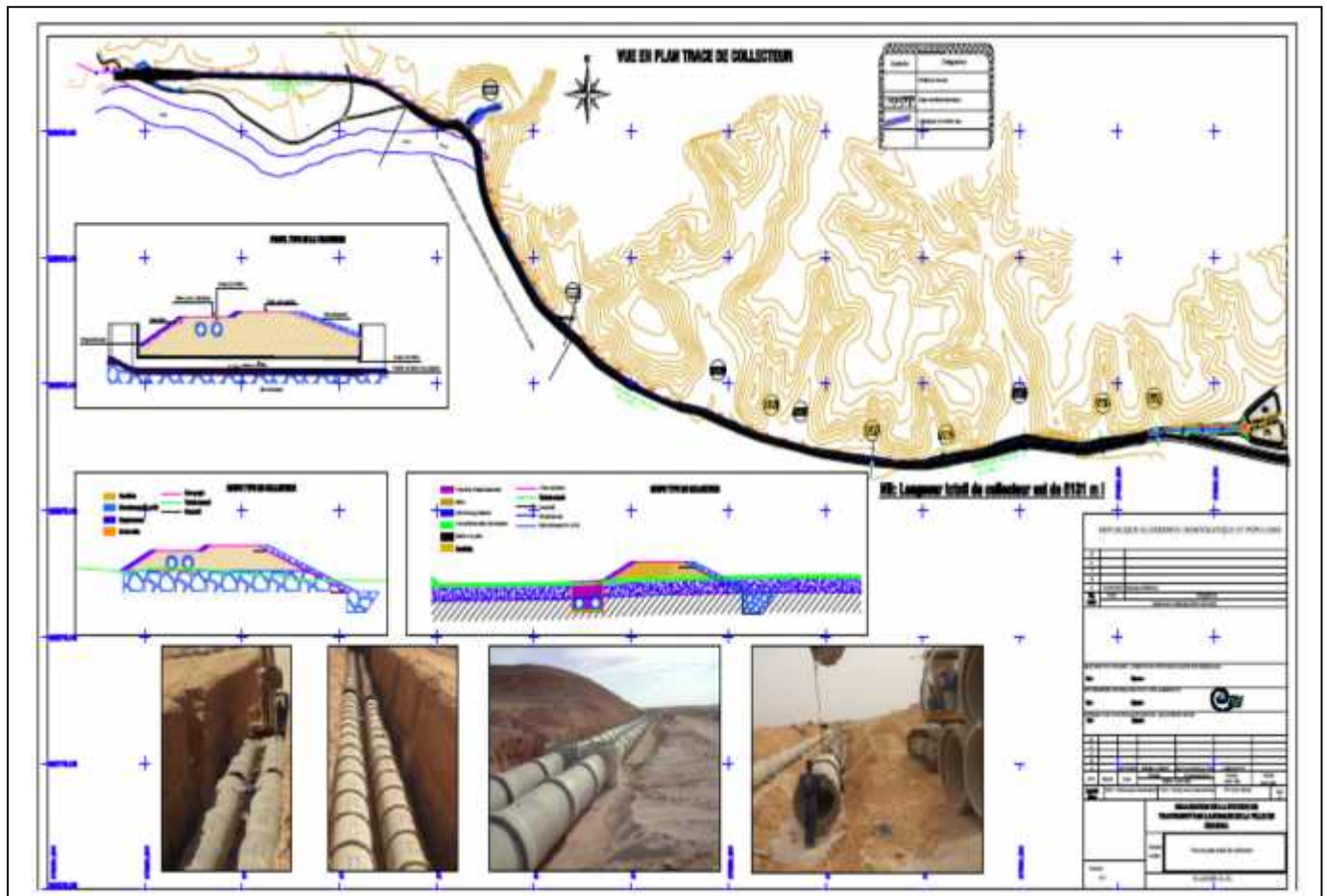


Figure. IV.2: Tracé du collecteur principal

IV.1.2.2. Diges de protection de la STEP et chenal de déviation:

- Digue de périphérique : protection de la STEP des crues de l'oued M'Zab.
- diges N°: 01 et N°: 02 déviation (via un chenal construit à cet effet) des eaux du bassin Versant et blocage du retour des eaux vers la STEP.

