

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE:DES SCIENCES
DEPARTEMENT:DES SCIENCES
AGRONOMIQUES



DOMAINE : DES SCIENCES DE LA
NATURE ET DE LA VIE
FILIERE : SCIENCE AGRONOMIUE
OPTION : SCIENCE DU SOL (SS)

N° :.....

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par: M^{elle} .TERCHI Hadjer

M^{elle} .TOUIMER Khoula

Intitulé

**Influence de la qualité des eaux épurées sur les deux
stations des terres agricoles de la plaine de M'sila.
Etude de cas (alentours de la station d'épuration de**

Soutenu devant le jury composé de:

Mr . CERIEF A	MAA	Université .de m'sila	Président
M ^{me} . BEDDAL D	MAA	Université.de m'sila	Encadreur
M ^{elle} . TIR C	MAA	Université .de m'sila	Examineur

Année universitaire:2017 /2018

Remerciements

Avant tous on remercie **ALLAH** , le tout puissant de nous avoir donné la santé, la volonté et la patience pour accomplir ce mémoire .

En premier lieu , on remercie notre encadreur **M^{me}.BEDDAL D** d'avoir accepté de diriger ce travaille par ces conseils , sa compétence et sa gentillesse .

on remercie aussi le membre jury composé de:

Mr CHERIEF A qui nous a fait l'honneur de présider ce jury en dépit de ses occupations .

Nous adressont aussi nous remerciements à **M^{elle} TIR C** d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer ce travail.

Sans Oublier tous les enseignants du département des sciences agronomiques et particulièrement ceux de l'option science du sol (SS).

Dédicace

Avant tout **c'est grâce à Dieu** que je suis arrivé là .

Nous dédions ce modeste Travail à :

Mes nos chers parents : **Ma mère** ma donner la vie et a toujours sacrifie

Pour faciliter ma vie ,que dieu me la garde , Et à l'âme de **mon père**.

Aceux qui me sont très chers mes frères et mes soeurs qui je les remercie pour

Le soutien qu'ils me donnent.

A tous mes amis

A toute la promotion **science du sol** 2017-2018.

- **TerchiHadjer.**
- **TouimerKhoula.**

Liste des abréviations

°C : Degrés Celsius.

ds/m : dis siemens par mètre.

C.E : Conductivité électrique.

DBO₅ : demande biologique en oxygène.

DCO : demande chimique en oxygène.

DHW : direction de l'hydraulique de la wilaya.

JO : Journal Officiel.

MES : Matière en suspension.

ONM : Office national de météorologie.

pH : Potentiel d'hydrogène.

STEP : station d'épuration.

T : Température.

FAO: Food and Agriculture Organization (Organisation Mondiale de l'Alimentation et de l'Agriculture).

ONA: Office National d'assainissement.

DSA: Direction des services agricoles..

EUE : Eaux usées épurées.

EUT : Eaux usées traitées.

M³ : mètre cube.

INSID : Institue nationale des sols irrigués et drainage.

pH : Potentiel d'hydrugène.

CE :Conductivité électrique.

Ds : décimence.

M : metre.

Nà : Sodium.

CEC : Capacité d'échange cationique.

Meq : milli équivalent.

g :gramme par litre.

Ca⁺⁺ : Calcium.

SAR : Sodium Adsorption Ration .

Mg⁺⁺ : Magnisium.

Po :porosité.

K⁺ : Potassium.

Km : Kilomètre.

CL⁻ : Chlore.

Caco₃ : Calcimètre ou carbonate de calciume.

s : second.

mg : milligramme.

mm : millimètre.

min : minute.

max : maximun.

Q₂ : Quotient pluviumétrique.

GPS : Global Positionning system.

C° : Dégre Celcius.

SE : Station d'étude .

C :Carbonne.

N: Azot.

SMM : Station métiorologique de M'sila.

BNEDR : Bureau national d'études pour le developpement rural.

Liste des tableaux

Tableau 01: Echelle d'Atterberg de classification des particules constituant la terre fine.....	04
Tableau 02 : Echelles de présence de la Matière organique	06
Tableau 03: Echelles d'interprétation de pH	06
Tableau 04 : Echelle de salinité en fonction de la conductivité électrique	07
Tableau 05 : Classes de risque salin	10
Tableau 06: Classes de risque alcalin.....	11
Tableau 07: qualité des eaux utilisées pour l'irrigation.....	12
Tableau 08 : Normes de paramètre physico-chimiques de réutilisation des eaux usées épurées.....	13
Tableau 09: listes des cultures pouvant être irriguées avec des usées épurées.....	14
Tableau 10 : Informations générales sur la station d'épuration de M'sila	19
Tableau 11 : Données générales sur l'irrigation à partir des eaux épurées de la STEP	20
Tableau 12 : Liste des cultures pratiquées avec surfaces correspondantes	20
Tableau 13 : caractéristique de la station météorologique de m'sila.....	23
Tableau 14 : Précipitation moyennes mensuelles en (mm) de la station de M'sila pour la période (1988-2016).....	23
Tableau 15 : température moyenne mensuelle de la wilaya de M'sila (1988-2016).....	24
Tableau 16 : Coordonnées géographiques des stations d'étude.....	26
Tableau 17 : Analyse du sol faites et méthodes utilisées.....	28
Tableau 18 : la chronologie des prélèvements et les paramètres analysées.....	35
Tableau 19 : Résultats de l'analyse granulométrique.....	42
Tableau 20: Résultats d'analyse du pH_{eau} et pH_{KCL}	43
Tableau 21: Les résultats d'analyses du conductivité électrique(CE).....	43
Tableau 22 : Calcaire total et actif des sols étudiés.....	44
Tableau 23 : Résultats du carbone et matière organique dans les sols étudiés.....	44

Liste des tableaux

Tableau 24: Résultats des ions présentent dans la solution du sol.....	45
Tableau 25: Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau épures de stations étudiées.....	46
Tableau 26: Bilan ionique des analyses des eaux.....	46
Tableau 27: Paramètres physico-chimiques des eaux.....	47
Tableau 28 : Paramètres biologique des eaux.....	47

Liste des figures

Figure 01: Eléments constitutifs d'un sol.....	03
Figure 02: Classes texturales du diagramme triangulaire du système INRA utilisées dans la classification des sols.....	05
Figure 03 : le pH des sols.....	07
Figure 04 : Diagramme de Piper.....	08
Figure 05 : Formes d'eau retenue : eau liée et eau capillaire absorbable	09
Figure 06 : Détermination de la composition de la solution du sol	10
Figure 07: Situation géographique de la ville et de la STEP de M'sila.....	18
Figure 08: Sortie des eaux épurée de la station d'épuration de M'sila	19
Figure 09: Vue d'ensemble de la STEP et les terres agricoles.....	19
Figure10: Irrigation par pompages direct de l'oued.....	19
Figure11: Parcelles des blés irrigué par les eaux épurées.....	21
Figure 12 : Carte pédologique de la wilaya de M'sila	22
Figure 13 : la carte d'occupation du sol de la zone d'étude.....	23
Figure 14 : Etage bioclimatique de la région de M'sila dans le Climatogramme d'Emberger durant la période (1988-2016)	25
Figure 15 : Localisations des deux (02) station des terres en aval de la STEP de la plaine de M'sila	26
Figure 16: Analyse de Calcaire totale (CaCO_3 %).....	30
Figure 17: Dosage du calcaire actif.....	31
Figure 18: Analyse de capacité d'échanges cationique (CEC).....	32
Figure 19: Dosage de Chlorure (<i>Cl</i>).....	33
Figure20: Le triangle textural des sols étudiés	42

Liste des figures

Table des matières

Introduction générale.....	01
<hr/> <i>Chapitre I : Recherche bibliographique</i> <hr/>	
I-1- Définition du sol	03
I-2 - Eléments constitutifs d'un sol.....	03
I-3- Caractéristiques physico-chimiques du sol.....	04
I-3-1- Caractéristiques physiques.....	04
I-3-1-1 La texture	04
I-4-1-2- La structure.....	05
I-4-1-3- Matière organique (Carbone organique).....	06
I-3-2 - Caractéristiques chimiques.....	06
I-3-2-1 - Le pH.....	06
I-3-2-2- Conductivité Electrique (C.E).....	07
I-3-2-3 - Les sels solubles	07
I-4- Le mélange sol et eau.....	08
I-4-1- Origine et formes de l'eau dans le sol.....	08
I-4-2- Interactions avec la phase liquide du sol (solution du sol).....	09
I-4-2-1 - Composition de la solution du sol.....	09
I-4-2-2- La conductivité électrique de l'eau (CE).....	10
I-4-2-3 Le rapport d'adsorption du sodium – SAR (sodium adsorption ratio).....	10
I-4-2-4- pH de solution du sol	11
I-5-Irrigation	11
I-5- 1- L'irrigation artificielle.....	11
I-5-2- Classement des eaux utilisables pour l'irrigation.....	11
I-5-3- Irrigation à partir des eaux usées épurées.....	12
I-5-4-Normes Algériennes.....	12
I-5-5- Les cultures adaptées.....	14
I-5-6 - Effets de l'irrigation par des eaux usées épurées.....	14
I-5-6-1- Effets sur les cultures.....	14
I-5-6-2- Effet sur le sol.....	15

Table des matières

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

II-1- Situation géographique de la zone d'étude.....	18
II-2- Irrigation à partir de la station d'épuration de M'Sila.....	18
II-2-1- Généralités sur la station d'épuration.....	18
II-2-2 - Terres agricoles irriguées à partir des eaux épurées de la station.....	19
II-2-3- Les cultures pratiquée.....	20
II-3- Pédologie de la zone d'étude.....	21
II-4-Occupation du sol	22
II-5-Etude climatique.....	22
II-5-1- Les précipitations.....	23
II-5-2-La température.....	23
II-5-3-Identification du climat de la région de M'sila.....	23
a-Indices d'aridité annuelle de DEMARTONE.....	23
II-5-4-Climatogramme d'Emberger.....	24

Chapitre III : Matériels et méthodes

III-1- Caractérisation des stations	26
III-1-1-Choix des stations d'étude.....	26
III-1-2- Coordonnées des stations d'étude.....	26
III-2- Analyses nécessaires.....	27
III-2-1- Analyse du sol	27
III-2-1-1- Prélèvement et préparation des échantillons.....	27
III-2-1-2- Analyses physiques du sol.....	28
a-La granulométrie.....	28
b- La porosité.....	29
c- l'Humidité.....	29
III-2-1-3- Les analyses chimiques	30
a-Le pH.....	30
b-La conductivité électrique (CE).....	30
c-Calcaire totale (CaCO ₃ %)......	30

Table des matières

d-calcaire actif.....	31
e-Le carbone organique et la matière organique.....	31
f-Capacité d'échanges cationique (CEC).....	31
III-2-2- Analyse de l'eau.....	34
III-2-2-1- L'échantillonnage.....	34
III-2-2-2- Les analyses physico-chimiques.....	35
a-La température	35
b-Le potentiel hydrogène (pH).....	35
c-Les matières en suspension (MES).....	36
d-La demande biologique en oxygène (DBO ₅).....	37

Chapitre VI : Résultats & Discussions

VI-1- Etude du sol.....	42
VI-1-1- Caractéristiques physiques.....	42
VI-1-1-1- Granulométrie.....	42
VI-1-2- Caractéristiques chimiques.....	43
VI-1-2-1-Le pH	43
VI-1-2-2- Conductivité électrique.....	43
VI-1-2-3-Calcaire total et actif.....	44
VI-1-2-4- Le carbone organique et matière organique.....	44
VI-1-2-5-Les sels solubles.....	45
VI-1-2-6- SAR (Sodium Absorption Ration)	45
VI-2- Etude des eaux.....	46
VI-2-1- Résultats physico-chimique.....	46
VI-2-2-Propriétés chimiques	46
VI-2-3- Propriétés physico-chimiques.....	47
VI-2-4- Paramètres biologiques.....	47

Conclusion générale

Référence bibliographique

Introduction Générale

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

L'eau, indispensable à la vie, est une ressource très recherchée. Dès lors, les collectivités locales sont contraintes de prendre cette ressource en compte dans leur plan d'aménagement et d'améliorer les installations d'épuration existantes.

En Algérie, les contraintes du climat, la croissance démographique, les transformations économiques et sociales sont à l'origine d'une demande en eau sans cesse croissante. Parallèlement, le recours à l'irrigation est devenu une nécessité, étant donné l'importance du déficit hydrique climatique et l'intensification de l'agriculture (**Tamrabet, 2011 in Hannachi et al, 2014**).

