

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Abbès Laghrour Khenchela
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département d'Ecologie et Environnement



MEMOIRE FIN D'ETUDE

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER

FILIERE : ECOLOGIE ET ENVIRONNEMENT

OPTION : Protection des écosystèmes

Réalisé Par : IGOUBANE Nora et ABIDI Sara

THEME

Evaluation de la qualité des eaux usées traitées pour des fins agricole et le fonctionnement de la station d'épuration de la ville de Khenchela.

Soutenu publiquement le : 28/06/2017

Devant le jury :

Président : M. DAIFALLAH Tarak MAA Université Abbés Laghrour Khenchela

Encadreur : M. AOUIDANE Liache MAA Université Abbés Laghrour Khenchela

Examineur : M. Boulaabaiz Mahrez MAA Université Abbés Laghrour Khenchela

Promotion : 2016-2017

Remerciement

Nous remercions le bon Dieu tout puissant de nous avoir accordé volonté et patience dans l'accomplissement de ce travail.

Après :

Nos remerciements vont à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail en particulier :

A Mr Aouïdane Laïche, pour avoir accepté de nous encadrer et de nous diriger, qu'il trouve ici l'expression de notre profonde gratitude.

A Mr. DaïfAllah Tarek pour l'honneur qu'elle nous a fait en présidant le jury de notre mémoire

A Mr. Boulaabaïz Mahraz Pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous n'oublions pas nos parents pour leur contribution, leur soutien et leur patience.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui m'ont toujours soutenue et encouragée au cours de la réalisation de ce mémoire.

Merci à tous et à toutes.

Dédicace

Grâce à Dieu, le tout puissant, j'ai accompli ce travail dans l'effort et l'abnégation : je dédie cette modeste contribution scientifique.

Aux deux êtres les plus chères au monde, Mon père mon idole dans la vie et À la plus belle créature que Dieu a créée sur terre, À cette source de tendresse, de patience et de générosité,

À ma mère le soleil de mes jours.

Que Dieu leur procure bonne santé et longue vie.

À mon frère Rafiq et ses deux filles Heba AL Rahman et Jomana

À mes chère sœur : Rafika et Samira

À ma chère sœur : Samra et ses filles Malak, Dossa et Loujéine

À ma chère amie ma sœur : Samra B.

À mon fiancé Djamel

À toute ma famille

À tout la promotion de protection d'écosystème 2017 surtout Salma, Souad, Afaf, Fatma, Sara et Zohor

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.

Nora

Dédicace

Je dédie ce mémoire :

A mon père ;

A ma mère ;

A mes frères : sabre, Ammar, Abbès, Yossef ;

A mes sœur ; Rachida et Chaimaa

A tous mes amis, surtout : Salma, Souad, Afaf et Laila ;

A tous ceux que j'aime.

SARA

Liste des abréviations

MES: Matière en suspension

ONA : office national d'assainissement

DBO: demande biochimique d'oxygène

DCO: demande chimique d'oxygène

COT: carbone organique total

TOD: demande totale en oxygène

CET: centre d'enfouissement technique

STEP: station d'épuration des eaux usées

NTK: Azotes Kjeldahl

NGL: Azotes global

PT : Le Phosphore Total

EUT : eau usée traitée

PH: potentiel d'hydrogène

CE : conductivité électrique

NO_3^- : nitrate

NO_2^- : Le dioxyde d'azote

NH_4^+ : ammonium

PO_4^{3-} : phosphate

SAR: Sodium Adsorption Ratio.

JORA : Journal Officiel de la République Algérienne ;

OMS : Organisation mondiale de la Santé ;

FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations (L'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture)

MS : Micro Siemens

NPK : Azote phosphore potassium

EUE : eau usée épurée

EP : eau d'une puits

T° C : température degré Celsius

Liste des Figures

N°	Titre	Page
01	Traitement des eaux usées domestiques.	8
02	Température moyenne mensuelle d'El Hamma (2005-2015).	27
03	Variation des températures mensuelles à la station (max, min, et moye) de la station d'Al Hamma pendant la période (2005- 2015).	28
04	Variation des précipitations annuelles à la Station d'Al Hamma (2005-2015).	29
05	Précipitation moyenne mensuelle d'El Hamma (2005-2015).	30
06	Diagramme Ombrothermique d'El Hamma (2005- 2015).	31
07	Climagramme d'Emberger de la station d'AL Hamma (2005-205).	34
08	Moyenne pluriannuelle des éléments climatiques à la station El Hamma (2005-2015).	39
09	Diagramme de la variation de la RFU, du déficit et de l'excédent à la station d'El Hamma (2005-2015).	39
10	situation géographique de la wilaya de khenchela.	41
11	Histogramme de l'évolution de la population de la ville de khenchela 1987-2008	42
12	Aperçu générale de la station de Khenchela. (STEP).	44
13	Schéma l'acheminement des eaux usées vers la STEP de Khenchela.	44
14	Variation du Température des eaux brute et traitées de STEP de khenchela	48
15	Variation de pH des eaux brute et traitées de STEP de khenchela	48
16	Variation de MES des eaux brut et épurée de STEP de khenchela.	49
17	Variation de conductivité électrique des eaux usée brute et épurée de STEP de khenchela	50
18	Variation de L'oxygène dissous des eaux usée brute et épurée de STEP de khenchela	51
19	Résultats d'analyse composante principale des eaux usées de l'entrée de station de khenchela	52
20	Diagramme de Peper et Schoeller Berkallof des eaux épurées ville de Khenchela.	55
21	Diagramme de Wilcox et Riverside (SAR/CE) des eaux traitées de la station de khenchela	56
22	Diagramme de Wilcox (Na%/CE) des eaux traitées de la station de Khenchela	56

Liste des Tableaux

N°	Titres	Page
01	Normes de réutilisation des eaux usées épurées.	17
02	Directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation d'après la FAO.	18
03	Résultats du bilan ionique des EUE et EP utilisées pour l'irrigation.	20
04	Classes de qualité de l'eau d'irrigation	21
05	Classification des eaux par degré d'aptitude à l'irrigation (méthode de SAR)	22
06	Système coordonnées géographiques de la station d'Al Hamma	26
07	Température moyenne mensuelle d'El Hamma (2005-2015)	27
08	La répartition des températures moyenne (max, min, et moye) de la station d'Al Hamma pendant la période (2005- 2015)	28
09	Variation des précipitations annuelles à la Station d'Al Hamma. (2005-2015)	29
10	Précipitation moyenne mensuelle d'Al Hamma (2005-2015)	30
11	Donnée Pluviothermique d'El Hamma (2005-2015)	31
12	Indices d'aridité mensuels. D'Al Hamma (2005-2015)	33
13	Coefficient pluviométrique d'Emerger. D'Al Hamma (2005-2015)	34
14	bilan hydrique à la station d'Al Hamma (2005-2015)	38
15	évolution de population de la ville de kenchela (1987-2008)	42
16	Les méthodes utilisées pour le dosage des ions dans les eaux épurées de STEP kenchela.	45
17	Paramètres physicochimiques d'échantillons d'eau rejetée dans la nature de station d'épuration Kenchela Ville	46
18	Les caractéristiques physico-chimiques des eaux usées brutes et traités	47
19	Matrice corrélation des eaux usées à la rentrée de station de Kenchela.	52

Table des Matières

Introduction	1
Chapitre 1 : Généralité sur les eaux usées	
1. Origines des eaux usées	5
1.1. Les eaux usées domestique	5
1.2. Les eaux usées industriel	5
1.3. Les eaux agricoles	5
1.4. Les eaux usées pluvial	6
2. Composition des eaux usées	6
2.1. MES	6
2.2. Micro polluant organique, métallique	6
2.3. Substances nutritives	7
2.4. Qualité micro biologique	8
3. Epuration des eaux usées	8
3.1. Les déférentes étapes d'épuration des eaux usées	9
3.1.1. Les Prés traitements	9
3.1.2. Traitement primaire	9
3.1.3. Traitement secondaire	10
3.1.4 .Le traitement tertiaire	11
4. Analyse de la qualité des eaux après traitement	12
4.1. Les paramètres physico-chimiques	12
4.2. Les paramètres microbiologiques	13
Chapitre 2 : Qualité des eaux usées traité destiné a l'irrigation	
1. Historique de réutilisation des eaux usée traité à l'irrigation	15
2. Critères de qualité des eaux usées pour l'irrigation	17
2.1. Les fertilisants dans les eaux usées traitées	19
2.1.1. Azote	19
2.1.2. Phosphore	19
2.1.3. Potassium	19
2.2. Salinité	20
3. Les risques liés à la réutilisation agricole des eaux épurées	22
3.1. Le risque sanitaire	22
3.2 .Le risque technique	23
3.3. Les risques agronomiques et environnemental	23
3.3.1. Effets sur le sol	23
3.3.2. Effet sur les eaux superficielles	24
3.3.3. Effet Sur la nappe phréatique	24
Chapitre 3 : Etude climatologique	
1. Paramètres climatiques	26
1.1. Température	26
1.2. Les précipitations	27

1.2.1. Les Précipitations annuelles et leurs variabilités	28
1.2.2. Les précipitations mensuelles	29
2. Synthèse Climatique	30
2.1. Diagramme Ombrothermique de Gaussen	30
2.2. Indice d'aridité de Martonne	31
2.3. Le diagramme de Louis Emberger	33
2.4. Le bilan hydrique	35
2.4.1. L'évaporation	35
2.4.2. Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP)	35
2.4.2.1. Formule de Turc	35
2.4.2.2. Formule de Thornthwaite	36
2.4.3. Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR)	36
2.4.3.1. Méthode de Turc	37
2.4.3.2. L'ETR selon la C.W.Thornthwaite	37
2.4.3.3. Formule de M. Coutagne	37
2.4.4. Estimation de la RFU (réserve facilement utilisable)	37
Chapitre 4 : étude de qualité de l'eau usée épurée de STEP de kenchela pour des fins agricoles	
1. La présentation de la zone d'étude	41
1.1. La population	42
1.2. Délimitation de la zone d'étude « station d'épuration Kenchela »	43
1.2.1. Le rôle de la station de Kenchela	43
1.2.2. La quantité des effluents (eaux usées)	43
2. Matérielles et méthodes	45
2.1. Mode de prélèvement et Analyses	45
2.2. Calcul de d'indicateurs de la qualité de l'eau pour l'irrigation	46
3. Résultats et discussions	46
3.1. Evaluation de qualité des eaux et fonctionnement de la station d'épuration	47
3.1.1. température	47
3.1.2. Potentielle d'hydrogène (pH)	48
3.1.3. Matières en suspension (MES)	49
3.1.4. Conductivité électrique (CE)	49
3.1.5. L'oxygène dissous	50
3.1.5. Analyse statistiques des eaux usées de la station	50
3.2. Etude de la Qualité agricole des eaux usées traité de la station	52
3.2.1. Caractérisation chimique des eaux	53
3.2.2. Classification des eaux traitées	54
3.2.3. Paramètres de la Qualité agricole des eaux usées	57

Conclusion général	61
Référence bibliographique	64

Introduction Générale

Introduction

L'eau est la ressource naturelle essentielle. Malgré sa présence en grande quantité sur terre sous la forme d'eau salée, l'eau douce accessible et utilisable par l'Homme est beaucoup plus rare. En effet, elle ne représente que 0.001% de l'hydrosphère.

Dans les pays méditerranéens, il est urgent d'améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau, de mettre en œuvre des pratiques de gestion de la demande d'eau et d'augmenter les sources d'eau existantes avec des alternatives plus durables. De nombreuses solutions, modernes et traditionnelles, existent dans le monde entier pour des améliorations et des augmentations d'efficacité (Barcelo et Petrovic, 2011). La réutilisation des eaux usées a été de plus en plus importante dans la gestion des ressources en eau pour des raisons environnementales, économiques et sociales. À mesure que le développement urbain augmente dans le bassin méditerranéen, la quantité de déchets générés augmente également. Ces déchets constituent une grave menace pour la santé publique lorsqu'ils ne sont pas disposés de manière appropriée. L'utilisation d'eaux usées domestiques pour l'irrigation est avantageuse pour de nombreuses raisons, y compris la conservation de l'eau, la facilité d'élimination, l'utilisation des nutriments et l'évitement de la pollution des eaux de surface (Choukr-Allah, 2004.).

La réutilisation des eaux usées (waste water reuse) consiste en l'utilisation d'eaux usées plus ou moins traitées dans un objectif de valorisation (usage bénéfique). Les projets de réutilisation des eaux usées traitées (ONA) participent à la gestion intégrée des ressources en eau et à la préservation de l'environnement. Ils sont particulièrement stratégiques dans les pays arides et semi-arides de la région méditerranéenne où la pression sur les ressources en eau est forte. De plus, il y a concurrence entre les différents usages de l'eau, a fortiori dans un contexte de changement climatique (Condom et *al.*2012)

L'eau est une denrée de plus en plus rare en Algérie et de moins en moins renouvelable. Elle fait actuellement l'objet d'une exploitation concurrentielle entre les besoins de la population, ceux de l'agriculture et de l'industrie qui se disputent une disponibilité limitée. Cependant, elle est le réceptacle universel de tout type de pollution (Bourouache, 2015). La situation en Algérie se caractérise par une demande en eau croissante, alors que les ressources hydriques se raréfient d'une manière permanente pour l'agriculture. En revanche, la production des eaux usées s'accroît, et leur réutilisation se présente alors comme une première réponse à cette situation de pénurie d'eau pour l'irrigation (Gadda, 2013).

Les eaux usées sont une source précieuse de nutriments et de matières organiques (Al-Hamaiedeh et Bino, 2010.). Néanmoins, il peut contenir des constituants chimiques indésirables et des agents pathogènes qui posent des impacts environnementaux et sanitaires négatifs (Papadopoulos, 1995.). Parallèlement, un certain nombre de facteurs de risque ont été identifiés dans la réutilisation des eaux usées, dont certaines sont à court terme (par exemple, les agents pathogènes microbien) tandis que d'autres ont des impacts à plus long terme qui augmentent avec l'utilisation continue de l'eau recyclée (Ex. effets de salinité Sur le sol). Ainsi, de nombreuses lignes directrices ont été élaborées pour donner des critères de qualité et des conseils sur la façon dont les eaux usées traitées (effluents) devraient être réutilisées à des fins d'irrigation (WHO, 2006).

Cette étude fait intégrée dans la recherche évaluant l'impact de l'application des eaux usées pour des fins agricole. Les objectifs de cette étude sont d'aider à la gestion de l'irrigation des cultures par les eaux usées de la station d'épuration de la ville de Khenchela, à réduire la surexploitation des ressources en eaux souterraines locales et à améliorer sa recharge. Pour réaliser nos objectifs, nous somme dans l'obligation de passer par une caractérisation physico-chimique des eaux épurées de la station, et de caractériser la qualité de ces eaux pour des fins d'irrigation.

Dans le cadre de réalisé notre étude ont a proposé une structuration de mémoire comme suite :

- Un premier chapitre est consacré à la généralité et conception sur les eaux usées.
- Le deuxième chapitre est consacré sur les études de la qualité des eaux usées traité destiné à l'irrigation.
- Le troisième chapitre consacré à l'étude climatologique de la zone d'étude (Khenchela).
- Le quatrième chapitre c'est la partie pratique d'étude de qualité de l'eau usée épurée de STEP de Khenchela pour des fins agricoles.
- Pour se terminer par une conclusion générale

Chapitre 1: Généralité sur les eaux usées

Chapitre 1 : Généralité sur les eaux usées

Lorsque l'homme utilise l'eau il ne fait pas que la consommer, mais il en rejette une partie dans l'environnement. C'est ce que l'on appelle l'eau usée. Cette eau usée peut contenir différents polluants (Moulin et *al*, 2013).

Les eaux usées sont des liquides de composition hétérogène, chargés de matières minérales ou organiques pouvant être en suspension ou en solution, et dont certaines peuvent avoir un caractère toxique (Hugo, 2007). Les activités humaines, domestiques, agricoles et industrielles produisent toutes sortes de déchets et de souillures qui sont transportés par voie liquide. Ils sont susceptibles d'engendrer différentes sortes de pollution et de nuisance dans le milieu récepteur. Cet ensemble d'eau rejetée et de déchet constitue ce qu'on appelle les eaux usées (Rabeh, 2012).

1. Origine des eaux usées

Suivant l'origine et la qualité des substances polluantes, on distingue quatre catégories d'eaux usées ;

1.1. Les eaux usées domestiques

Ce sont les eaux usées qui proviennent des établissements et services résidentiels, produites essentiellement par le métabolisme humain et les activités ménagères (eaux ménagères et eaux de vannes) (Rabeh, 2012). Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau. Elles sont constituées essentiellement d'excréments humains, des eaux ménagères de vaisselle chargées de détergents, de graisses appelées eaux grises et de toilette chargées de matières organiques azotées, phosphatées et de germes fécaux appelées eaux noires (Metahri, 2012).

1.2. Les eaux usées industrielles

Ce sont les eaux usées qui proviennent de locaux utilisés à des fins industriels, commerciales, artisanales ou de services, leurs eaux de refroidissement de pompes à chaleur et de climatisation (Rabeh, 2012). Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus des matières organiques, azotées ou phosphorées, elles sont chargées en différentes substances chimiques organiques et métalliques (Elhachemi, 2012).

1.3. Les eaux usées issues d'agricoles

L'agriculture est une source de pollution des eaux non négligeable car elle apporte les engrais et les pesticides. Elle est la cause essentielle des pollutions diffuses. Les eaux agricoles issues de terres cultivées chargées d'engrais nitrates et phosphates, sous une forme ionique ou en

quantité telle, qu'ils ne seraient pas finalement retenus par le sol et assimilés par les plantes conduisent par ruissellement à un enrichissement en matières azotées ou phosphatées des nappes les plus superficielles et des eaux des cours d'eau ou des retenues (Metahri, 2012). Les eaux usées agricoles, sont des « eaux usées provenant d'établissements où sont gardés ou élevés des animaux entraînant une charge polluante globale inférieure à un chiffre maximal fixé par le gouvernement et qui ne sont ni des jardins zoologiques ni des ménageries permanentes » (Anonyme1, 2012).

1.4. Les eaux pluviales

Normalement les eaux pluviales ne sont pas forcément polluées, On entend par eaux pluviales, les eaux issues du ruissellement des toitures, des terrasses, des parkings et des voies de la circulation. Elles sont presque de même nature que les rejets domestiques, mais peuvent contenir en plus, des éléments toxiques (Tfyeche, 2014).

2. Composition des eaux usée

2.1. Matière en suspension et matière organique

Les matières en suspension (MES) sont, en majeure partie, de nature biodégradable. La plus grande part des microorganismes pathogènes contenus dans les eaux usées, est associée aux MES. Les particules en suspension peuvent, par définition, être éliminées par décantation. C'est une étape simple et efficace pour réduire la charge organique et la teneur en germes pathogènes des eaux usées. La présence de matière organique dans les eaux usées ne constitue pas, sauf cas très particulier, un obstacle à la réutilisation de ces eaux. Bien au contraire, elle contribue à la fertilité des sols (Blaid., 2010). La matière organique d'une eau usée peut être mesurée en effectuant des tests de laboratoire. Chacun de ces tests permet aussi d'évaluer l'ampleur de l'activité biologique de l'échantillon d'eau donnée. Parmi ces tests, on peut citer les tests de la demande biochimique en oxygène (DBO), la demande chimique en oxygène (DCO) et la mesure du carbone organique total (COT). D'autres tests tels que le test de la demande totale en oxygène (TOD) et celui de la demande théorique en oxygène ont aussi été utilisés dans le même but (Bandu, 1999).

2.2. Les micropolluants organiques et non organiques

Les micropolluants sont des éléments présents en quantité infinitésimale dans les eaux usées. La voie de contamination principale, dans le cas d'une réutilisation des eaux usées épurées, est l'ingestion. C'est la contamination par voie indirecte qui est généralement préoccupante. Ainsi, certains micropolluants, comme les métaux lourds ou les pesticides, peuvent

s'accumuler dans les tissus des êtres vivants, et notamment dans les plantes cultivées. Il peut donc y avoir une contamination de la chaîne alimentaire et une concentration de ces polluants dans les organismes (Djeddi, 2006).

Eléments en traces : Les métaux lourds que l'on trouve dans les eaux usées urbaines sont extrêmement nombreux ; les plus abondants (de l'ordre de quelques $\mu\text{g/l}$) sont le fer, le zinc, le cuivre et le plomb. Les autres métaux (manganèse, aluminium, chrome, arsenic, sélénium, mercure, cadmium, molybdène, nickel, etc.) sont présents à l'état de traces. Leur origine est multiple : ils proviennent des produits consommés au sens large par la population, de la corrosion des matériaux des réseaux de distribution d'eau et d'assainissement, des eaux pluviales dans le cas de réseau unitaire, des activités de service (santé, automobile) et éventuellement de rejets industriels. Certains éléments traces, peu nombreux, sont reconnus nécessaires, en très faibles quantités, au développement des végétaux : le bore, le fer, le manganèse, le zinc, le cuivre et le molybdène. L'irrigation, à partir d'eaux usées, va apporter ces éléments (Zeghoud, 2014).

Composés organiques toxiques

Les eaux usées peuvent renfermer une grande variété de composés toxiques. Nombre d'entre eux sont difficile à détecter en raison du manque de techniques analytiques et du nombre croissant de composés susceptibles d'être produits et rejetés dans les égouts. Les concentrations de composés organiques toxiques dans les eaux usées domestiques sont normalement faibles, mais elles peuvent augmenter si ces eaux reçoivent des rejets industriels, des eaux de ruissellement agricoles (c'est-à-dire contenant des pesticides et leurs résidus) (O.M.S., 2012).

2.3. Substances nutritives

L'azote, le phosphore, le potassium, et les oligo-éléments, le zinc, le bore et le soufre, indispensables à la vie des végétaux, se trouvent en quantités appréciables, mais en proportions très variables par rapport aux besoins de la végétation, dans les eaux usées épurées ou non. D'une façon générale et d'après Faby (1997), une lame d'eau résiduaire de 100 mm peut apporter à l'hectare :

*De 16 à 62 kg d'azote,

* De 2 à 69 kg de potassium,

*De 4 à 24 kg de phosphore,

*De 18 à 208 kg de calcium,

*De 9 à 100 kg de magnésium,

*De 27 à 182 kg de sodium

2.4. Qualité micro biologique

Ils proviennent essentiellement des matières fécales qui contiennent majoritairement une flore anaérobie détruite à l'air, et une flore aérobie facultative.

La présence de ces microorganismes dans les eaux usées et les boues résiduaires nécessite des règles sanitaires lors de leur traitement et de leurs éliminations, en particulier lorsque le rejet se fait à proximité d'une zone conchylicole, une zone baignade ou d'une prise d'eau potable, il est nécessaire d'effectuer une désinfection (Mssadia et Toumi, 2005).