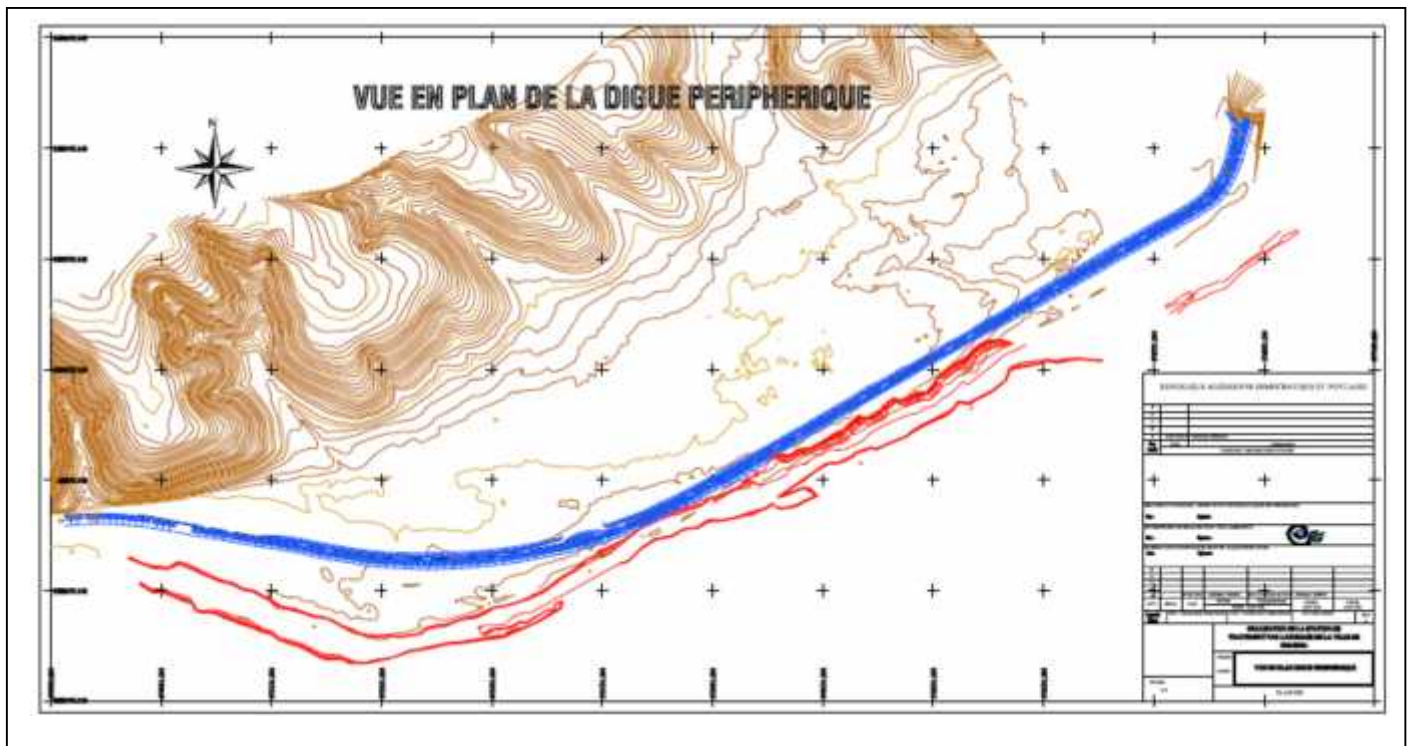


Figure. IV.3: Digues de protection de la STEP et chenal de déviation.

IV.1.2.3. Prétraitement :

- Dégrillage (02 grilles automatisées et 01 grille manuelle).
- Dessablage / déshuilage.
- Localisé à l'intérieure du répartiteur principale du traitement primaire (RPTP).

IV.1.2.4. Traitement primaire:

- 08 lagunes primaires anaérobies alimentées en parallèle hauteur d'eau: 3.5m.
- temps de séjour au débit moyen de conception 3.0 jours.
- Ouvrage de sortie avec cloison siphonide permettant de retenir les matières flottantes.
- Abattement de la DBO_5 : 50 % .

IV.1.2.5. Traitement secondaire:

- 08 lagunes secondaires alimentées en parallèle, hauteur d'eau : 1,6m.
- Temps de séjour au débit moyen de conception: 10 jours.

Abattement de la DBO₅ = 60 % de la charge résiduelle après le traitement Primaire (pour un abattement global de 80 %).

- concentration en coliformes fécaux prévue à l'effluent de la STEP : 6.8×10^4 UFC/ 100ml.

- Ouvrages de sortie avec cloison siphonide permettant de retenir les matières flottantes.

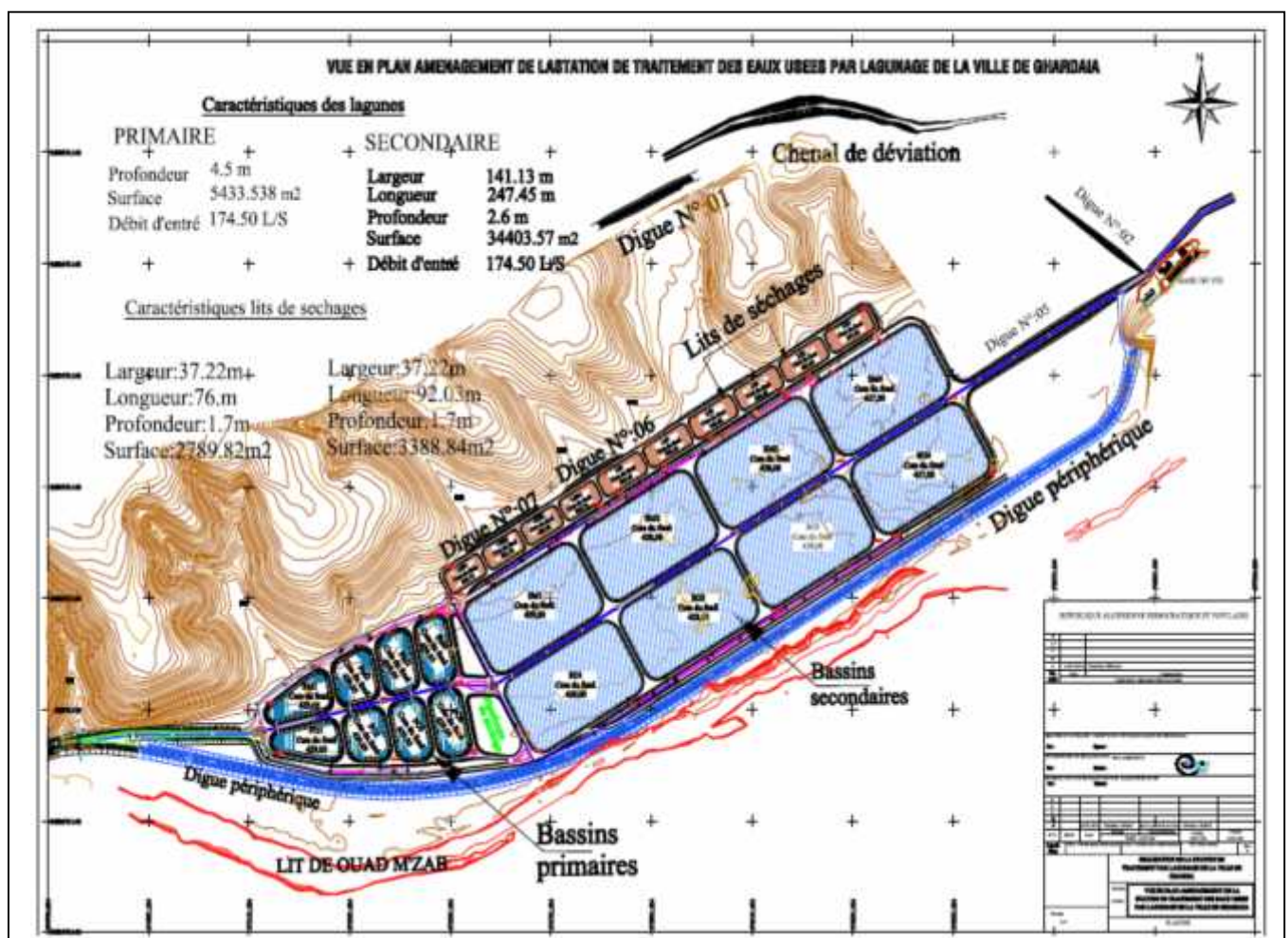


Figure .IV.4: Prétraitement/ traitement primaire / traitement secondaire

(vue générale).

IV.1.2.6.: Structure du dispositif d'étanchéité des lagunes:

(du bas vers le haut)

- Couche de support (lit de sable de 10cm d'épaisseur) .
- Géotextile anti poinçonnant
- Géo grille
- Géo membrane bitumineuse



Figure. IV.5:Structure du dispositif d'étanchéité des lagunes

_ IV.1.2.7Lits de séchage :

- 10 lits de séchage construits du cote montage des lagunes secondaires.
- destinés a permettre la déshydratation des boues primaires et secondaires.
- Avec réseau de drainage permettant de retourner le lixiviat en tête du Traitement secondaire .