La dégradation des ressources en eau, sous l'effet des rejets d'eaux polluées, peuvent non seulement détériorer gravement l'environnement mais aussi entraîner des risques de pénurie, d'où la nécessité de traiter ces eaux usées avant de les rejeter dans le milieu récepteur.

Dans le cadre de la gestion des eaux usées épurées, un arsenal juridique national et international a été mis en place ; l'eau traitée doit satisfaire certaines normes de rejet par rapport aux respects des normes d'utilisation des eaux épurées et aux risques de contamination par ces eaux épurées.

Depuis l'année 2011, le ministère des ressources en eau en collaboration avec les ministères de l'agriculture et celle de la santé ont lancé un programme riche relatif à l'irrigation de sept (07) périmètres irrigués pilotes à partir des eaux épurées de plusieurs installations de traitement comme celui de Hennaya (Tlemcen), M'leta (Oran), Témacine (Ouargla), Bordj Bouarréridj, Sétif, Hamma Bouziane (Constantine) et Ghriss (Mascara) avec une superficie totale de 12 000 Ha (**Kessira, 2013 in Benaouira F, 2017**).

Ces eaux procurent à l'agriculture une ressource précieuse et renouvelable et libèrent un volume supplémentaire d'eau de bonne qualité pour des utilisations prioritaires. Elles constituent en outre, une alternative aux rejets dans les milieux récepteurs qui peuvent présenter des capacités d'absorption limitées (**Papaiacovou, 2001**).

La dégradation de la qualité des sols à l'irrigation constitue un danger sérieux pour la durabilité de ce système d'exploitation des terres. Il est bien connu que la mise

Introduction générale

en valeur agricole sous irrigation dans les zones semi-arides et arides conduit le plus souvent à la dégradation de la qualité des sols (**Belaid, 2011**).

L'objectif de notre étude est d'examiner l'effet de l'utilisation des eaux usées épurées dans l'irrigation des terres agricoles aux alentours de la station d'épuration de la ville de M'sila.

Pour atteindre cet objectif, notre travail sera subdivisé en quatre (04) chapitres:

- ✓ Le premier est une recherche bibliographique, traitant des données théoriques des eaux usées urbaines et les différentes techniques de leurs épurations ainsi que les normes de leurs utilisations ;
- ✓ Le second chapitre est consacré à la description de la zone d'étude ;
- ✓ Le troisième chapitre concerne le matériels et les méthodes utilisés dans l'analyse des paramètres physico-chimiques et biologiques ;
- ✓ Le dernier chapitre rassemble les résultats obtenus et discussions avec leurs interprétations.
- ✓ Une conclusion générale avec des recommandations possibles.

Chapitre I

Recherche bibliographique

I-1- Définition du sol

Les géologues appelle « sols » tous les matériaux meubles, poreux, hétérogènes et souvent anisotropes se trouvant à la surface de l'écorce terrestre. Ces matériaux (minéraux ou organiques) sont généralement à l'état de grains dont les formes et les dimensions sont essentiellement variables (INSA, 2005-2006).

De point de vue pédologique, le sol est un milieu naturel, différencié en horizons à constituants minéraux et organiques, généralement meuble, d'épaisseur variable qui diffère de la roche mère sous-jacente par certains caractères morphologiques et propriétés physiques chimiques et biologiques.

I-2 - Eléments constitutifs d'un sol

Un sol est un mélange d'éléments solides constituant le squelette solide. Entre les grains du squelette, les vides peuvent être remplis par de l'eau, par un gaz ou les deux à la fois. Le gaz contenu dans les vides entre les particules est généralement de l'air lorsque le sol est sec ou un mélange d'air et de vapeur d'eau lorsque le sol est humide (cas le plus fréquent). Lorsque l'eau remplit tous les vides, le sol est dit saturé.

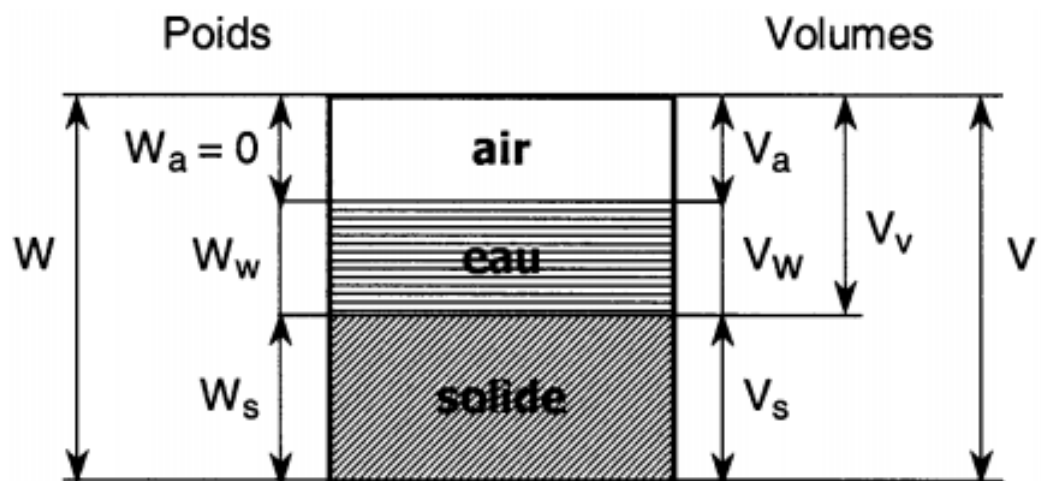


Figure 01: Eléments constitutifs d'un sol

(INSA,2005-2006).

Notations conventionnelles :

W : poids total du sol

V : volume total (apparent)

Ws : poids des particules solide

V_s : volume des particules solide

Ww : poids de l'eau

V_v : volume des vides entre les particules

V_w : volume de l'eau

V_a : volume de l'air

I-3- Caractéristiques physico-chimiques du sol

I-3-1- Caractéristiques physiques

I-3-1-1 La texture

Appelé aussi la granulométrie, qui a pour but de quantifier les particules minérales élémentaires groupées en classe, et définir la composition granulométrique d'un sol.

Elle permet de classer les particules minérales constitutives des agrégats en un certain nombre de fractions par catégorie de diamètre.

L'Union Internationale de la Science du sol (IUSS) a adopté l'échelle d'Atterberg qui classe les particules constituant la terre fine ($<2\mu$) (**Dadi et Hamdi, 2008**).

Tableau 01: Echelle d'Atterberg de classification des particules constituant la terre fine (**Dadi et Hamdi, 2008**).

Diamètre	Sol
$<2\mu$	Argile
2-20 μ	Limon fin
20-50 μ	Limon grossier
50-200 μ	Sable fin
200-2000 μ	Sable grossier
$>2000\mu$	Éléments grossier

La représentation graphique des résultats de l'analyse granulométrique peut se faire par plusieurs méthodes ; la plus connue et la plus utilisée est la représentation en coordonnées tri linéaires appelée aussi le triangle textural.

Les constituants sont regroupés en trois fractions principales et chaque zone obtenue sur le triangle (diagramme granulométrique) sert à déterminer l'unité texturale correspondante d'après la proposition de chacune de ces trois fractions :

-argile : 0-2 microns;

- limons : 2-50 microns;
- sable : 50-2000 microns;

Le point caractéristique d'un sol donnée est le point de concours de trois droites parallèle aux cotés, obtenues en portant sur chaque coté les valeurs en % de l'argile, des limons et sables (clement, 1997).

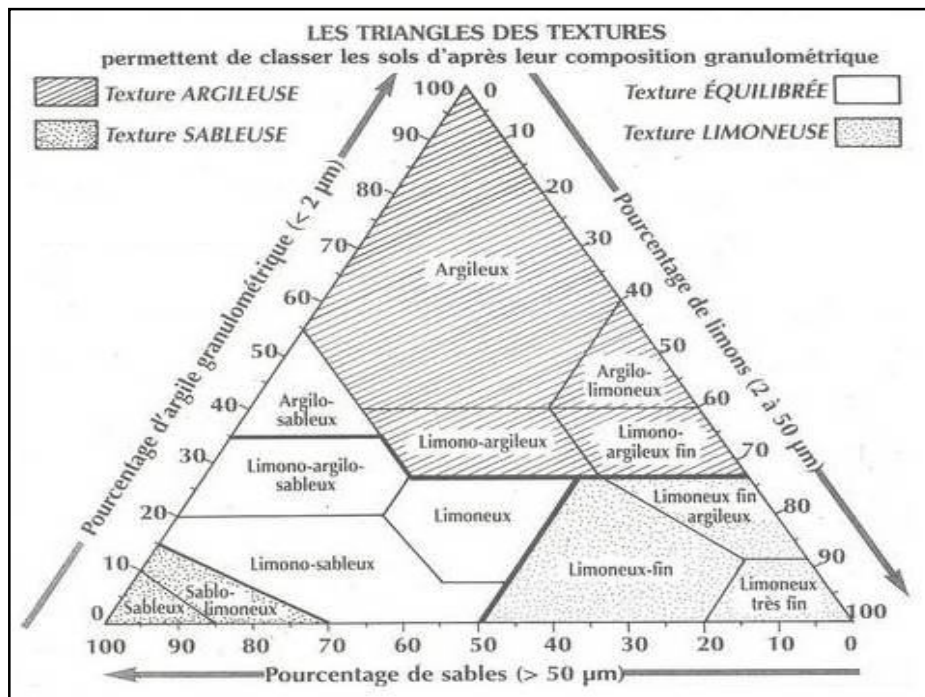


Figure 02: Classes texturales du diagramme triangulaire du système INRA utilisées dans la classification des sols (clement, 1997).

I-4-1-2- La structure

Elle correspond au mode d'assemblage de ses particules. En agrégats, elles sont à l'état floculé et la structure est grumeleuse. Lorsqu'elles demeurent indépendantes les unes des autres, la structure est dite particulaire.

La texture et la structure commandent la porosité totale, ou pourcentage d'espace vide par unité de volume du sol, et la circulation de l'eau de l'air et des gaz ; selon les cas, le sol sera bien aéré ou au contraire asphyxiant (Baise, 2000).

I-4-1-3- Matière organique (Carbone organique)

Les débris végétaux de toute nature, feuilles, rameaux morts qui tombent sur le sol, constituent la source essentielle de la matière organique : dès leur arrivée au sol, ils sont plus ou moins rapidement décomposés par l'activité biologique.

La matière organique est ainsi peu à peu transformée et cela donne naissance, d'une part, à des éléments solubles ou gazeux comme l'ammoniac NH_3 , l'acide nitreux HNO_2 , et le gaz carbonique CO_2 , et d'autre part à des complexes humiques (l'humus) qui se décomposeront, se minéraliseront très lentement très progressivement (Clement et Pieltain, 2003).

Tableau 02 : Echelles de présence de la Matière organique (Hafouda, 2005 in Gadda N, 2013).

MO (%)	Nature du sol
MO < 1	Très pauvre
1 < MO < 2	Pauvre
2 < MO < 4	Moyen
MO > 4	Riche

I-3-2 - Caractéristiques chimiques

I-3-2-1 - Le pH

Le pH exprime la concentration en H_3O^+ (noté H^+) (Clement et Pieltain, 2003). Il mesure l'acidité, la neutralité ou l'alcalinité d'une solution aqueuse à l'aide d'un électrode en verre.

Tableau 03: Echelles d'interprétation de pH (Baise, 2000).

Valeur de pH	Nature du sol
pH < 3,5	Hyper acide
3,5 < pH < 5	Très acide
5 < pH < 6,5	Acide
6,5 < pH < 7,5	Neutre
7,5 < pH < 8,7	Basique
pH > 8,7	Très basique

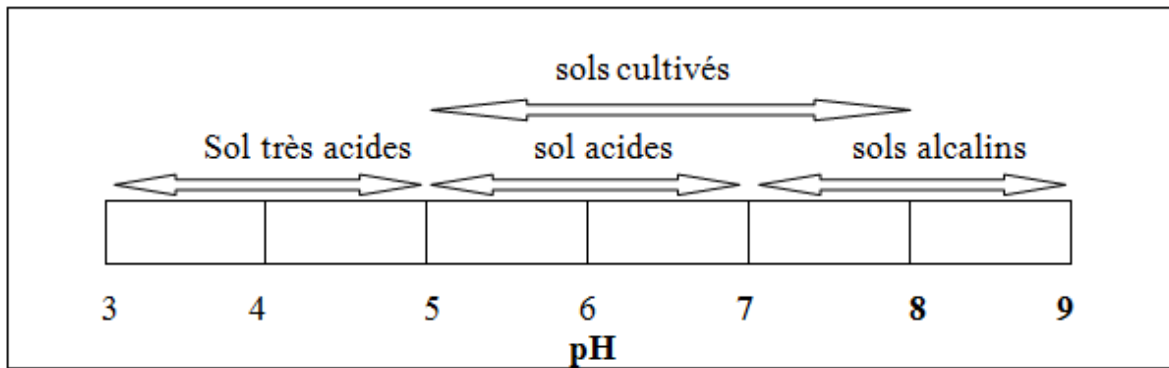


Figure 03 : le pH des sols (Clement et Pieltain, 2003)

I-3-2-2- Conductivité Electrique (C.E)

La conductivité électrique du sol est un indice des teneurs en sels solubles dans ce sol, elle exprime approximativement les concentrations des solutés sous forme d'ion présents dans l'échantillon c'est-à-dire son degré de salinisation (Clement et Pieltain, 2003).