3. Epuration des eaux usées

L'objectif principal du traitement est de produire des effluents traités à un niveau approprié et acceptable du point de vue du risque pour la santé humaine et l'environnement. À cet égard, le traitement des eaux résiduaires le plus approprié est celui qui fournit, avec certitude, des effluents de qualité chimique et microbiologique exigée pour un certain usage spécifique, à bas prix et des besoins d'opération et d'entretien minimaux. Les stations d'épuration des eaux résiduaires, indépendamment du type de traitement, réduisent la charge organique et les solides en suspension et enlèvent les constituants chimiques des eaux usées qui peuvent être toxiques aux récoltes ainsi que les constituants biologiques (microbes pathogènes) qui concernent la santé publique en général (Djeddi, 2006).

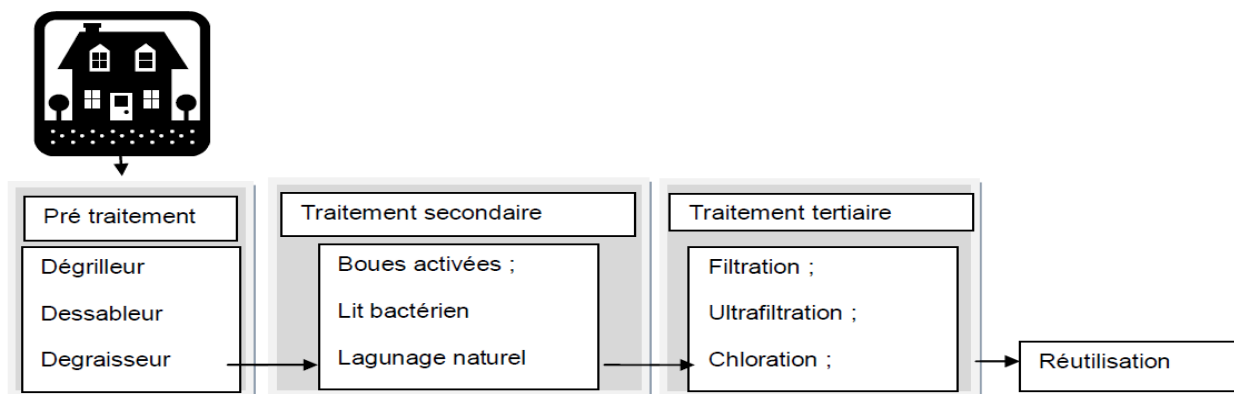


Figure1. Traitement des eaux usées domestiques (El Haite, 2010).

3.1. Les différentes étapes d'épuration des eaux usées

3.1.1. Les Prés traitements

Tout traitement ou dépollution doit comporter ce qu'il est convenu d'appeler un « prétraitement » qui consiste en un certain nombre d'opérations mécaniques ou physiques destinées à extraire le maximum d'éléments dont la nature et la dimension constitueraient une gêne ultérieurement. Ces opérations sont ; le dégrillage, le dessablage et le déshuilage (Gaïd, 1993).

Dégrillage : L'eau brute passe à travers des grilles composées de barreaux placés verticalement ou inclinés de 60 à 80° sur l'horizontale. L'espacement des barreaux varie de 6 à 100 mm (Gaïd, 1993). Cette étape est très importante parce qu'elle permet de soumettre les eaux usées aux traitements ultérieurs sans trop de problèmes (Rabeh, 2012).

Le déshuilage-dégraissage : L'objectif du déshuilage-dégraissage est de retenir les graisses et les huiles (particules de densité plus faible que l'eau) afin de protéger le milieu naturel. En effet, ces éléments peuvent former en zone calme une couche fine (souvent irisée) en surface qui réduit les échanges gazeux eau-atmosphère. Cette opération de séparation est également essentielle pour protéger les installations sensibles situées à l'aval (dans les stations d'épuration, les corps gras peuvent former des émulsions perturbant notamment les écoulements) (Adler, 2005).

Dessablage : Un dessablage récupère par décantation les sables, protégeant ainsi les ouvrages en aval d'un ensablement et les pompes d'une usure accélérée. Les sables sont également évacués en CET. Toutefois des systèmes modernes permettent leur recyclage par lavage et classification (Renou, 2006).

3.1.2. Traitement primaire

Enlèvement des solides organiques et inorganiques sédimentables ainsi que les matériaux flottant. À la fin de ce traitement, la décantation de l'eau a permis de supprimer environ 60 % des matières en suspension, environ 30 % de la demande biologique en oxygène (DBO) et 30% de la demande chimique en oxygène (DCO). Cette part de DBO5 supprimée était induite par les matières en suspension. La charge organique restant à traiter est allégée d'autant. Les matières supprimées forment au fond du décanteur un lit de boues appelé boues primaires (Zeghoud, 2014).

La performance de la décantation peut être améliorée par l'injection de produit chimique (sulfate d'alumine, chlorure ferrique, agent de coagulation...) cette technique qu'on appelle « floculation » permet de capter 90% des matières en suspension (Moulin et *al*, 2013).

3.1.3. Le traitement secondaire

Il s'agit d'un traitement biologique dont l'objectif est l'élimination de la pollution carbonée, azotée et phosphorée. Le traitement biologique utilise la capacité auto-épuratrice de microorganismes dont l'activité est améliorée en la plaçant dans des conditions optimales. L'épuration par la biomasse peut prendre plusieurs formes : systèmes à culture libre ou fixée, quelle que soit la technologie, le principe du traitement biologique est le même (Renou, 2006).

Les procédés à cultures libres

Les boues activées

Une biomasse principalement hétérotrophe aérobie est maintenue en suspension par un système d'aération qui assure également l'oxygénation des bassins. Ces systèmes d'aération peuvent être des diffuseurs d'air (fines, moyennes ou grosses bulles) situés sur les radiers des bassins ou des agitateurs de surface mélangeant par agitation mécanique l'eau et l'air. Dans les zones (ou lors des phases) d'anoxie, la mise en suspension est assurée par des agitateurs. Les microorganismes consomment la pollution organique et piègent les colloïdes et les particules dans des excréments exocellulaires, le bio film, formant ainsi des flocons en suspension dans l'eau. L'eau usée traitée dans le bassin à boues activées est ensuite dirigée dans un clarificateur où les flocons décantent, produisant les boues secondaires, tandis que l'eau traitée remonte en surface, d'où elle est rejetée à la rivière ou envoyée en traitement tertiaire. Le traitement par boues activées dépollue ainsi les eaux usées par deux actions complémentaires : une minéralisation de la pollution organique par la biomasse et une adsorption des substances dissoutes au sein des flocons (Picard, 2011).

Le lagunage : Le lagunage naturel est souvent défini par plusieurs termes : "oxydation pond", "sewage oxydation pond", "sewagelagoon", "waste stabilization-ponds", "étang de maturation", "étang de stabilisation". C'est un procédé biologique de traitement des eaux usées. Il consiste à laisser l'eau se reposer dans des bassins ouverts peu profonds de 1 à 5 m de profondeur pendant une durée variant de 30 à 60 jours. Il aboutit d'une part à l'abattement

de la charge polluante et d'autre part à la stabilisation des boues produites, sous l'action des organismes se développant dans le milieu (Khattabi, 2002).

Les procédés à cultures fixée

Le lit bactérien : L'eau s'écoule en gravitaire sur un réacteur à garnissage sur lequel se développe la biomasse. Les substances contenues dans l'eau usée qui ruisselle sur le garnissage sont piégées par le bio film puis dégradées par la biomasse fixée. Périodiquement, des plaques de bio film se détachent du garnissage et sont entraînées avec l'eau. En sortie du lit bactérien, l'eau passe dans un clarificateur où elle est séparée des boues, constituées des fractions détachées de bio film, par décantation. L'oxygénation de la biomasse se fait par circulation naturelle de l'air à travers le garnissage et par diffusion de l'oxygène à travers le bio film. La performance du lit bactérien dépend donc essentiellement de la qualité du garnissage qui se caractérise par sa surface développée, qui conditionne la quantité de biomasse par unité de volume, et le volume de vide, qui favorise la circulation de l'air (Renou, 2006).

Différents types de matériaux sont utilisés : Pouzzolane (taille comprise entre 40 - 80 mm), silex concassés, plastique divers, qui sont arrosés par un dispositif répartiteur en général mobile (sprinkler) sur le principe des tourniquets hydrauliques (sprinklers). L'alimentation en air se fait en général naturellement. Les garnissages plastiques développent des surfaces élevées de l'ordre de 150 à 200 m²/m³ avec des indices de vides de l'ordre de 95% (contre 50 % pour les matériaux traditionnels). Ces nouveaux procédés acceptent d'importantes variations de charges avec des risques réduits de colmatage. En outre, de nouveaux sprinklers motorisés assurent des vitesses plus faibles de rotation et, en relation avec un recyclage des effluents, permettent d'atteindre des rendements supérieurs (Adler, 2005).

3.1.4. Le traitement tertiaire

Il s'agit d'un ou plusieurs traitements complémentaires qui améliorent un paramètre spécifique de la qualité de l'eau rejetée en vue de protéger le milieu récepteur dans une zone localement plus vulnérable.

La désinfection : Elle est nécessaire lorsque les eaux usées traitées sont rejetées dans un milieu aquatique à usage balnéaire (plages, zones d'activités nautiques ou touristiques...) ou pour diminuer le risque de contamination humaine (Picard, 2011). Le traitement par rayons ultraviolets utilise des lampes à mercure disposées parallèlement ou perpendiculairement au

flux d'eau. Leur rayonnement s'attaque directement aux microorganismes. Ce traitement est très simple à mettre en œuvre, car il n'y a ni stockage, ni manipulation de substances chimiques et les caractéristiques chimiques de l'effluent ne sont pas modifiées. La durée d'exposition nécessaire est très courte (20 à 30 s) (Zeghoud, 2014).

Les traitements de finition : Pour certains usages, il est conseillé d'atteindre des concentrations très basses en MES, en DBO, en DCO, en azote ou en phosphore. Plusieurs procédés peuvent alors être utilisés comme traitement d'affinage. L'avantage de mettre un traitement tertiaire est de pouvoir cibler le paramètre polluant à traiter et de dimensionner l'ouvrage en conséquence. C'est le cas de la filtration sur sable qui permet de réduire les MES. Des traitements secondaires, comme la bio filtration ou le lagunage, sont également employés. Enfin, pour les petites STEP, les lits d'infiltration/ percolation jouent le rôle de filtres et de traitement biologique poussé (Picard, 2011).

Le traitement sur charbon actif: Il peut être intéressant pour l'élimination de certaines molécules résistantes aux traitements biologiques, bien souvent lorsque la STEP accueille des eaux industrielles. Il permet par exemple d'enlever la couleur de l'effluent (Picard, 2011).

4. Analyse de la qualité des eaux après traitement

4.1. Les paramètres physico-chimiques

Les stations d'épuration ont des normes de rejet à respecter pour les matières carbonées, les matières azotées et les matières phosphorées.

Les rejets en matières carbonées sont mesurés par les trois paramètres suivants :

DBO5 : Demande biochimique en oxygène. Quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation par l'action bactérienne (biodégradation) de matières organiques contenues dans une eau polluée. La DBO5 est la mesure de la DBO effectuée sur 5 jours (Zeghoud., 2014).

DCO : La DCO représente quant à elle quasiment tout ce qui est susceptible de consommer de l'oxygène dans l'eau, par exemple les sels minéraux et les composés organiques (Anonyme2., 2017).

Matières en suspension (MES) : Les matières en suspension représentent l'ensemble des particules minérales et organiques contenues dans les eaux usées. La connaissance de la concentration des éléments colloïdaux dans les eaux usées est nécessaire dans l'évaluation de l'impact de la pollution sur le milieu aquatique (Yossef et *al*, 2015).

Deux paramètres utilisés pour mesurer la pollution par la matière azotée : La pollution azotée se caractérise par des formes réduites et oxydées

NTK : L'azote Kjeldahl indique la forme organique et ammoniacale d'azote (formes réduites). Il est exprimé en mg/L.

NGL : L'azote global (NGL) mesure la quantité d'azote global comprenant toutes les formes (réduites et oxydées) : organique, ammoniacal, nitrites NO_2 , nitrates NO_3 . Cet indicateur est exprimé en mg/L.

Le Phosphore Total (PT) : Indique les dérivées du phosphore comme les phosphates et les composés organiques phosphorés. Il est exprimé en mg/L (Abouzlam, 2014).

4.2. Paramètre micro biologique

Les traitements des eaux usées doivent démontrer leur efficacité vis-à-vis de la réduction des agents pathogènes. Les eaux usées sont un vrai réservoir d'agents pathogènes (virus, bactéries, parasites) même après traitement elles constituent un risque potentiel d'où la nécessité d'un suivi permanent. Il est rare que l'on quantifie directement les agents pathogènes dans les eaux usées car leurs concentrations sont variables et les méthodes analytiques souvent difficiles et coûteuses à mettre en œuvre. On utilise à la place des indicateurs de contamination fécale tels qu'*Escherichia coli* des coliformes thermo-tolérants comme indicateurs indirects d'agents pathogènes ayant des caractéristiques similaires et susceptibles d'être présents dans les eaux usées (Bourouache, 2015).

La sélection des micro-organismes indicateurs à suivre a été faite en prenant en compte les éléments suivants :

- les germes indicateurs sont en nombre suffisant dans les eaux usées,
 - ils permettent de refléter la diversité des familles des micro-organismes pathogènes,
 - ils présentent des caractéristiques permettant de valider une large gamme de traitements.
- (A.F.S.S.A., 2008).

**Chapitre 2 : Qualité des eaux
usées traité destiné à
l'irrigation.**

Chapitre 2 : Qualité des eaux usées traité destiné à l'irrigation.

Les thèmes abordés dans ce chapitre concernent la réutilisation des eaux usées pour des fins d'irrigation. Ainsi que les ressources en eau renouvelables diminuent, la demande d'eau augmente en raison de la croissance démographique et de l'augmentation des activités économiques et agricole. La gestion de la réutilisation des eaux usées est l'un des défis auxquels tous les pays méditerranéens devront faire face au cours des prochaines décennies. Par conséquent, ces pays ont besoin de stratégies d'eau qui doivent prendre en compte des mesures de recharge pour faire face à cette situation. La réutilisation des eaux usées est l'une des options essentielles pour les pays méditerranéens pour l'élaboration de leurs politiques et stratégies nationales en matière d'eau (Angelakis et al, 1999; Barcelo et Petrovic, 2011).

Les eaux usées traitées pourraient être considérées comme une « nouvelle » ressource en eau, qui peut être ajouté au bilan général de l'eau d'une région. Elles peuvent remplacer l'utilisation de l'eau potable pour l'irrigation ou à d'autres fins, en même temps, en diminuant ainsi la pression sur les ressources en eau (Alyosfi, 2013).

1. Historique de l'utilisation des eaux usée traité dans l'agriculture

La réutilisation des eaux usées pour des fins agricoles n'a pas commencé hier, il s'agit d'une pratique qui date de plusieurs milliers d'années. À l'époque, certains pays d'Asie utilisaient les matières fécales et l'urine comme amendement aux sols agricoles. Ainsi, entre les 17^e et 19^e siècles, certains pays de l'Europe ont commencé à réutiliser les eaux usées dans l'irrigation des cultures, sachant que le gouvernement de Londres était l'un des premiers à obliger le rejet des eaux usées dans des canaux construits à cette fin Or, l'exploitation des eaux usées dans l'agriculture est devenue une pratique fréquente dans certains pays, comme l'Australie, l'Amérique du Nord et le Mexique, vers la fin du 19^e siècle, et jusqu'à nos jours (Dadi, 2010).

La réutilisation des eaux usées urbaines est une pratique très ancienne qui connaît une évolution en fonction des ressources en eau, des intérêts économiques, sanitaires, socioculturels et environnementaux locaux. La croissance de la pression sur les ressources en eau et le développement de l'ingénierie de l'eau et de la recherche, sont aussi des facteurs qui contribuent à l'évolution de cette pratique (Elhait, 2010). Dans le passé, cette réutilisation des eaux usées n'a pas été sans impact. L'effet négatif sur la santé humaine a conduit, au début du 20^e siècle, à la construction des premières stations de traitement des eaux usées pour réduire l'impact des eaux rejetées dans le milieu naturel, surtout dans les pays industrialisés.

Toutefois, en 1950, dans les pays au climat aride, où les ressources en eau sont moins disponibles, la réutilisation des eaux usées a trouvé un milieu favorable pour compenser le manque de précipitations (Dadi, 2010).

L'eau usée traitée à l'aval des systèmes d'assainissement urbains représente une eau renouvelable non conventionnelle, qui pourrait être une source attrayante et bon marché à employer en agriculture, au voisinage des centres urbains. Cependant, en raison de la nature variable de cette eau (sa charge en constituants minéraux, organiques et biologiques) ; sa réutilisation devrait être gérée soigneusement, surveillée et contrôlée par des spécialistes afin de vérifier les risques et menaces potentiels sur les usagers, le sol, et les cultures irriguées avec elle, ainsi que sur l'environnement dans son ensemble. Le bassin méditerranéen est l'une des régions du monde où la réutilisation agricole des effluents urbains est la plus pratiquée, sauf en Algérie.

En Algérie l'utilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation des terres agricoles est encore à l'état « embryonnaire » et ne se pratique que sur de très faibles superficies et souvent à titre expérimentale. Aussi l'installation des stations d'épuration en aval des réseaux existants constitue non seulement une des solutions pour la protection de nos ressources en eau, du milieu naturel et par conséquent de l'environnement, mais peut également constituer un apport non négligeable pouvant satisfaire les besoins agricoles (Kessira, 2013).

Actuellement il y a une 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. Le réseau national d'assainissement totalise un linéaire de 27000 km. Le taux de recouvrement est, hors population éparsée, de 85%. Le volume global d'eaux usées rejetées annuellement est évalué à près de 600 millions de m³, dont 550 pour les seules agglomérations du Nord. Ce chiffre passerait à près de 1150 millions de m³ à l'horizon 2020. La réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation doit concerner en priorité les zones déficitaires en eau conventionnelle. Parmi les stations d'épuration exploitées par l'ONA (Office nationale d'assainissement) à travers les 43 wilayas (Départements), quelques-unes sont concernées par la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture. A fin 2011, le volume réutilisé est estimé à 17 millions de m³/an, afin d'irriguer plus de 10 000 hectares de superficie agricoles. Le potentiel de la réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles évoluera d'une manière significative d'environ 17 millions de m³ en 2011 à environ 200 millions de m³ en 2014, et le nombre de stations concernées sera de 25 stations d'épurations en 2014. Les stations d'épurations gérées par l'ONA (office national d'assainissement) concernées par les projets de réutilisation des eaux usées épurées en cours

d'étude ou de réalisation, sont au nombre de 12, pour l'irrigation de plus de 8 000 hectares de terres agricoles (Hannachi et al, 2014).

2. Critères de qualité des eaux usées pour l'irrigation

Les paramètres importants de la qualité de l'eau d'irrigation incluent un certain nombre de propriétés spécifiques de l'eau en rapport avec le rendement et la qualité des cultures, le maintien de la productivité du sol et la protection de l'environnement. Ces paramètres consistent principalement en certaines caractéristiques physiques et chimiques de l'eau qui sont utilisées dans l'évaluation de la qualité de l'eau d'irrigation. De nombreux chercheurs ont mis au point de nombreuses lignes directrices sur la qualité de l'eau pour l'utilisation de l'eau dans l'irrigation sous des conditions différentes (Athmar et al, 2010).

Les normes de réutilisation des eaux usées épurées sont énumérées au tableau 1.

Tableau 1. Normes de réutilisation des eaux usées épurées.

PARAMETRE	UNITE	NORMES		
		FAO * 1985	OMS ** 1989	JORA 2012
PH		6,5-8,4*		6,5-8,5
CE	mg/l	<0,7* aucune restriction 0,7-3,0* restriction légères à modéré >3,0* forte restriction		3
MES	mg/l	<30**		30
DCO	mg O ₂ /l	<40**		90
DBO ₅	mg O ₂ /l	<10**		30
NO ₃ ⁻	mg/l	50**		30
NO ₂ ⁻	mg/l	<1**		Non disponible
NH ₄ ⁺	mg/l	<2**		Non disponible
PO ₄ ³⁻	mg/l	<0,94**		Non disponible
SAR	még/l	<3* aucune restriction 3,9* restriction légères à modéré >9* forte restriction		Non disponible
Coliformes totaux	UFC/100ml	Non disponible		Non disponible
Streptocoque fécaux	UFC/100ml	1000**		Non disponible
salmonelles	UFC/100ml	Absence**		Non disponible

Source : Messahel et al, 2012.

JORA : Journal Officiel de la République Algérienne ; OMS : Organisation mondiale de la Santé ; FAO: Food and Agriculture Organisation of the United Nations (L'Organisation des

Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture); PH : potentiel d'hydrogène ;CE : conductivité électrique ;MES : Matière en suspension ;DCO : demande chimique d'oxygène ;DBO : demande biochimique d'oxygène ;NO₃⁻ : nitrate ;NO₂⁻ : Le dioxyde d'azote ;NH₄⁺ : ammonium ; PO₄³⁻ : phosphate ; SAR: Sodium Adsorption Ratio.

Tableau2. Directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation d'après la FAO.

		Restriction à l'irrigation		
		Aucune	Légère à modéré	Fort
Salinité (influe sur l'eau disponible pour les plants)				
Cei	ds /m	<0,7	0,7-3	>3
TDS	mg/l	<450	450-2000	>2000
Infiltration (influe sur la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol : utilisé à la fois CEi et SAR)				
SAR 0-3 et CEi=		>0,7	0,7-0,2	<0,2
SAR 3-6 et CEi=		>1,2	1,2-0,3	<0,3
SAR 10-12 et CEi=		>1,9	1,9-0,5	<0,5
SAR 12-20 et CEi=		>2,9	2,9-1,3	<1,3
SAR 20-40 et CEi=		>5,0	5-2,9	<2,9
Toxicité de certain ion (affectons les cultures sensible)				
Sodium	SAR			
Irrigation de surface	méq /l	<3	3 ,9	>9
Irrigation par aspersion		<3	>3	
Chlore				
Irrigation de surface	méq /l	<4	4-10	>10
Irrigation par aspersion	méq /l	<3	>3	
Bore	mg/l	<0,7	0,7-3	> 3
Affect divers (affect la culture sensibles)				
Azote (NO ₃ -N)	mg/l	<5	5-30	>30
Bicarbonate (HCO ₃) pour aspersion et frondaison)	méq /l	<1,5	1,5-8,5	>8,5
Ph		Zone normale : 6,5-8,5		

Source : Tamrab et, 2011

2.1. Les fertilisants dans les eaux usées traitée

Les substances nutritives qui pénètrent dans le sol avec les eaux usées sont particulièrement des composés d'azote sous forme d'ammonium (NH_4), de nitrate (NO_3) et de phosphate (P_2O_4). La teneur de ces substances est généralement si haute qu'elle peut couvrir l'ensemble des besoins en azote et en phosphate des plantes (Neubert et Ben abdallâh, 2003). Le potentiel de fertilisation de l'eau usée traitée due à la présence de nutriments est un atout pour les cultures mais peut également être une source de pollution pour l'environnement, en fonction principalement de la gestion des eaux usées appliquées par les agriculteurs. Les nutriments constituent une caractéristique spécifique de l'eau usée traitée qui intéresse particulièrement les agriculteurs. (F.A.O., 2003).