_ IV.1.2.8. Bâtiments et clôture périphérique:

- Laboratoire.
- bâtiment administratif .
- Poste de garde .
- logement du personnel d'exploitation(à El Atteuf) .
- Clôture périphérique de sécurité .

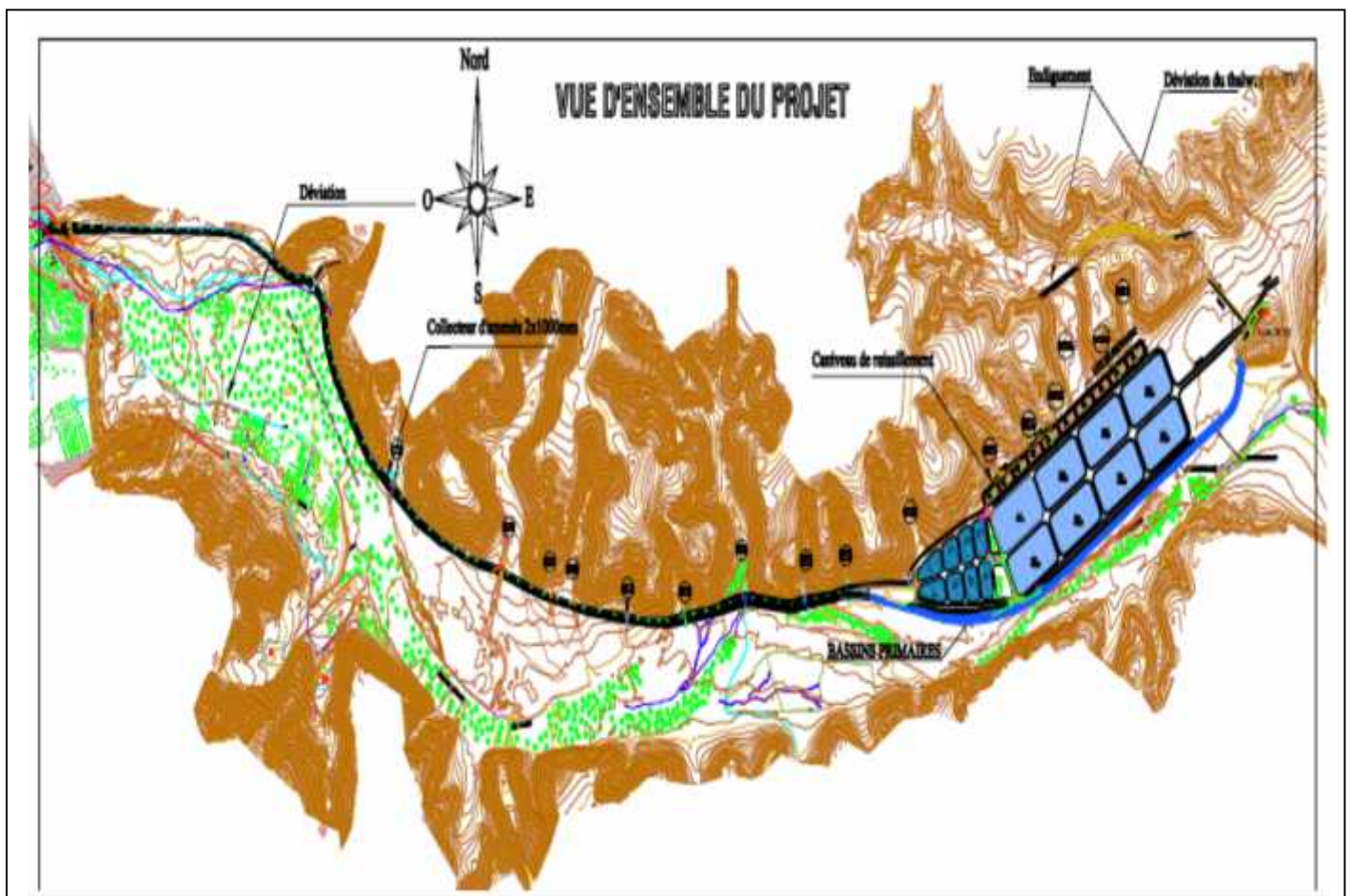


Figure. IV.6. Vue d'ensemble du projet

Introduction :

La démarche optée pour l'appréciation de la qualité et le degré de traitement des eaux traitées de la STEP de Ghardaïa, ainsi que les éventuelles possibilités de réutilisation se résume comme suit :

Interprétation des résultats d'analyses physico-chimiques des eaux brutes prélevées à l'entrée de la STEP ;

Interprétation des résultats d'analyses physico-chimiques et microbiologiques des eaux traitées prélevées à la sortie de la STEP ;

Confrontation des résultats d'analyses avec les normes et recommandations mondiale de qualité afin de déterminer les secteurs possible de réutilisation.

V.1. Les analyses physico-chimiques de l'eau brute et épurée par la STEP de Ghardaïa.

Pour les analyses physico-chimiques, on doit prendre des échantillons des eaux brutes avant leur entrée dans la station et des échantillons de l'eau épurée à la sortie. La campagne d'analyse est réalisée pendant la période du mois de février .

V.1.1. Matériels et produits des analyses [16] :

L'étape expérimentale de cette étude est réalisée dans le laboratoire de la STEP (Amenhyd /becta) Le tableau suivant représente le matériel et les produits utilisés dans ce laboratoire :

Tableau V.1 : Matériels et produits des analyses physico-chimiques [16]

Paramètres	Méthode de Dosage	Matériel utilisé	Produits utilisés
Température	/	Thermomètre précis	/
pH	/	pH-mètre	
Conductivité	Conductimétrie	Conductimètre	/
Salinité			/
Sulfate			BaSO ₄ et BaCl ₂
Na ⁺ et K ⁺ et P	Spectrophotométrie	Spectrophotomètre	/
TH, TAC, TA	Titrimétrie à l'EDTA	Bécher Burette Baro-magnétique	EDTA, NET
Ca ²⁺			NaOH, acide calcique carboxylique
Mg ²⁺			/
Bicarbonate	Titrimétrie à l'acide sulfurique	/	Le méthyle orange L'acide sulfurique
Chlorure	Mohr	/	Nitrates d'argent Chromate de potassium
Nitrates Nitrites NTK	Spectrophotométrie	Spectrophotomètre	Salicylate de Sodium Acide sulfurique Aspartate
DCO MES			/
DBO	DBO mètre, Spectrophotomètre		NaOH, KOH

V.1.2.1 l'eau brute :

Les résultats moyens des analyses physico-chimiques de l'eau brute sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau V.2 : Résultats d'analyse physico-chimique de l'eau brute (Février 215) [16].