Tableau 04 : Echelle de salinité en fonction de la conductivité électrique (Aubert, 1978,in Gadda,2013).

CE (dS/m à 25°C)	Degrés de salinité
$CE \leq 0,6$	Sols non salés
$0,6 < CE \leq 1,2$	Sols peu salés
$1,2 < CE \leq 2,4$	Sols salés
$2,4 < CE \leq 6$	Sols très salés
$CE > 6$	Sols extrêmement salés

I-3-2-3 - Les sels solubles

Les propriétés des sols différents suivant la composition et la concentration des sels présents. L'identification des sels solubles sur l'extrait permet de fournir des renseignements sur les principaux sels présent et d'envisager l'étude de l'évolution de leur salinité surtout lorsque ces sols sont soumis à l'irrigation avec une eau salée.

a- SAR (Sodium absorption ration)

Le SAR donne des indications sur le taux d'alcalinisation de la solution du sol, son expression est donnée en équation suivante :

$$\text{SAR} = \text{Na}^+ / \sqrt{(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/2}$$

Où :

(Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) en méq/l

Si :

$\text{SAR} < 4$, l'alcalinisation est basse ;

$4 < \text{SAR} < 8$, l'alcalinisation est faible ;

$8 < \text{SAR} < 12$, l'alcalinisation est moyenne ;

$12 < \text{SAR} < 18$, l'alcalinisation est forte ;

$\text{SAR} > 18$, l'alcalinisation est très forte (**Sevant *et al.*1966 in Boutelli, 2012**).

Remarque

Le faciès chimique d'un échantillon d'eau peut être tiré en utilisant le diagramme de Piper. Ce dernier est composé de deux triangles permettant de représenter le faciès cationique et le faciès anionique et d'un losange synthétisant le faciès global.

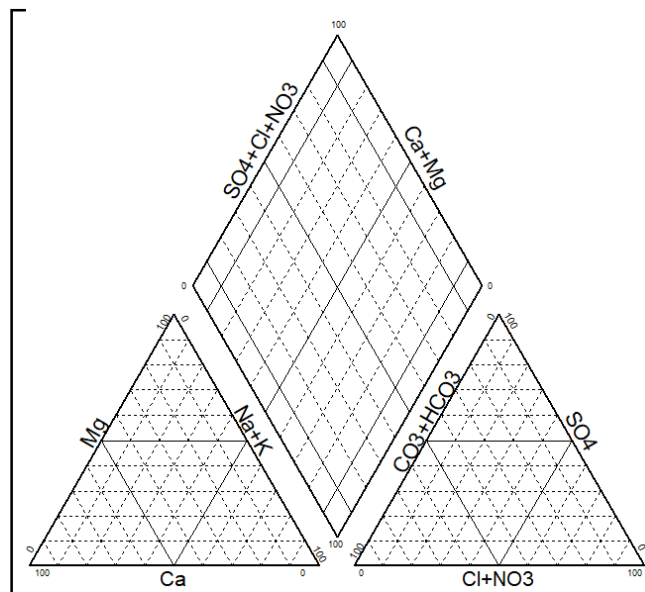


Figure 04 : Diagramme de Piper.

I-4- Le mélange sol et eau

I-4-1- Origine et formes de l'eau dans le sol

L'eau du sol a une importance considérable ; d'une part elle intervient dans la nutrition des plantes, à la fois directement et indirectement, en tant que véhicule des éléments nutritifs dissous ; d'autre part, c'est un des principaux facteurs de la pédogenèse, qui conditionne la plupart des processus de formation des sols (**Duchaufour, 2001**).

Les sources principales de l'eau du sol sont d'une part naturelle comme **l'eau directe de précipitation, l'eau souterraine** (nappe phréatique permanente, alimentée souterrainement), d'autre par artificielle comme l'eau d'irrigation.

Les pluies qui tombent à la surface du sol se subdivisent en diverses fractions, et donne ainsi naissance aux formes d'eau suivantes :

- **L'eau de ruissellement**, superficielle ou « hypodermique », lorsqu'elle circule au sein des horizons supérieures, parallèlement à la surface.
- **L'eau de gravité**, entraînée par la pesanteur, circule dans les pores grossières et moyennes (supérieurs à $10\mu\text{m}$), le plus souvent verticalement.
- **L'eau retenue** : par le sol au cours de l'infiltration des pluies qui occupe les pores fins et très fins ($< \text{à } 10\mu\text{m}$ environ) ; les forces capillaires et d'adsorption sont suffisamment élevées pour s'opposer aux forces de gravité. L'eau retenue se subdivise en deux parties: l'eau capillaire absorbable par les racines qui occupe les pores fine, où forme un « ménisques » entre les particules solides (voir figure), l'eau liée (appelée aussi eau d'absorption), qui forme une fine pellicule à la surface des particule du sol (pores très fins, diamètre inférieure à $0,2\mu\text{m}$), et qui est retenue très énergiquement, n'est pas absorbable par les racines (**Duchaufour, 2001**).

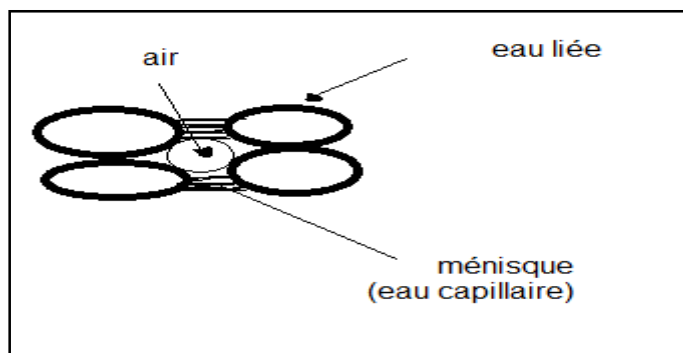


Figure 05 : Formes d'eau retenue : eau liée et eau capillaire absorbable
(**Duchaufour, 2001**).

I-4-2- Interactions avec la phase liquide du sol (solution du sol)

I-4-2-1 - Composition de la solution du sol

La composition de la solution du sol est déterminée par plusieurs phénomènes dont la variabilité fait qu'elle est aussi très variable à la fois dans l'espace que dans le temps. La figure 06, indique schématiquement les principaux aspects de sa détermination et la principale implication de la solution du sol (**Honoraire, 2003**).

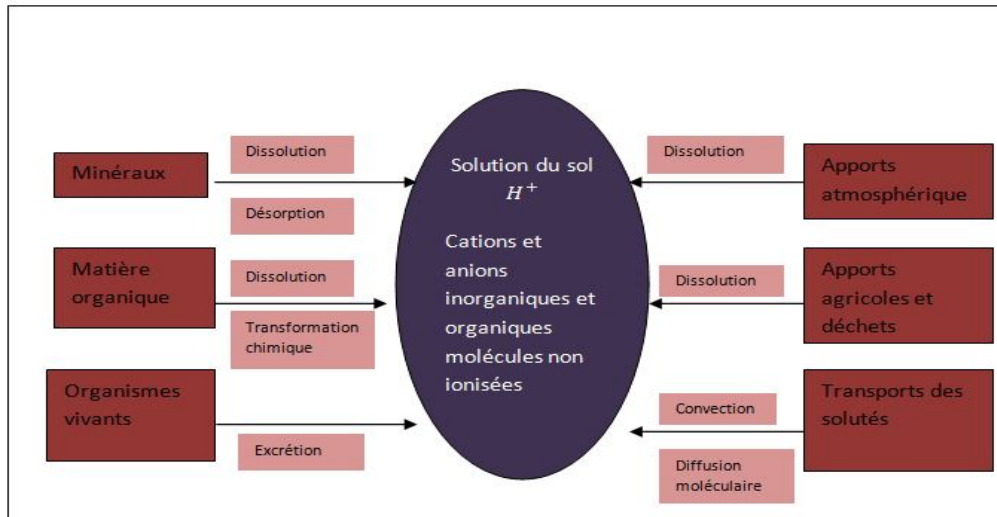


Figure 06 : Détermination de la composition de la solution du sol (Honnaire, 2003).

I-4-2-2- La conductivité électrique de l'eau (CE)

La salinité ou concentration totale de l'eau est à l'origine des risques salins liés à une présence excessive de sels, quelle que soit leur nature; elle se mesure aisément par la conductivité électrique de l'eau CE [$\mu S cm^{-1}$] ramenée à 25°C. Quatre classes de risque salins ont été définies (tableau 05).

Tableau 05 : Classes de risque salin

Classe	Valeurs de CE
C1 risque faible	CE < 250
C2 risque moyen	250 < CE < 750
C3 risque élevé	750 < CE < 2250
C4 risque très élevé	2250 < CE

I-4-2-3 Le rapport d'adsorption du sodium – SAR (sodium adsorption ratio)

Le risque alcalin caractérisé par le rapport d'adsorption du sodium qui met en rapport les concentrations en sodium Na^+ (facteur de dispersion) et en calcium Ca^{2+} et magnésium Mg^{2+} (agents de floculation), selon :

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{+2} + Mg^{+2}}{2}}}$$

Tableau 06: Classes de risque alcalin

Classe de risque	Valeur de SAR
S1 risque faible	$SAR < 10$
S2 risque moyen	$10 < SAR < 18$
S3 risque élevé	$18 < SAR < 26$
S4 risque très élevé	$26 < SAR$

I-4-2-4- pH de solution du sol

La réaction d'une solution est due à la présence de protons et est caractérisée par son pH.

I-5-Irrigation

Irrigation réclame des quantités d'eau très élevées et s'accompagne d'un changement radical de l'utilisation et de l'exploitation du sol, elle peut avoir, faute de mesures préventive adéquates, des conséquences dommageables, tant sur le plan de la qualité de l'eau est de sol, que du point de vue socio-économique ou sanitaire.

I-5- 1- L'irrigation artificielle

Irrigation demande des quantités d'eau très élevées et s'accompagne d'un changement radical de l'utilisation et de l'exploitation du sol. Elle peut avoir, faute de mesures préventives adéquates, des conséquences dommageables, tant sur le plan de la qualité de l'eau est du sol, que du point de vue socio-économique ou sanitaire.

La concentration totale en sels dissous, dont l'indicateur est la conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée, et la quantité de sodium adsorbée sont des informations utilisées pour apprécier la qualité des eaux d'irrigation (**Honoraire, juillet 2003**).

I-5-2- Classement des eaux utilisables pour l'irrigation

Le tableau 07 suivant donne les valeurs de référence prises en considération dans l'estimation des risques agronomiques associés à l'utilisation des eaux d'irrigation artificielles.

Tableau 07: qualité des eaux utilisées pour l'irrigation (**indication rapportée par Sposito, 1989 in Honoraire, juillet 2003**).

	Utilisation de l'eau		
	Possible	Avec précautions	Déconseillée
Risques lié à la salinité CE (dS m ⁻¹)	< 0.7	0.7 - 3.0	> 3.0
Risques lié au sodium SAR (mol ^{1/2} m ^{-1/2})	CE (dS m ⁻¹)		
0 – 3	> 0.7	0.7 - 0.2	< 0.2
3 - 6	> 1.2	1.2 - 0.3	< 0.3
6 - 12	> 1.9	1.9 - 0.5	< 0.5
12 – 20	> 2.9	2.9 - 1.3	< 1.3

I-5-3- Irrigation à partir des eaux usées épurées

Selon Eckenfelder (1982), les eaux usées proviennent de trois (03) sources principales :

1- Les eaux usées domestiques.

2- Les eaux usées industrielles.

3- Les eaux de pluie et de ruissellement dans les villes.

On peut caractériser la pollution de eaux usées physiquement (couleur, odeur , conductivité, matière en suspension) ou bien chimiquement (pH, Oxygène dissous, DBO, DCO) et par d'autres caractéristiques microbiologiques (coliformes fécaux et totaux,...)