2.1.1. Azote : teneur en azote de l'eau usée urbaine après traitement secondaire varie de 20 à 60 mg/l. L'azote dans l'eau usée traitée peut dépasser les besoins des cultures. La connaissance de la concentration en N dans l'eau usée et la gestion appropriée de la charge en NPK sont essentielles pour surmonter les problèmes associés à une éventuelle concentration élevée en N (F.A.O., 2003). L'azote est un macronutriment nécessaire aux végétaux que l'on trouve dans les eaux usées sous forme de nitrate, d'ammoniaque, d'azote et de nitrite. La somme des concentrations d'azote sous l'ensemble des diverses formes est appelée azote total (O.M.S., 2012). L'azote est un constituant essentiel de la matière vivante, mais sa présence en quantité importante dans les eaux usées nécessite une surveillance attentive. L'azote des eaux usées se trouve sous formes organique et inorganique. Les formes inorganiques sont immédiatement disponibles pour la plante tandis que les formes organiques doivent être minéralisées par les microorganismes (Tamrabet, 2011).

2.1.2. Phosphore : teneur de phosphore dans l'eau usée après traitement secondaire varie de 6 à 15 mg/l (15-35 mg/l P_2O_5) à moins qu'un traitement tertiaire l'élimine. L'évaluation de P dans l'eau usée traitée devrait être réalisée en concomitance avec les analyses de sol pour les conseils de fumure (F.A.O., 2003). Les eaux usées contiennent normalement de faibles quantités de phosphore, ce qui rend leur utilisation pour l'irrigation bénéfique et n'entraîne pas d'impact négatif sur l'environnement (O.M.S., 2012).

2.1.3. Potassium : Contenu dans l'eau usée n'occasionne pas d'effet nuisible sur les plantes ou l'environnement. C'est un macronutriment essentiel qui affecte favorablement la fertilité du sol, le rendement des cultures et leur qualité. La concentration en K dans l'eau usée traitée secondaire varie de 10 à 30 mg/l (12-36 mg/l KO). Cette quantité doit être prise en compte pour préparer le programme de fertilisation en fonction des besoins des cultures (F.A.O., 2003).

Tableau3.Résultats du bilan ionique des eaux usées épuré(EUE) et les eaux d'un puits (EP) utilisées l'irrigation

Paramètres	Unités	Eau puits (EP)	EUE
Conductivité électrique (E.C) à 25° C	ds/m	7.4	7.1
Chlorure Cl^-	mole/l ($\times 10^3$)	0.58	3.15
Potassium K^+	mole/l ($\times 10^3$)	3.61	20.31
Sodium Na^+	mole/l ($\times 10^3$)	1.32	21.21
Calcium Ca^{++}	mole/l ($\times 10^3$)	1.19	7.35
Magnésium Mg^{++}	mole/l ($\times 10^3$)	1.32	2.71
phosphore	mole/l ($\times 10^3$)	0.01	0.28
Bicarbonate HCO_3^-	mole/l ($\times 10^3$)	3.13	5.19
Sulfate SO_4^{--}	mole/l ($\times 10^3$)	0.10	0.88
Nitrates (N- NO_3)	mole/l ($\times 10^3$)	0.08	5.64
Sodium Adsorption ratio(SAR)		0.02	6.66

Source : Mouhanni et *al*, 2013.

2.2. Salinité :

La salinité des EUT associée aux conditions climatiques et pédologiques pose un facteur limitant pour le développement de la salinité. En effet, l'accumulation des sels dans le sol qui dépend de la nature de ce dernier, affecte la croissance des végétaux (Neubert et Ben abdallâh, 2003).D'autres sols sont affectés par des facteurs d'origine humaine, principalement en raison des méthodes inappropriées de l'irrigation. Une eau de mauvaise qualité (Tab. 4) est souvent utilisée pour l'irrigation, de sorte que finalement le sel s'accumule dans le sol à moins que la gestion du système d'irrigation soit telle que les sels sont lessivés de la surface du sol (El Youssfi, 2013)

L'accroissement de la salinité des sols est peut-être l'effet négatif sur l'environnement le plus important de l'utilisation d'eaux usées en agriculture, car si cette salinisation n'est pas maîtrisée, elle peut entraîner à long terme une diminution de la productivité. La salinité est mesurée de manière indirecte par une série de paramètres, tels que la conductivité, le taux d'absorption du sodium, les concentrations de sodium et de chlorure et les matières solides dissoute (O.M.S., 2012).

La salinité peut entraîner des effets nocifs conséquents en raison de la fixation du sodium et des chlorures sur les colloïdes du sol. Le sodium exerce alors une action néfaste sur la végétation de façon indirecte, en dégradant les propriétés physiques du sol. Sous cette action, les sols deviennent compacts et asphyxiants pour les plantes. Lorsque la concentration des ions Na^+ à l'état soluble dans le sol est importante, ces ions remplacent le plus fréquemment les cations Ca^{+2} dans le complexe absorbant. Une eau chargée en sels, peut provoquer cette action (Derradji et al. 2004 ; Pescod, 1992). L'abondance de sodium dans l'eau d'irrigation peut provoquer également la dispersion et la destruction de la structure du sol, si la teneur en sodium est au moins trois fois supérieure à celle du calcium. Dans de telles conditions, il peut devenir extrêmement difficile de satisfaire les besoins en eau de la culture. Le risque est déterminé à partir de la valeur du sodium absorbable « Sodium Absorption Ratio » (SAR) pour une même conductivité, le risque est d'autant plus grand que le coefficient est plus élevé. Le SAR est donné par la formule ci-dessous, il est utilisé en combinaisons avec la conductivité électrique de l'eau.

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}}} \text{ Où tous les éléments sont exprimés en méq/l.}$$

Les principaux facteurs qui peuvent dégradé la qualité des eaux pour l'irrigation se résument donc à la concentration en sels dissous exprimés par le résidu sec ou la conductivité électrique, la salinité potentielle, la concentration relative en sodium et la quantité des éléments toxiques (Bore et Chlore) présents dans l'eau. Quand les sels sont concentrés dans les solutions de sol, chacun des facteurs dégradant la qualité, à un effet sur la croissance de la plante et par conséquent sur sa production d'une part, et d'autre part sur les propriétés physiques et chimiques. (Zeghdani et Allaoui, 2016).

Tableau 4. Classes de qualité de l'eau d'irrigation.

Qualité de l'eau	Conductivité de l'eau (mmhos/cm)	Sels solubles correspondants estimés en Na Cl (mg)
Excellente	<0.25	<160
Faible salinité	0.25-0.75	160-500
Fort salinité	0.75-2.25	500-1500
Très fort salinité	2.25-5	1500-3600

Source : ElYousfi, 2013.

Tableau 5. Classification des eaux par degré d'aptitude à l'irrigation (méthode de SAR)

Degrés	Qualité	Classes	Etat d'utilisation
1	Excellente	C₁-S₁.C₁-C₂	Utilisation sans danger pour l'irrigation des cultures et même pour les sols
2	Bonne	C₂- S₁. C₂-S₂	Convenable pour des plantes qui ont une tolérance aux sels (générer des problèmes pour les argiles)
3	Admissible	C₃-S₁.C₂-S₃.C₃-S₂	La salinité doit être contrôlée, irrigation des cultures tolérable aux sels sur des sols bien drainés
4	Médiocre	C₄-S₁.C₂-S₁.C₃-S₃	Eau fortement minéralisée, utilisée seulement pour des plantes très résistantes aux sels (sols de bonne perméabilité)
5	Mauvaise	C₃-S₄.C₄-S₃.C₄S₄	Inutilisable

Source : Zeghdani et Allaoui, 2016.

3. Les risques liés à la réutilisation agricole des eaux épurées :

3.1. Le risque sanitaire :

Les eaux usées épurées sont riches en micro-organismes pathogènes. Même après traitement, ces eaux restent encore chargées par des bactéries et des virus qui peuvent nuire la santé de l'homme à des différents degrés (Ounaies et *al*, 1992). Les MES protègent les micro-organismes de beaucoup de traitements, comme les traitements au chlore ou aux ultraviolets. Il existe donc une compétition entre l'élimination des micro-organismes et la préservation de MES en vue d'une utilisation agricole (Baumon, 2004). Dans le cas de l'agriculture, il est prouvé depuis longtemps que les micro-organismes pathogènes des animaux ne peuvent ni pénétrer ni survivre à l'intérieur des plantes. Les micro-organismes se retrouvent donc à la surface des plantes et sur le sol. Les feuilles et la plante créent un environnement frais, humide et à l'abri du soleil. Il peut donc y avoir une contamination pendant la croissance des plantes ou la récolte. Les pathogènes survivent plus longtemps sur le sol que sur les plantes. Le mode d'irrigation a une influence directe sur le risque : ainsi, l'irrigation souterraine ou gravitaire peut nuire à la qualité des eaux souterraines et de surface. Des contaminations directes peuvent avoir lieu lors de la maintenance du système d'irrigation. L'irrigation par aspersion crée des aérosols. Contaminants qui peuvent être transportés sur de longues distances (Blaid, 2010).

3.2. Le risque technique : les MES sont présentes en trop grande quantité, elles peuvent entraîner le bouchage des canalisations et systèmes d'irrigation ;

3.3. Les risques environnementaux : Il est possible que les éléments soient apportés en excès. Dans ce cas, il y a un risque de pollution des sols et de diminution du rendement. Les taux en éléments nutritifs (nitrate essentiellement) et la salinité de l'eau utilisée (cause de la dégradation des sols) sont de première importance. Il faut donc trouver le bon équilibre entre le niveau de traitement, les besoins des cultures et la nature du sol (Baumon, 2004).

3.3.1. Effets sur le sol : Ces impacts sont d'importance particulière pour les agriculteurs puisqu'ils peuvent réduire la productivité, la fertilité et le rendement de leurs terres. Le sol doit rester à un bon niveau de fertilité chimique et physique, afin de permettre une utilisation durable à long terme et une agriculture rentable. Les problèmes prévus au niveau du sol sont (F.A.O., 2003).

Salinisation du sol :

La salinisation du sol par une eau d'irrigation résulte des effets combinés de plusieurs facteurs (Climat, caractéristiques du sol, topographie du terrain, techniques culturales, conduite des Irrigations...etc.). En effet, chaque facteur va contribuer, selon son état, à l'accentuation ou à l'atténuation de la salinisation du sol (Blaid., 2010).

Alcalinité des sols :

L'augmentation de l'alcalinité du sol, qui peut se produire avec l'eau usée traitée à cause de la concentration élevée en Na^+ , réduit la perméabilité du sol, particulièrement en surface et dans les sols lourds, même si le lessivage a lieu. Ce phénomène est lié à la dispersion et au gonflement des argiles lorsque la concentration en Na^+ échangeable augmente. Toutefois, pour une certaine valeur du SAR, la vitesse d'infiltration augmente ou diminue avec le niveau de salinité.

L'accumulation de sodium (sodisation) sur le complexe adsorbant des sols peut dégrader les propriétés physiques des sols. Leur capacité de drainage, donc leur perméabilité, conditionne la productivité des terres irriguées. Un excès de sodium par rapport aux alcalino-terreux (calcium, magnésium, ...) dans le complexe adsorbant provoque une défloculation des argiles, une déstructuration du sol qui se traduit par une réduction de la perméabilité et de la porosité des couches superficielles du sol (Boukhalfa et Kafi, 2013).

3.3.2. Effet sur les eaux superficielles

Les rejets directs d'eaux épurées posent des problèmes d'eutrophisation des cours d'eau, de qualité de l'eau destinée à la production d'eau potable (norme d'un maximum de 50 mg/l pour l'azote) et de contamination microbiologique des zones de conchyliculture. C'est pourquoi une réutilisation des eaux usées épurées est quasiment toujours préférable à un rejet direct dans le milieu naturel (Djadii, 2007).

La concentration élevée en N et P dans l'eau usée est d'un intérêt particulier lorsque l'eau usée est mélangée dans un barrage, avant irrigation, car ces éléments peuvent créer des conditions favorables à l'eutrophisation. Dans de telles conditions, l'apparition d'algues vertes est très fréquente et il est difficile de remédier aux problèmes y associés, en particulier à l'obstruction des systèmes d'irrigation pressurisés. Ce problème est un des soucis majeurs des agriculteurs. Le problème d'eutrophisation et du déficit en oxygène, dû aux nutriments dans l'eau usée, est particulièrement important quand l'effluent est déchargé dans les étendues d'eau (fleuves, lacs et mer). L'azote est le facteur limitant pour la croissance des algues en mer, alors que N et P sont les facteurs limitant dans les lacs, les bassins d'eau salée et dans les barrages où l'eau usée est stockée avant irrigation (F.A.O., 2003).

3.3.3. Effet Sur la nappe phréatique :

L'irrigation ou l'épandage des eaux usées sur des surfaces agricoles est l'une des techniques de recharge artificielle des nappes phréatiques couramment utilisée en région aride ou semi-aride. Une remontée continue du niveau de la nappe phréatique suite à la pratique de l'irrigation par des eaux usées traitées. Au bout d'une dizaine d'année, une augmentation de la salinité et de la concentration en éléments fertilisants (N et P) des eaux de la nappe suite à l'irrigation par les EUT. On a trois effets négatifs sur l'eau souterraine :

- une augmentation de la salinité qui a passé de 2,3 à 4 ms/cm après 20 ans d'irrigation.
- une contamination microbiologique liée à la proximité de la nappe de la surface du sol.
- une pollution par les métaux lourds (Blaid., 2010).

Chapitre 3 : Etude climatologique

Chapitre 3 : Etude climatologique

La climatologie est l'étude du climat, de ses variations et de ses extrêmes, mais aussi de ses incidences sur diverses activités comprenant, sans s'y limiter, celles qui se rapportent à la santé, à la sécurité et au bien-être. Au sens strict, le climat peut être défini comme les conditions météorologiques moyennes régnant en un lieu particulier au cours d'une certaine période de temps. Pour décrire le climat, on peut se servir de données statistiques sur les tendances centrales et la variabilité d'éléments tels que la température, les précipitations, la pression atmosphérique, l'humidité et le vent, ou alors d'un ensemble d'éléments tels que des types de temps ou des phénomènes caractéristiques d'un lieu ou d'une région, voire de l'ensemble de la planète, sur une période donnée (O.M.M., 2014).

Climatologie s'intéresse à l'analyse quantitative à plus long terme de la moyenne des paramètres requise pour caractériser les états de l'atmosphère, principalement la température de l'air, la lame d'eau précipitée, la durée d'insolation, la direction et la vitesse du vent. Le climat représente donc le « temps moyen » en un lieu donné (Allam, 2014).

1. Paramètres climatiques :

Les données climatiques utilisées pour l'analyse sont celles de la station météorologique d'Al Hamma dont les coordonnées sont représentées dans le Tableau 6.

Tableau 6. Le système des coordonnées de la station des Al Hama wilaya de Khenchela.

Station	Altitude	Latitude	Longitude	Coordonnées Lambert	
Al Hamma	982.5 m	35°28'N	07°05'E	X=980	Y=250

Source station climatologique d'El Hamma.

1.1. Température : La température représente un facteur limitant de toute première importance car, elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espèces et des communautés d'êtres vivants dans la biosphère. La température de l'air est un paramètre important qui régit les déperditions d'eau qui s'opèrent par le phénomène de l'évapotranspiration (Ramade, 2002). La température de l'aire agit directement avec les autres facteurs météorologiques (précipitation, insolation, etc...). Sur le bilan et le climat d'une région.

L'analyse des données de la température est basée sur les données relevées au niveau de la station d'Al Hamma de 2005 jusqu'à 2015.

Tableau7. Température moyenne mensuelle d'El Hamma période (2005-2015).

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Jui	Aout
(T°C)	13.50	10.8	10.17	9.3	9.52	9.43	10.82	12.37	13.43	14.82	15.82	14.17

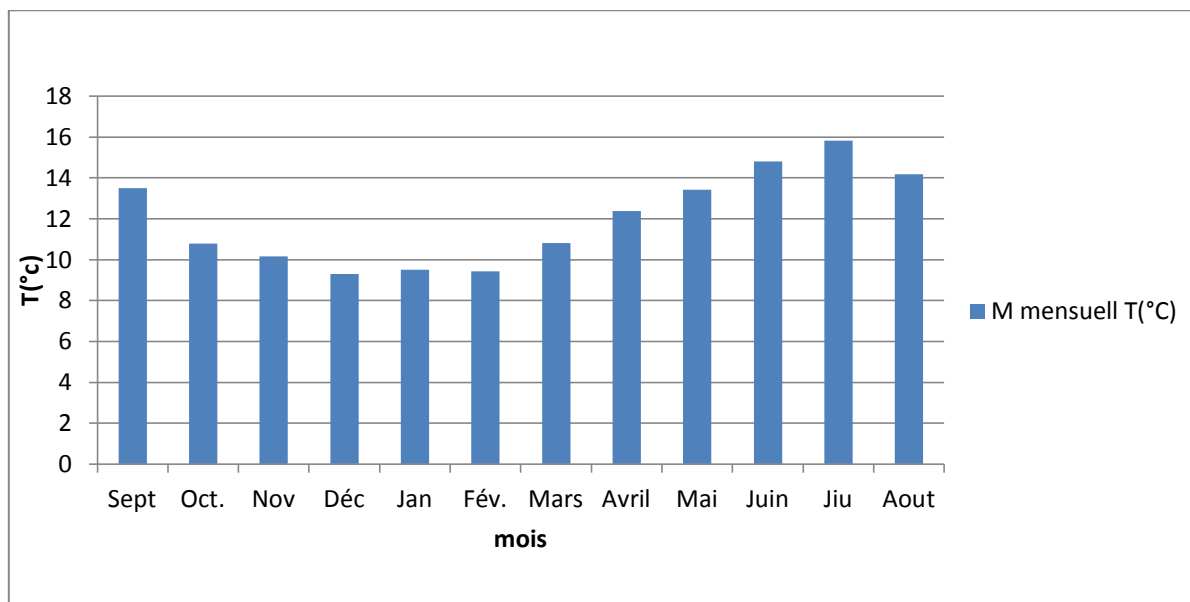


Figure 2. Température moyenne mensuelle d'El Hamma (2005-2015).

La courbe des variations des températures moyennes mensuelles (Fig. 2), montre que le mois de décembre est le mois le plus froid avec 9.3°C et le mois de Juillet est le mois le plus chaud avec 15.82°C. Avec une distribution unie modale et absence de l'effet saisonnier. Deux périodes climatiques sont bien distinctes : l'une chaud et aride qui va de juin à septembre et l'autre froid et tempérée d'Octobre à Mai.

1.2. Les précipitations : La pluviosité est définie comme étant le facteur primordial qui permet de déterminer le type du climat. Les précipitations exercent une action prépondérante pour la définition de la sécheresse globale du climat. Les précipitations en milieu aride et semi-aride sont souvent de type convectif : courte durée, forte intensité et hétérogénéité spatiale.

Tableau8. La répartition des températures moyenne (max, min, et moye) de la station d'AL Hamma pendant la période (2005- 2015).

Paramètre	T (°C) Moye min	T (°C) Moye max	T (°C) Moye	Amplitude : M-m
Sep	15,48	27,95	21,718	12,47
Oct.	10,51	21,57	16,04	11,05
Nov.	6,42	16,41	11,42	9,99
Déc.	2,76	11,84	7,3	9,08
Jan	1,78	11,27	6,52	9,49
Fév.	1,61	10,83	6,22	9,21
Mars	4,42	15,25	9,84	10,82
Avril	7,62	20,1	13,86	12,47
Mai	11,21	25,04	18,13	13,82
Juin	15,67	30,33	23	14,66
Juil.	18,96	35	26,98	16,04
Aout	17,99	32,56	25,27	14,57

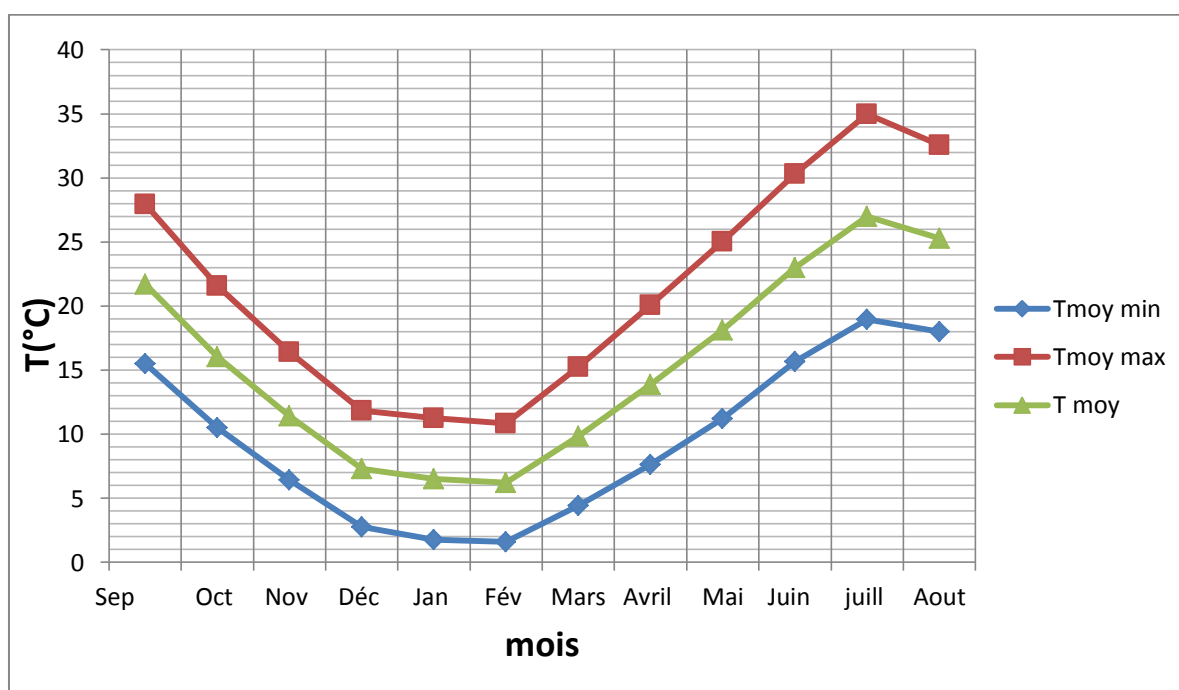


Figure 3. Variation des températures mensuelles (max, min, et moye) de la station d'AL Hamma (2005-2015).

1.2.1. Les Précipitations annuelles et leurs variabilités

Les données des précipitations recueillies à la station d'Al Hamma durant 11 ans allant de 2005 à 2015, sont représentées sur le tableau 9.

Tableau 9. Précipitations moyenne annuelles à la Station d'Al Hamma (2005-2015).