Paramètres de pollution	Unité	Valeurs moyennes
pH	-	7,59
T	°C	22
CE	~ s/cm	2461
MES	mg.l ⁻¹	529
MVS	mg.l ⁻¹	266
DBO ₅	mg.l ⁻¹	322
DCO	mg.l ⁻¹	855
NTK	mg.l ⁻¹	34
DCO/DBO ₅	-	2,67

▪ **Interprétation des résultats**

⇒ **Température**

La température de l'effluent brut prise varie de 17 à 31°C ce qui favorise la croissance des micro-organismes.

La mesure de ce paramètre est importante doit être effectuée à l'entrée d'une station d'épuration car il influe sur l'efficacité des décanteurs et des processus d'épuration biologique.

⇒ **pH**

Il indique la concentration des ions H^+ présent dans l'eau. Le pH joue un rôle primordial à la fois dans les propriétés physico-chimiques (acidité, agressivité).

Dans les processus biologiques dont certains exigent des limites très étroites de pH. La valeur de pH trouvée varie généralement entre 6.8 à 8.5. Pour la totalité des échantillons, les valeurs de pH sont caractéristiques d'une eau usée urbaine.

⇒ **Conductivité**

La présence des ions confère à l'eau une certaine conductivité électrique, c'est-à-dire une certaine aptitude à conduire le courant électrique. Sa mesure donne une idée sur la salinité de l'eau.

La conductivité d'une eau varie proportionnellement selon son degré d'impureté. Plus la concentration ionique des sels dissous est grande, plus la conductivité est grande.

Dans notre cas la valeur de la conductivité est acceptable (2461 $\mu S/cm$). Elle se trouve dans la fourchette des valeurs habituelles trouvées dans une eau usée urbaine [300-8000] $\mu S/cm$.

; **DBO₅ et DCO**

La DBO₅ mesurée varie entre 200 et 500 $mg.l^{-1}$ et la DCO est comprise entre 500 et 1270 $mg.l^{-1}$. A partir de la DCO et de la DBO₅, on peut savoir l'origine de l'eau usée.

Ces deux derniers paramètres de nos analyses nous ont permis de constater que notre effluent est de type urbain et qu'il est moyennement chargé.

Le rapport DCO/DBO₅ permet d'apprécier la biodégradabilité de la matière organique, il est en général proche de 1.5 pour les eaux de vanne, de 2 pour les eaux usées urbaines et varie entre 3 et 5 pour les effluents issus des stations d'épuration. L'élévation de ce rapport nous indique un décroissement des matières organiques biodégradables.

Dans notre cas, le rapport moyen (DCO/DBO₅) est au-dessus de la norme (≥ 2.5).

; Les matières en suspensions

Les matières en suspension sédimentent à l'aval du point de rejet. Elles sont la source d'envasement temporaire ou permanent susceptibles de modifier les profils hydrauliques. Elles influent sur le choix du processus d'épuration.

Les concentrations de MES et MVS varient en fonction de la quantité de la matière organique et minérales non dissous dans l'effluent.

Les résultats analytiques montrent que les teneurs des eaux usées en MES varient de 434 à 810 mg/l.

V.1.3. l'eau épurée :

Les analyses physico-chimiques de l'eau épurée sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau V.3 : Résultats d'analyses physico-chimiques de l'eau épurée et norme de rejet (FAO, 1989), (Février 2015).

Paramètres	Unité	Valeurs	Norme	Paramètres	Unité	Valeurs	Norme
T	⁰ C	22	30	NTK	mg/l	23	50
pH	-	7.8	5.5-8.5	P	mg/l	4.3	10
CE	~ s/Cm	1484	7000	K	mg/l	9.5	50
TH	⁰ F	30	42	NO ₃ ⁻	mg/l	29	90
TAC	⁰ F	11.9	28	NO ₂ ⁻	mg/l	1.1	10
TA	⁰ F	0	28	NH ₄ ⁺	mg/l	12.3	30
DBO ₅	mg d'O ₂ .L ⁻¹	11	40	Na ⁺	mg/l	171.5	500
DCO	mg d'O ₂ .L ⁻¹	39	120	Mg ⁺⁺	mg/l	36	300
MES	mg/l	22	30	Ca ⁺⁺	mg/l	48.87	500
MVS	mg/l	12	20	Cl ⁻	mg/l	155	700
SO ₄ ⁻²	mg/l	162	400	HCO ₃ ⁻	mg/l	131	500
Zn ²⁺	mg/l	0.14	5	Cd ²⁺	mg/l	0.001	0,1
Cu ²⁺	mg/l	0.05	1				

▪ Interprétations des résultats

D'après les résultats du tableau V.3 on constate que :

La température et le pH de l'eau épurée correspondent aux normes de rejet.

L'eau épurée est moyennement dure, donc le problème d'entartage de canalisation est à prendre en considération dans le cas de l'utilisation dans l'agriculture.

La conductivité qui est de 1484 $\mu\text{S/cm}$ correspond aux normes de rejet. Cette valeur de la conductivité électrique peut être donc expliquée par la présence de certaine matière en suspension chargée (en SO_4^{2-} par exemple) au cours du traitement.

Les valeurs de nos résultats DCO et DBO_5 et MES répondent largement aux normes de rejets.

La teneur de l'eau épurée en éléments nutritifs est appréciable notamment en composés azotés, et comparable aux normes de rejets.

La présence des métaux lourds dans les eaux usées épurées peut poser des problèmes sanitaires pour les êtres humains et les animaux et peut également affecter les cultures irriguées.

Les résultats d'analyses montrent l'existence de quelques métaux lourds dans l'eau épurée tels que Zn^{2+} , Cd^{2+} et Cu^{2+} . Les concentrations de ces éléments sont faibles par rapport aux recommandations de la FAO1989.

V.2. Analyse microbiologiques

Les analyses microbiologiques de l'eau permettent :

- La recherche des bactéries pathogènes.
- L'évaluation des risques de contamination par les bactéries pathogènes.
- Le contrôle de l'efficacité de traitement des eaux.

Les résultats obtenus sont représentés dans le (tableau III.4)

Tableau V.4 : Résultats des analyses microbiologique de l'eau épurée (Février 2015).[16].

Bactéries	Coliformes totaux par 100ml	Streptocoques Fécaux par 100ml	Salmonelles par 5 L	Vibrions cholérique par 5 L	Sulfites- Réducteurs par 5 L
Quantités	237	52	absence	absence	absence
Norme de rejet	2000	1000	absence	absence	absence

Discussions des résultats :

La qualité microbiologique est le critère le plus important pour la réutilisation des eaux usées épurées. Ce critère permet d'estimer les risques sanitaires pour l'homme, les plants et les animaux.