Les eaux usées épurées peuvent être utilisée dans différents domaines:

- Irrigation des terres agricole situes à l'avale de la station d'épuration,
- Irrigation des espaces verts,
- Station de lavage,
- Activité sportives (navigation...)

I-5-4-Normes Algériennes

En Algérie, des normes nationales physico-chimiques ont été établies selon le journal officiel délivré le 05/07/2012 relatives à la réutilisation des eaux usées épurées en irrigation. Ces normes sont récapitulées dans les tableaux08 et 09 ci-après

Tableau 08 : Normes de paramètre physico-chimiques de réutilisation des eaux usées épurées.

	Paramètres	Unité	Concentration maximal admissibles
physique	pH	-	6.5<PH<8.5
	MES	mg/l	30
	CE	ds/m	3
Chimique	DBO ₅	mg/l	30
	DCO	mg /	90
	Cl ⁻	meq/l	10
	Nitrate (NO ₃)	mg/l	30
	Bicarbonate(HCO ₃)	meq/l	8,5
Eléments toxiques (*)	Aluminium	mg/l	20,0
	Arsenic	mg/l	2,0
	Béryllium	mg/l	0,5
	Bore	mg/l	2,0
	Cadmium	mg/l	0,05
	Chrome	mg/l	1,0
	Cobalt	mg/l	5,0
	Cuivre	mg/l	5,0
	Cyanures	mg/l	0,5
	Fluor	mg/l	15,0
	Fer	mg/l	20,0
	Phénols	mg/l	0,002
	Plomb	mg/l	10,0
	Lithium	mg/l	2,5
	Manganèse	mg/l	10,0
	Mercure	mg/l	0,01
	Molybdène	mg/l	0,05
	Nickel	mg/l	0,05
	Sélénium	mg/l	0,02
	Vanadium	mg/l	1,0
Zinc	mg/l	10,0	

(*) : pour type de sols à texture fine, neutre ou alcalin.

(Source : JO, 2012)

I-5-5- Les cultures adaptées

La répartition des cultures pouvant être irriguée à partir des eaux usées épurées est donnée au tableau 09 suivant avec des certaines consignes d'utilisation.

Tableau 09: listes des cultures pouvant être irriguées avec des usées épurées.

Groupe de cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées	Liste des cultures
Arbres Fruitiers (1)	Dattiers, vigne, pomme, poire, abricot, cerise, olive
Agrume	Citron, orange, mandarin
Cultures Fourragères (2)	Bersim, sorgho fourrage, vesce et luzerne
Culture industrielles	Tomate industrielle, haricot à rames, petit pois à rames, coton
Cultures céréalières	Blé, orge, triticales et avoine
Cultures de production de semences	Pomme de terre, haricot et petit pois
Arbustes Fourragers	Acacia et atriplex
Plants Florales à sécher ou à usage industriel	Rosier, iris, marjolaine et romarin

(Source : JO, 2012)

- (1) L'irrigation avec des eaux usées épurées est permise à condition que l'on cesse l'irrigation au moins deux (2) semaines avant la récolte. Les fruits tombés au sol ne sont pas ramassés et sont à détruite.
- (2) Le pâturage direct dans les parcelles irriguées par les eaux usées épurées est strictement interdit et ce afin de prévenir toute contamination du cheptel et par conséquent des consommateurs.

Elle présente le type des sols les cultures adaptées de la zone étudiée est un sol argileux-limeux caractérisé par la présence de calcaire.

I-5-6 - Effets de l'irrigation par des eaux usées épurées

I-5-6-1- Effets sur les cultures

Au-delà de l'effet global de certains constituants de l'eau usée épurée sur les cultures irriguées comme la salinité, l'eau usée épurée peut potentiellement créer une

toxicité due à une concentration élevée de certains éléments comme le bore et quelques métaux lourds (FAO, 2003).

I-5-6-2- Effet sur le sol

Deux (02) principaux effets de l'irrigation à partir des eaux usées épurées sur le sol sont : la salinisation des terres et la présence d'éléments toxiques dans le sol, qui vont influencer sur le rendement agricoles à l'échelle quantitative et qualitative.

a- La salinisation du sol

La salinisation du sol par une eau d'irrigation est une caractéristique physico-chimique produit par l'irrigation à cause des effets combinés de plusieurs facteurs (climat, caractéristiques du sol, topographie du terrain, techniques culturales, conduite des irrigations). En effet, chaque facteur va contribuer, selon son état, à l'accentuation ou à l'atténuation de la salinisation du sol (**Belaid, 2011**).

➤ **Qualité d'eau d'irrigation**

La qualité de l'eau utilisée en irrigation est un facteur de premier ordre dans la salinisation du sol. Les effets d'une eau d'irrigation sur le sol sont jugés à travers la concentration totale de cette eau en sels soluble set par son rapport de sodium absorbable (SAR) (**Leone et al, 2007**).

➤ **Mode d'irrigation**

Lorsque l'eau est de mauvaise qualité, le mode, la dose et la fréquence d'irrigation ont une influence directe sur le processus de salinisation du sol. Dans ces conditions, une dose supérieure aux besoins du sol est favorable à une lixiviation (lessivage) des sels. Ce qui permet de maintenir la salinité du sol à un niveau raisonnable surtout si le drainage interne et externe est convenable (**Belaid, 2011**).

➤ **Nature du sol**

Les caractéristiques du sol qui jouent un rôle primordial dans l'accentuation ou l'atténuation du processus de salinisation sont la texture, la perméabilité et le taux en calcaire.

b- Accumulation de métaux dans le sol

Le problème majeure des stations d'épuration c'est qu'elles ne peuvent pas éliminer les éléments toxiques (métaux lourds) présentent dans l'eau épurée. Par conséquence, l'irrigation peut, à terme, entraînée l'accumulation de ces éléments dans le sol notamment dans les horizons de surface (**Rattan et al, 2005**).

Chapitre II

Présentation de la zone d'étude

II-1- Situation géographique de la zone d'étude

La ville de M'sila est située au Nord Est de la Wilaya et à une distance d'environ 248 Km au Sud Est de la capitale « Alger ».

Elle est limitée : au Nord par la wilaya de Bordj Bou Arreridj (Commune d'Elaach), au Sud par la commune Ouled Madhi , à l'Ouest ; par la commune de Ouled Mansour et à l'Est par les communes de Metarfa.



Figure 07: Situation géographique de la ville et de la STEP de M'sila (source : Image satellite Google Earth 2018).

II-2- Irrigation à partir de la station d'épuration de M'Sila

II-2-1- Généralités sur la station d'épuration

Située au sud de la ville de M'sila, la station d'épuration de M'sila est mise en service en 2013, est destinée essentiellement au traitement des eaux usées domestiques et industrielles. Elle fournit gratuitement aux agriculteurs un volume de 16.000 m³ par jour, destiné à irriguer différents types de cultures.



Figure 08: Sortie des eaux épurée de la station d'épuration de M'sila (*Cliché Terchi et Touimer* (07 / 05 /2018)).



Figure 09: Vue d'ensemble de la STEP et les terres agricoles (*Image satellite Google Earth* 2018).

Tableau 10 : Informations générales sur la station d'épuration de M'sila .

Capacité de traitement actuelle	16000m ³ /j
Capacité de traitement à l'horizon	42000 m ³ /j
Procédé d'épuration	Boue activé
Superficie à irriguer	plus de 600ha

(Source : ONA, 2018).

II-2-2 - Terres agricoles irriguées à partir des eaux épurées de la station

Hormis le pompage direct à partir des lâchées dans l'oued, les terres agricoles ne sont pas dotées d'un réseau d'irrigation (voir Figure10et tableau 11).



Figure10: Irrigation par pompages direct de l'oued (*Cliché Terchi et Touimer*

(07 / 05 /2018).

Tableau 11 : Données générales sur l'irrigation à partir des eaux épurées de la STEP (DSA , 2018).

commune	STEP	Superficie irriguée			Nombre d'exploitation
	Volume journalier produit (m^3/J)	Périmètre irrigué concerné (ha)	Superficie irriguée actuellement (ha)	Superficie projetée à irriguer (ha)	
M'sila	16000	Plus de 600	250	450	70

II-2-3- Les cultures pratiquée

La superficie irriguée à partir des eaux épurées de la station est de 250 ha extensible à plus de 600 ha, dont les cultures pratiquées sont prédominantes par l'Orge, le blé dur. Alors que l'arboriculture n'occupe que 6 ha de la superficie totale (Tableau 12).

Tableau 12 : Liste des cultures pratiquées avec surfaces correspondantes (ONA , 2018).

Type de cultures	Surface (Ha)
Arboriculture	6
Orge	120
Blé dur	80
Blé tendre	44
Total	250

Source: ONA ,2018.

Un arrêté interministériel, promulgué en janvier 2012, fixe les critères d'utilisation et de prévention des risques liés aux eaux usées épurées exploitées à des fins d'irrigation ainsi que la liste des cultures pouvant être irriguées par ces eaux.

Seuls les agriculteurs pratiquant l'arboriculture et les grandes cultures sont autorisés à exploiter ces eaux usées épurées, contrairement aux cultures maraichères qui ne peuvent aucunement être irriguées par ces eaux.



Figure11: Parcelles des blés irrigué par les eaux épurées (Cliché Terchi et Touimer (07/05 /2018).

II-3- Pédologie de la zone d'étude

Les sols composant notre zone étude (voir figure n°12) sont :

- sols halomorphes.
- sols halomorphes et hydromorphes.
- sols peu évolués alluviaux.
- sierozems.

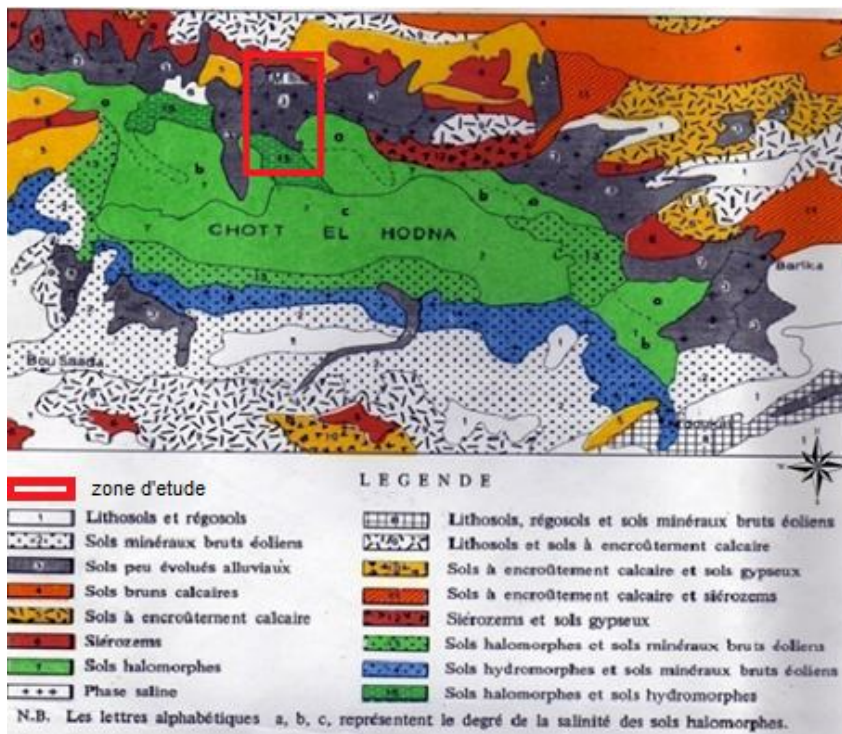


Figure 12 : Carte pédologique de la wilaya de M'sila (Houérou , 1975).