Année	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
P (mm)	30,71	48,63	42,35	39,55	51,85	44,09	52,19	28,64	42,92	35,07	40,07

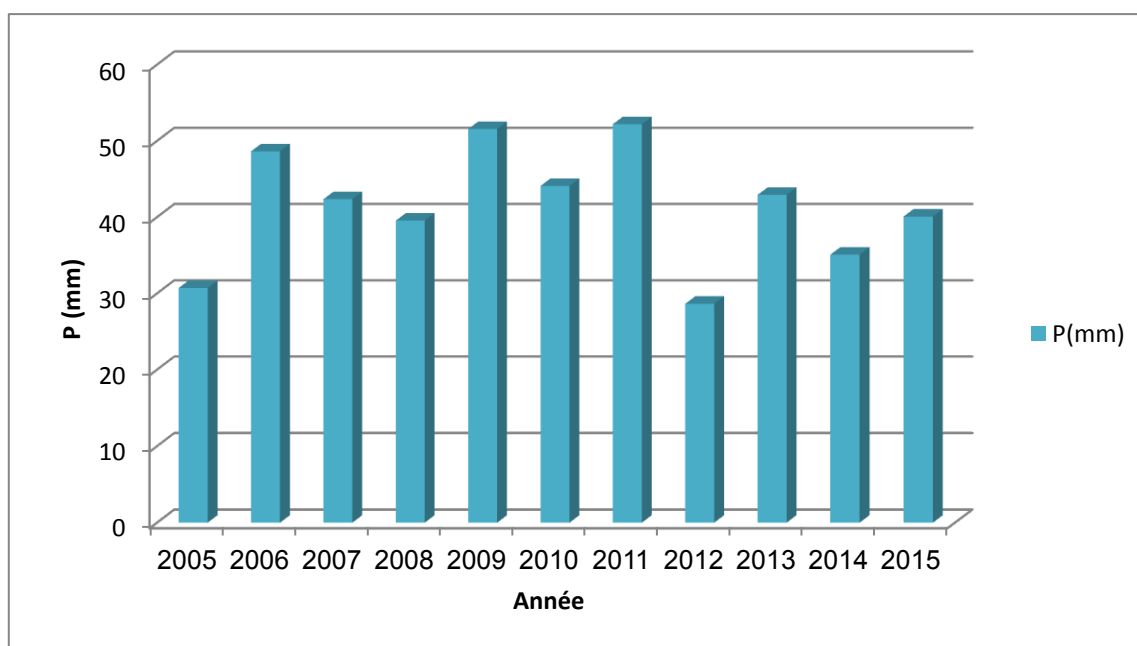


Figure 4. Variation des précipitations annuelles à la Station d'Al Hamma (2005-2015).

D'après le Tableau 9 et la (fig.4). Nous remarquons que les moyennes annuelles des précipitations de la zone dans les dernières années est très fluctuant d'une année à l'autre avec un maximum de 52,19 (mm) en 2011 et un minimum de 30,71 (mm) en 2005. Ceci va surement influencer le régime hydrologique.

1.2.2. Les précipitations mensuelles

Les régimes des précipitations mensuelles sont à l'origine de l'écoulement saisonnier, des régimes de cours d'eau, de l'adaptation de la végétation et de l'agriculture. La représentation graphique relative à la variation des précipitations moyennes mensuelles de la station d'Al Hamma (Fig.5) montre la persistance du caractère irrégulier du régime pluviométrique des périodes printanières (Mars, Avril et Mai) et le mois de septembre. Le mois de septembre est le plus arrosé avec une moyenne de 67.27 mm. Juillet étant le mois le plus sec avec une moyenne de précipitation de 20.92mm.

Tableau 10. Précipitation moyenne mensuelle d'Al Hamma (2005-2015)

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avar	Mai	Juin	Juil.	Aout
P(mm)	67,27	38,1	26,39	38,1	44,31	40,023	55,59	48,69	63,72	26,58	20,92	31,89

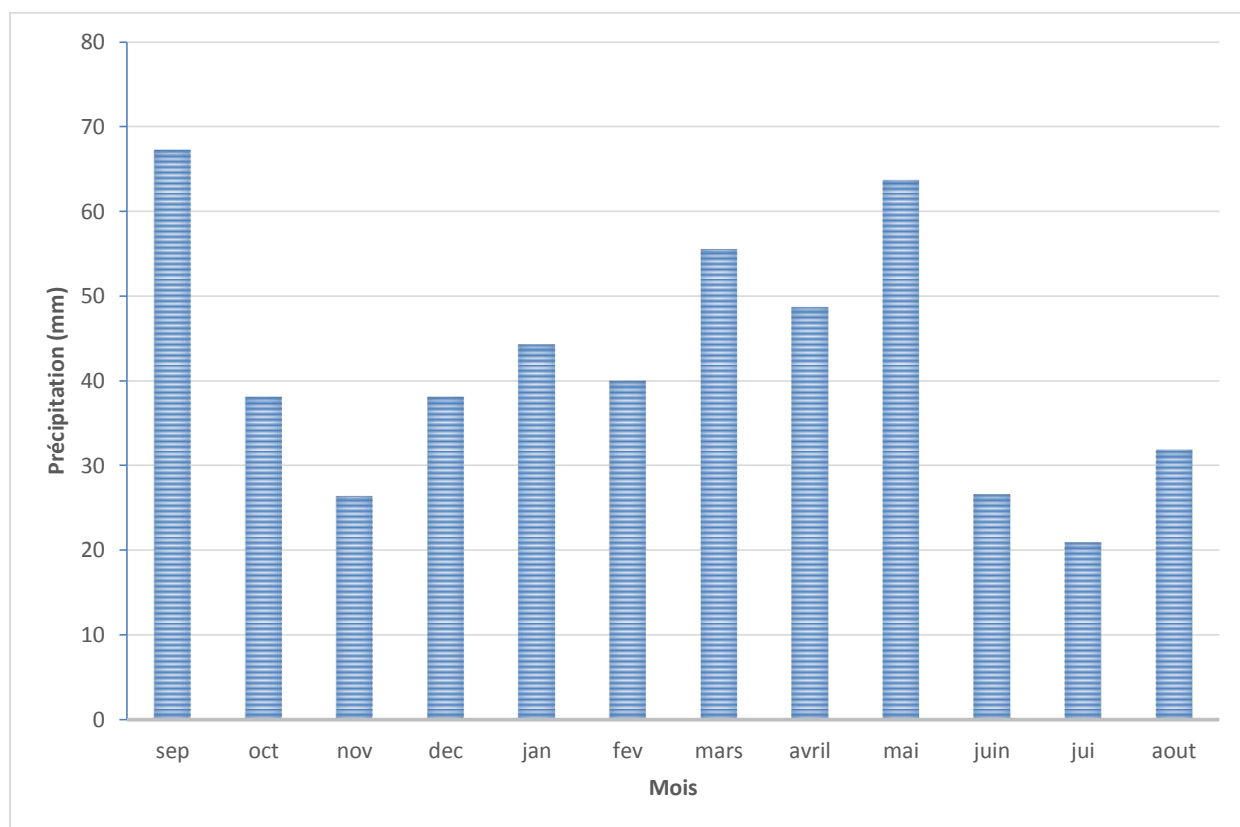


Figure 5. Précipitation moyenne mensuelle d'Al Hamma (2005-2015).

2. Synthèse Climatique

2.1. Diagramme Ombrothermique de Gaussen

La combinaison des deux principaux facteurs température et précipitation est intéressante dans la mesure où elle permet de déterminer les mois véritablement secs et humides.

La courbe ombrothermique (courbe de Gaussen et Bagnouls $P = 2T$) permet la distinction entre deux saisons l'une humide et l'autre sèche. La courbe ombrothermique de la station d'Al Hamma pendant la période (2005-2015) est indiquée dans la (Fig.6)

Tableau 1. Données Pluiothermique d'Al Hamma (2005- 2015).

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
T (°C) moyenne	6,52	6,22	9,84	13,86	18,13	23	26,98	25,27	21,71	16,04	11,42	7,3
Précipitation (mm)	44,31	40,02	55,59	48,69	63,72	26,58	20,92	31,89	67,27	38,1	26,39	38,1

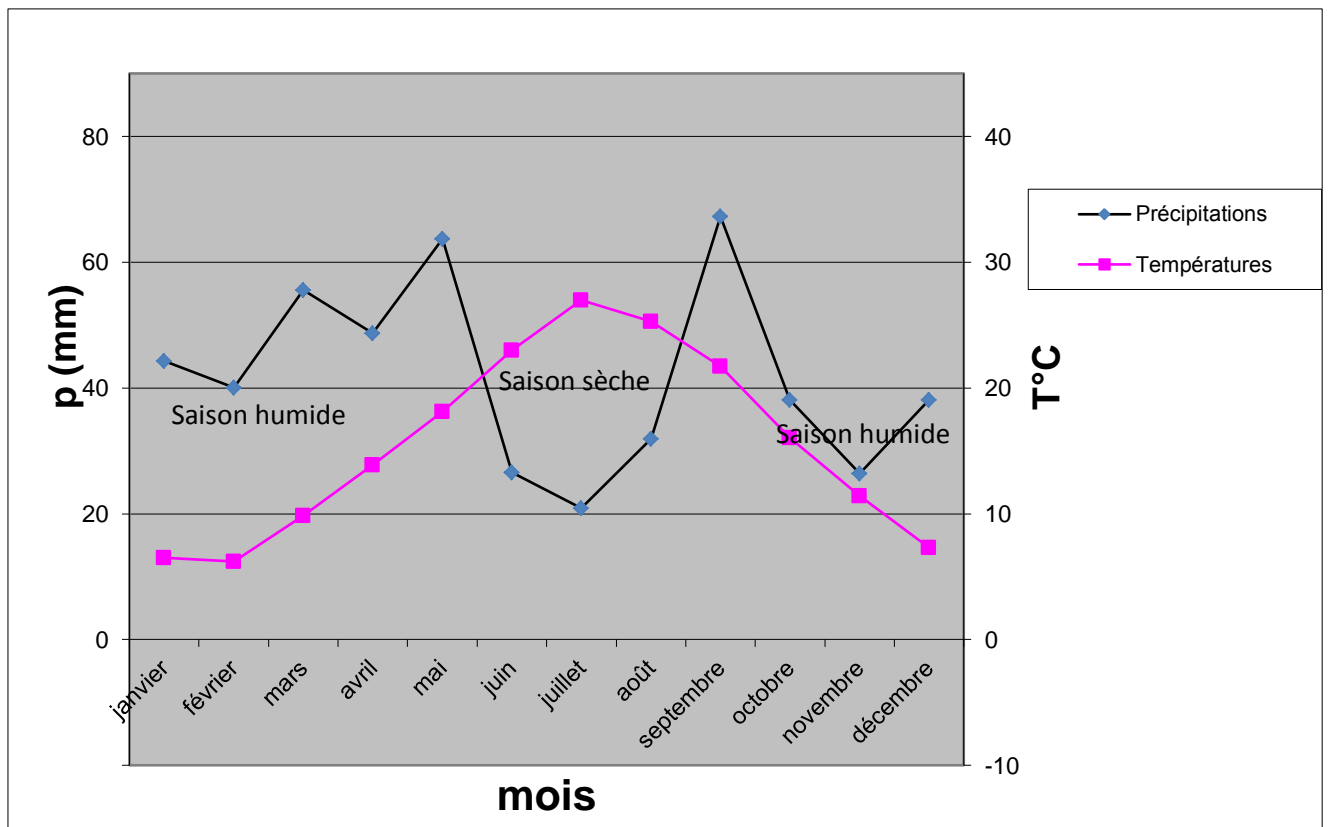


Figure 6. Diagramme Ombrothermique d'Al Hamma (2005- 2015)

La répartition mensuelle des précipitations montre un net contraste pluviométrique entre deux sous saison humide (janvier à mai) et (septembre à décembre) et une autre saison sèche entre juin et août.

2.2. Indice d'aridité de Martonne

En 1925 Emmanuel De Martonne a proposé une formule climatologique permettant le calcul d'un indice dit indice d'aridité (Ia). Cet indice est fonction de la température (T en °C) et des

précipitations (P en mm) et permet de déterminer le type de climat qui caractérise la zone d'étude. Ce paramètre se calcule selon la formule suivante :

$$I_a = P/T+10$$

Avec :

I_a : indice d'aridité

P : précipitations moyennes annuelles (mm)

T : températures moyennes annuelles (°C)

Les valeurs de l'indice permettent déterminer le climat selon le classement suivant:

Quand

$I < 5$ —————> le climat est hyperaride

$5 < I < 7.5$ —————> le climat est désertique

$7.5 < I < 10$ —————> le climat est steppique

$10 < I < 20$ —————> le climat est semi-aride

$20 < I < 30$ —————> le climat est tempéré

$I > 30$ —————> le climat est humide.

$I_{khe} = 501,58 / (15,52+10) = 19.66$ (La région de Khenchela est classée comme un climat Semi-aride).

L'indice d'aridité peut être calculé par mois où $a = 12 p / (t+10)$.

Où

I : Indice d'aridité mensuel

P : Précipitations moyennes mensuelles en mm

T° : Température moyenne mensuelle en °C

Le tableau 12 donne les valeurs de l'indice d'aridité mensuel pour la station d'Al Hamma: D'après les résultats l'hiver gionéde la r est Tempéré à humide, l'automne est Semi-aride, le printemps est tempère à humide et l'été est caractérisé par un climat semi-aride à désertique au mois d'Août, cela nous indique que le climat de la région est caractérisé par un été sec et chaud et un hiver humide et froid.

Tableau 12. Indices d'aridité mensuels de la région d'El Hamma.

Station Al Hamma		
Mois	I	Étage bioclimatique
Septembre	25,46	Tempéré
Octobre	17,56	Semi-aride
Novembre	14,78	Semi-aride
Décembre	26,43	Tempéré
Janvier	32,19	Humide
Février	29,60	Tempéré
Mars	33,62	Humide
Avril	24,48	Tempéré
Mai	27,18	Tempéré
Juin	9,66	Steppique
Juillet	6,78	Désertique
Août	10,85	Semi-aride

2.3. Le diagramme de Louis Emberger :

Pour préciser l'étage bioclimatique de la région, nous employons le Climat-gramme de L'Emberger (Fig.7) sur lequel nous avons reporté les données relatives à la station d'Al Hamma. On a deux formules pour calculé Q, la première est celle de EMBERGER 1939.

$$Q_2 = 2000 P / (M^2 - m^2)$$

La deuxième celle de STEWART 1969 pour le Magreb déterminer selon la formule suivent :

$$Q_2 = 3,43 P / (M - m)$$

Avec :

P : Total des précipitations annuelles de la station

M : Moyenne des maxima du mois le plus chaud

m : Moyenne des minimas du mois le plus froid

D'après la formule de STEWART ont a calculé le coefficient climatique de la région et les résultats sont présentés dans le tableau13.

Tableau 13.Coefficient pluviométrique d'Emberger.

Stations	P (mm)	M (C°)	m (C°)	Q2	Etage bioclimatique
Al Hamma	501,58	32,56	1,61	55,59	Semi- Aride

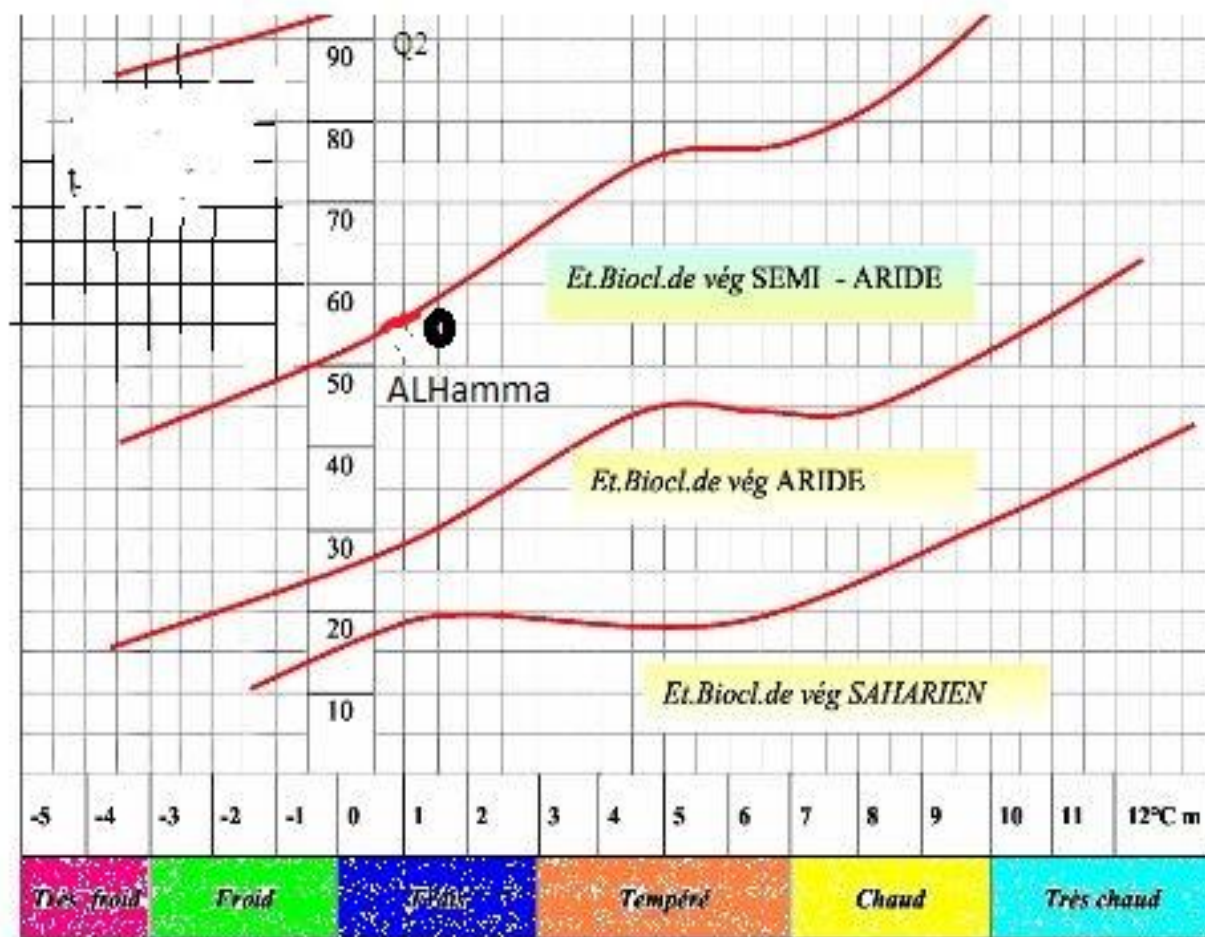


Figure 7.Climagramme d'Emberger de la station d'AL Hamma (2005-2015).

D'après les valeurs du tableau 13 le Climagramme de L. Emberger, permet de conclure que la station d'Al Hamma est classée comme semi-aride (Fig. 7):

2.4. Le bilan hydrique

Le bilan de l'eau global correspondant à une équation d'équilibre entre les apports et les pertes qui influent directement sur la variation des réserves. Ainsi pour déterminer le bilan de la région d'étude, il est indispensable d'évaluer ses composantes (infiltration, ruissellement et évapotranspiration), pour cela, on va se baser sur les données de station Al Hamma.

2.4.1. L'évaporation

L'évaporation est la restitution de l'eau par l'atmosphère sous forme de vapeur à partir de la surface du sol. Elle est donc un élément très important pour l'établissement du bilan hydrologique, et dépend de plusieurs paramètres : la température, les précipitations, l'humidité de l'air, le couvert végétal. On distingue d'évapotranspiration potentielle (ETP) et l'évapotranspiration réelle (ETR).

A. Evapotranspiration potentielle (ETP)

L'évapotranspiration potentielle est la consommation d'eau, sous l'action conjuguée de l'évaporation de l'eau du sol et de la transpiration de la plante. Il s'agit de la perte d'eau d'un couvert végétal sous les conditions optimum d'alimentation en eau.

B. Evapotranspiration réelle (ETR)

L'évapotranspiration réelle c'est la quantité d'eau réellement évaporée.

2.4.2. Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP)

2.4.2.1. Formule de Turc

Suite à ses expériences faites sur des cuves lysimétriques à Versailles, Rothamsted et Groningen, L. Turc a publié une gamme de formules permettant le calcul de l'ETP. En 1962, il ajouta à sa formule de calcul de l'ETR, le bilan radiatif et introduisit l'humidité relative. En gardant la simplicité et la disponibilité des données météorologiques, la formule de Turc s'écrit ainsi :

$$\text{ETP mm/mois} = 0.40[T/T + 15] (I_g + 50)$$

Dans laquelle on a

T : température moyenne mensuelle en °C, mesurée sous abri,

I_g : radiation solaire globale exprimée en cal/cm²/jour.

I_g = I_{ga} (0.18 + 0.62 h/H).

I_{ga} : radiation maximale théorique tirée des abaques.

La constante 0.4 sont remplacées par 0.39 pour les mois de 30 jours et par 0.37 pour le mois de Février.

H : durée astronomique du jour, définie à partir des abaques.

h : durée d'insolation effective mesurée par l'héliographe.

Quand l'humidité relative mensuelle de l'atmosphère est inférieure à 50%, on multiplie la valeur de l'ETP par le coefficient de correction suivant :

$$k = 1 + [(50 - hr)/70] \text{ avec}$$

hr : humidité relative de l'air durant le mois en question.

2.4.2.2. Formule de Thornthwaite

L'évapotranspiration potentielle (ETP), initiée par le climatologue américain G.W. Thornthwaite, est la croissance de l'évapotranspiration vers une limite maximale. Elle se produit lorsqu'un milieu végétal étendu et couvrant efficacement un sol est abondamment pourvu en eau, pouvant permettre aux végétaux de puiser sans restriction dans la réserve hydrique du sol pour répondre au mieux à la demande de l'environnement aérien. G.W. Thornthwaite proposa en 1948 une expression pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle en tenant compte seulement de la température mensuelle. Le développement de cette expression donne la formule suivante :

$$ETP = 16[10t/I]^a * K$$

$$i = (T/5)^{1.514}$$

$$I = \sum_1^{12} i$$

$$a = (1,6/100) I + 0.5$$

ETP: évapotranspiration potentielle moyenne mensuelle (mm)

I: Indice thermique mensuel

a : paramètre arbitraire lié à la température

I: Somme des indices thermiques mensuels

T : Température moyenne mensuelle (c°)

K: coefficient d'ajustement mensuel

2.4.3. Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR)

Pour le calcul de l'ETR, nous appliquerons plusieurs méthodes, mais l'ETR s'écarte plus ou moins de l'ETP, selon le climat et la nature des surfaces évapora.

2.4.3.1. Méthode de Turc

Cette méthode est applicable à tous les climats et elle est fonction des précipitations et des températures moyennes mensuelles. La formule est la suivante :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Où:

ETR: Evapotranspiration réelle annuelle en mm

P: Précipitation moyenne annuelle, en mm

$L = 300 + 25 T + 0,05 T^3$: pouvoir évaporant de l'atmosphère

T: Température moyenne annuelle, (en °C)

2.4.3.2. L'ETR selon la C.W.Thornthwaite

On obtient l'ETR pour l'un des cas suivants :

Si $-P < ETP$ → (1) suffisant → $ETR = ETP$

(2) insuffisant égale à (0) $ETR = P + RFU$ (mois précédent)

Si $-P > ETP$ → $ETR = ETP$

2.4.3.3. Formule de M. Coutagne qui s'écrit de la manière suivante :

$$ETR = P - \lambda P^2 \text{ avec}$$

$$\lambda = 1 / (0.8 + 0.14T)$$

P : précipitation moyenne annuelle en (m).