Ces analyses nous ont permis de constater :

L'absence de germes pathogènes tels que les vibrions cholériques et les salmonelles qui provoquent des maladies intestinales graves (cholera, typhoïde).

Présence des coliformes et des streptocoques germes saprophytes.

V.3. Normes et qualité des eaux:

L'appréciation de la qualité globale des eaux peut se faire en comparant les résultats d'analyses avec ceux de la grille standard.

Tableau V. 5 : Grille standard d'appréciation globale de la qualité des eaux [6]

	Classe 1A	Classe 1B	Classe 2	Classe 3
Conductivité à ^{0}C (~ s/Cm)	<400	400 à 750	750 à 1500	>1500
Température (^{0}C)	<20	20 à 22	22 à 25	300
pH	6.5 à 8.5	6.5 à 8.5	6 à 9	25 à 30
MES	<30	<30	<30	5.5 à 9.5
O2 dissous	>7	5 à 7	3 à 5	30 à 70
O2 Dissous en % de saturation	<90%	70 à 90 %	50 à 70	-
DBO5	<3	3 à 5	5 à 10	-
Oxydabilité	<3	3 à 5	5 à 8	--
DCO	<20	20 à 25	25 à 40	40 à 80
NH ₄ (mg/l)	<0.1	0.1 à 0.5	<0.5	2 à 8
NO ₃ (mg/l)	-	-	<44	44 à 100
N total (mg/l)	<1	1 à 2	2 à 3	-
Fe (mg/l)	<0.5	0.5 à 1	1 à 1.5	-
Mn (mg/l)	<0.1	0.1 à 0.25	0.25 à 0.50	-
Cu (mg/l)	<0.02	0.02 à 0.05	0.05 à 1	>1
As (mg/l)	<0.01	<0.01	0.01 à 0.05	>0.05
Cd (mg/l)	<0.001	<0.001	<0.001	>0.001
Cr (mg/l)	<0.05	<0.05	<0.5	>0.05
Cn (mg/l)	<0.05	<0.05	<0.5	>0.05
Pb (mg/l)	<0.05	<0.05	<0.5	>0.05
Se (mg/l)	<0.01	<0.01	<0.01	>0.01
Hg (mg/l)	<0.005	<0.005	<0.005	>0.0005
Zn (mg/l)	<0.2	<0.2	0.2 à 0.5	>0.5
Coliformes (Num.100ml)	<0.5	50 à 500	5000 à 50000	-
Esch.coliforme (Num.100ml)	<0.20	20 à 2000	2000 à 20000	-
Streptocoque Fécaux (Num.100ml)	<0.20	20 à 1000	1000 à 10000	-

Classe 1A :

Eau d'excellente qualité considérée comme exemptes de pollution et apte à satisfaire tous les usages possibles même les plus exigeants.

Classe 1B :

Eau de bonne qualité quoique la qualité soit légèrement moins excellente que celle de la classe précédente. Elle peut néanmoins satisfaire tous les usages et ne requiert qu'un traitement simple pour l'approvisionnement en eau potable d'un réseau d'adduction urbain.

Classe 2 :

Eau de qualité passable, suffisant pour l'irrigation et les usages industriels.

Classe 3 :

Eau de qualité médiocre tout juste apte au refroidissement d'installation thermique et à la navigation. L'usage est tolérable pour l'irrigation des cultures, mais l'utilisation est impossible pour l'élevage, la baignade et a fortiori les réseaux d'adduction d'eau potable.

; Qualité de l'eau épurée par la station d'épuration de Ghardaïa

En consultant nos résultats, après les analyses physico-chimique et microbiologique, et en les comparant aux normes de la grille standard on constate que l'eau épurée par la STEP d'el Atteuf Ghardaïa est :

De la classe 2 par rapport aux analyses physico-chimiques.

De la classe 1B par rapport aux analyses microbiologiques.

D'une manière générale, l'eau épurée de la station de Ghardaïa peut être identifiée comme étant une eau de la classe 2.

V.4. La réutilisation des eaux usées épurées au niveau de la station :

Les possibilités de réutilisation sont représentées dans le tableau V.6

Tableau V.6 : Possibilités de réutilisation des eaux usées épurées au niveau de la station

Domaine de réutilisation	Type d'usage	Quantité d'eau	Qualité d'eau	observation
Lavage de matériel	Lavage de matériel (Labo, engin, ...)	10 m ³ /h	Eau claire	acceptable
Usage agricole	Arrosage d'espace vert	4-6 m ³ /h	Non spécial	acceptable
Usage sanitaire	Alimentation des chasses d'eau	2-3 m ³ /h	Eau claire	acceptable

La chaîne de traitement utilisée par la STEP comporte des matériaux de propulsion de boue et d'épaississement nécessitant un débit d'eau 10 m³/h pour leurs lavages.

La station d'épuration possède un espace vert d'où son arrosage consomme une quantité d'eau considérable. Cela constitue une autre voie de réutilisation au niveau de la STEP. Cet usage nécessite une élimination de MES et de la pollution organique.

L'usage sanitaire est possible. Il consiste seulement d'alimenter les chasses par l'eau épurée.

Les débits dont on a besoin pour différentes voies de réutilisation au niveau de la station restent faibles par rapport au volume d'eau usée épurée.

V.5. La réutilisation de l'eau épurée en agriculture :

Les études mondiales réalisées jusqu'à ce jour montrent que l'utilisation de l'eau épurée dans l'irrigation est majoritaire en se basant sur les classifications suivantes :

V.5.1. Classification des eaux pour l'irrigation [6]:

1-Classification mondiale (F.A.O 1989)

La classification est donnée en fonction de la concentration des sels

- 1 g/l bonne pour irrigation
- 1 – 3 g/l faiblement salée
- 3 – 5 g/l moyennement salée
- 5 – 10 g/l fortement salée
- > 10 g/l extrêmement salée

2-Classification Russe

Elle distingue trois classes qui sont basées sur la concentration des sels

- 0.2-0.5g/l l'eau est de meilleure qualité
- 1.0-2.0g/ l'eau comportant des risques de salinité
- 3.0-7.0g/l l'eau ne peut être utilisée pour l'irrigation qu'avec
Un lessivage et un drainage

3-Classification Américaine

La classification est basée sur deux paramètres C.E à 25°C et S.A.R

* **Pour la conductivité électrique C.E.**

• C1 : C.E < 0,250 mmhos/cm (<0.2g/l): l'eau à faible salinité, elle ne posera aucun problème sur la plus part des sols et des cultures.