II-4-Occupation du sol

D'après l'étude par l'INSID (institut national des sols de l'irrigation et du drainage)

L'occupation du sol de la zone d'étude est classés par (voir figure 13) :

- Grande culture en sec
- Culture maraichère
- Polyculture
- Plan d'eau
- Culture arboriculture
- Espace bâti

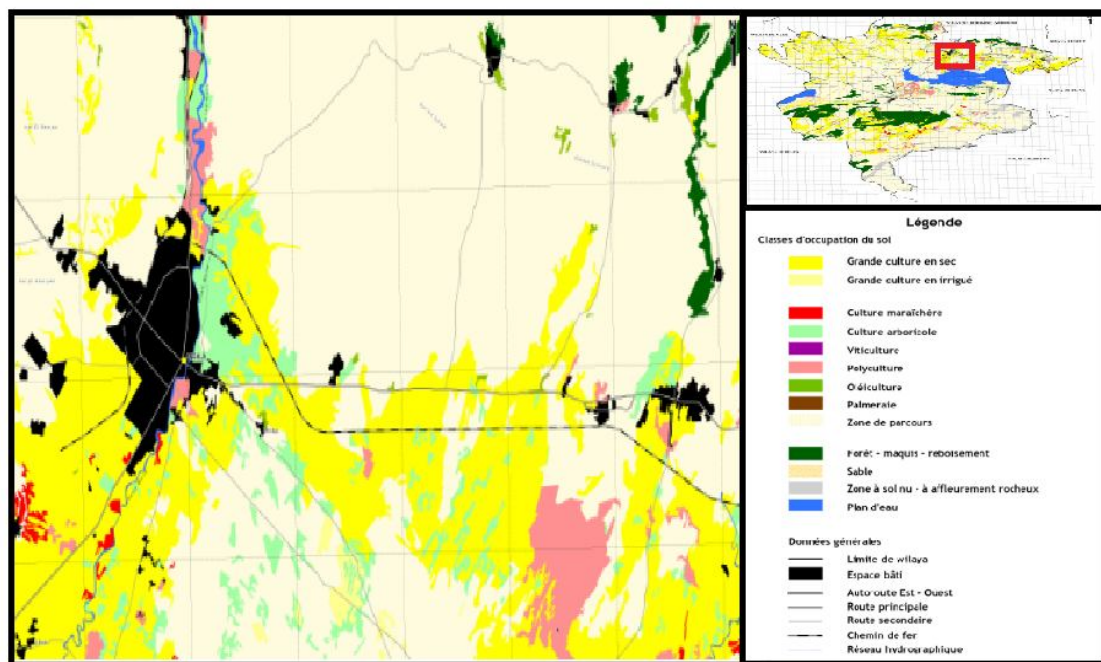


Figure 13 : la carte d'occupation du sol de la zone d'étude(DSA ,2018).

II-5-Etude climatique

Les données climatiques proviennent de la station météorologique de m'sila, sur une période de 26 ans

Le tableau ci-dessous indique les caractéristique géographique de la station météorologique de m'sila.

Tableau 13 : caractéristique de la station météorologique de m'sila.

Station	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Période d'étude
M'Sila	04° 30 E	35° 40 N	441	1988-2016

II-5-1- Les précipitations

La précipitation constitue un facteur climatique d'importance fondamentale.

Tableau 14 : Précipitation moyennes mensuelles en (mm) de la station de M'sila pour la période (1988-2016)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Annuel
P(mm)	26,5	21,8	19,0	19,2	17,4	12,9	15,4	21,6	23,6	9,9	3,8	7,6	198,7

Les résultats du tableau précédent montrent que les précipitations moyennes annuelle dans la région de M'sila est de l'ordre de **198,7 mm**.

II-5-2-La température

La température représente un facteur incontournable ayant un grand impact sur le climat.

Le tableau 15 suivant indiquent la distribution mensuelles de la température enregistrées au niveau de la station météorologique de M'sila.

La température moyenne de la région de M'sila est 19,3°C, la température moyenne minimale est de -1.9 enregistrée au mois de décembre. Alors que celle maximale est de 43,6°C enregistrées au mois de juillet.

Tableau 15 : température moyenne mensuelle de la wilaya de M'sila (1988-2016).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy annuel
T°moy (°C)	25,8	20,4	13,7	9,2	8,4	9,8	13,6	17,1	22,6	28,1	31,9	31,4	19,3
T°max (°C)	38,5	32,7	25,1	19,7	19,1	21,6	27,2	30,9	36,7	41,0	43,6	42,7	43,6
T°min (°C)	13,8	8,2	1,5	-1,9	-1,4	-1,2	1,3	4,2	8,3	14,0	19,1	18,8	-1,9

(Source : ONM . 2018)

II-5-3-Identification du climat de la région de M'sila

a- Indices d'aridité annuelle de DEMARTONE

L'indice d'aridité de demartonne, noté I, permet de déterminer le degré d'aridité d'une région. Pour le calculer, on utilise la formule : $I=P/T+10$

Où :

P : Précipitation totales annuelles (mm)

T : Température moyenne annuelle (°C).

I=6,77, il est inférieure à 10, donc le climat de la ville de M'sila est aride.

II-5-4-Climatogramme d'Emberger

Selon Amandier (2013), l'indice d'emberger été mis en point dans les années 60 pour caractériser les différents climats méditerranées à partir des données météorologiques plus couramment relevées.

Ce climatogramme permet, grâce au quotient pluviométrique d'Emberger (Q) spécifique au climat méditerranéen, de situer une zone d'étude dans un étage bioclimatique.

Ce quotient tient compte des précipitations et des températures, il est déterminé comme suit :

$$Q_2 = 2000 \cdot \frac{P}{M-m}$$

Q : le quotient pluviométrique d'Emberger.

P : pluviométrie moyenne annuelle en mm

M : Moyenne maximale du mois le plus chaude (°K).

m : Moyenne minimale du mois le plus froid (°K).

Après application de la formule, les valeurs de Q_2 et m sont portés sur le climatogramme ce qui localise la ville de M'sila dans l'étage climatique aride (voir figure14).

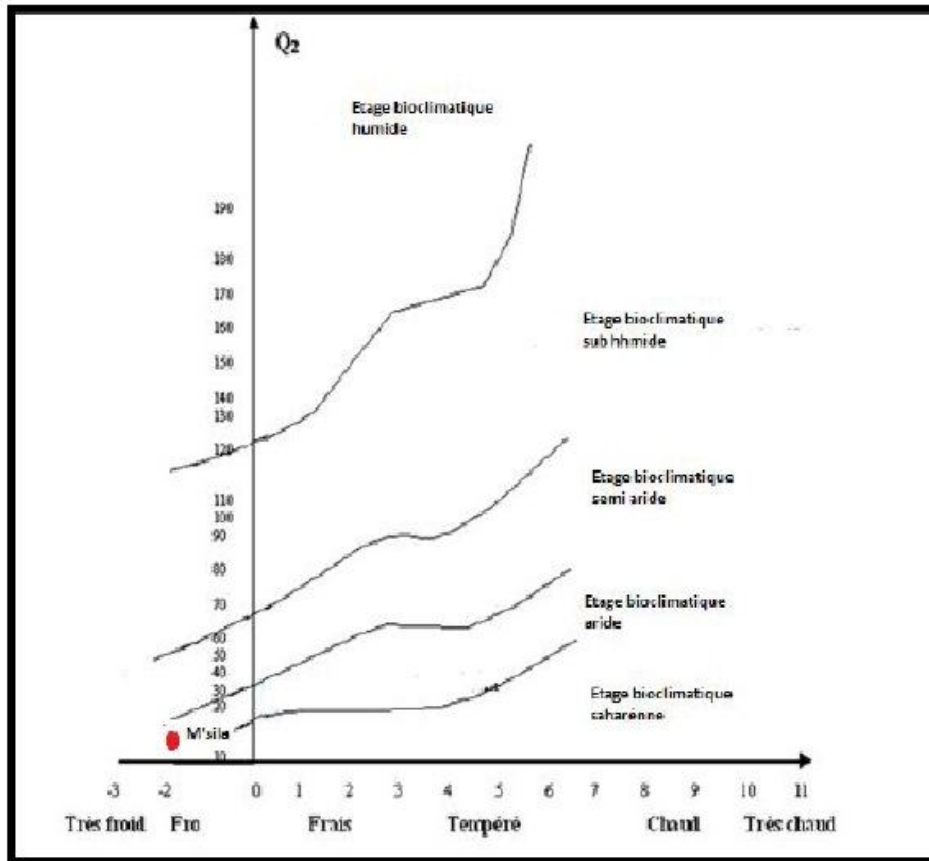


Figure 14 : Etage bioclimatique de la région de M'sila dans le Climatogramme d'Emberger durant la période (1988-2016) .

Chapitre III

Matériels et méthodes

III-1- Caractérisation des stations

III-1-1-Choix des stations d'étude

Pour mener notre étude, nous avons choisi 02 stations d'étude comme le montre la figure 15 Ci-dessous.



Figure 15 : Localisations des deux (02) station des terres en aval de la STEP de la plaine de M'sila (**Image satellite Google Earth 2018**).

Le choix des stations est basé sur le seul critère d'irrigation ou non à partir des eaux usées épurées de la station de M'sila ;

- La première station est un sol irrigué à partir des eaux usées épurées de la station.
- La deuxième station est située dans un sol irrigué directement des eaux de pluie.

III-1-2- Coordonnées des stations d'étude

Les stations choisies ont été repérées par GPS dont leurs coordonnées sont indiquées au tableau 16 suivant :

Tableau 16 : Coordonnées géographiques des stations d'étude

Station	Localisation	Coordonnées géographiques		
		Long. (°)	Lat (°)	Z(m)
S1	Sol irrigué par des eaux épuré	35°64'52,4"N	04°49'50,6"E	429,4
S2	Sol irrigué par des eaux de pluie	35°64'53,9"N	04°49'58,0"E	437,6

III-2- Analyses nécessaires

Afin d'arriver à l'objectif du travail qui est l'étude de l'influence de la qualité des eaux usées épurées de la station d'épuration de Msila sur les sols irrigués de ces eaux, deux types d'analyses sont primordiales :

- ✓ Analyse de l'eau usée épurée durant un périodes différentes.
- ✓ Analyse du sol.

III-2-1- Analyse du sol

Deux (02) échantillons du sol ont été prélevés ; un (01) échantillon du sol irrigué à partir des eaux usées épurées et un autre échantillon irrigué directement à partir des eaux des pluies .

Ces échantillons ont été ramenés et analysés au laboratoire des Science du sol , sis au département des Sciences Agronomique (Université Mohamed BOUDIAF – M'sila).

III-2-1-1- Prélèvement et préparation des échantillons

Dans chaque station deux niveaux de sol sont pris en considération. Les niveaux de prélèvement du sol concernent plutôt une caractérisation pédologique du milieu d'étude (région steppique) où les relations sol-végétation ne font intervenir que les horizons superficiels.

- Un prélèvement superficiel : de (0 – 5) cm de profondeur.
- Un prélèvement profond : Supérieur à 5 cm de profondeur.

Après collecte des échantillons de sol au nombre de 02 par station, ils ont été numérotés et étiquetés pour être analysé.

Tableau 17 : Analyse du sol faites et méthodes utilisées.

Type d'analyse	Méthodes utilisée
Granulométrie	Par méthode internationale à la pipette de Robinson
Porosité totale	Paraffine(déduire apartire de la densité apparente et la densité réelle).
Humidité	Séchage à l'étuve à 105 °C
Réaction du sol (pH _{eau})	pH mètre avec un rapport sol. de 1 / 2.5
Réaction du sol (pH _{KCL})	pH mètre avec un rapport sol de 1 / 2.5
Conductivité électrique (CE) (mS/cm).	Conductimètre, avec un rapport sol / eau de 1/5
Calcaire total	méthode volumétrique avec utilisation du calcimètre de Bernard
Calcaire actif	la porosité du calcium combiné à l'oxalate de calcium insoluble
Carbone organique et la matière organique (MO).	Méthode de Walkely et Black, en utilisant le Bichromate de potassium en présence d'acide sulfurique.
Capacité d'échange cationique(CEC)	Par centrifugation et utilisation Spectrophotométrie à flamme
Analyse des sels solubles <i>Des cations solubles : Na⁺ , Mg⁺⁺ , k⁺ , Ca⁺⁺ .</i> <i>Des anions solubles : CO₃⁻ , HCO₃⁻ , CL⁻ , SO₄</i>	Différentes méthodes illustrées ci-après

III-2-1-2- Analyses physiques du sol

a- La granulométrie

Les échantillons prélevés dans chaque station ont été séchés à l'air et soumis à un tamisage à l'aide d'un tamis de 2 mm pour séparer la fraction grossière qui est supérieure à 2 mm de terre fine (>2 mm). La fraction <2mm est la partie qui va subir toutes les analyses physique et chimique au laboratoire.

Après le séchage vient le broyage puis le tamisage avec un tamis de 2 mm.

Il existe plusieurs méthodes de détermination des fractions granulométriques . la plus utilisée est la méthode internationale à la pipette de Robinson (**Aubert, 1978,in Benouirra ,2017**) et qui fut choisie pour notre étude .

La composition granulométrique est déterminée au laboratoire après destruction des ciments organiques (matière organique «MO») et minéraux (calcaire) et annulation de toutes les forces de cohésion. Après expression en pourcentages des constituants minéraux composant la terre fine (argiles, limons et sables), on représente ces pourcentages sur un diagramme de référence pour en déduire la texture de chaque échantillon analysé.

b- La porosité

La porosité d'un sol est un indice du volume relative de ses pores .Elle s'exprime en pourcentage par la formule :

$$P(\%) = \left(1 - \frac{Da}{Dr}\right) \times 100$$

Où :

Da : densité apparente.