T: Température moyenne annuelle, (en °C).

L'application de cette formule est conditionnée par la relation suivante :

$$1/8\lambda \leq 1/2\lambda$$

2.4.4. Estimation de la RFU (réserve facilement utilisable)

Selon G.Gastany lorsque les quantités d'eau provenant des pluies dépassent celles perdus par l'évapotranspiration, le surplus est stocké et constitue ce qu'on appelle réserve facilement utilisable (RFU). $RFU = (P - ETP) + RFU$ (mois précédent).

Dans le cadre de calculé le bilan hydrique de la région d'étude (Khenchela), ont a utilisé un logiciel Thorn-CS, qui a donné les résultats mentionnés dans le tableau 14 et les deux figures (8 et 9).

Les résultats montrent que les RFU sont disponible dans le sol pour les plantes durant la période qui s'étale de mois de Décembre jusque à Mai et la quantité la plus importante est celle de mois de Mars, cela nous pousse de déduire que l'irrigation est obligatoire en d'hors de cette période .

D'après les résultats de deux figures (8 et 9), la région d'étude passe par un état de déficit hydrique durant la période qui s'étale de Juin jusqu'au mois de Novembre au les valeurs de l'ETP sont plus élevées que celle de la précipitation.

Tableau 14. Bilan hydrique à la station d'Al Hamma (2005-2015).

	T (°c)	I	K	ETP	PR	BH	CH	VR	RFU	ETR	DEF	EXC
Sep	21,72	5,2	1,04	102,7	67,27	-35,5	-0,3	0,0	0,0	67,3	35,5	0,0
Oct.	16,04	5,8	0,98	59,1	38,1	-21,0	-0,4	0,0	0,0	38,1	21,0	0,0
Nov.	11,42	3,5	0,88	29,1	26,39	-2,8	-0,1	0,0	0,0	26,4	2,8	0,0
Déc.	7,3	1,8	0,84	13,7	38,1	24,4	1,8	24,4	24,4	13,7	0,0	0,0
Jan	5,63	1,2	0,86	9,2	44,31	35,1	3,8	35,1	59,5	9,2	0,0	0,0
Fév.	6,23	1,4	0,85	10,70	40,02	29,3	2,7	29,3	88,7	10,7	0,0	0,0
Mars	9,84	2,8	1,03	27,6	55,59	28,0	1	11,3	90,0	27,6	0,0	16,7
Avar	13,86	4,7	1,09	51,3	48,69	-2,6	-0,1	-2,6	97,4	51,3	0,0	0,0
Mai	18,13	7,0	1,21	89,3	63,72	-25,6	-0,3	-25,6	71,8	89,3	0,0	0,0
Juin	23	10,1	1,21	132,3	26,58	-105,7	-0,8	-71,8	0,0	98,4	33,9	0,0
Juil.	26,99	12,8	1,23	175,1	20,92	-154,2	-0,9	0,0	0,0	20,9	154,2	0,0
Aout	25,28	11,6	1,16	142,3	31,89	-116,4	-0,8	0,0	0,0	31,9	116,4	0,0
Année	15,5	72,0		848,6	501,6	-347,0				484,9	363,7	16,7

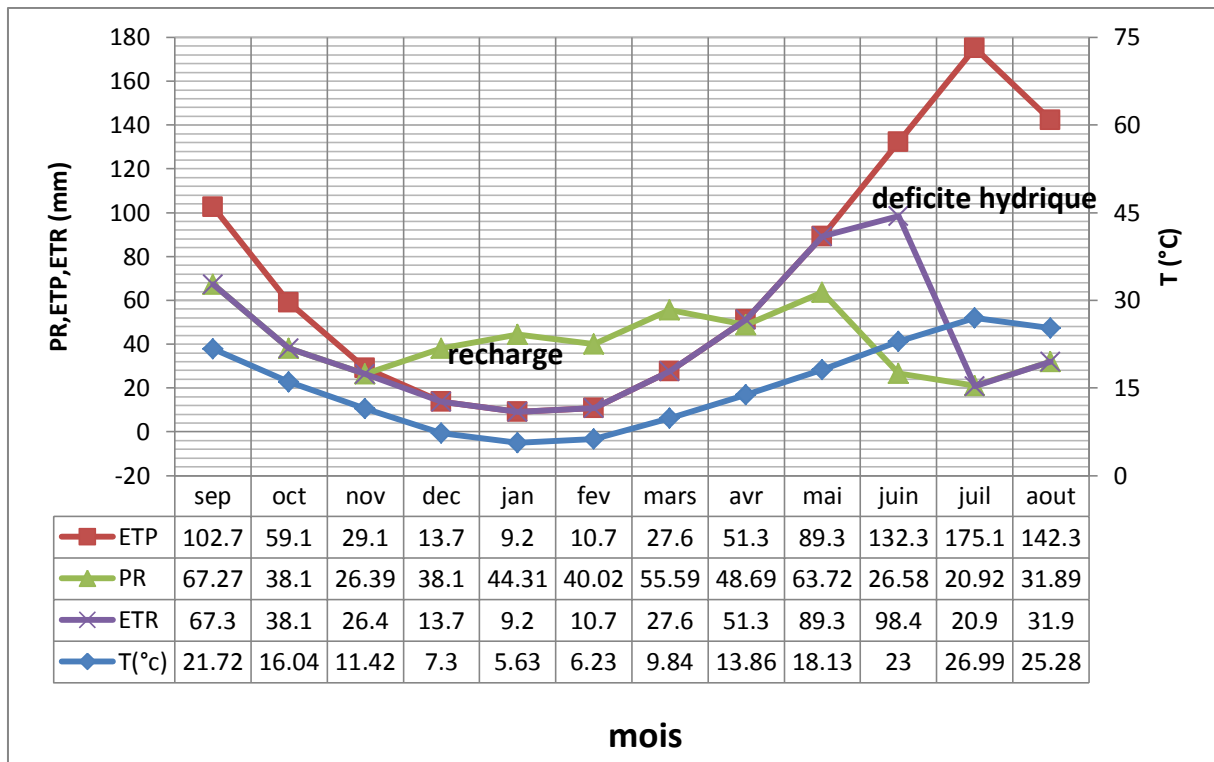


Figure 8. Moyenne pluriannuelle des éléments climatiques à la station El Hamma (2005-2015)

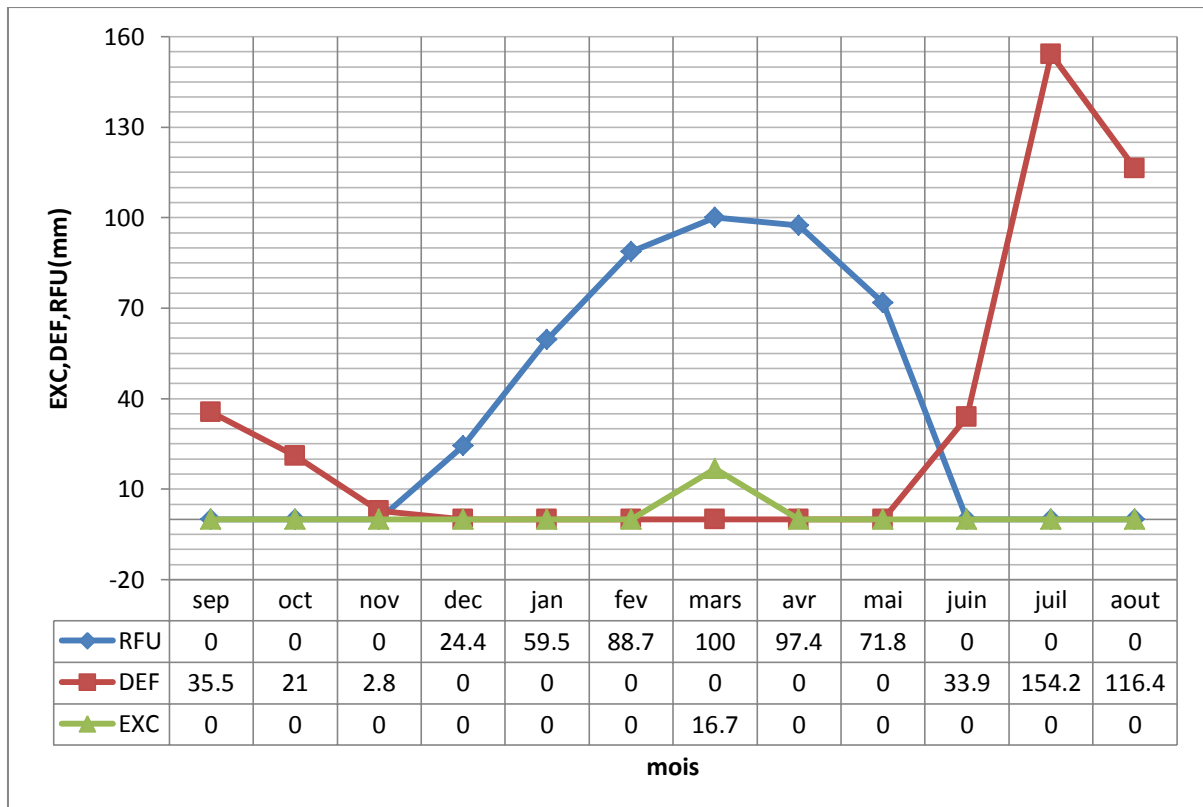


Figure 9. Diagramme de la variation de la RFU, du déficit et de l'excédent à la station d'El Hamma (2005-2015).

D'après les résultats des figures 8 et 9 on remarque que les paramètres calculés de bilan hydrique telle que l'ETP présente des valeurs très élevés durant la période qui s'étale de avril jusqu'à novembre au elle dépasse les valeurs de précipitations cela indique que aucun culture réussira sans irrigation, tandis que durant la période qui s'étale de Décembre au Mars les valeurs de l'ETP sont mois que les précipitation cela indique un excès dans cette période. Concernent les valeurs des réserves facilement utilisable (RFU) sont disponible dans le sol pour les plantes durant la période qui s'étale de mois de Décembre jusque à Mai et la quantité la plus importante est celle de mois de Mars avec une valeur de 90mm, par contre pour la période qui s'étale de Juin au Novembre présente une déficit hydrique et surtout les mois de Juillet et Aout.

Conclusion

A partir de résultat de l'étude climatique on ne conclut que la ville de Khenchela située dans l'étage climatique semi-aride.

La répartition mensuelle des précipitations montre un net contraste pluviométrique entre deux sous saison humide (Janvier a Mai) et (Septembre a Décembre) et une autre saison sèche entre Juin et Aout, les RFU sont disponible dans le sol pour les plantes durant la période qui s'étale de mois de Décembre jusque à Mai et la quantité la plus importante est celle de mois de Mars Alor ,l'irrigation est obligatoire hors de cette période .

La région de Khenchela passe par un état de déficit hydrique durant la période qui s'étale de Juin jusqu'au mois de Novembre, car les valeurs de l'ETP sont plus élevées que celle de la précipitation.

**Chapitre 4 : étude de qualité
de l'eau usée épurée de
STEP de khenchela pour des
fins agricoles**

Chapitre 4 : étude de qualité de l'eau usée épurée de STEP de Khenchela pour des fins agricoles

1. La présentation de la zone d'étude

La région de Khenchela est située au Nord de l'Algérie, au Sud-est du constantinois ; et au contrefort du mont des Aurès entre $34^{\circ} 06' 36''$ et $35^{\circ} 41' 21''$ latitudes Nord ; et entre $06^{\circ} 34' 12''$ et $07^{\circ} 35' 56''$ de longitudes Est. Sa superficie est de 9715,6 km². Elle est limitée géographiquement au :

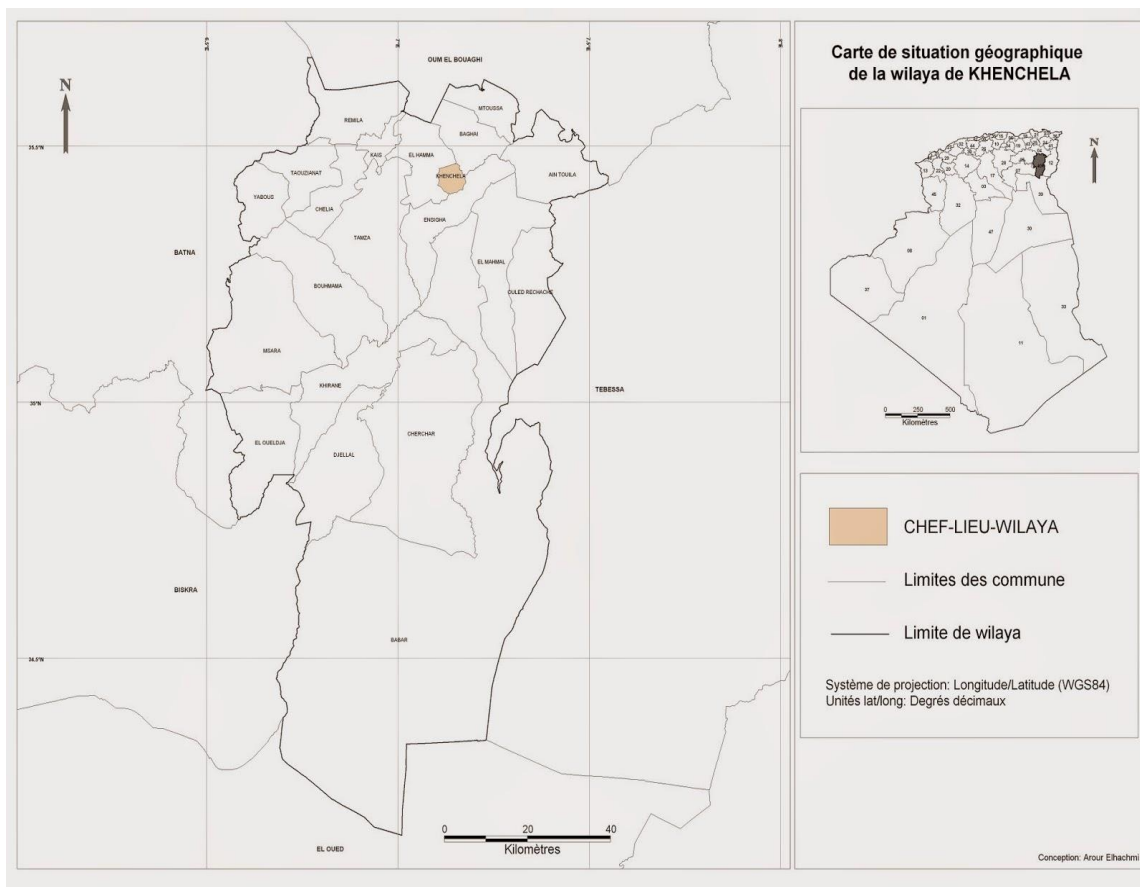
Nord : par la Wilaya d'Oum El Bouaghi

Sud : par la wilaya d'El Oued

Est: par la wilaya de Tébessa

Ouest: par la wilaya de Batna

Sud- Ouest : par la wilaya de Biskra (Khabtane, 2010)



Source : Google Maps

Figure 10. Situation géographique de la wilaya de Khenchela.

1.1. La population :

Les habitants de la wilaya sont estimés à 422500 (2012) réparties à travers 21 communes et daïra, exerçant activités, l'agriculture en premier lieu, suivi de l'industrie et de commerce. (M.R.E., 2016). Malgré les mutations sociales et économique connues par le peuple algérien, la société Khencheli est restée conservatrice à travers sa population.

Khenchela, est une ville d'Algérie et le chef-lieu de la wilaya de Khenchela. Elle est située dans les Aurès, dans l'Est Algérien ,au piémont d'une chaîne montagneuse composée de djebel ras Serdoum, Kef Tifekressa et Tissekla où la majorité des affluents prennent naissance à partir du point culminant à la cote 1817m aux alentours du douar Fringuel et 1700 m au niveau de la ville de Khenchela (M.R.E., 2016).

D'après les résultats de recensement présenté dans le tableau 15 et figure 11, la population de la ville a connu une augmentation d'une manière significative au cours de ses dernière décennies entre 1987-2008 qui va influencer sur l'augmentation de la consommation en eau donc qui va circonvenir la quantité et la qualité des eaux usées.

Tableau15.Evolution de population de la ville de Khenchela (1987-2008).

Année	1987	1998	2002	2006	2008
Population	71185	106649	121910	142705	195502

Source : Ben Sai, 2006.

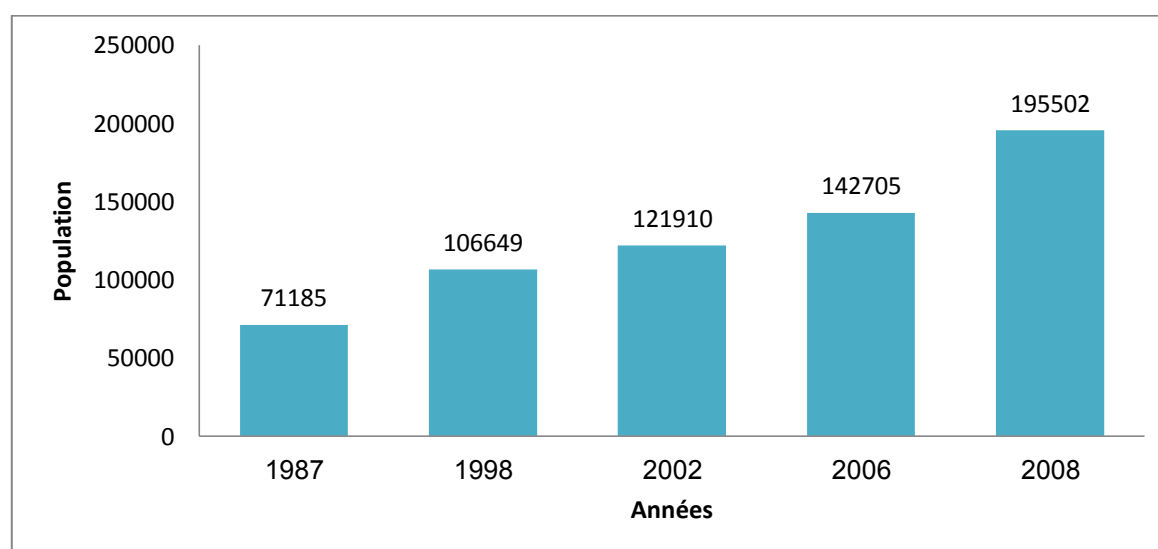


Figure 11. Histogramme de l'évolution de la population de la ville de Khenchela 1987-2008

1.2. station d'épuration de la ville de Khenchela

La station d'épuration des eaux usées de la ville de Khenchela situé à 02,5 km au Nord de la ville, été mise en service en janvier 2009 sa capacité est de 440 m³/j pour 192000 éq/hab. Le principal système d'épuration de cette station est le traitement par boues activées à faible charge et le milieu récepteur après traitement est l'Oued Baghai (Fig.12) (O.N.A., 2017).

Actuellement les eaux usées de la ville de Khenchela sont transportées par deux collecteur a écoulement gravitaire D= 1250 mm et D= 1500mm

Le collecteur Nord-est fonctionne à 70% de sa capacité et celui de Sud-est à 30% de sa capacité.

La station d'épuration de Khenchela a pour but l'amélioration des conditions écologiques et préservation de l'environnement de la wilaya de Khenchela et surtout les eaux de l'Oued Baghai et les eaux souterraines de la région.

Elle est limitée par :

- Oued Baghai à L'Est.
- La route vers Baghai à l'Ouest
- E.C.M.K au Nord- Ouest.
- Khenchela ville au Sud.
- Elle est plantée sur un site limité par deux Oueds (oued Baghai et oued El monchar) (M.R.E .2016)

1.1.1. Le rôle de la station de Khenchela

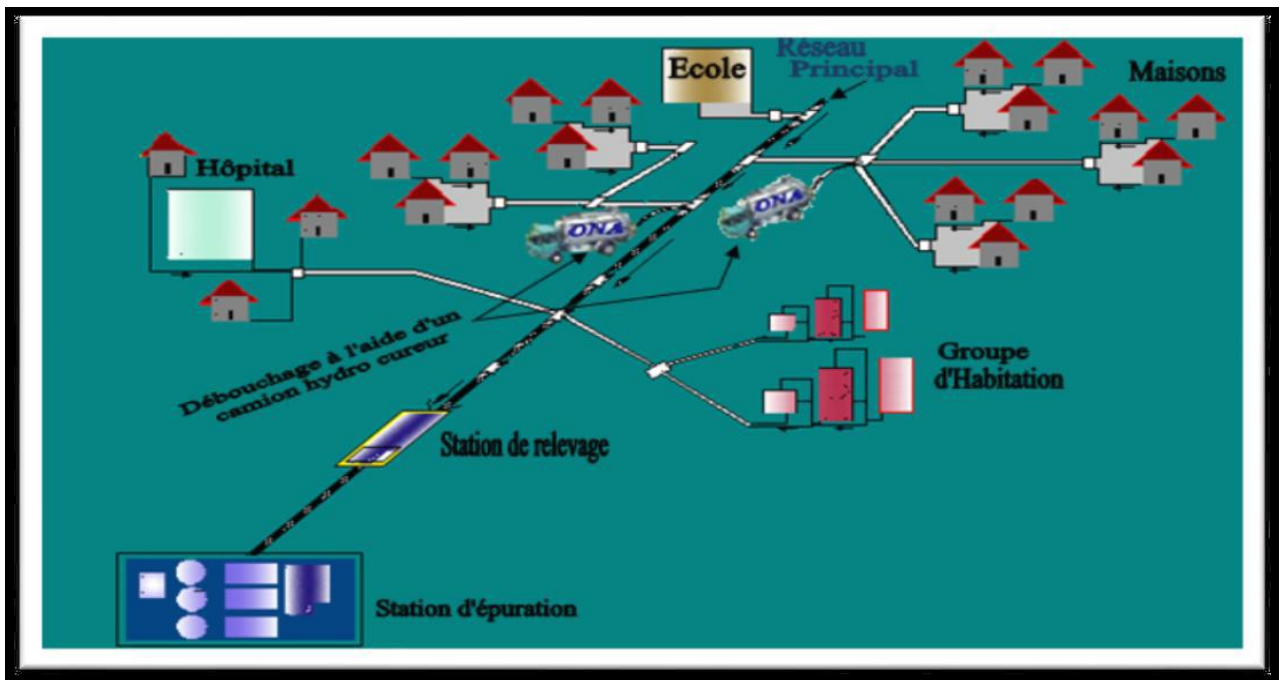
Le rôle de cette station d'épuration est de minimiser la pollution de l'eau que nous salissons, et comme ça, nous contribuerons à la protection de notre environnement, donc la préservation des ressources en sol et les ressources en eaux superficiel et souterraines. Ajoutant à cela, la valorisation d'une ressource durable et en augmentation perpétuelle (O.N.A., 2017).