- C2 : 0,250 < C.E < 0,75 mmhos/cm (0.2-0.5g/l): l'eau à salinité moyenne

- C3 : $0,750 < C.E < 2,250$ mmhos/cm (0.5-1.5g/l): l'eau à forte salinité, et dit inutilisable sur un sol faiblement drainé, elle n'est autorisée que sur un sol bien drainée et sur des cultures tolérantes.

- C4 : $2,250 < C.E < 5.00$ mmhos/cm (1.5-3g/l): l'eau à très forte salinité et inutilisable pour les conditions normales ; elle n'est autorisée que si on pratique un lessivage intense et sur des cultures très tolérantes.

- C5 : $C.E > 5.0$ mmhos/cm ($> 3g/l$): l'eau est inutilisable sauf sur sable drainé et pour les palmiers et dattiers.

*** Le rapport d'adsorption du sodium S.A.R**

S.A.R est calculé par la formule suivante :

$$S.A.R = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}} \quad \text{Avec : } Na^+, Ca^{++} \text{ et } Mg^{++} \text{ en méq / l}$$

On distingue quatre classes:

- S1 - $S.A.R < 10$: L'eau contenant une faible quantité de sodium, peut être utilisée pour l'irrigation de presque tous les sols sans qu'il y ait à craindre que des difficultés ne surgissent du point de vue alcalinisation.

- S2 - $10 < S.A.R < 18$: Les eaux contenant une quantité moyenne de sodium, peuvent présenter quelques difficultés dans les sols à texture fine, à moins qu'il n'y ait du gypse dans le sol .ces eaux peuvent être utilisées sur des sols à texture grossière ou sur des sols organiques qui absorbent bien l'eau.

- S3 - $18 < S.A.R < 26$: Les eaux contenant une quantité de sel élevée, peuvent provoquer des difficultés dans la plupart des sols et ne peuvent être employées qu'avec des précautions spéciales : bon drainage, lessivage important et addition de matières organiques .S'il y a une forte quantité de gypse dans le sol, il peut ne pas surgir de difficultés pendant quelques temps. S'il n'y a pas de gypse, il faut ajouter un amendement chimique exerçant le même effet.

- S4 - $S.A.R > 26$: Les eaux contenant une quantité très élevée de sodium, sont généralement impropres à l'irrigation, sauf pour un degré de salinité moyen ou faible, lorsque l'usage de gypse ou amendements analogues permettent l'utilisation.

▪ Interprétation des résultats d'analyses de l'eau épurée

1. Salinité :

La salinité d'une eau s'exprime en ppm ou bien en conductivité électrique qui est en moyenne pour notre eau épurée de $1484 \sim \text{scm}^{-1}$. Selon la grille standard multi usage

d'appréciation globale de la qualité des eaux (Tableau V.5), l'eau épurée de la STEP de Ghardaïa est utilisable pour l'irrigation.

Cette salinité est liée à la quantité d'ions (SO_4^{2-} , Cl^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- ...ext.)

L'eau analysée dans notre cas présente une teneur en chlorures de 150 mg/l (4.2 méq/l), cette concentration est admissible pour l'irrigation selon la FAO (4-10 méq/l).

Concernant les sulfates ; les valeurs supérieures à 380mg/l rendent l'eau impropre pour l'irrigation mais dans notre cas, la valeur moyenne de sulfates est de 162 mg/l. cette concentration est largement admissible pour l'usage agricole.

Pour les bicarbonates, l'eau épurée par la STEP représente une valeur de 131 mg/l (2.2 méq/l). Selon les directives de la FAO, les valeurs admissibles se situent entre 1.5 et 8.5 méq/l, donc on est bien dans les normes.

2. La dureté et l'alcalinité

L'eau épurée de la STEP est moyennement dure (30⁰F), donc, on peut dire qu'il n'y a pas un grand risque d'entartrage (due généralement à la précipitation de CaCO_3) des canalisations d'irrigation et d'apparition des traces blanchâtres sur les feuilles en cas d'arrosage par aspersion.

3. Les matières en suspension MES

La teneur en MES est de 22 mg/l. la valeur recommandée par la FAO pour l'irrigation est de 30 mg/l. la valeur mesurée dans notre cas, ne nous permet pas d'écarter le problème de colmatage de sol en surface et l'obstruction des systèmes d'irrigation. Pour plus de précaution l'installation d'un filtre à sable après le bassin d'aération.

4. Le sodium

La concentration de sodium peut être estimée par le rapport d'absorption de sodium (SAR).

Le SAR décrit la quantité de sodium en excès par rapport aux cations Calcium et Magnésium.

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{(\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2})/2}} \quad \text{donc : SAR} = 4.32 \text{ (norme SAR} < 10)$$

Avec des concentrations exprimées en méq/l

Donc le rapport est faible même si les terrains irrigués par cette eau sont argileux (forte capacité d'échange d'ions). La quantité de sodium Na^+ des eaux épurées ne posera pas de problèmes quant à son utilisation dans l'irrigation.

5. Eléments nutritifs

La valeur des fertilisants de l'effluent se traduit par la richesse en élément (N, P, K.)

La concentration en N et P dans les eaux épurées peuvent varier sensiblement selon la source d'eau usée et le procédé de traitement.

L'azote : les résultats d'analyses montrent que la teneur en nitrate est assez élevée dont la valeur est de 29 mg/l, dont 6.5 mg/l d'azote(N). La qualité de notre eau se situe dans la classe « légère à modérée » d'après les normes recommandées par la FAO qui varie entre 5-30 mg/l de N. Cette teneur ne pose pas de problème de pollution des eaux souterraines dans les zones irriguées.

Le phosphore : selon la FAO1989, les valeurs admissibles en phosphates pour une eau d'irrigation se situent entre 1-5 mg/l. La teneur moyenne en phosphate dans l'eau épurée par la STEP est de 4.3 mg/l. Cette valeur est admissible pour l'usage agricole.

Le potassium : le potentiel de fertilisation potassique des eaux traitées est de 30 mg/l selon la norme de la FAO1989. La teneur en potassium des eaux épurées est de 9.5 mg/l. Cette valeur est acceptable pour l'irrigation. Un amendement en potasse est exigé selon les besoins des cultures.

Remarque : lorsque l'eau traitée est destinée à l'irrigation la teneur visée de chaque nutriment devrait être appréciée selon leur teneur dans le sol à irriguer.

Conclusion :

Au terme de la revue des analyses physico-chimiques et microbiologiques des eaux traitées par la STEP, on peut dire que l'eau épurée résultante est acceptable, et s'approche des normes reconnues mondialement pour l'irrigation.

Notamment : La conductivité est de 1484 ~ scm^{-1} (1500 ~ scm^{-1}).

Le chlore est de 4,2még/l (4-10még/l).