Dr : densité réelle.

Ps : point sec.

Vt : volume totale.

Vs : volume sec.

$$Da = Ps/Vt \text{ alors } Da = Ps/250 \text{ d'où : } Dr =Ps/Vs.$$

Concernant la détermination de la porosité totale , les cylindres ont été enfoncés à une profondeur de 10 cm de la surface du sol.

c- l'Humidité

Elle correspond à la teneur en eau d'un échantillon de sol séché à l'étuve pendant 24 heures.

Elle est exprimée en pourcentage pondéral par rapport à 100 g de terre séché à 105 °C.

III-2-1-3- Les analyses chimiques

a- Le pH

Le pH est mesuré par voie électro- métrique sur une suspension aqueuse dont le rapport Sol /Eau = (1/2,5). On peut distinguer :

- L'acidité actuelle ou pH eau (sol +eau).
- L'acidité totale ou pH_{kcl} (sol + solution de kcl) .

b- La conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique d'une solution du sol est un indice de sa teneur en sels soluble. Elle est mesurée sur la base d'un extrait dilué 1/5 par un conductimètre.

Elle est exprimée en ms /cm ou ds/m à une température de 25 °C.

c- Calcaire totale (CaCO₃ %)

Le pourcentage du calcaire total est mesuré par la méthode volumétrique. Le volume de gaz carbonique dégagé lors de la réaction est mesuré à l'aide d'une burette à gaz (le calcimètre de Bernard)(Dakar , in Kasmi S.2017)



figure 16: Analyse de Calcaire totale (CaCO₃ %).

d- Le calcaire actif

Pour le dosage du calcaire actif, on utilise la méthode qui a comme principe de base la porosité du calcium combiné à l'oxalate de calcium insoluble. L'excès de la solution d'oxalate d'ammonium est ensuite dosé par une solution de permanganate de potassium en milieu sulfurique à. Cette analyse a été effectuée selon la méthode de dosage à de permanganate de potassium (Drouineau,G, 1956,in Kasmir S,2017).



Figure 17: Dosage du calcaire actif.

e- Le carbone organique et la matière organique

La teneur en carbone organique est déterminée directement par la méthode de **Walkly Et black**, qui est basée sur l'oxydation de la matière organique par une quantité en excès de bichromate de potassium en milieu sulfurique à température contrôlée. La teneur en matière organique est déduite à partir de la valeur issue de l'analyse du carbone organique par la formule suivante:

$$\text{Matière organique « MO » (\%)} = \text{carbone organique (\%)} \times 1,724.$$

f- Capacité d'échanges cationique (CEC)

Les colloïdes du sol (argiles, molécules organiques) sont chargés négativement, et comme conséquence elle retiennent les cations tels que le potassium, sodium, calcium, magnésium et l'ion ammonium. L'échange des cations entre le complexe d'échange et la solution du sol est réversible.

La CEC est influencé par le pH du sol.

La méthode d'analyse que nous utilisons ici consiste à saturer les sites négatif du complexe par le sodium, ensuite remplacer le sodium par l'ion ammonium, la mesure du sodium déplacé donne la CEC exprimée en meq/100g. Cette méthode convient aux sols calcaires et gypseux .

Le calcul du CEC se fait par la formule suivante :

$$\text{CEC (meq/100g)} = \text{Na (meq/l)} * (\text{A/Wt}) * (\text{100/1000}).$$

Na : CEC exprimée en meq /l.

A : volume de la solution de mesure.

Wt : poids du sol utilisé.

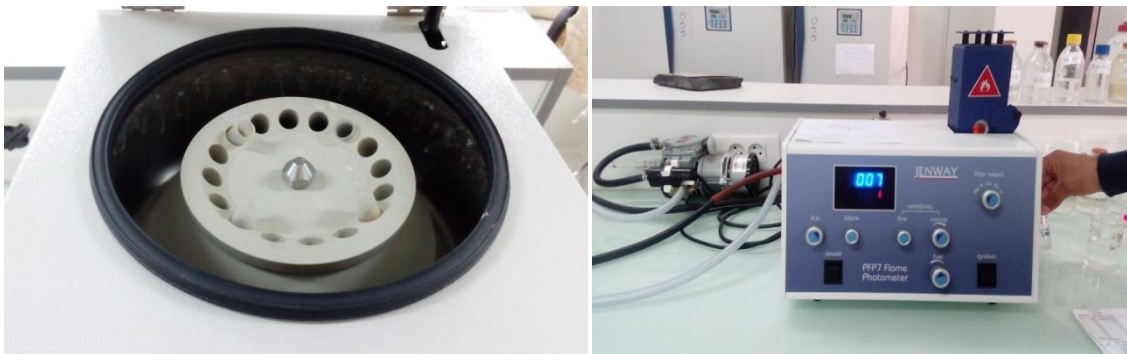


Figure 18: Analyse de capacité d'échanges cationique (CEC).

- **Les carbonates (CO_3)**

Appliquer la formule suivante :

$$\text{Carbonates meq/l} = (2V_1 * 2N * 1000) / A$$

Sachant que :

V_1 : solution d'acide sulfurique utilisée pour le dosage des carbonates (ml).

N : concentration de l'acide sulfurique.

A : quantité de solution de prélèvement.

- **Les bicarbonates**

Appliquer la formule suivante :

$$\text{Bicarbonates meq/l} = (V_2 * 2N * 1000) / A$$

Sachant que :

V2 : volume d'acide sulfurique utilisé en titration.

A et N : Les même que ceux du carbonate: aliquote en ml (10ml).

- **Chlorure (Cl)**

Appliquer la formule suivante :

$$Cl \text{ meq/l} = (V * N * 1000 * D) / A$$

Avec :

V : Volume de nitrate d'argent utilisée.

N : concentration de nitrate d'argent 0.01.

A : niveaux de dilution (10 ou 100).

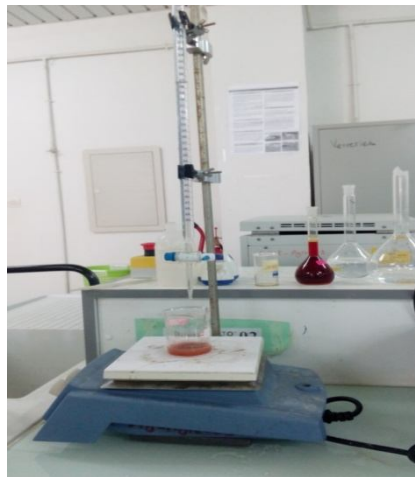


Figure 19: Dosage de Chlorure (Cl).

- **Les sulfates (SO₄)**

Appliquer la formule suivante :

$$SO_4 \text{ meq/l} = (V * N * 1000) / A$$

V : Volume de chlorure de baryume utilisé.

N : concentration de chlorure de baryume.

A : Aliquote en ml.

- **Sodium (Na⁺)**

Pour le dosage du Na⁺, on utilise la méthode « spectrophotométrie de flamme » .

III-2-2- Analyse de l'eau

Les résultats d'analyse de l'eau usée épurée ont été ramenés directement du laboratoire de la station d'épuration au mois de Mai 2018.

Nous allons présenter le protocole des analyses physico-chimiques ainsi effectuées.

III-2-2-1- L'échantillonnage

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté, car il conditionne les résultats analytiques et leurs interprétations, qui en seront données. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (**Rodier *et al.*, 2009**).

Les échantillons des eaux usées épurées sont recueillis dans des bouteilles en plastique pour les analyses physico-chimiques. Pour les paramètres bactériologiques, on a utilisé des flacons en verre stérilisés à 120°C, pendant une heure.

Les bouteilles de prélèvement sont nettoyées et identifiées au préalable ; sur chacune, on note la date, l'heure et l'endroit de prélèvement sont mentionnés.

Sur site les bouteilles sont d'abord rincées deux à trois fois par l'eau à analyser, puis elles sont remplies, en les plongeant à une profondeur de 20cm de la surface de l'eau. Durant la période de prélèvement, on évite toute modification des caractéristiques des échantillons (teneur en gaz, composés volatils dissous, contamination biologique....).

Le temps de transport des échantillons doit être minimisé au maximum jusqu'à l'arrivée au laboratoire. Les échantillons doivent être conservés à une température entre (3°C et 5°C) afin de garantir leur intégrité.

Le tableau ci-dessous donne la chronologie des prélèvements et les paramètres à analyser.

Tableau 18 : la chronologie des prélèvements et les paramètres analysés.

Les points de prélèvement	La date de prélèvement	Paramètres analysés
PI : eau épurée	P1 :27/05/2018	Paramètre physico-chimique PH, T°, MES, DBO ₅ , DCO, nitrate, sulfate, calcium, magnésium, chlorure, bicarbonate.

III-2-2-2- Les analyses physico-chimiques

Pour chaque prélèvement d'échantillon, des mesures in situ sont effectuées, afin de déterminer certaines caractéristiques très sensibles aux conditions du milieu, comme la température, le pH et l'oxygène dissous.

a- La température

✓ Mode opératoire

La température a été mesurée à l'aide d'un thermomètre de type Tempé Mètre. PDO-408). On plongeant l'électrode à environ 15cm de profondeur pendant 10 minutes et on prend la valeur affiché, le résultat est exprimé en degré Celsius (°C).

b-Le potentiel hydrogène (pH)

✓ Principe

C'est la différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence plongeant de même solution. Le potentiel de l'électrode est lié à l'activité des ions H⁺(Rodier et al., 2009).

✓ Mode opératoire

Les mesures du pH sont effectuées à l'aide d'un pH-mètre de type Lovibond-pH-110. L'eau à examiner sera amenée au contact de l'électrode par circulation. La lecture est faite après stabilisation de la valeur affichée du pH.

c-Les matières en suspension (MES)

✓ Principe

Les matières en suspension sont obtenues soit par filtration des effluents peu chargés, Soit par centrifugation des solutions, séchage jusqu'à l'évaporation total d'eau

(Rodier et al., 2009).

✓ Mode opératoire

En utilisant la méthode de la filtration :

- On prend une membrane GFC (Glass Microfibercircles) et la marquer avec précaution pour ne pas l'abimer .
- Peser la membrane et noter sa masse à vide M_0 .
- Placer la membrane sur la rampe de filtration .
- Bien agiter l'échantillon .
- Prélever un volume de l'échantillon et le transvider sur la membrane (on prend 250ml pour l'eau épurée et 25 pour l'eau brute) on utilise la pompe à vide pour accélérer le mécanisme de la filtration .
- Récupérer la membrane après la filtration, puis la placer dans une étuve à 105°C pendant 2h30mn pour enlever l'excès d'eau .
- Peser de nouveau la membrane, après séchage, puis noter sa masse M_1 .

✓ Expression des résultats

Le rapport entre la différence des masses et le volume filtré donne la concentration des

Matières en suspension dans l'échantillon. On applique la formule suivante :

$$C_{MES} = (M_1 - M_0) \cdot 1000 / V$$

- C_{MES} : concentration des MES en mg/l .
- M_0 : masse de la membrane avant filtration .
- M_1 : masse de la membrane après filtration .

- V : volume d'échantillon filtré.

d-La demande biologique en oxygène (DBO₅)

✓ Principe

La détermination de la DBO₅ consiste à mesurer la consommation d'oxygène par voie biologique à une température constante égale à 20°C, pendant un temps limité, par convention 5 jours (Ouali, 2001, in Benaïr, F, 2017).

La réduction de l'oxygène au niveau d'une cathode convenable engendre un courant proportionnel à la pression partielle d'oxygène dans la solution (Rodier, 1996).

✓ Mode opératoire

A l'aide d'un DBO mètre de type Lovibond. Pour l'eau épurée :

Dans un flacon à DBO amené à un barreau magnétique on met 428ml d'eau à analyser, puis on ajoute dix gouttes de l'inhibiteur de nitrification, dans le joint caoutchouc on ajoute trois gouttes de l'hydroxyde de potassium, on place la sonde DBO sur le flacon et incubé le mélange à 20°C pendant cinq jours à l'obscurité.

✓ Expression des résultats

Les résultats sont exprimés en (mg /l).

e-Dosage des différents types d'anions et cations

❖ Les nitrites

✓ Principe

On réalise la diazotation de l'acido-4-aminobenzène sulfonamide par les nitrites en milieu acide et sa copulation avec le dichlorure de N-1 Naphtyle éthylène diamine donne un complexe coloré pourpre (Rodier, 1996).