1.1.2. La quantité des effluents (eaux usées)

La station d'épuration de Khenchela reçoit chaque jour un volume d'eau usée de 23000 m³, les principales sources des effluents sont présentées dans la figure 13 :



Figure12. Aperçu générale de la station de Khenchela(STEP) (Google Earth).



Source : Zeghdani et Allaoui, 2016.

Figure 13.Schéma l'acheminement des eaux usées vers la STEP de Khenchela.

Au niveau de la station d'épuration de la ville de Khenchela l'eau subit 03 étapes

De lavage après l'arrivée des eaux usées :

- Prétraitement ;
- Traitement biologique ;
- Clarification (Zeghdani et Allaoui, 2016).

2. Matérielles et méthodes

2.1. Mode de prélèvement et Analyses

Afin d'étudier la qualité des eaux usées traitées de la station d'épuration de la ville de Khenchela et la possibilité de le réutiliser pour des fins agricoles, des campagnes de prélèvement ont été programmées durant l'année 2017. Pour caractériser le fonctionnement de la station d'épuration de la ville de Khenchela, des prélèvements ont été programmés chaque quinzaine durant trois mois sur la rentrée et la sortie de station des bouteilles de polyéthylène propres et secs. Aussi un autre échantillon a été prélevé dans une bouteille de polyéthylène pour identifier la qualité des eaux pour des fins agricoles. Pour éviter des surprises d'échantillonnage et d'analyse, nous avons basé sur la méthode préconisée celle de Rodier, 2009 et CEAEQ, 2009.

Après la collecte, les échantillons sont immédiatement conservés dans une glacière à 4°C et transportés au laboratoire. Les échantillons prélevés ont été l'objectif des analyses physicochimiques *in-situ* tel que T°C, CE, pH, O₂ et TDS au moyen de sondes multiparamétriques et un oxymétrie. Les autres analyses, ont été effectuées au laboratoire de Station tel que MES, tandis que le TAC, DHT, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, HCO₃⁻, SO₄²⁻, Na⁺, K⁺ et NO₃⁻ ont été effectués au laboratoire de la géochimie université Constantine.

Tableau 16. Les méthodes utilisées pour le dosage des ions dans les eaux de STEP de Khenchela

Eléments	Méthodes d'analyse
MES	Norme AFNOR T90-105 (colorimètre de type DR 890)
Ca ²⁺ et Na ⁺	Photomètres de flamme PFP7 Industriel
Mg ²⁺ et K ⁺	Absorption atomique Perkin Elmer AA200 (FSAA)
SO ₄ ²⁻ et NO ₃ ⁻	Méthode colorimétrique
Cl ⁻ et HCO ₃ ⁻	Méthode Volumétrique
Cl ⁻	Le module de conductivité CM-150 du FIA Quikchem 8500 (Lachat)
TAC	Méthode titrimétrique
DHT	Dureté totale par titrimétrie à l'EDTA

2.2. Calcule d'indicateurs de la qualité de l'eau pour l'irrigation

Les paramètres importants de la qualité de l'eau d'irrigation comprennent un certain nombre de propriétés spécifiques de l'eau en rapport avec le rendement et la qualité des cultures, le maintien de la productivité des sols et la protection de l'environnement. De nombreux chercheurs ont élaboré de nombreuses lignes directrices sur la qualité de l'eau pour l'utilisation de l'eau dans l'irrigation sous différentes conditions (Eaton, 1950 ; Ayers et Westcot, 1984), Les indicateurs de la qualité de l'eau sont un outil simple et facilement compréhensible pour les gestionnaires et les décideurs de transmettre des informations sur la qualité et les utilisations potentielles d'un plan d'eau donné (Sedeno-Díaz et López-López, 2007).

Toutefois, la classification de l'US Salinity Laboratory (USSL) est utilisée le plus souvent. Des paramètres tels que l'CE, le pH, le rapport d'adsorption de sodium (SAR), le pourcentage de sodium soluble (SSP), potentiel de salinité (PS), risque de magnésium (MR) et Indice de perméabilité (PI) ont été utilisés pour évaluer l'aptitude de l'eau à des fins d'irrigation.

Dans une partie d'analyse des données physicochimiques on a basé sur les techniques statistiques. L'analyse statistique des données obtenues a été effectuée avec le logiciel STATISTICA 7.1 (StatSoft1). Les techniques statistiques multi variées, telles qu'ACP et MC, sont souvent utilisés comme « méthodes non biaisées » pour récapituler les associations entre les échantillons et/ou variables.

3. Résultats et discussions

Les différents paramètres physiques et chimiques déterminés pour les échantillons d'eau ont été donnés respectivement dans les tableaux 17 et 18. Les résultats de tableau 17 présentent les échantillons d'eau prélevés dans la rentrée de station (eau usée brute) et les échantillons prélevés à la sortie de station (eau usée traité). Le tableau 18 présente les résultats d'analyse d'un échantillon prélevé des eaux usées rejeté dans la nature

Tableau 17. Paramètres physicochimiques d'échantillons d'eau rejetée dans la nature de station d'épuration Khenchela Ville.

	Paramètres Chimiques (még/l)									
Paramètre	TAC	DHT	Ca	Mg	Cl	HCO ₃	SO ₄	Na	K	NO ₃
Résultats	12.20	11.00	6.61	4.35	6.02	12.20	5.10	4.57	0.03	0.45
	Paramètre Physique et calculés									
Paramètre	CE μ S/cm	pH	TC°	SAR	SSP	MR	PI	PS		
Résultats	2050	7.50	22.50	1.95	29.36	39.66	51.91	8.57		

Tableau 18. Les caractéristiques physico-chimiques des eaux usées brutes et traités

Prélèvements		T°C eau	T°C air	O ₂ (mg /l)	pH	Sal(‰)	CE (µs /cm)	MES (mg /l)	
2 jan.	Entrée	11,1	14	0,16	8,03	0,83	1198	289	0
	Sortie	10,9		0,76	7,69	0,81	1110	93	
15jan.	Entrée	8,8	6	1,25	7,97	0,79	1112	215	13
	Sortie	8,4		0,93	7,5	0,72	1102	71	
1fev.	Entrée	10	15	0,6	8,09	0,77	1282	208	1
	Sortie	9,8		0,63	7,67	0,76	1069	55	
15fev.	Entrée	11,6	17	0,49	8,02	0,88	1293	348	0
	Sortie	11		0,31	7,94	0,8	1150	102	
1mars	Entrée	14,5	18	0,11	8,01	0,91	1422	324	0
	Sortie	14		0,88	7,68	0,89	1366	83	
15 mars	Entrée	13,8	16	0,21	8,18	1,22	1842	515	0
	Sortie	13		0,29	7,59	0,83	1252	119	

Source : STEP Khenchela, 2017.

3.1. Evaluation de qualité des eaux et fonctionnement de la station d'épuration

Basés sur les résultats de tableau 18, on peut évaluer les caractères physicochimiques des eaux usées de la station comme suite

3.1.1. Température

La température des eaux usées constitue l'un des paramètres influençant leur composition (effet sur la solubilité des sels). Elle favorise aussi la formation d'une biomasse bactérienne importante. Au niveau de la station d'épuration de Khenchela, les températures des eaux usées brutes de 8.8 à 14.5 avec un moyen de 10, 13 et les températures des eaux épurées oscillent de 8.4 à 14 avec un moyen de 11.18 (Fig.14). Nous remarquons que les températures des eaux usées épurées et brute sont en harmonie avec les températures de l'air qui augmentent ensemble et diminuent ensemble, cela s'explique par l'effet de la température de l'air sur les eaux traitées que l'effet de la température des eaux rejetées par les habitants est généralement très élevé, et cela va limiter le développement de biomasse bactérienne dans les eaux usées.

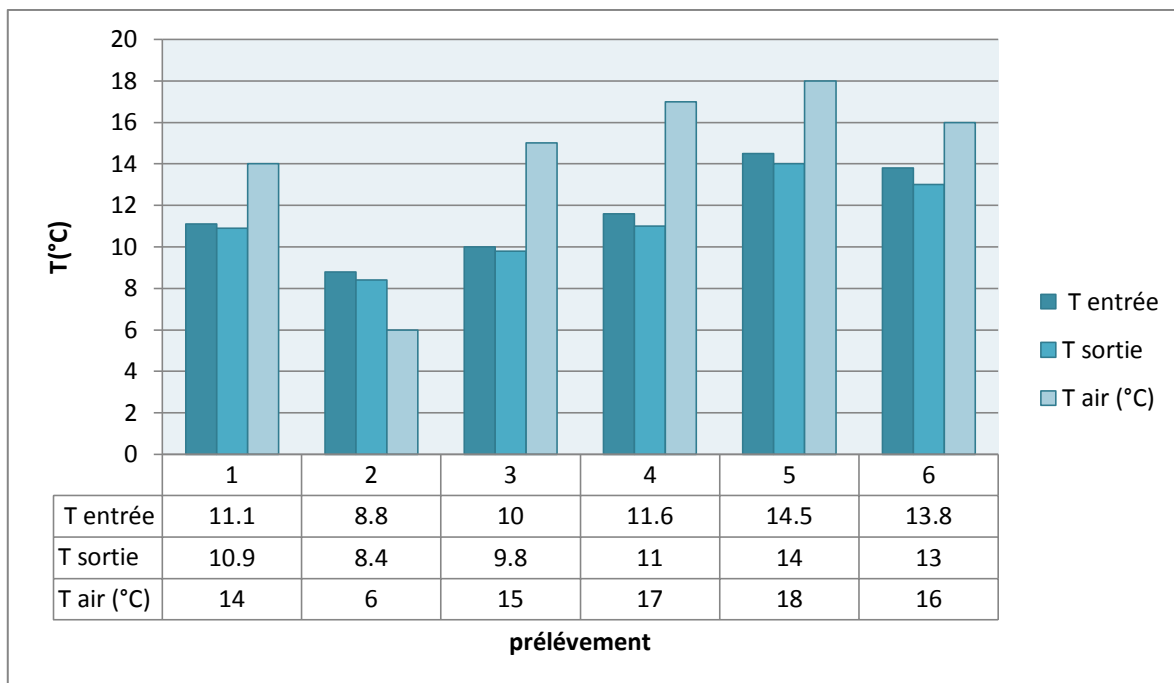


Figure 14. Variation de la température des eaux brute et traitées de STEP du Khenchela.

3.1.2. Potentielle d'hydrogène (pH)

Le pH sert à quantifier la concentration en ions H^+ de l'eau qui lui confère son caractère acide ou basique. Cette mesure peut apporter des renseignements sur la qualité d'une eau. L'échelle des pH s'étend de 0 (très acide) à 14 (très alcalin); la valeur médiane 7 correspond à une solution neutre à 25°C.

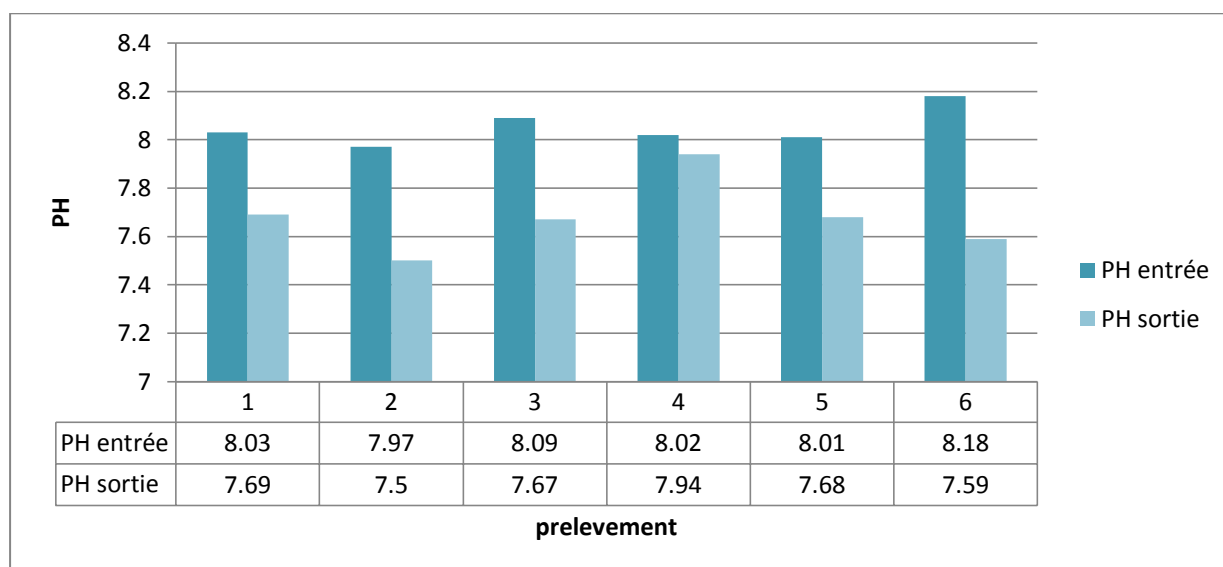


Figure 15. Variation de pH des eaux brute et traitées de STEP de Khenchela.

Les résultats de nos mesures des eaux brutes oscillent de 7,97 à 8,18 avec un moyen de 8,5 ; les valeurs de pH des eaux épurés oscille de 7.5 à 7.94 avec un moyen de 7.72 ce qui indique un état d'alcalinité des eaux (fig.15), les valeurs de la sortie on peut les classer comme des valeurs acceptables par les normes standard Algériennes ($6.5 < \text{pH} < 8.5$ (JORA, 1912) et celle des normes de l'FAO 1985 (Tableau 2).

3.1.3. Matières en suspension (MES)

Les MES provoquent un déséquilibre dans le milieu aquatique en accroissant la turbidité et peuvent avoir un effet néfaste direct (GAID, 1993).

Les valeurs de MES des eaux usée brute des STEP varient entre 215 à 515 mg/l et les valeurs de MES a des eaux traitées varient entre 55 à 119 mg/l (Fig. 16) les valeurs de MES des eaux épurée généralement en n'accorde pas avec les normes fixées à un maximum de 30 mg/l, les valeurs de MES des eaux épurées est supérieure à 30 mg/l qui est la valeur exigée par le (JORA., 2012) qui cite les normes fixées sur la REUE à l'irrigation (tableau 2).

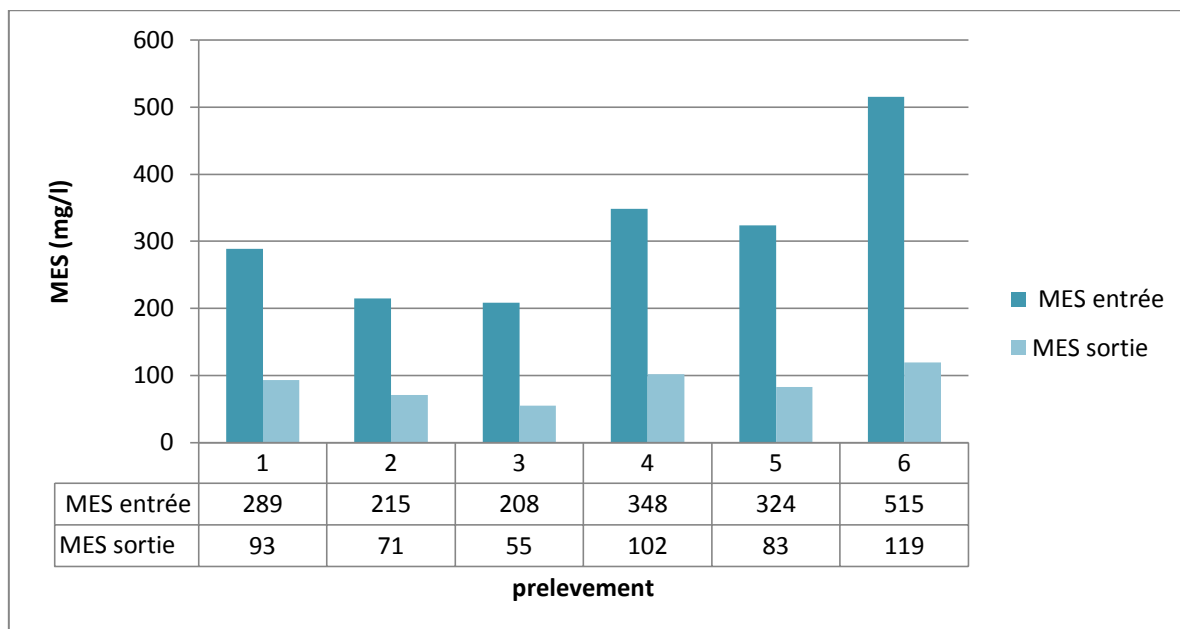


Figure 16. Variation de MES des eaux brut et épurée de STEP de Khenchela.

3.1.4. Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique est l'un des critères de choix pour juger l'aptitude d'une eau à un usage agricole en générale, jusqu'à $750 \mu\text{S}/\text{cm}$, l'eau est considérée comme étant de bonne qualité. De 750 à $1500 \mu\text{S}/\text{cm}$, l'influence de la composition ionique et celle de la nature du sel joue un rôle prépondérant dans le choix de l'eau d'irrigation (Djeddi, 2006).

Les valeurs de la conductivité électrique de l'eau brute enregistrées au sein de la station d'épuration varient de 1198 à 1842 $\mu\text{S}/\text{cm}$, et la conductivité des eaux épurées oscille entre 1102 à 1366 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (fig 17). D'après ces résultats on peut classer les eaux de STEP Khenchela comme des eaux de bonne qualité pour l'irrigation.

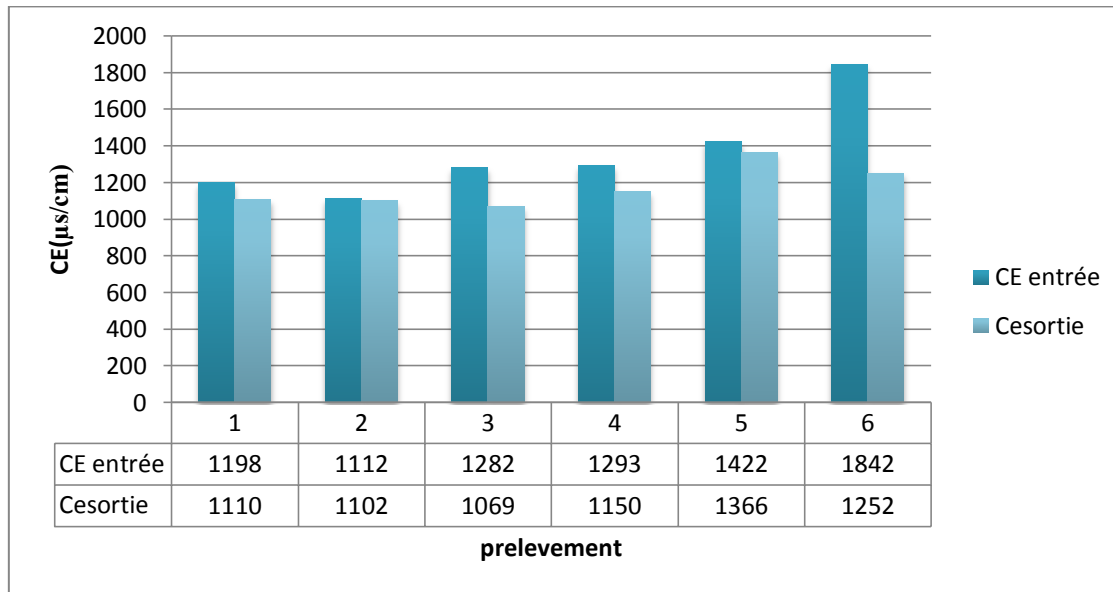


Figure 17. Variation de conductivité électrique des eaux usées brutes et épurées de STEP de Khenchela

3.1.5. L'oxygène dissous

L'oxygène dissous est un composé essentiel de l'eau car il conditionne les réactions biologiques qui ont lieu dans les écosystèmes aquatiques. Dans le domaine de l'épuration, il est indispensable pour la dégradation des matières polluantes qui se fait principalement en aérobiose. L'oxygène dissous des eaux brutes est variable entre 0,11 à 1,25 mg/l, tandis que les valeurs d'oxygène dissous dans les eaux après épuration sont de 0,29 à 0,93 mg/l (Fig. 18), cela indique que la station a joué un rôle important dans l'augmentation d'oxygénation des eaux, mais le plus remarquable est le résultat non stable, car des fois les valeurs d'oxygène de sortie et la rentrée sont très proches et des fois la différence est très importante entre la sortie et la rentrée, cela peut être expliqué par un problème de fonctionnement de la station qui a des fois un effet limité sur la qualité des eaux traitées.

3.1.5. Analyse statistique des eaux usées de la station

Des techniques d'analyse statistique multi variées ont été utilisées dans l'analyse des données sur la qualité de l'eau depuis des décennies (Mahloch, 1975).

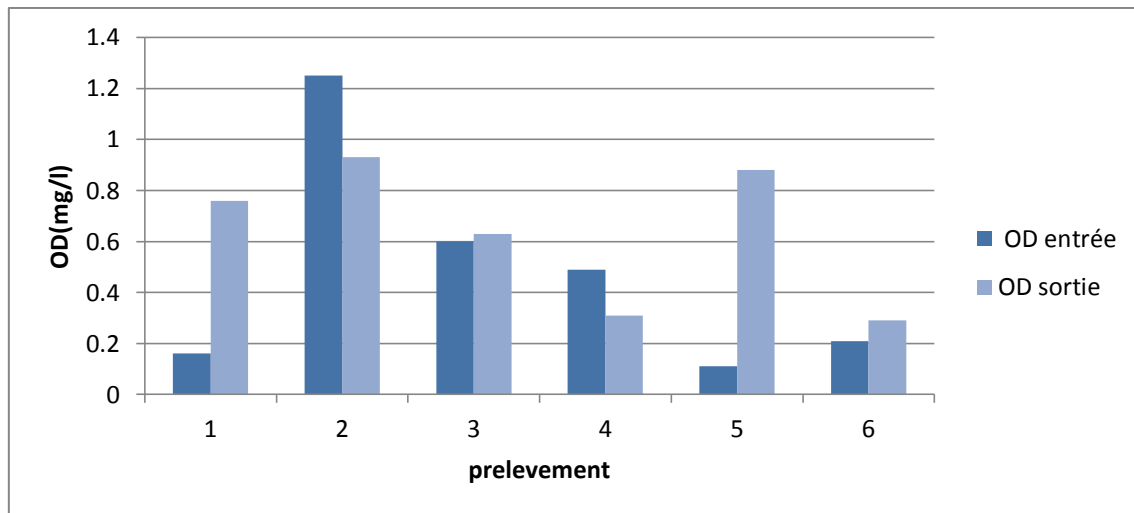


Figure 18. Variation de L'oxygène dissous des eaux usées brute et épurée de STEP de Khenchela.