Les sulfates est de 162 mg/l (380 mg/l).

Les bicarbonates est de 2.2 még/l (1.5 et 8.5 még/l).

Les matières en suspension est de 22 mg/l (< 30 mg/l).

Le rapport d'absorption de sodium SAR=4.32 (<10).

L'azote est de 6.5 mg/l (5-30 mg /l).

Le phosphore est de 4.3 mg/l (1-5 mg/l).

Le potassium est de 9.5 mg/l (30 mg/l).

V.6. La réutilisation de l'eau épurée via la recharge des nappes [17] :

Un des usages prometteurs des eaux usées traitées est la réalimentation artificielle (ou recharge) des nappes. Plusieurs régions très arides utilisent d'ores et déjà cette ressource alternative et non conventionnelle afin de réalimenter directement ou indirectement les nappes (eau conventionnelle).

Le plus souvent, la réalimentation intentionnelle peut se produire, notamment dans le cas de fuites à partir des réseaux de collecte des eaux usées ou de distribution de l'eau ainsi que dans des zones agricoles, irriguées avec des eaux usées partiellement traitées (exemple de la nappe de Nabeul, Cap Bon, Tunisie).

Indépendamment de la réalimentation avec de l'eau usée traitée, il existe de nombreuses méthodes de réalimentation d'une nappe. Elles peuvent être classées dans deux catégories sont :

- Réalimentation par infiltration après un degré de traitement variable, le sol perméable sert alors de filtre et constitue un traitement tertiaire additionnel (les bassins ou épandages superficiels).

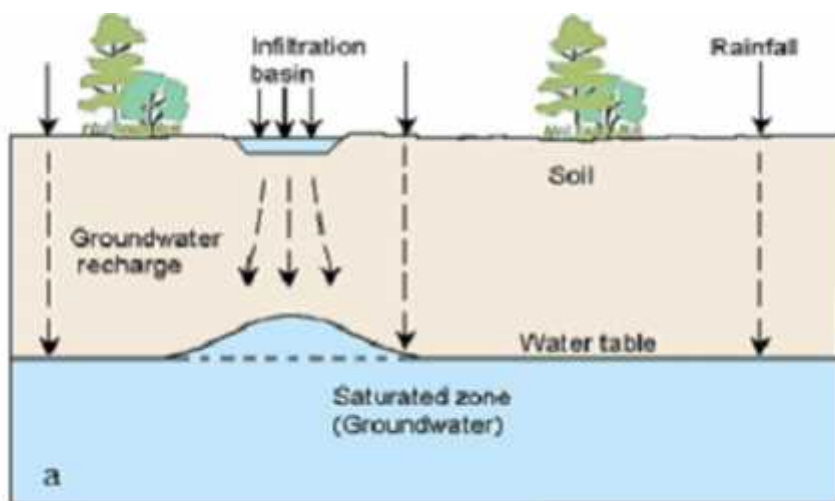


Figure V.1: La recharge des nappes cas d'infiltration.

- Réalimentation par injection directe de l'eau traitée dans des cas où les sols sont peu ou imperméables, le traitement de celles-ci doit être plus élaboré que dans le cas d'infiltration (les puits).

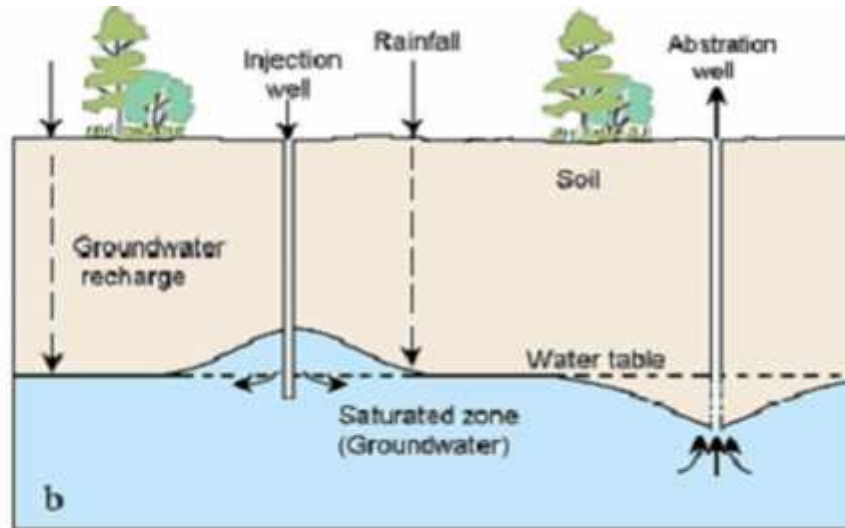


Figure V.2: La recharge des nappes cas d'injection.

V.6.1. Les paramètres principaux dans la recharge des nappes [17] :

- Mesure de la conductivité hydraulique ou perméabilité au sens de Darcy (écoulement saturé).
- Mesure de la conductivité hydraulique verticale (écoulement non saturé).
- Mesure de la transmissivité et coefficient d'emmagasinement.
- Dimensions et structure de l'aquifère.
- Etude de l'écoulement.

V.6.2. Comparaison des résultats aux normes de réalimentation des nappes :

Tableau V.7 : Comparaison des résultats aux normes de FAO et normes tunisiennes de la réalimentation des nappes [17].

Paramètres	unité	Résultats	Norme de FAO	Normes tunisiennes
ph		7,8	6.5 à 8.5	6.5 à 8.5
Conductivité électrique	(~ s/Cm)	1484	7000	5000
MES	(mg/l)	22	30	20
DCO	(mg/l)	39	90	125
DBO ₅	(mg/l)	11	30	20
N total	(mg/l)	-	30	15
NO ₃ ⁻	(mg/l)	29	50	10
NH ₄ ⁺	(mg/l)	12,3	15	2,0
Chlorures(Cl)	(mg/l)	155	2000	700
Chlore libre (Cl ₂)	(mg/l)	-	0,05	0,2
Fluorures	(mg/l)	-	3	1,5
Aluminium	(mg/l)	-	5	2,0
Arsenic(As)	(mg/l)	-	0,1	0,1
Bore(B)	(mg/l)	-	3	2,0
Cadmium(Cd)	(mg/l)	0,001	0,01	0,01
Chrome total(Cr)	(mg/l)	-	0,1	0,1
Cobalt(Co)	(mg/l)	-	0,1	0,05
Cuivre(Cu)	(mg/l)	0,05	0,5	0,2
Fer(Fe)	(mg/l)	-	5	2,0
Manganèse(Mn)	(mg/l)	-	0,5	0,2
Mercure(Hg)	(mg/l)	-	0,001	0,005
Nickel(Ni)	(mg/l)	-	0,2	0,2
Plomb(Pb)	(mg/l)	-	1	0,1
Sélénium(Se)	(mg/l)	-	0,05	0,05
Zinc(Zn)	(mg/l)	0,14	5	0,5
Œufs de nématodes		-	<1/Liter	<1/Liter

▪ **Interprétation des résultats des analyses :**

En comparant les résultats obtenus des analyses des eaux épurées aux normes de la FAO et aux normes tunisiennes, on remarque que nos valeurs sont presque identiques à ceux des deux normes. On constate une légère différenciation des concentrations de (MES, NO_3^-) par rapport aux normes tunisiennes.

V.6.3. Méthode de recharge de la nappe :

L'utilisation des eaux épurées dans la recharge des nappes souterraines nécessite obligatoirement la réalisation des opérations suivantes :

- Caractéristiques physico-chimiques des eaux, eau de la nappe et l'eau traitée.
- Réalisation de piézomètres et étude de la granulométrie de sol.
- Essais de perméabilité sur les piézomètres.
- Suivi des fluctuations naturelles de la nappe.

Conclusion :

Finalement l'étude des analyses physicochimiques et microbiologiques des eaux brutes et des eaux traitées de la STEP sur plusieurs étapes montrent que :

Les eaux brutes sont des rejets urbains.

Les eaux traitées, dans la première étape sont comparables aux normes de rejet

En dernier et en seconde étape les analyses nous ont permis de savoir la bonne qualité de l'eau traitée par conséquent son réutilisation dans l'irrigation et la recharge des nappes.

CONCLUSION GENERALE

Dans le monde l'eau devient de plus en plus rare sa répartition est disproportionnée et les zones les plus affectées se sont les zones arides, l'idéale est de transformer les eaux non conventionnelles en eaux conventionnelles pour rendre les déperditions en eau nulle, mais le but est loin d'être atteint et nécessite beaucoup d'effort et de recherche dans ce domaine.

Puisque L'Algérie est un pays semi-aride à faible pluviométrie ou les ressources en eau de la surface sont irrégulières et subissent des variations imprévisibles, par ailleurs les eaux usées sont un réservoir d'eau renouvelable et inexploité pouvant, donc constituer sans doute demain l'une des solutions incontournables pour ce pays souffrant énormément de déficit hydrique.

Les eaux usées urbaines rejetés chaque année, aujourd'hui délaissés en nature, représentent une ressource de valeur qu'il faudra exploiter par tout et où est possible dans l'agriculture, et d'autres usages municipaux.

Cette réutilisation ne représente pas seulement une option économique compétitive mais aussi a de nombreux avantages environnementaux et sociaux. Ainsi cette valorisation doit être placée dans le cadre de la gestion intégrée des ressources en eau en élaborant une stratégie nationale de valorisation des eaux usées.

Le travail réalisé au cours de cette étude nous a permis d'approfondir nos connaissances dans le domaine de réutilisations des eaux traitées à des fins surtout d'irrigation et de recharge des nappes et d'élargir de nos connaissances sur les nouvelles techniques d'épuration.

Les résultats expérimentaux obtenus lors de cette étude montrent que la qualité des eaux issues de la STEP de Ghardaïa s'approche des normes acceptables, elles peuvent facilement être utilisées dans le domaine agricole (l'irrigation) et la recharge de la nappe .

Les recommandations pratiques que nous proposons, ainsi que les interrogations que nous soulevons peuvent être complétées et expliquées par d'éventuelles études.

Les résultats que nous avons obtenus ne constituent pas nécessairement des données définitives, mais un point de départ pour de nombreuses recherches.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **Jean Paul, Beadry** «chimie des eaux le griffon d'argil». ed Berger. 1992.
- [2] Les Conférences Professionnelles de l'agence de l'eau Artois – Picardie, Mardi 30 mars 1993 « Le lagunage naturel en épuration »Agence de l'eau Artois – Picardie.764 Boulevard La hure BP 818 89508 DOUAL Cedex, 1993.
- [3] **A. Gaid.** «Epuraton biologique des eaux usées urbaines ».Tome I Ed. OPU Alger, 1984
- [4] **G. Khadidja- D. Amina:** ” Etude de la station d'épuration de la ville de Laghouat», mémoire d'ingénieur université AMAR THELIDJI Laghouat, 2005
- [5] **Jean.P. Bechac-P. Boutin-B. Mercier-P. Nuer.** «Traitement des eaux usées »Ed. EYROLLES, Bd St Germain-75005 Paris cedex 05, 1984.
- [6] **C. Gommella et H. Guerree** « Les eaux usées dans les agglomérations urbaines ou rurales » Ed. EYROLLES 61 boulevard Saint – Germain – 75005 Paris, 1983.
- [7] **W. Echenfelder.** « Gestion des eaux usées urbaines et industrielles » Techniques et documentations (Lavoisier).11, rue Lavoisier, F 75384 Paris cedex 08 édition eckenfelder, 1982
- [8] Les Conférences Professionnelles de l'agence de l'eau Artois – Picardie, Mardi 30 mars 1993 « Le lagunage naturel en épuration »Agence de l'eau Artois – Picardie.764 Boulevard La hure BP 818 89508 DOUAL Cedex, 1993.
- [9] **Berne F et Jean Cordommier,** traitement des eaux, édition Technip, 1991
- [10] **Alain Rotbardt,:** «réutilisation des eaux usées traitées – perspectives opérationnelles et recommandations pour l'action» Février 2011
- [11] **Benhacine. Ch, Doumbliouskas.A.** Irrigation agricole, Ed. OPU Tipaza, 1983
- [12] **Georges Mutin:** « Le monde arabe faceau défi de l'eau», 2^{eme} version Enjeux et conflits, Lyon, France, Service Général des Publications Lyon2 nov 2009
- [13] **Données climatiques :** données par l'ONM de Ouargla et la station météorologique de Ghardaïa ; 2014.
- [14] ANRH de Ouargla
- [15] Direction de la planification et de l'aménagement de territoire de la wilaya de Ghardaï « **ATLAS DE GHARDAIA** » ; Edition Mai 2013 ; Ghardaïa
- [16] **ONA_ Ghardaïa ,L'étude DRE ;Réalisation (Amenhyd /becta),**Contrôle et Suivi technique (AXOR/AQUATECH).

[17]

Gaaloul .N, Cary. L, Casanova .J, Mekni .A, Guerrot .C: «Effets d'une recharge artificielle par des eaux usées traitées sur la qualité des eaux de la nappe côtière de Korba, Cap-Bon, Tunisie Dix-huitièmes journées techniques du Comité Français d'Hydrogéologie de l'Association Internationale des Hydrogéologues. « Ressources et gestion des aquifères littoraux. Cassis 2012. ».