La lecture des densités optiques est effectuée pour $\lambda = 543 \text{ nm}$.

✓ Mode opératoire

- Prendre 50 ml d'eau à analyser ;
- Ajouter 1 ml du réactif mixte ;
- L'apparition de la coloration rose indique la présence de NO_2^- $\lambda = 543 \text{ nm}$. (Rodier, 1996).

❖ **Les nitrates (NO₃⁻)**✓ **Principe**

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosalicylate de Sodium, coloré en jaune susceptible d'un dosage spectrométrique (**Rodier et al., 2009**).

✓ **Mode opératoire**

On introduit dans un bécher, 10ml d'eau à analyser et 1ml de salicylate de sodium, le mélange est amené à une évaporation à 75°C jusqu'à la vaporisation total du liquide. Après refroidissement, on ajoute 2ml d'acide sulfurique, la solution est alors laisser au repos pendant 10 min pour le déroulement total des réactions. On ajout 15 ml d'eau distillée et 15 ml de la solution de tartrate de Na OH. Après 10 min de repos finalement obtenue est passée au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 415 nm (**Rodier, 1996**).

✓ **Expression des résultats**

Pour une prise d'essai de 10 ml, la courbe donne directement la teneur en azote nitrique exprimée en milligramme par litre d'eau. Pour obtenir la concentration en nitrate (NO₃⁻), on multiplie ce résultat par 4,43.

❖ **Les sulfates (SO₄⁻²)**✓ **Principe**

Les ions des sulfates (SO₄⁻²) sont précipités à l'état de sulfate de baryum et évalués Granulométriquement (**Rodier, 1996**).

✓ **Mode opératoire**

En utilisant la méthode gravimétrique, Soit (P) le poids de sulfate de baryum trouvé. La pesée est obtenue par la méthode différentielle (**Rodier et al, 2009**).

- Ajoute 100 ml d'eau à analysé ajouter 5 ml HCl (10%) .
- Chauffer la solution jusqu'à l'ébullition en agiter constamment pour éviter les projections .
- Ajouter goutte à goutte 20 ml de chlorure de baryum à 10% .
- Prolonger l'ébullition à 10 minutes sans interrompre l'agitation .

- Laisser reposer puis filtrer la solution .
- Laver le précipité bien par l'eau distillé bouillante et laver par l'éthanol .
- Prélever le papier à filtre et disposer dans un creuset, puis disposer dans le four à calcination pour la dessiccation total .
- Laisser refroidir et peser.

✓ **Expression des résultats**

Pour une prise d'essai de 100 ml : (SO_4^{2-}) (mg /l)= P x 10x 0,41155.

❖ **bicarbonates (HCO_3^-)**

✓ **Principe**

C'est la détermination des volumes successifs d'acide fort en solution diluée qui est nécessaire pour neutraliser un volume d'eau à analyser à un pH variant de 4,3 à 8,3. La première détermination sert à calculer le titre alcalimétrique (TA), la seconde à calculer le titre alcalimétrique complet (TAC).

✓ **Mode opératoire**

Prendre 100 ml d'eau à analyser, noter son pH puis titrer avec HCl à 0,1 N jusqu'à l'obtention d'un pH de 4,3 (**Rodier, 1996**).

✓ **Expression des résultats**

$(\text{HCO}_3^-) = (\text{VA} \times \text{CA} \times \text{M}(\text{HO}_3^-)) \times 100/\text{PE}$.

- VA : volume d'acide versé
- CA : normalité d'acide versé ;
- M (HO_3^-) : masse des bicarbonates (HCO_3^-) ;
- PE : prise d'essai

❖ **La dureté de l'eau**

La dureté ou titre hydrométrique (TH) d'une eau correspond à la somme des Concentrations en cations métalliques à l'exception de ceux des métaux alcalins et de l'ion hydrogène. Dans la plupart des cas la dureté est surtout due aux ions calcium et magnésium

auxquels s'ajoutent quelque fois les ions de : fer, aluminium, manganèse et strontium. La dureté totale s'exprimée en Ca CO_3 (mg/l) (Rodier et al, 2009).

✓ **Expression des résultats**

La dureté s'exprimée en CaCO_3 (mg/l), est égale à $(V_1+V_2) \times 1000/50$.

- V_1 : volume de dosage du calcium .
- V_2 : volume de dosage du magnésium.

❖ **Le calcium (Ca^{++})**

✓ **Principe**

Le calcium est dosé avec une solution aqueuse d'E.D.T.A, à pH compris entre 12 et 13. Ce dosage se fait en présence de Murexide. L'E.D.T.A réagit tout d'abord avec les ions des calciums libres, puis avec les ions calciums combinés avec indicateur qui varie alors de la couleur rouge à la couleur violet (Rodier, 1996).

✓ **Mode opératoire**

Ajouter 50 ml d'eau à analyser, sont ajouté 1 ml de NaOH à 2N, puis du Murexide, et titrer avec l'E.D.T.A, jusqu'au virage « violet », puis notée (V_1) (Briki, 2010, in Benouirra, F, 2017).

✓ **Expression des résultats**

Pour une prise d'essai de 50ml la teneur en calcium est égale à :

$$\text{Ca (mg /l)} = V_1 \times 0,4008 \times 1000/25$$

❖ **Le magnésium (Mg^{++})**

✓ **Principe**

Le magnésium est dosé avec une solution aqueuse d'E.D.T.A, ce dosage se fait en présence de noir eriochrome. L'.D.T.A. réagit tout abord avec les ions du magnésium libre, puis avec les ions magnésium combiné avec d'indicateur qui vire alors de la couleur violet à la couleur bleu (Rodier, 1996).

✓ **Mode opératoire**

Ajouter 50ml d'eau à analyser, on ajoute 1 ml de $\text{NH}_4 \text{OH}$ de pH égale à 10,1, puis 2 ou 3 gouttes de noir eriochrome et on titre avec l'E.D.T.A. jusqu'au virage bleu puis notée (V1) (Briki, 2010, in Benouirra, F, 2017).

✓ **Expression des résultats**

Pour une prise d'essai de 50ml la teneur en magnésium est égale à :

$$\text{Mg (mg /l)} = V_2 \times 0,243 \times 1000/25.$$

❖ **Le chlorure (Cl)**

✓ **Principe**

Les chlorures sont dosés en milieu neutre, par une solution titrée de nitrate d'argent en présence du chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate d'argent (Rodier et al., 2009).

✓ **Mode opératoire**

Prendre 50ml d'eau à analyser, ajouter 2 ml de ($\text{K}_2 \text{CrO}_4$) (coloration jaunâtre) puis titrer les avec le nitrate d'argent (AgNO_3) 0,01N jusqu'au virage brunâtre.

✓ **Expression des résultats**

La concentration des chlorures dans l'eau est donnée par la formule suivante :

$$\text{Cl}^-(\text{mg /l}) = V_{\text{AgNO}_3} \times N_{\text{AgNO}_3} \times M_{\text{Cl}}/\text{PE}.$$

V_{AgNO_3} = volume d' AgNO_3 nécessaire pour le dosage de l'échantillon.

N_{AgNO_3} = Normalité d' AgNO_3 .

M_{Cl} = Masse des chlorures.

Chapitre VI

Résultats et discussions

VI-1- Etude du sol

Les résultats d’analyse du sol des parcelles irriguées par les eaux usées épurées, et ceux non irrigués sont illustrés comme suit :

VI-1-1- Caractéristiques physiques

VI-1-1-1- Granulométrie

L’étude granulométrique des sols des parcelles étudiées a permis de déterminer la texture de chaque sol (tableau 19 et figure 20). Il s’agit d’un sol limono-argileux dont la proportion du limon et limon +argile est plus importante dans le sol irrigué par les eaux de pluie que celui irrigué par les eaux usées épurées de la station d’épuration de M’sila. Ce qui reflète la nature pédologique de la zone d’étude.

Tableau 19 : Résultats de l'analyse granulométrique.

Nature du sol	Proportion d’élément (%)			
	Sable	Argiles	Limons	Texture
Irrigué par eaux épurées	55	30	15	Limono- argilo- sable
Irrigué par eaux des pluies	28.5	11.5	60	Limoneux -argileux-fin

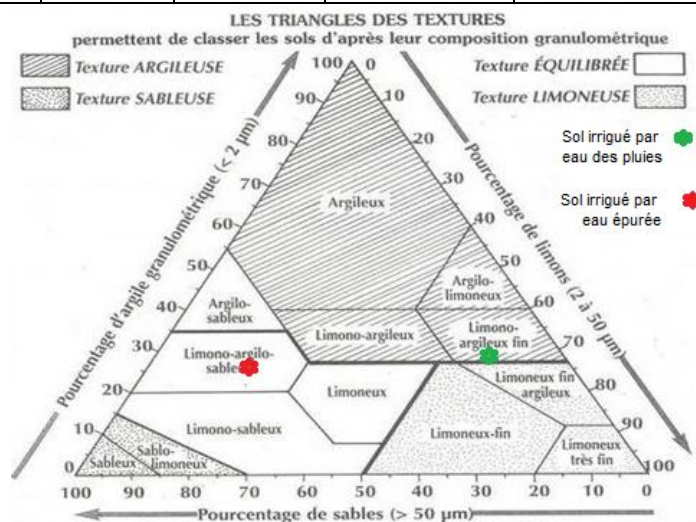


Figure 20: Représentation des pourcentages calculés sur le triangle textural des sols étudiés.

VI-1-2- Caractéristiques chimiques

VI-1-2-1-Le pH

Tableau 20:Résultats d'analyse du pH_{eau} et pH_{KCL} .

Type de sol	pH_{eau}	pH_{Kcl}
Sol irrigué par eaux épurées	8.29	7.7
Sol irriguée par eaux des pluies	8.19	7.8

Les résultats d'analyse des valeurs du pH de l'eau et celle de la solution du sol montrent que:

- ✓ Les valeurs du pH de l'eau dans le sol sont généralement basique ($pH > 7$).
- ✓ le pH de la solution du sol (Sol+eau) est inférieur mais reste toujours basique (pH environ 7,7).

Ces valeurs reflètent l'alcalinité des sols des régions arides ($7,5 > pH > 8,5$) (**HAFOUA, 2005 in Gadda,2013**).

VI-1-2-2- Conductivité électrique

La conductivité électrique permet d'obtenir une estimation de la teneur globale en sels dissous, elle ne s'applique qu'aux terres salées et aux terres à taux de fertilisation très élevé. De plus, elle est nécessaire pour l'étude du complexe adsorbant des sols salés (**Aubert, 1975**).

Tableau 21: Les résultats de la conductivité électrique (CE).

Type de sol	CE (ms/cm)
Sol irrigué par eaux épurées	2.23
Sol irriguée par eaux des pluies	1.04

Les valeurs trouvées indiquent que la conductivité électrique est plus élevée dans le sol irrigué par les eaux épurées, elle est presque 02 fois plus à celle mesurée dans le sol irrigué directement par les eaux de pluie.

Ce qui montre que la présence des ions (sels solubles) est plus importante dans le sol irrigué par les usées épurées.

VI-1-2-3-Calcaire total et actif

Le calcaire total permet de donner une information sur le taux du gaz du dioxyde de carbone (CO₂) dégagé.

Le calcaire actif correspond au calcaire fin facilement solubilisé au contact d'une solution d'oxalate d'ammonium ce calcaire fin se transforme en oxalate de calcium insoluble.

Les résultats du calcul du calcaire total et actif sont mentionnés dans le tableau 22 ci-après.

Tableau 22 : Calcaire total et actif des sols étudiés.

Type des sols	Calcaire actif (%)	Calcaire totale (%)
Sol irrigué par eaux épurées	97.28	28.64
Sol irrigué par eaux de pluies	104	32.03

Le pourcentage du calcaire actif et total dans la solution du sol montre qu'il est élevé dans le sol irrigué par les eaux de pluie que dans celui irrigué par les eaux usées épurées.

VI-1-2-4- Le carbone organique et matière organique

Les résultats de calcul du carbone et de la matière organique dans les sols étudiés sont mentionnés dans le tableau 23

Tableau 23 : Résultats du carbone et matière organique dans les sols étudiés.

Type de sol	Carbone organique (%)	Matière organique (%)
Sol irrigué par eaux épurées	0.89	1.54
Sol irriguée par eaux des pluies	0.58	1.005

D'après le tableau 23, le taux du carbone organique et par conséquent la matière organique est élevé dans le sol irrigué par les eaux usées épurées. Ce qui révèle que les eaux usées épurées donnent une certaine fertilité aux sols.