L'application de méthodes multi variées telles que l'analyse des composantes principales, l'analyse des facteurs et la corrélation entre les paramètres a considérablement augmenté au cours des dernières années pour analyser les données environnementales et tirer de l'information significative (Vega et al., 1998). Essentiellement, l'ACP est utilisé pour réduire le nombre de variables, identifier les principales variables responsables de la variabilité globale et représenter les principales sources de pollution ; Tandis que MC est utilisé pour identifier les corrélations entre les différents paramètres et l'interaction entre eux (Zou et Yu, 1996 ; Awadallah et Yousry, 2012).

L'analyse statistique est réalisée sur des variables de qualité des eaux usées sélectionnées précédemment ($T^{\circ}C$, P mm, pH, MES, CE et O_2), l'analyse est effectuée séparément sur des prélèvements périodiques chaque quinzaine durant trois mois.

Les résultats d'analyse ACP d'individus montre l'existence de deux groupes, groupe d'eau prélevé au début de mois caractérisé par manque de précipitation avec une qualité très proche et le deuxième groupe caractérisé par des prélèvement effectuer après période pluviale, cela peut indiquer que la qualité des eaux qui alimente la station sont très touché par les eaux de pluie. L'analyse de l'ACP pour la relation entre les variables a montré que la salinité CE est en relation significatif avec la température, cela explique que la solubilité des sels est influencé par la température, tandis que l' O_2 est influencer par les précipitations car en remarque la relation significatif entre les deux (Fig. 19).

D'après les résultats tableau 19 d'analyse des données par la matrice de corrélation (MC), montrent que la salinité CE présente une corrélation 0.90 avec T°C (très significatif) tandis que elle présente une corrélation négatif -0.69 avec la précipitation, cela déduire que la salinité des eaux usées est acquise des rejets des minages qui sont chargé des détergents et ne pas des pluies. Ajoutant à cela, l'analyse aussi a confirmé que l'augmentation de la MES influence inversement sur la quantité d'O₂ dans l'eau, car elle présente une corrélation négative avec -0.65.

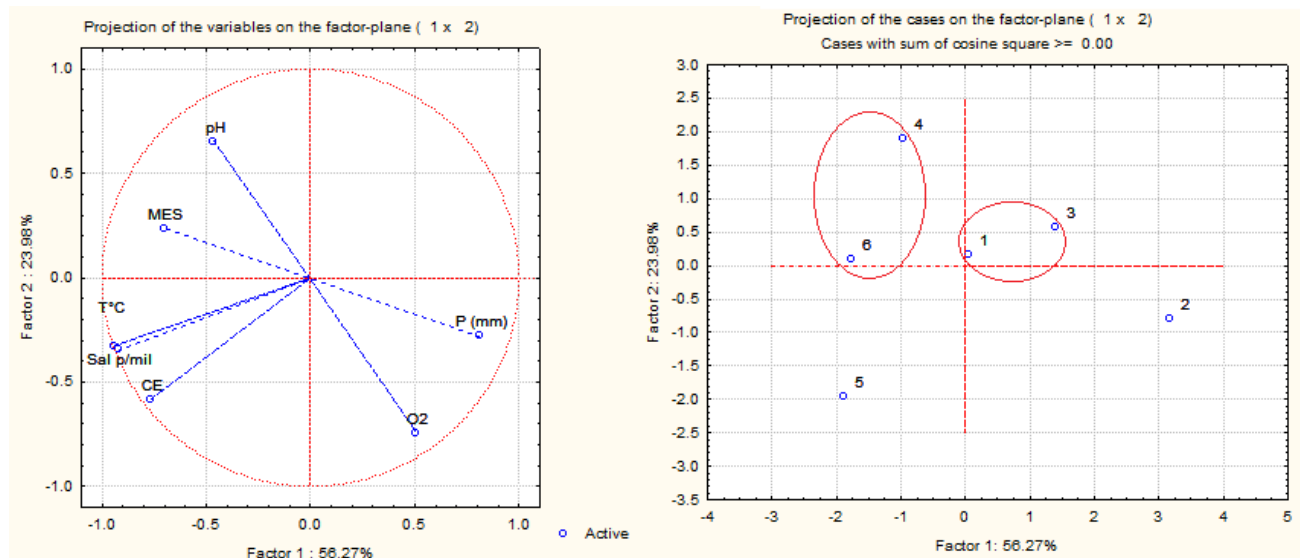


Figure 19. Résultats d'analyse en composantes principales des eaux usées de l'entrée de station de Khenchela.

Tableau 19. Matrice de corrélation des eaux usées à la rentrée de station de Khenchela.

	T°C	O ₂	pH	Sal p/mil	CE	MES	P (mm)
T°C	1.000000						
O ₂	-0.254740	1.000000					
pH	0.199457	-0.514005	1.000000				
Sal p/mil	0.973443	-0.128261	0.284044	1.000000			
CE	0.907363	-0.004940	0.001423	0.876178	1.000000		
MES	0.563525	-0.654814	0.256125	0.484691	0.428160	1.000000	
P (mm)	-0.693668	0.525515	-0.585297	-0.710876	-0.348292	-0.385469	1.000000

3.2. Etude de la Qualité agricole des eaux usées traitées de la station

Les paramètres importants de la qualité de l'eau d'irrigation comprennent un certain nombre de propriétés spécifiques de l'eau en rapport avec le rendement des cultures, le maintien de la productivité des sols et la protection de l'environnement. Ces paramètres consistent principalement en certaines caractéristiques physiques et chimiques de l'eau qui sont utilisées

dans l'évaluation de la qualité de l'eau agricole. Les indicateurs de qualité de l'eau utilisés dans le présent travail sont des diagrammes de classification des eaux, les paramètres chimiques, taux d'adsorption de sodium (SAR), pourcent de sodium soluble (SSP), potentiel de salinité (PS), risque de magnésium (MR) et indice de perméabilité (PI) et ont été choisis en raison de leur commune utilisation par les agronomes.

3.2.1. Caractérisation chimique des eaux

Les pH à une valeur de 7.50, ce qui indique que les eaux usées traitées sont légèrement alcalines. L'intervalle de pH normal pour l'eau d'irrigation est de 6,5 à 8,4. L'eau d'irrigation avec un pH en dehors de la zone normale peut provoquer un déséquilibre nutritionnel ou peut contenir un ion toxique. La salinité présentée par, la conductivité électrique (CE) est le paramètre le plus important pour déterminer l'adéquation de l'eau à l'utilisation de l'irrigation et constitue une bonne mesure du risque de salinité pour la culture. En outre, les résultats (2050 $\mu\text{S}/\text{cm}$) indiquent également que ce type d'eau peut être utilisé sur les sols avec un drainage restreint. Une gestion spéciale du contrôle de la salinité avec sélection de bonnes plantes tolérantes au sel est nécessaire. Cependant, l'eau d'irrigation avec une conductivité dans la gamme de 750-2250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ est autorisée pour l'irrigation et largement utilisée. Une croissance satisfaisante des cultures est obtenue sous une bonne gestion et des conditions de drainages favorables, mais des conditions salines se développeront si la lixiviation et le drainage sont insuffisants.

Le TAC est entre 12.5m $\text{éq}/\text{l}$ (tableau 17). Ceci est dû au HCO_3^- , car le pH est de 7.5. Le TH est de 11 m $\text{éq}/\text{l}$, en raison des alcalino-terreux (Ca^{2+} et Mg^{2+}) d'acides faibles (HCO_3^- et CO_3^{2-}) et des acides forts (Cl^- , SO_4^{2-} et NO_3^-). Selon la classification TH (Sawyer et Mc Carty 1967), les eaux de la station sont dans la catégorie des eaux dures.

Calcium, magnésium, sodium et potassium

Dans les eaux usées traitées, les concentrations des ions Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ et K^+ sont de 132, 53, 105 et 01 mg/l respectivement. Bien que les rejets ménagers et la nature soient les principales sources des ions Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ et K^+ dans les eaux traitées. Dans la nature généralement les concentrations de Ca^{2+} et Mg^{2+} sont plus ou moins similaires, bien que la concentration de Ca^{2+} (132 mg/l) dépasse la concentration de Mg^{2+} (53 mg/l), cela peut indiquer que les concentrations de Ca^{2+} sont contrôlées par les rejets ménagers. Pour l'irrigation les eaux sont classées comme des eaux modérées salin pour les deux éléments.

La concentration de Na^+ (105 mg/l) est plus élevée que celle de K^+ (1 mg/l), cela indique également son comportement de solubilité plus élevé, tandis que la concentration inférieure de K^+ (Principalement moins de 5 mg/l) est due à sa fixation sur des minéraux argileux (MES). Notons que les argiles peuvent être saturées en ion Na^{2+} , par le processus d'échange de bases. Le potassium (K^+) est assez abondant sur terre, mais peu fréquent dans les eaux. En effet, il est facilement adsorbé et recombinaison dans les sols ou par la MES. Concernant l'irrigation basins sur les concentrations de Na^+ ont classé nos eaux dans la catégorie des eaux modérées à sévère pour d'habitude à sodification, tandis que la concentration de K^+ ne constitue pas un risque pour des fins d'irrigation. L'ordre d'abondance cationique est donc $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$.

Bicarbonate, chlorure, sulfate, nitrate

Parmi les anions, les concentrations des ions HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} et NO_3^- sont de 744, 213, 245 et 28 mg/l, respectivement. Ainsi, les carbonates (HCO_3^-) sont les ions dominés dans les eaux traitées. Leur origine principale est la dissolution des roches carbonatées et les rejets domestiques. La concentration de HCO_3^- est très élevée dans nos eaux. Donc les eaux peuvent constituer un risque sévère pour des fins d'irrigation. L'ion Cl^- est présent en petite quantité sur la terre. La source principale de chlorure dans les eaux est due à la dissolution des roches halite et les rejets des ménagères par l'utilisation des sels dans l'activité quotidienne. La concentration de Cl^- est de 213 mg/l, ces valeurs ne constituent pas un risque pour des fins d'irrigation. Les origines des sulfates dans les eaux sont variées. Les origines naturelles sont l'eau de pluie avec la mise en solution des roches notamment le gypse, mais également des origines anthropiques sont la combustion de charbon et l'utilisation d'engrais chimiques et de lessive. La concentration de SO_4^{2-} est de 245 mg/l cela classe nos eaux comme des eaux à un pouvoir salinisant modéré à faible pour les sols. Le NO_3^- a également une source non lithologique (Ritzi et al, 1993), reflétant une origine des rejets domestiques. La concentration de NO_3^- ne dépasse pas 10 mg/l dans l'eau dans des conditions naturelles (Cushing et al, 1973). Comme la concentration de NO_3^- est de 28 mg/l, cela classe nos eaux comme des eaux d'une qualité moyenne pour des fins d'irrigation car leur concentration est entre 25-50 mg/l. L'ordre d'abondance anionique est comme suite, $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$.

3.2.2. Classification des eaux traitées

Le diagramme tri linéaire de Piper et de Schoeller Berkallof

Les deux diagrammes sont un outil efficace pour identifier le faciès dominant des, qui représentent un caractère géochimique général de la qualité des eaux (Fig. 20). L'interprétation des résultats d'analyses hydro chimiques a permis d'avoir une idée sur les faciès chimiques des eaux traitées, on peut le classer comme des eaux Bicarbonatées calcique et magnésienne. Le diagramme de Schoeller Berkallof a confirmé la dominance des mêmes faciès.

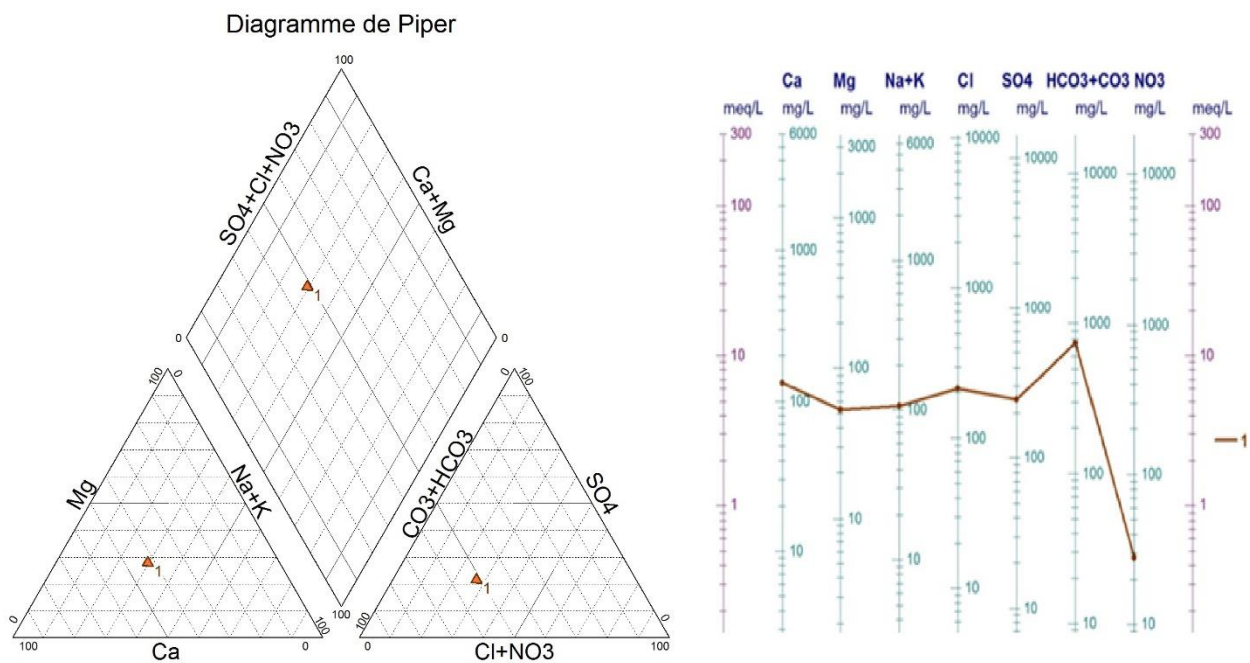


Figure 20. Diagramme de Piper et Schoeller Berkallof des eaux épurées ville de Khenchela.

Diagrammes Riverside et Wilcox

Ces deux diagrammes basent sur les valeurs de taux d'absorption de sodium (SAR), et de la conductivité électrique (CE) des ions contenus dans l'eau. L'objectif est de représenter les eaux sur le diagramme pour permettre de les classer sur l'aptitude d'irrigation.

Les résultats de diagramme nous indiquent que, l'eau de la station après traitement, se regroupe dans la classe des eaux de C3S1, cette classe est caractérisée par des risques de salinisation moyens et ceux d'alcalisation faible (Fig. 21).

Un autre diagramme de Wilcox base sur les valeurs de pourcentage de sodium et de la conductivité électrique des ions contenus dans l'eau. L'objectif est de déterminer les risques de sodisation des sols (Fig. 22). Les résultats présentés dans le diagramme classent nos eaux comme des eaux médiocres car le pourcentage de Na est très élevé dans notre échantillon.

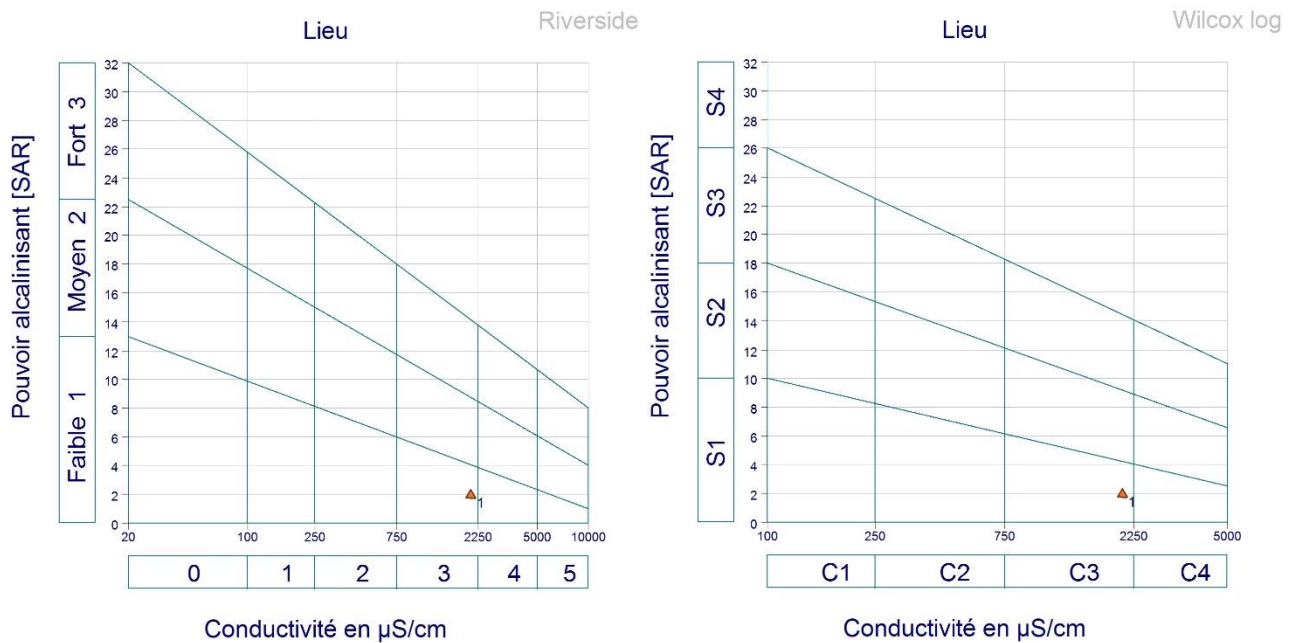


Figure 21. Diagramme de wilcox et Riverside (SAR/CE) des eaux traitées de la station de Khenchela.

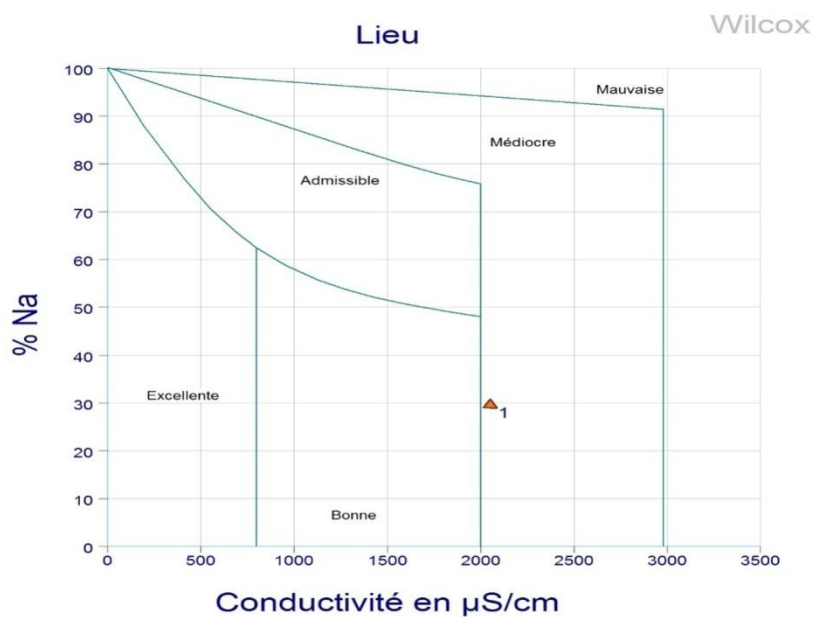


Figure 22. Diagramme de Wilcox (Na%/CE) des eaux traitées de la station de Khenchela.

3.2.3. Paramètres de la Qualité agricole des eaux usées

Pourcent de sodium soluble (SSP)

Il est également utilisé pour évaluer le risque de sodium. Le pourcentage de sodium soluble (SSP) a été calculé comme référence (Eaton, 1950) par l'équation suivante:

$$SSP = \frac{(Na^+) \times 100}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+}$$

L'eau avec SSP supérieure à 60 pour cent peut entraîner des accumulations de sodium qui provoqueront une ventilation des propriétés physiques du sol (Fipps, 1998). La valeur calculée de SSP de nos eaux est de 29.7% indiquant un degré modéré de restriction de l'utilisation de ces eaux usées dans l'irrigation. Lorsque la concentration d'ion sodium est élevée dans l'eau d'irrigation, l'ion Na^+ tend à être absorbé par les particules d'argile, en déplaçant les ions Mg^{2+} et Ca^{2+} . Ce processus d'échange dans le sol réduit la perméabilité et aboutit éventuellement à un sol avec un mauvais drainage interne.

Potentiel de salinité (PS)

Le PS estime le risque de concentration élevée de sel en raison de Cl^- et SO_4^{2-} , ce qui peut augmenter le potentiel osmotique de la solution du sol lorsque l'humidité utilisable dans le sol est inférieure à 50%. Basons sur ce paramètre de l'eau, nous pouvons classer nos eaux en trois types: bon (<3 méq/l), moyen (3-15 méq/l) et non recommandé (> 15 méq/l). PS est calculé par la formule :

$$PS = Cl^- + \frac{1}{2} SO_4^{2-}$$

Nos eaux présentent une valeur de $PS = 8.57$ méq/l, cela les classe comme des eaux ont une qualité moyenne, donc le choix saura focaliser sur des cultures tolérantes à la salinité.

Risque de magnésium (MH)

Généralement, Ca^{2+} et Mg^{2+} maintiennent un état d'équilibre dans la plupart des eaux. Les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} sont associés à l'agrégation du sol et à la friabilité, mais ils sont également des nutriments essentiels pour les plantes. Une concentration élevée d'ions Ca^{2+} et Mg^{2+} dans l'eau d'irrigation peut augmenter le pH du sol, ce qui réduit la disponibilité du phosphore (Al-Shammiri et al, 2005). L'eau contenant Ca^{2+} et Mg^{2+} supérieure à 10 méq/l (200 mg/l) ne peut

pas être utilisée dans l'agriculture. Un autre indicateur qui peut être utilisé pour spécifier le risque de magnésium (MH) est proposé à la référence (Szabolcs et Darab, 1964) pour l'eau d'irrigation comme dans la formule suivante:

$$MH = \frac{Mg^{2+}}{Ca^{2+} + Mg^{2+}} \times 100$$

Où les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} sont exprimés en méq / L.

Si la valeur de MH est inférieure à 50, l'eau est sûre et apte à l'irrigation. À partir de la valeur calculée de nos eaux, les valeurs de MH est de 39.66%, et les eaux usées traitées peuvent être classées avec quelques exceptions comme étant appropriées pour l'utilisation de l'irrigation.

Indice de perméabilité (PI)

La perméabilité du sol joue un rôle important pour évaluer la pertinence de la qualité de l'eau pour l'irrigation. Si les sols contiennent des sels élevés, en particulier liés aux alcalis, aux alcalino-terreux et aux carbonates, ils endommagent la structure du sol en raison de la destruction de la perméabilité par l'utilisation à long terme de l'irrigation. Doneen (1964) a évalué la pertinence de la qualité de l'eau pour l'irrigation en fonction des cations par rapport aux alcalis. Cette relation est appelée indice de perméabilité (PI), qui est calculé, en prenant les concentrations ioniques en (méq/l),

$$PI = \left[\frac{(Na^+ + \sqrt{HCO_3^-})}{(Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+)} \right] \times 100$$

Doneen (1964) a classé la qualité de l'eau comme (a) la classe I (sécurisé), lorsque le PI dépasse 75%; (B) classe II (Légèrement sécurisé), lorsqu'il est entre 25 et 75%; et (c) classe III (dangereux), lorsqu'il est inférieur à 25% pour l'irrigation. Les valeurs calculées de PI de notre eau est de 51.91%. Ainsi, tous les échantillons des eaux traitées sont légèrement pour l'irrigation.

Conclusion

L'interprétation de l'analyse physique et chimique a révélé que les eaux usées traitées de la ville de Khenchela sont légèrement alcalines. Le diagramme de salinité illustre que l'échantillon des eaux usées traitées tombe dans le domaine du C3S1, ce qui indique une salinité élevée et une faible teneur en sodium, qui peut être utilisée pour l'irrigation sur presque tous les types de sols sans danger de sodium échangeable. Par conséquent, l'utilisation durable des eaux usées traitées dans l'agriculture peut être bénéfique pour l'environnement de manière à minimiser les effets

secondaires sur la qualité des ressources en eau en aval, mais elle nécessite le contrôle de la salinité du sol au niveau du terrain.

Sur la base de ces résultats, une gestion adéquate de l'irrigation des eaux usées et une surveillance périodique des paramètres de qualité sont nécessaires pour assurer une réutilisation réussie, à long terme des eaux usées pour l'irrigation.

Conclusion générale

Conclusion

La wilaya de Khenchela se situe au Nord-est de l'Algérie sa superficie est de 9715,6 km² appartient au climat Semi-aride, l'augmentation importante de sa population va influencer sur la demande en eau potable et irrigation, ajoutant à cela va augmenter les déchets solide et liquide rejeté dans la nature. Cela va avoir une conséquence néfaste sur l'utilisation et la qualité disponible des ressources en eau de la région et sur la pénurie de l'environnement.

Ce travail a été réalisé dans le but d'établir un diagnostic de l'état physicochimique des eaux usées épurées de la STEP de Khenchela, de déduire la performance de cette station et d'étudier la qualité de ces eaux sont conformes aux normes locales et internationales d'irrigation ou non.

Dans le cadre d'atteindre nos objectifs un plan de travail a été préparé commençant par une partie théorique « littérature » acquière le maximum d'information sur la zone d'étude et les différentes études réalisées sur la réutilisation des eaux usées traitées dans l'agriculture, Alors que dans la deuxième partie ont été programmées des campagnes de prélèvement et analyse durant les mois de Janvier-Février-Mars chaque quinzaine.

Dans le cadre d'évaluer le fonctionnement de la station de traitement des eaux usées de la ville de Khenchela. Les résultats d'analyse des paramètres physicochimiques (pH, température, CE, OD, MES et précipitation) des eaux usées brute et épurées ont été comparés avec les normes de la qualité des eaux d'irrigations recommandées par l'OMS et le journal national montrent que toutes les valeurs sont inférieures aux limites sauf les résultats de MES sont supérieures aux normes fixées, tandis qu'après le traitement on remarque un rabattement très important de l'EMS cela indique un bon fonctionnement de la station. Les analyses statistiques des données (ACP et MC) ont confirmé que la salinité des eaux usées est très corrélée avec les précipitations, cela déduit que la salinité est acquise principalement des rejets de pluie que des rejets des minages qui sont chargés de détergents.

D'autres outils ont été utilisés dans le cadre d'identifier la qualité des eaux pour des fins agricoles, tel que SAR, SSP, PS, MR et PI calculées, avec la projection de nos résultats sur des différents diagrammes (Riverside, Wilcox, Piper). Les diagrammes montrent que les eaux traitées ont un faciès Bicarbonatées calcique et magnésienne, les autres diagrammes basés sur la CE et SAR indiquent une qualité des eaux moyenne à médiocre avec une salinité élevée et une sodicité faible. Ainsi, d'après les résultats PI, MR et SSP les eaux traitées de la station sont légèrement bonnes pour l'irrigation.

Sur la base de nos résultats, une gestion adéquate de l'irrigation des eaux usées et une surveillance périodique des paramètres de qualité sont nécessaires pour assurer une réutilisation réussie, à long terme des eaux usées pour l'irrigation. Il est recommandé d'accorder une priorité élevée que les eaux usées traitées soient considérées et constituent une source alternative fiable dans la gestion des ressources en eau. La réutilisation des eaux usées agricoles peut contribuer efficacement à combler l'écart croissant entre la demande d'eau et la disponibilité de l'eau, en particulier dans les zones semi-arides. À l'avenir, des travaux supplémentaires sont nécessaires pour examiner les constituants organiques et toxiques dans les eaux usées et des échantillonnages et des études plus intensifs pour mesurer tout changement d'éléments chimiques dans les eaux usées, les sols irrigués et les plantes.

Références bibliographique

Référence bibliographique

- A.F.S.S.A., 2008. Réutilisation des eaux usées traitées pour l'arrosage ou l'irrigation, Agences françaises de secrète sanitaire des aliments. 33 p.
- Abouzlam M., 2014. Optimisation d'un procédé de traitement des eaux par ozonation catalytique, Thèse Doctorat de L'université De Poitiers, LIAS, 7 p.
- Adler E., 2005. Eléments sur l'épuration des eaux usées et la gestion des sous-produits de l'assainissement, Cours sur l'épuration des eaux usées et la gestion des sous-produits de l'assainissement – ENTPE .87P.
- Al-Hamaiedeh H., Bino M., 2010. "Effect of Treated GreyWater Reuse in Irrigation on Soil and Plants," *Desalination*, Vol. 256, No. 1-3, 2010, pp. 115-119.
- Allam S., 2014. Contribution à une étude écologique de genre Phillyrea Dans la région de Tlemcen mémoire master d'Université Abou Bekr Belkaid – Tlemcen –140p.
- Al-ShammiriM., Al-SaffarA., BahamasS.,AhmedM., 2005. "Waste Water Quality and Reuse in Irrigation inKuwait Using Microfiltration Technology in Treatment,"*Desalination*, Vol. 185, No. 1-3, November 2005, pp.213-225.
- Angelakis A.N., Marecos Do Monte M.H.F., Bontoux L., Asano T., 1999. The status of wastewater reuses practice in the Mediterranean basin. *Water Res* 33(10):2201–2217.
- Anonyme 1, 2012. Guide pratique à l'usage des communes et relatif à l'assainissement des eaux usées. 19P.
- Anonym 2, 2017. Dictionaries de l'environnements
- Anonyme 03, 2013. Rubrique Monographie Wilaya, Wilaya de Khenchela. Agence Nationale d'Intermédiation et de Régulation Foncière.7p
- Athmar A., Abdul Hameed M., Jawad Al., Mukheled A., Al-Sameraiy., Abass J., Kadhem,,2010. Evaluation of Treated Municipal Wastewater Quality for Irrigation. *Journal of Environnemental Protection*.225p
- Ayers R.S. ETWestcot D.W., 1985. "Water Quality for Agriculture,"*Irrigation and Drainage Paper No. 29, FAO,Rome, 1985.*
- Awadallah A.G., Yousry M., 2012. Identifying Homogeneous Water Quality Regionsin the Nile River Using Multivariate Statistical Analysis. *Water Resour Manage* (2012)

- Bandu J.L., 1999. Étude des options de traitement secondaire des eaux usées pour la région du Grand Moncton, Thèses Doctorat Faculté des études supérieures et de la recherche Centre universitaire de Moncton.241p.
- Barcelo D., Petrovic M., 2011. Handbook of environmental chemistry; Waste water treatment and reuse in the mediterranean region. Springer Heidelberg Dordrecht London New York. 327 p. ISSN 1867-979X. DOI 10.1007/978-3-642-18281-5
- Baumont, S., Camard J-P., Lefranc, A., Franconi, A., (2004). Réutilisation des eaux usées: risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Rapport ORS, 62p.
- Belaïd N., 2010. Evaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du périmètre irrigué, cas d'El Hajeb-Sfax: salinisation, accumulation et phytoabsorption des éléments métalliques. Doctorat; université de Sfax .12 P.
- Ben sai A. ,2006.diagnostic réseau d'assainissement de la ville de kenchela. Mémoire d'ingénieur D'état. Université d'Oum El Bouaghi.
- Boukhalfa, A., Kafi, Kh., 2013.Conséquences de l'utilisation de deux types d'eau d'irrigation sur les paramètres physico-chimique d'un sol de la station d'épuration d'Ouargla.Mémoire Master académique D'université Kasdi Merbah Ouargla.74p
- Bourouache M., 2015. Etude de la qualité bactériologique et physicochimique des eaux usées de la station mzar et impact de leur réutilisation en Irrigation des espaces verts du grand Agadir. Mémoire de fin d'études de Master. Université Sidi Mohamed Ben Abdellah Agadir .39P.
- CEAEQ, 2009. Guide d'échantillonnage à des fins d'Analyses environnementale. Centre d'Expertise en Analyse Environnementale Québec Canada, Edition de Giffon d'argile. ISBN 2-89443-005-1, 2009. 30 p.
- Choukr-Allah R., 2004. Wastewater treatment and reuse in Morocco: situation and perspective.International workshop on non-conventional water use. Water Saving in MediterraneanAgriculture (WASAMED) 7-10 2004 Cairo, Egypt. CIHAM/IAM-Bari, Italy.
- Condom, M.Lefebvre, L.Vandome 2012, la réutilisation des eaux usées traitées en méditerranée : retour d'expérience et aide à l'élaboration de projets, plan bleu, 11-25Pp.

- Dadi El., 2010. L'évaluation De La Possibilité De Réutiliser En Agriculture l'effluent Traité De La Commune De Drarga. Centre universitaire de formation en environnement .88p
- Derradji F., Kherici N., Romeo, M., Caruba, R., 2004. Aptitude des eaux de la vallée de la Seybouse à l'irrigation (Nord-est algérien), Étude de cas- Sécheresse 2004.360p.
- Djeddi H., 2006. Utilisation des eaux d'une station d'épuration pour l'irrigation des essences forestières urbaines. Mémoire magister, Université Mentouri Constantine .144p.
- Doneen L.D., 1964. Note son water quality in agriculture. WaterScience and Engineering Paper 4001, California, Department of Water Sciences and Engineering, University of California.
- Ducreux L.,2013.Initiation à l'hydrogéologie hydrogéologie.Cours n° UAG UAG - 2013- License 2.37p
- EatonF.M., 1950. "Significance of Carbonates in Irrigated Waters," *Soil Science*, Vol. 69, No. 2, February 1950, pp.127-128.
- El Hachemi O., 2012. Traitement des eaux usées par lagunage naturel en milieu désertique (oasis de figuig) : performances épuratoires et aspect phytoplanctonique, Thèse Doctorat de Université Mohammed Premier oujda.102P.
- El Haite H., 2010. Traitement des eaux usées par les réservoirs opérationnels et réutilisation pour l'irrigation, Thèse doctorat, école nationale supérieure des mines de Saint-Etienne.214P.
- El Haite H., 2010. Traitement des eaux usées par les réservoirs opérationnels et réutilisation pour l'irrigation, Thèse doctorat, école nationale supérieure des mines de Saint-Etienne.
- El Youssfi L., 2013. Durabilité d'un système de cultures non conventionnel irrigué par les eaux usées traitées dans la région d'Agadir. Doctorat de Centre Des Etudes Doctorales Ibn Zohr. Agadir. 25p
- F.AO ,2003. Irrigation avec des eaux usées traitées – Manuel d'utilisation.11- 12 Pp
- Faby J.A., 1997. L'utilisation des eaux usée épuré en irrigation, ministère de l'agriculture et de la pêche. 18P.
- Fipps G., 1998. "Irrigation Water Quality Standards and Salinity Management," The Texas A & M University System,1998. http://www.extension.org/mediawiki/files/1/1e/Salinity_document.pdf
- Gadda N.,2013. Impacts des eaux usées épurées sur les propriétés physicochimiques des sols dans la région d'Ouargla, Mémoire Master Académique. Université Kasdi Merbah

Ouargla.100p

- Gaid A., 1993. Traitement des eaux usées. Omnium de Traitement et de Valorisation (OTV) 4-5 Pp.
- Haddad H., Ghoualem H. 2013. Caractérisation physico-chimique des eaux du bassin hydrographique côtier algérois. Larhyss/Journal n° 18, Juin 2014. 167p
- Hannachi A. et al. 2014. Gestion Et Valorisation Des Eaux Usées En Algérie, Larhyss Journal. 62p
- Hugo V., 2007. Modélisation et commande floues de type takagi-sugeno appliquées à un bioprocédé de traitement des eaux usées. Doctorat de l'Université Paul Sabatier - Toulouse III et l'Université de los Andes, Colombie. 11P.
- Kessira M., 2013. Politiques de soutien et cadres institutionnels valorisation des eaux usées épurées en irrigation. Synthèse Internationale du Projet "Sécurité d'utilisation des eaux usées en agriculture" Téhéran, Iran, 26-28 Juni 2013. 14 p.
- Khabtane A., 2010. Contribution à l'étude du comportement éco physiologique du genre Tamarix dans différents biotopes des zones arides de la région de Khenchela. Mémoire Magister d'Université Mentouri Constantine. 163p.
- Khatabi H., 2002. Intérêts de l'étude des paramètres hydrogéologiques et hydro biologiques pour la compréhension du fonctionnement de la station de traitement des lixiviats de la décharge d'ordures ménagères d'Etouffons (Belfort, France). Thèse de Doctorat Institut des Sciences de l'Environnement. France 13p.
- Khechana S., Derradji, F. 2014. Qualité des eaux destinées à la consommation humaine et à l'utilisation agricole (Cas des eaux souterraines d'Oued-Souf, SE algérien). Rev. Sci. Technol., Synthèse 28. 11p.
- M.R.E., 2016. Etude du périmètre d'Irrigation à partir de la STEP de Khenchela. Direction des ressources en eau Khenchela. 126p.
- Mahloch J., 1975. Multivariate techniques for water quality analysis. ASCE J Environ Eng Div 100 (EE5):1119-1132 pP.
- Messahel M., Chabaca M., Bahbouh L., Benhafid M., Mihoubi M., Salhi Ch., 2012. Etude et Valorisation des Eaux Usées épurées en irrigation (cas des périmètres agricoles de la Mitidja). Projet de recherche National Université Blida. 72p.

- Metahri M.S., 2012. Élimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes. Cas de la STEP de la ville de Tizi-Ouzou. Thèse de Doctorat, Université mouloud mammeri de Tizi-Ouzou. 5-6 Pp.
- Mouhanni H., Hamdi, H. ,Bendou, A., Cavalli, E, Benzine, I, 2013. Evaluation de l'impact environnemental de la réutilisation des eaux usées épurées en irrigations : analyse ionique des sols. STEP de M'ZAR du grand Agadir.6p
- Moulin S., Rozen-Rechels D., Stankovic M., 2012.Traitement des eaux usées. Environnemental Research and Teaching Institute 2 P.
- Mssaadia A., Toumi I., 2005. Contribution à l'étude de l'influence de l'irrigation par les eaux usée brutes sur quelque propriété chimique et biologique du sol dans la palmeraie Bordj Nosse Wilaya de Biskra. Mémoire d'ingénieur D'état, Université Hadj Lakhdhar Batna.
- Neubert S., Ben Abdellah S., 2003. La réutilisation des eaux usées traitées en Tunisie. Institut allmend de développement. 19p.
- O.M.M, 2014. Guide des pratiques climatologiques. © Organisation météorologique mondiale, 2011. Edition OMM-N° 100. 152 p.
- O.M.S., 2012. L'utilisation sans risque des eaux usées, Des Excréta Et Des Eaux Ménagère. Volume II Utilisation Des Eaux Usées En Agriculture.254Pp.
- O.N.A. ,2009. STEP de kenchela, office nationale de l'assainissement, kenchela.
- O.M.S, 2012 .l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagère. Volume ii utilisation des eaux usées en agriculture.123-127Pp
- Ounaies F., Kounidi F., OueslaT, M., Daghari H. ,1992. Réutilisation des eaux usées épurées dans le secteur agricole en Tunisie: situation actuelle et perspectives. 55p.
- PapadopoulosI., 1995. "Wastewater Management for AgricultureProtection in the Near East Region," Technical Bulletin,FAO, Regional Office for the Near East, Cairo, Egypt,1995
- Picard Ch., 2011.Transfert de matière dans un bio film. Doctorat de l'université de Toulouse, 20-21 Pp.
- Rabah A.A., 2012. Elimination des métaux lourds (Cd, Pbn, Cr, Zn et As) des eaux industrielles par le procédé d'infiltration percolation. Thèse doctorat, université ibn zohr, Agadir. 149P.
- Ramade., 2002, Eléments d'écologie, Ecologie fondamentale, Ed DUNOD, paris, 690p.
- Renou S., 2006.Analyse de cycle de vie appliquée aux systèmes de traitement des eaux usées, Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, 18-21 Pp.

- Rodier J., Legube B., Merlet N., 2009. L'analyse de L'eau. 9^{ème} Edition Dunod. ISBN 9782-10-054179-9. Pris 2009. 1579 p.
- Sawyer C.N., McCarty P.L., 1967. Chemistry for sanitary engineers, 2nd edn. McGraw-Hill, New York.
- Sedeno-Diaz J.E., Lopez-Lopez E., 2007. Water quality in the Rio Lerma, Mexico: an overview of the last quarter of the twentieth century. *Water Resour. Manage.* 21, 1797–1812.
- Szabolcs I. et Darab C., 1964. "The Influence of Irrigation Water of High Sodium Carbonate Content of Soils," *Proceedings of 8th International Congress of Isss*, Vol. 2, 1964, pp. 803-812.
- Tamrabet L., 2011. Contribution à l'étude de la valorisation des eaux usées en maraichage. Thèse de Doctorat, Université Hadj Lakhedhar –Batna. 24-61Pp.
- Tfyeche L., 2014. Suivi de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux usées d'Ouargla au cours de leur traitement, Mémoire master professionnel, Université Kasdi Merbah Ouargla .47P.
- Vega M., Pardo R., Barrado E., Deban L., 1998. Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. *Water Res* 32:3581–3592pP.
- WHO, 2006. "Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture," Report of a WHO Scientific Group, Geneva, 2006.
- Youssef A.I., Alemad A., Boubaker S., Daifi H., Elkharrim Kh., Belghyti D., 2015. Physico-chemical caractérisation of waste water from Azilal city-Morocco, Laboratoire d'Environnements et Energies Renouvelables, Université Ibn Tofail de Kénitra, Maroc.566P.
- Zeghdani Z. Allaoui, A. 2016 .Aptitude des eaux épurées de la STEP de Khenchela à l'irrigation.42 P.
- Zeghoud M.S., 2014. Etude de système d'épuration des eaux usées urbaines par lagunage naturel de village de Méghibra, Mémoire de Master, Université D'El -Oued.71P.
- Zou S., Yu Y.S., 1996. A dynamic factor model for multivariate water quality of time series with trends. *JHydrol* 178:381–400pP.

Résumé

La pénurie croissante d'eau dans le monde d'une part et la croissance rapide de la population dans les zones urbaines d'autre part nécessitent l'utilisation de pratiques appropriées de gestion de l'eau. La réutilisation des eaux usées traitées peut être considérée comme une ressource hydraulique supplémentaire, particulièrement importante dans les régions semi-arides, telles que près de la ville de Khenchela. L'objectif de cette étude était d'évaluer le fonctionnement de la station d'étude et la qualité des eaux traitées pour des fins agricole.

Des campagnes de prélèvement ont été programmé chaque quinzaine durant trois mois janvier au mars 2017, les résultats d'analyse d'évaluation de la station ont montré que le traitement n'a pas effet important sur les paramètres mesurés seulement pour la MES au on a remarqué une diminution important après traitement, aussi le traitement statistique a confirmé que la CE est influencée par les effluents de pluie que les effluents des minages. En outre, pour classer la qualité de l'eau et évaluer sa pertinence à des fins d'irrigation, des outils ont été utilisée tels que : SAR, SSP, PS, MR et PI ont été calculées, avec la projection de nos résultats sur des différents diagrammes (Riverside, Wilcox, Piper). Les résultats de la plupart d'outils classent nos eaux dans le domaine du C3-S1, indiquant une salinité élevée et une faible teneur de sodium en eau, donc une qualité moyenne à médiocre qui peut être utilisée pour l'irrigation presque Tous types de sols sans danger de sodium échangeable.

Mots Clés : Eaux usée, Traitement, qualité d'eau, irrigation, Khenchela.

ABSTRACT

The increasing water scarcity in the world on the one hand and the rapid growth of the population in urban areas on the other hand require the use of appropriate water management practices. The reuse of treated wastewater can be considered as an additional hydraulic resource, particularly important in semi-arid areas, such as near the town of Khenchela. The aim of this study was to evaluate the functioning of the study station and the quality of the treated water for agricultural purposes.

Sampling companions were scheduled every fortnight for three months from January to March 2017. Results of the evaluation analysis of the station showed that the treatment did not have a significant effect on the parameters measured only for TSS at Noticed a significant decrease after treatment, also the statistical treatment confirmed that the EC is influenced by the effluents of rain as the effluents of the mines. In addition, to classify water quality and assess its relevance for irrigation purposes, tools were used such as: SAR, SSP, PS, MR and PI were calculated, with the projection of our results on of the different diagrams (Riverside, Wilcox, Piper). The results of most tools classify our waters as C3-S1, indicating high salinity and low sodium content in water, thus an average to mediocre quality that can be used for irrigation. exchangeable sodium safe soil.

Keywords: Waste water, Treatment, water quality, irrigation, Khenchela.

ملخص

النقص المتزايد في المياه في العالم من جهة والنمو السكاني السريع في المناطق الحضرية من ناحية أخرى تتطلب استخدام الممارسات المناسبة لإدارة المياه. يمكن اعتبار إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة كمصدر إضافي للمياه، و ذو أهمية خاصة في المناطق شبه القاحلة، مثل مدينة خنشلة. وكان الهدف من هذه الدراسة لتقييم سير العمل في موقع الدراسة ونوعية المياه المعالجة للأغراض الزراعية

وكان من المقرر أخذ العينات كل أسبوعين لمدة ثلاثة أشهر يناير-مارس 2017، أظهرت نتائج التقييم من تحليل مياه المحطة أن العلاج كان له تأثير كبير على المعلمات المقاسة حيث لاحظنا وجود انخفاض ملحوظ بعد العلاج ، كما أكد التحليل الإحصائي أن EC يتأثر بالنفايات السائلة و المطر. وبالإضافة إلى ذلك، لتصنيف نوعية المياه وتقييم مدى ملائمتها لأغراض الري، وقد حسبت SSP ، PS ، MR و SAR PI، مع إسقاط نتائجنا الرسوم البيانية المختلفة (ريفرسايد، ويلكوكس، بايبر). نتائج معظم أدوات تصنف مياهنا في مجال C3-S1 ، مشيرا إلى ارتفاع نسبة الملوحة وانخفاض محتوى الصوديوم في الماء، النوعية متوسطة الجودة يمكن استخدامها لأغراض الري تقريبا من جميع أنواع التربة آمنة الصوديوم للصرف.

كلمات البحث: مياه الصرف الصحي، والعلاج، ونوعية المياه، والري، خنشلة