VI-1-2-5- Les sels solubles

Les sels solubles sous forme d'ions contenus dans la solution du sol sont donnés au tableau suivant:

Tableau 24: Résultats des ions présentent dans la solution du sol.

Type de sol	Les cations (mg/l)			Les anions (mg/l)		
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺ +k ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻
Sol irrigué par eaux épurées	26.61	7.32	6.98	45.27	18.93	2.11
Sol irriguée par eaux des pluies	21.22	3.3	17.44	22.44	17.22	1.58

Les résultats du tableau 25 ci-dessus montrent que les ions Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻ et HCO₃⁻ ont des valeurs élevés dans le sol irrigué par les eaux usées épurées . Cela est du principalement à la présence de ces ions dans les eaux usées épurées (conséquence des couches traversées par cette eau)

VI-1-2-6- SAR (Sodium Absorption Ration)

Il s'agit d'un paramètre fondamental pour déterminer le niveau d'alcalinisation de la solution du sol.

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})/2} ; (\text{Na}^{++}, \text{Mg}^{++}, \text{Ca}^{++}) \text{ méq/l.}$$

Les valeurs de SAR obtenues dans les résultats sont liées aux concentrations de Na⁺⁺, Mg⁺⁺, et Ca⁺⁺.

Les résultats obtenus montrent des variations entre les valeurs moyennes de SAR, qui sont comprises entre 9,02 dans les parcelles non irriguées et 4,57 dans les parcelles agricoles irriguées par les eaux usées épurées.

De ce fait, selon **Servant et al, 1966 in Boutelli, 2012**), l'alcalinisation est moyenne dans la parcelle irriguée par l'eau épurée , et basse dans les parcelles irriguées par les eaux de pluie.

VI-2- Etude des eaux

VI-2-1- Résultats physico-chimique

Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux prélevées au niveau de la sortie de la station d'épuration des eaux usées sont résumés dans le tableau 25

Tableau 25: Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau épures de stations étudiées.

	Paramètre	Station de traitement	Normes Algériennes
	période	Mai	-
physiques	T (°C)	21 ,59	-
	pH	8,09	6,5<PH<8,5
	CE (ds/m)	3,838	3
	MES (mg/l)	86.33	30
Chimiques	Ca ⁺² (mg/l)	105,6	-
	Mg ⁺² (mg/l)	438,2	10
	Cl(méq/l)	4,43	10
	NO ₃ ⁻ (mg/l)	0,057	30
	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	34,24	8,5
	DBO ₅ (mg/l)	08	30
	DCO (mg/l)	/	90

VI-2-2-Propriétés chimiques

Tableau 26: Bilan ionique des analyses des eaux.

Type des eaux	Les anions (meq/l)			Les cations (meq/l)		
	HCO ₃ ⁻	CL ⁻	SO ₄ ⁻²	NA ⁺ +K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
Les eaux épurées	34.24	4.43	24.62	18.253	105.6	438.2

Les résultats obtenus montrent qu'il y a une diminution des ions des eaux usées après traitement.

VI-2-3- Propriétés physico-chimiques

Tableau 27: Paramètres physico-chimiques des eaux.

Type des eaux	T°c	pH	CE (ms/cm)
---------------	-----	----	------------

Les eaux épurées	21.59	8.09	3.838
------------------	-------	------	-------

On remarque dans ce tableau que la valeur du pH dans les EUE (8,09) répond à la norme de rejets national (tableau 27).

La valeur de la conductivité électrique dépasse les normes, avec une valeur de 3,838 ms/cm.

VI-2-4- Paramètres biologiques

Tableau 28 : Paramètres biologique des eaux.

Type des eaux	O ₂ mg/l	DCO mg/l	DBO ₅ mg/l	MES mg/l
	4.54	/	155.00	86.33

La valeur de MES (86.33 mg/l) est supérieure à la norme de rejet qui est de (35 mg/l), Par contre aux valeurs d'oxygène dissous et de DBO5 sont inférieures aux normes de rejets (tableau 28).

Conclusion Générale et recommandations

Conclusion générale

De part sa situation géographique, l'Algérie est un pays sec, aux faibles ressources hydriques. La recherche de ressources non conventionnelles comme les eaux usées traitées et d'alternatives pour une utilisation plus efficace et présente des effets positifs sur la richesse du sol en éléments fertilisants, ainsi que des effets négatifs, à savoir la salinisation des horizons, dégradation de la qualité de sol liés aux qualités physico-chimiques des EUT (**Hartani, 2004**).

La réutilisation des eaux usées épurées est une action volontaire et planifiée qui vise la production de quantités complémentaires en eau pour différents usages. Aujourd'hui la stratégie nationale du développement durable en Algérie se matérialise particulièrement à travers un plan stratégique qui réunit trois dimensions à savoir : Sociale, Economique et Environnementale.

Cette étude avait donc pour objet de notre étude est d'examiner l'effet de l'utilisation des eaux usées épurées dans l'irrigation des terres agricoles aux alentours de la station d'épuration de la ville de M'sila.

Les résultats d'analyse des deux échantillons du sol est :

- ✓ Les résultats d'analyse des valeurs du pH de l'eau et celle de la solution du sol montrent que:
 - ✓ le pH de la solution du sol (Sol+eau) est inférieur mais reste toujours basique (pH environ 7,7) ce qui reflète l'alcalinité des sols des régions arides ($7,5 < \text{pH} < 8,5$) (**HAFOUDA, 2005**).
 - ✓ la conductivité électrique est plus élevée dans le sol irrigué par les eaux épurées, elle est presque 02 fois plus à celle mesurée dans le sol irrigué directement par les eaux de pluie.
 - ✓ Le pourcentage du calcaire actif et total présente dans la solution du sol montre qu'il est élevé dans un sol irrigué par les eaux de pluie que dans le sol irrigué par les eaux usées épurées.
 - ✓ le taux du carbone organique et par conséquent la matière organique est élevé dans le sol irrigué par les eaux usées épurées . Ce qui révèle que les eaux usées épurées donnent une certaine fertilité aux sols.

- ✓ Les ions Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- et HCO_3^- ont des valeurs élevés dans le sol irrigué par les eaux usées épurées . Cela est du principalement à la présence de ces ions dans les eaux usées épurées (conséquence des couches traversées par cette eau)
- ✓ valeurs moyennes de SAR, sont comprises entre 9,02 dans les parcelles non irriguées et 4,57 dans les parcelles agricoles irriguées par les eaux usées épurées.

S'intéressant aux effets de salinisation par l'irrigation des eaux usées épurées, le présent travail a montré que sur un sol , l'utilisation des eaux usées épurée a provoqué une augmentation des sels mais elles demeurent toujours dans une fourchette acceptable et ne met pas en danger les cultures pratiquées.

Pour une meilleure utilisation des eaux usées épurées, une des mesures prises consiste à assurer un suivi périodique et régulier de l'utilisation de ces eaux. Un tel suivi est sanctionné par une évaluation de leur impact sur le sol et une recherche de solutions pour résoudre les éventuels problèmes qui peuvent se poser.

Référence bibliographique

Référence bibliographique

- Aubert G, 1975.** Les sols sodiques en Afrique du Nord. Annale de l'INA, Alger, 185-195.
- Baumont S, Camard J-P, Lefranc A, Franconie A, (2004) .** Réutilisation des eaux usées: risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Rapport ORS, 220p
- Belaid, 2011.** Evaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du périmètre irrigué d'El Hajeb-Sfax: salinisation, accumulation et phytoabsorption des éléments métalliques, 5-26.
- Benaouira , F. 2017.** Evaluation de la qualité physique-chimique et bactériologique des eaux usées épurées destinées à l'irrigation ,
- Biase, D, 2000 .** Guide des analyses en pédologie, techniques et pratique, Ed INRA Paris.
- Boutelli, M. 2012.** Salinité des eaux et des sols au niveau de la Sebkhha de Bamendil, caractérisation et conséquences sur l'environnement, mémoire magister en hydrologie, Ouargla, Algérie.
- Clement, M .1997.**Analyse physique des sols, 3^e édition , Paris, 68-69 p.
- Clement.M et Pieltain.F, 2003.** Analyse chimique des sols, méthode choisies. Ed. TEC, Paris
- Daddi Bouhoune M. et Hamdi AISSA B., 2008.** Travaux pratique d'écopédologie. Université de Kasdi Merbah Ouargla.
- Duchaufour, 2001.** Introduction à la science du sol ,6^e édition , Paris ,81-82 p.
- DSA,(2017).**(direction des surfaces agricoles),les cartes pédologique de la wilaya de M'sila.
- FAO ,2003.** L'irrigation avec des eaux usées traitées : Manuel d'utilisation, p 73.

Référence bibliographique

Honoraire, 2003. Le sol ,propriétés et fonctions ,Tom 2 , Phénomènes physique et chimiques applicatios agronomiques et environnementales,France , 277-283p.

Houérou H, N, claudin J, Haywood N. et Donadieu J , 1975 . Etudes des ressources naturelles et expérimentation et démonstration agricoles dans la région du Hodna, Algérie. Etude phytoécologique du Hodna Volume 1 PNUD-FAO,Rome , Cartes.

INSA,(2005-2006) Institut national des sciences appliquées de Toulouse
Département de sciences et technologies pour l'ingénieur.

INSID , 2011. Institut national des sols de l'irrigation et du drainage.Cartes .

Gadda,N. (2013). Impacts des eaux usées épurées sur les propriétés physicochimiques des sols dans la région de Ouargla. Mémoire de master académique, 22-30p.

Kasmi,S.(2017).Caractérisation des soles salés aux alentours de la régions Nord-orientatale de la zone humide d'importance internationale de chotte el hodna (Norde Est d'algerie,27-28p

J,O,Journal officiel (2012).Les norme algerienne,14p.

Lazarova ,V, et Brissaud , F, 2007. Intérêt, bénéfices et contraintes de la réutilisation des eaux usées en France, L'eau, l'industrie, les nuisances N° 299.

ONA,(2018). Liste des cultures pratiquées avec surfaces.

Rejesk, F, (2005), « Analyse des eaux ; aspects réglementaires et techniques », centre régional de documentaires techniques pédagogique d'aquitaine .

Rodier *et al.* 1996) « L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer ». 8^{ème} édition, DUNOD, PARIS.

Rodier J, 2009. « (L'analyse de l'eau » 9^{ème} édition, Dunond, Paris.

Tarmoul F, Sodi M ;2007. Mémoire, « Détermination de la pollution résiduelle d'une station d'épuration par lagunage naturel ». Tribune de l'eau n° :563/3. Ed. Cebedoc, p: 27-32.

Xanthoulis , D. 1993. Valorisation agronomique des eaux usées des industries agroalimentaires.

Référence bibliographique

Résumé

L'utilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles est devenue une politique préoccupante du secteur des ressources en eau. L'objectif de notre travail est d'évaluer l'impact de l'irrigation des sols de la plaine de Msila à partir des eaux usées épurées.

L'irrigation par les eaux usées épurées présente des effets positifs sur la richesse du sol en éléments fertilisants ainsi que des effets négatifs à savoir la salinisation des horizons de surface de sol et influent sur les propriétés physico-chimiques du sol.

Pour une meilleure utilisation des eaux usées épurées, un suivi régulier doit être assuré par une évaluation de leur impact sur le sol.

Mot clés : les eaux usées épurées, réutilisation, propriétés physico-chimiques du sol.

Abstract

The use of agricultural purposes has become a worrying policy for the water resource sector. The aim of our study was to evaluate the impact of SOI on the physico-chemical properties in the region of M'sila.

The irrigation by treated waste water has positive effects on the rich soil of nutrients as well as negative effects on the salinization of surface horizons of soil and affect the physico-chemical properties of soil effects.

For a better use of treated waste water monitoring is sanctioned by an assessment of their impact on the soil.

Keyword: the treated waste water reuse, physico-chemical properties of soil.

المخلص:

قد أصبح استخدام مياه الصرف الصحي للأغراض الزراعية سياسة يهتم بها قطاع الموارد المائية. وكان الهدف من دراستنا تقييم تأثير مياه الصرف الصحي المعالج على الخواص الكيميائية على منطقة المسيلة.

الري بواسطة مياه الصرف الصحي المعالج له آثار إيجابية على التربة الغنية بالمواد العضوية وكذلك سلبية الملوحة أفاق سطح التربة وتؤثر على الخواص الفيزيائية والكيميائية للتربة. لاستخدام أفضل يجب مراقبة مياه الصرف الصحي المعالجة من قبل تقييم أثارها على التربة.

الكلمات الدالة: إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة, والخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة.