



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Hydraulique

Option: Réutilisation des Eaux Non Conventionnelles « RENC »

THEME :

**Etude de réutilisation des eaux usées épurées de la STEP de Ben
CHAABANE Boufarik-Blida en vue de l'usage agricole**

Présenté par :

Ben Djabou Ikram

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
Djellab Mohamed	Professeur	Président
Leulmi Medjdoub Sonia	M.C.B	Membre
Betatache Hayat	M.C.B	Membre
Koliai Djaffar	M.A.A	Membre
Yahiaoui Samir	M.A.A	Promoteur

Session Juin 2023

ملخص

تتناول هذه الدراسة إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة بواسطة محطة معالجة مياه الصرف الصحي في بن شعبان ببوفاريك ولاية البليدة للاستخدام الزراعي، هذه الدراسة تسلط الضوء على أهمية إدارة الموارد المائية بكفاءة من خلال إعادة تدوير مياه الصرف المعالجة لدعم الزراعة. تستعرض الدراسة عمليات المعالجة بما في ذلك استخدام الأوكسدة بالاوزون لإنتاج مياه عالية الجودة ، كما تركز على تقدير احتياجات السقي في منطقة بن شعبان.

كلمات مفتاحية: إعادة الاستخدام مياه الصرف المعالجة، محطة معالجة مياه الصرف الصحي ،استخدام الأوكسدة بالاوزون ، التقدير، موارد مائية.

Résumé

Cette étude se penche sur la réutilisation des eaux usées épurées de la station d'épuration (STEP) de Ben CHAABANE à Boufarik-Blida pour un usage agricole. Elle met en avant l'importance de gérer efficacement les ressources hydriques en recyclant les eaux usées traitées pour soutenir l'agriculture.

L'étude examine les processus de traitement, y compris l'utilisation d'Ozonation, pour produire de l'eau de qualité. Elle met également l'accent sur le dimensionnement des besoins d'irrigation dans le périmètre BEN CHAABANE.

Mots clés : Réutilisation des eaux usées, Eaux usées épurées, STEP, Ozonation, Dimensionnement, Ressources hydriques.

Abstract

This study explores the reuse of treated wastewater from the BEN CHAABANE wastewater treatment plant in BOUFARIK-BLIDA for agricultural purposes. It emphasizes the importance of efficient water resource management by recycling treated wastewater to support agriculture.

The study examines treatment processes, including the use of Ozonation, to produce high-quality water. It also focuses on sizing irrigation needs in the BEN CHAABANE area.

Keywords: Reuse, Treated wastewater, Wastewater treatment plant , Ozonation, Sizing, Water resources.

Remerciement

Avant tout, je remercie ALLAH tout puissant, de nous avoir accordé la force, le courage et les moyens pour la réalisation de ce travail.

Je remercie mes chers parents, familles pour leur soutien inconditionnel, et aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont ainsi contribué à l'élaboration de cette recherche.

Un grand merci à mon promoteur Me YAHIAIOUI SAMIR pour le temps qu'il a accordé, ainsi pour ces conseils.

Je tiens à présenter mes vifs remerciements pour tous les membres de jury qui nous ont fait l'honneur de juger et d'examiner ce travail.

Finalement, je remercie l'ensemble de personnel de l'Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique « ENSH », où j'avais la chance d'apprendre une excellente formation au temps qu'Ingénieur d'Etat en Hydraulique.

Merci

Dédicace

Je dédie ce travail à :

Ma famille avec ma profonde gratitude et grand amour .Mes très chers parents, j'exprime ma sincère reconnaissance pour leur soutien moral et leurs encouragements tout au long de mes études, ils ont toujours été présents lorsque j'ai eu besoin d'eux, que dieu les protèges.
Ma chère sœur.

Sans oublier mes chers amis(es)et tous les amis de ma promotion.Option : Réutilisation des Eaux Non Conventionnelles « RENC ».

Merci

Table des matières

Résumé	
Remerciement	
Dédicace	
Table des matières	
Liste des figures	
Liste des planches	
Liste des abréviations	
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I	2
Généralités sur les eaux usées	2
Introduction	3
I. Eau dans le monde	3
II. Caractéristique de l'effluent entrant en station d'épuration	4
II.1 Origine des eaux usées	4
II.1.1 Les effluents domestiques	4
II.1.2 Les effluents industriels	4
II.1.3 Les effluents d'agriculture	4
II.2 Caractéristiques des eaux usées	5
II.2.1 Paramètres physiques	5
II.2.1.1 Température (T)	5
II.2.1.2 Odeur	5
II.2.1.3 Couleur	5
II.2.1.4 Turbidité	5
II.2.1.5 Matières en suspension (MES)	5
II.2.2 Paramètres chimiques	6
II.2.2.1 Conductivité électrique (CE)	6
II.2.2.2 Le potentiel Hydrogène (pH)	6
II.2.2.3 Demande biochimique en oxygène (DBO)	7
II.2.2.4 Demande chimique en oxygène (DCO)	7
II.2.2.5 Notion de biodégradabilité	7
II.2.2.6 Azote Global (NGL)	8
II.2.2.7 Nitrates (NO₃)	8
II.2.2.8 Phosphore Total (PT)	8
II.2.2.9 Métaux lourds	8
II.2.2.11 Charge massique et volumique et âge des boues	9

II.2.2.12 Age des boues.....	9
II.2.2.13 L'Alcalinité SAR.....	9
II.2.2.14 L'oxygène dissous	10
II.2.3 Paramètres biologiques	10
II.2.3.1 Les virus.....	11
II.2.3.2 Les bactéries	11
II.2.3.3 Protozoaires.....	11
II.2.3.4 Helminthes.....	11
Conclusion.....	11
CHAPITRE II	12
Historique de la réutilisation des eaux usées traitées	12
Introduction.....	13
I. Réutilisation des eaux usée traitée (REUT).....	13
I.1 La REUT en Algérie	15
II Les usages de l'EUT	16
II.1 Réutilisation municipale	16
II.2 Réutilisation industrielle.....	16
II.2.1 Le risque lié à la réutilisation industrielle :.....	16
II.3 La production d'eau potable	16
II.4 Réutilisation agricole	17
II.5 La recharge des nappes.....	17
III. Avantage et inconvénient de la réutilisation des EUT.....	18
III.1 Intérêt, avantages et bénéfiques.....	18
III.2 Défis et contraintes	19
III.3 Problèmes de santé liés à la REUT.....	19
IV. Réglementation	20
IV.1 Les normes de L'OMS.....	20
IV.2 Les normes Algérienne	21
Conclusion.....	23
CHAPITRE III	24
Présentation de la STEP de BOUFARIK « BENCHAABANE ».....	24
Introduction	25
I. Présentation de la station d'épuration BEN CHAABANE	25
I.1 Principe du traitement adopté	25
II Données de base	26
II. 1 Evolution démographique	26
II. 2 Flux à traiter sur la station d'épuration et évolution de la charge polluante	27

III. FILIERE D'EPURATION RETENUE	28
III.1 Schéma de principe de la filière d'épuration	28
III.2 Nature des eaux usées	29
IV. Description de la procédure de traitement de la STEP de BOUFARIK	30
IV.1 Ligne eau	30
IV.1.1 Fosse à bâtards.....	30
IV.1.2 Pré dégrillage	31
IV.1.3 Poste de relevage des eaux usées	31
IV.1.4 Dégrillage fin	32
IV.1.5 Dessablage-déshuilage.....	34
IV.1.6 Décanteur primaire.....	36
IV.1.7 Traitement biologique	37
IV.1.9 Chloration.....	41
IV.1.10 Evacuation des eaux épurées	42
IV.2 Ligne boue	42
IV.2.1 Recirculation des boues vers la zone de contact et l'extraction vers l'épaississeur	42
IV.2.2Epaississement et pompage des boues epaissies	43
IV.2.3 Stabilisation aérobie	44
IV.2.4 Deshydratation des boues.....	45
IV.2.5 Installations de transport et de stockage et de stabilisation des boues déshydratées.....	46
V. Analyse physico-chimique	46
V.1 Interprétation des analyses physico-chimique de la STEP.....	46
Le pH	46
Conclusion.....	50
CHAPITRE IV	51
Traitement Tertiaire par Ozonation.....	51
Introduction	52
I. Désinfection par Ozonation	52
II. Principe de fonctionnement d'Ozonation	52
III. Pourquoi l'Ozonation	53
IV. Avantages et inconvénients de la désinfection par l'ozonation	54
V. Dimensionnement d'ozonation	54
V.2. Dimensionnement du bassin de désinfection par ozonation	55
VI. Paramètres influençant l'efficacité de la désinfection par Ozonation.....	55
Conclusion.....	56
CHAPITRE V	57

Présentation de périmètre de BEN CHAABANE	57
Introduction	58
1. Présentation de la zone d'étude (Périmètre de BEN CHAABANE).....	58
I.1. Localisation géographique de la wilaya de BLIDA	58
I.2 Localisation géographique de BEN CHAABANE.....	59
II .Etude du milieu naturel.....	60
II.1. La géologie et l'hydrogéologie de la zone d'étude.....	60
III. Situation climatologique.....	61
III.1. La température	61
III.2. La pluviométrie.....	62
III.3. Les vents	63
III.4. L'insolation.....	64
IV. Classification du climat	65
IV.1. Classification du climat selon l'indice de MARTONNE	65
IV.2. Classification du climat selon le diagramme d'EMBERGER.....	65
IV.3 Climagramme de Bagnols et Gausсен	66
V. Pédologie.....	67
VI. Etat physique du sol.....	68
CHAPITRE VI	70
HYDROLOGIE ET LES BESOIN EN EAU.....	70
Introduction	71
I.Choix du type de loi	71
 I.1. Homogénéisation de la série pluviométrique.....	71
 I.2. Ajustement à la loi de Gauss	73
 I.3.Calcul des caractéristiques empiriques de l'échantillon	74
 Test de validité de l'ajustement à la loi de Gauss	75
 I.4.Ajustement à une loi Log-normale	75
 Test de validité de l'ajustement à une loi Log-normale	76
 I.5. Pluviométrie moyenne mensuelle de probabilité 80%.....	77
II.2. Détermination de l'évapotranspiration	78
II.3. Méthodes d'évaluation de l'évapotranspiration.....	78
II.4. Calcul de l'évapotranspiration.....	79
 II.4.1. Par la formule Penman	79
 II.4.2. Calcul des besoins en eau d'irrigation pour les cultures d'assolement	79
 II.4.3 Besoins en eau de figuier.....	80
CHAPITRE VII.....	84
Réutilisations des eaux usées traité dans le périmètre	84

BENCHAABANE (Dimensionnement du système d'irrigation)	84
Introduction	85
I. Le choix de la technique d'irrigation	85
I.1 L'irrigation localisée	85
I.2 Principe de fonctionnement	85
I.3 Les composantes d'une installation d'irrigation localisée	86
I.3.1 Point de fourniture d'eau	87
I.3.2 L'unité de tête	87
I.3.3 Description des conduites et rampes	88
I.3.4 Différents types de distributeurs d'un goutteur	88
I.4 Recommandation pour l'utilisation des eaux usées dans le cas de l'irrigation localisée	88
I.4.5 Les Avantages et inconvénients de l'irrigation localisée	89
II. Travaux et aménagements recommandés	89
II.1. Les amendements organiques	89
II.2 La fertilisation	89
III. Le dimensionnement à la parcelle du réseau goutte à goutte Données générales	90
IV. Besoins d'irrigation des cultures en irrigation localisée	90
IV.1. Influence du taux de couverture du sol	90
IV.2 Réserve facilement utilisable RFU	91
IV.3. Dose nette	91
IV.4. Dose brute	91
IV.5. Fréquence d'arrosage	92
IV.6. La durée d'arrosage	92
IV.7. Choix des goutteurs dans la zone d'étude et la densité des cultures	92
IV.8. Le nombre des rampes	93
IV.9. Le nombre d'arbre par rampe	93
IV.10. Débit de la rampe et le diamètre	93
IV.11. Débit de la porte rampe	94
IV.12. La conduite principale	94
IV.13. La pression en tête de l'installation	95
Conclusion	96
CONCLUSION GENERALE	97
Références bibliographique	99
ANNEXES	101

Liste des figures

Figure I.1 : Stress hydrique dans le monde.....	03
Figure I.2 : Les différentes étapes de la métabolisation de la pollution azotée(Source :M.DEGREMONT,2001).....	08
Figure I.3 : Représentation graphique de la relation du SAR et CE (Logiciel Diagrame R.SIMLER).....	10
Figure II.1 : Répartition par usage et localisation des expériences mondiales les plus importantes en REUT (Source : Ecosse (2001)).....	13
Figure II.2 : Réutilisation globale des eaux usées traitées (part de marché par domaine d'utilisation), (Source : (Lautze et al., 2014).).....	14
Figure II.3 : Statistiques sur la réutilisation des eaux usées épurées en Algérie (Source : C.R.Bt).....	15
Figure III.1 : Schéma de principe de la filière d'épuration de la STEP de BOUFARIK(Source :ONA BLIDA).....	28
Figure III.2 : Classificateur et laveur de sables(Source :STEP BOUFARIK).....	35
Figure III.3 : Décanteur primaire(Source :STEP BOUFARIK).....	37
Figure III.4 : Bassin d'aération (Source :STEP BOUFARIK).....	40
Figure III.5 : Décanteur secondaire (Source :STEP BOUFARIK).....	41
Figure III.6 : Bassin de chloration (Source :STEP BOUFARIK).....	42
Figure IV.1 : Ozonation.....	53
Figure V.1 : Localisation géographique de la wilaya de Blida(Source :ANRH BLIDA).....	58
Figure V.2 : Communes limitrophes de BEN CHAABANE(source: https://wikimonde.com/article/Benkhelil).....	59
Figure V.3 : Localisation géographique de la commune de BEN CHAABANE (Source : ANRH BLIDA.....	59
Figure V.4: Carte de la situation du périmètre d'étude (la plaine de BEN KHLIL) (source : Google Maps).....	60
Figure V.5: Carte géologique de la plaine de METIDJA(Source :ANRH).....	61
Figure V.6 : Histogramme des températures.....	62
Fig. V.7 : Histogramme de la précipitation moyenne.....	63
Figure V.8 : Histogramme de l'humidité relative en %.....	64
Figure V.9 : Climagramme d'EMBERGER.....	66
Figure V.10 : Diagramme ombrothermique de Gaussen.....	75
Figure VI.1 : Ajustement à la loi de GAUSS.....	77
Figure VI. 2 : Ajustement à la loi log normale.....	86
Figure VII.1: Schéma de principe de la micro-irrigation: apporter l'eau directement aux racines (MADR, 1994).....	87
Figure VII. 2: Système d'irrigation en goutte à goutte (FAO, 1983).....	96

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Le risque du SAR dans l'eau d'irrigation SO.....	10
Tableau II.2 : Les normes de rejets des eaux usées selon l'OMS (Source :OMS).....	20
Tableau II.3 : Recommandation de l'OMS catégorie des EUT(Source : OMS).....	20
Tableau II.4 :Les valeurs limites des paramètres de rejet dans un milieu récepteur.....	22
Tableau III.1: Récapitulatif de la projection de la population (Source :DRE BLIDA)....	26
Tableau III.2: Flux hydrauliques (Source : DRE BLIDA).....	27
Tableau III.3 : Caractéristiques Des Eaux Résiduaires	30
Tableau III.4: Caractéristiques de la fosse à bâtards (Source :DRE BLIDA Urbaines des quatre rejets de la zone d'étude (Première et euxième campagne)(Source :DRE BLIDA)...	30
Tableau III.5: Les paramètres de dimensionnement de la grille grossière (Source :DRE BLIDA).....	31
Tableau III.6: Les caractéristiques de la grille(Source :DRE BLIDA).....	31
Tableau III.7: le dimensionnement de la cave est les caractéristiques des pompes(Source :DRE BLIDA).....	32
Tableau III.8: Les paramètres de dimensionnement de la grille(Source :DRE BLIDA)...	33
Tableau III.9 : Caractéristiques de la Grille mécanisée(Source :DRE BLIDA).....	33
Tableau III.10 : Les paramètres de dimensionnementsont de Grille by-pass(Source :DRE BLIDA).....	34
Tableau III.11: Les caractéristiques du dégrilleur fin(Source :DRE BLIDA).....	34
Tableau III.12 : Les paramètres de dimensionnement dessableur/déshuileur(Source :DRE BLIDA).....	35
Tableau III.13 : Quantité de sables recueillis (Source :DRE BLIDA).....	35
Tableau III.14: Quantité d'huiles recueillies(Source :DRE BLIDA).....	36
Tableau III.15 : Les paramètres de dimensionnement à respecter(Source :DRE BLIDA)...	36
Tableau III.16 : Dimensionnement de l'ouvrage(Source :DRE BLIDA).....	36
Tableau III.17 : Les caractéristiques des effluents(Source :DRE BLIDA).....	37
Tableau III.18 : Les paramètres de dimensionnement de bassin d'aération (Source :DRE BLIDA).....	38
Tableau III.19 : Caractéristiques de la zone d'aération(Source :DRE BLIDA).....	39
Tableau III.20 : Rendement d'élimination des charges polluantes(Source :DRE BLIDA...)	39
Tableau II21 : Paramètre en relation avec le besoin en oxygène (Source :DRE BLIDA)....	40
Tableau III.22 : Les paramètres de dimensionnement de clarificateur(Source :DRE BLIDA).....	41
Tableau III.23 : Les dimensionnements de clarificateurs (Source :DRE BLIDA).....	41
Tableau III.24 : Caractéristiques de recirculation des boues(Source :DRE BLIDA).....	43
Tableau III.25 : Caractéristiques des pompes(DRE BLIDA).....	43
Tableau III.26 : Caractéristiques dimensionnelles de l'Epaisseur(Source :DRE BLIDA)43	
Tableau III.27 : Caractéristiques des pompes(Source :DRE BLIDA).....	44
Tableau III.28 : Caractéristiques de bassin de stabilisation(Source :DRE BLIDA).....	44
Tableau III.29 : Les caractéristiques d'oxygénation(Source :DRE BLIDA).....	44
Tableau III.29 : Caractéristiques des pompes(Source :DRE BLIDA).....	45
Tableau III.30 : Paramètres dimensionnels des lits de séchage (Source :DRE BLIDA)....	45
Tableau III.31 : Paramètres dimensionnel de presse à bande (Source :DRE BLIDA).....	46
Tableau III.32: Résultats des analyses Bactériologiques des eaux épurées prélevées à la sortie de la STEP.....	49
Tableau III.33 : Paramètres physico-chimique à l'entre et la sortie de la STEP de BEN CHAABANE.....	50
Tableau V.1 : Températures mensuelles de Boufarik en °C (Période : 1985 – 2012).	

(Source : ANRH BLIDA).....	55
à la station de Boufarik (Période : 1985 – 2012) (Source :ANRH BLIDA)	
Tableau V. 2 : Répartition mensuelle moyenne interannuelle des précipitations.....	56
Tableau. V.3 : Vitesse des vents à la station de Boufarik (Période : 1985-2012)(Source :ANRH BLIDA)3.....	56
Tableau. V. 4 : Insolation moyenne journalière et annuelle à la station de Boufarik (Période : 1985 – 2012)(Source : ANRH BLIDA).....	57
Tableau. V.5 : Humidité relative moyenne mensuelle et annuelle à la station de Boufarik (2012) (Source : ANRH BLIDA).....	57
Tableau. V.6 : Classification du climat selon de MARTONNE(Source : ANRH BLIDA)..	58
Tableau. V.7 : Fiche analytique	60
Tableau. V.8 : Quelques valeurs de coefficients de perméabilité (K)(Source :ANRH BLIDA).....	61
Tableau. VI.1 : Précipitations moyennes mensuelles en (mm) à la station de Boufarik.....	72
Tableau. VI.2 : Test de WILCOXON.....	73
Tableau. VI.3 : Ajustement à une loi de Gauss.....	74
Tableau. VI.4 : Ajustement à une loi Log-normal.....	75
Tableau. VI.5 : Pluviométrie moyenne mensuelle de probabilité 80%.....	77
Tableau. V.1. : Évapotranspiration en mm / jour.....	79
Tableau. V.2. : Pluies efficace en mm.....	79
Tableau. VI.3 : Besoins en eau de figuier.....	80
Tableau. VI.4 : Besoins en eau de PECHE.....	81
Tableau. VI.5 : Détermination des besoins en eau des cultures en mm.....	81
Tableau VI.6 Besoins annuels en m3.....	81
Tableau VII.1: Avantages et inconvénients de goutte à goutte.....	89
Tableau VII-2 Caractéristiques générales du réseau localisé.....	93
Tableau. VII.3 : Caractéristiques générales du réseau localisé.....	94

Liste des planches

Planche 1 : Plan de situation de BEN KHLIL.

Planche 2 : Levé Topo de BEN KHLIL.

Planche 3 : Implantation des ouvrages se la STEP de BEN CHAABANE.

Planche 4 : Plan de réseau projete.

Liste des abréviations

STEP : Station d'épuration

CE : Conductivité Electrique

CF : Coliformes Fécaux

CT : Coliforme Totaux

DBO5 : Demande Biochimique en Oxygène durant 5 jours

DCO : Demande Chimique en Oxygène

MES : Matières En Suspension

ED : Entrée décanteur

EF : Entrée filtre

ER : Entrée réacteur

NPP : Nombre le Plus Probable

NTU : Nephelometric Turbidity

SR : Sortie réacteur

UV : ultraviolet

OMS : Organisation mondial de la santé

Dj : dose journalière

Qmoy,j : débit moyen journalier

Tc : temps de contact

Qptp : débit de pointe en temps de pluie

Qpts : débit de pointe en temps sec

Sh : la surface horizontale

CE : conductivité électrique

SAR : sodium adsorption ratio

RFU : réserve facile des utiles

$\mu\text{S/cm}$: micro siemens par centimètre

mg /l : milligramme par litre

m³/j : mètre cube par jour

eq / hab : équivalent habitant

mm : millimètre

kg/j : kilogramme par jour

UFC : Unité Formant Colonie.

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'étude de la réutilisation des eaux usées épurées est devenue une préoccupation majeure dans la gestion durable des ressources hydriques. Cette étude se penche sur un aspect crucial de cette démarche, en se focalisant sur la possibilité de réutiliser les eaux usées traitées provenant de la station d'épuration BEN CHAABANE, située à Boufarik-Blida, à des fins agricoles. L'importance de cette recherche réside dans la nécessité croissante de trouver des solutions innovantes pour répondre aux besoins en eau dans le secteur agricole, tout en préservant nos précieuses ressources en eau douce.

Ce document se structure en plusieurs chapitres, chacun abordant un aspect spécifique de la réutilisation des eaux usées épurées et de la station d'épuration BEN CHAABANE. Dans le premier chapitre, nous examinerons les généralités sur les eaux usées, mettant en lumière leur composition, leurs sources et les enjeux environnementaux qui y sont associés.

Le deuxième chapitre révélera l'évolution historique de la réutilisation des eaux usées traitées. Nous plongerons dans le passé pour comprendre comment cette pratique s'est développée au fil du temps, tout en éclairant les avancées technologiques et les leçons apprises de l'expérience passée.

Le troisième chapitre sera dédié à une présentation détaillée de la station d'épuration BEN CHAABANE BOUFARIK. Nous explorerons son infrastructure, ses capacités et ses performances en matière de traitement des eaux usées.

Dans le chapitre suivant, nous nous pencherons sur le traitement tertiaire par Ozonation, une méthode avancée utilisée dans le processus de purification des eaux usées. Nous examinerons en détail son fonctionnement, son efficacité et son rôle dans la production d'eau de qualité pour l'usage agricole.

Enfin, le dernier chapitre se concentrera sur la réutilisation des eaux usées traitées dans le périmètre BENCHAABANE. Nous aborderons le dimensionnement des besoins d'irrigation, en mettant en évidence les avantages, les défis et les implications environnementales et économiques de cette approche.

L'objectif de cette étude est de contribuer à une utilisation plus rationnelle des ressources en eau, en exploitant le potentiel des eaux usées épurées pour soutenir l'agriculture tout en préservant notre environnement. Ce travail représente une étape essentielle vers une gestion plus durable et économe en eau, un enjeu crucial pour les générations présentes et futures.

CHAPITRE I
Généralités sur les eaux usées

Introduction

L'effluent entrant en station est dénommé "eaux usées", les eaux usées sont des liquides de composition hétérogène, chargées de matières minérales ou organiques, pouvant être en suspension ou en solution, et dont certains peuvent avoir un caractère toxique.

Cette partie a pour but de rappeler les connaissances de base liée aux eaux usées et processus d'épuration de ces eaux non conventionnels.

I. Eau dans le monde

Le manque des ressources en eaux est un problème qui anime les populations du monde entier depuis des décennies. Les poussées démographiques, l'agriculture extensive, le réchauffement climatique sont quelques-uns des nombreux exemples mettant en péril la pérennité des ressources.

Le stress hydrique - définit comme le manque de ressources en eaux pour répondre aux activités humaine et aux besoins de l'environnement - lorsque la demande en eau dépasse les ressources disponibles ou encore, lorsque la disponibilité en eau par an et par habitant est inférieure à 1 700 m³. (; FUTURAPLANETE, 2018)

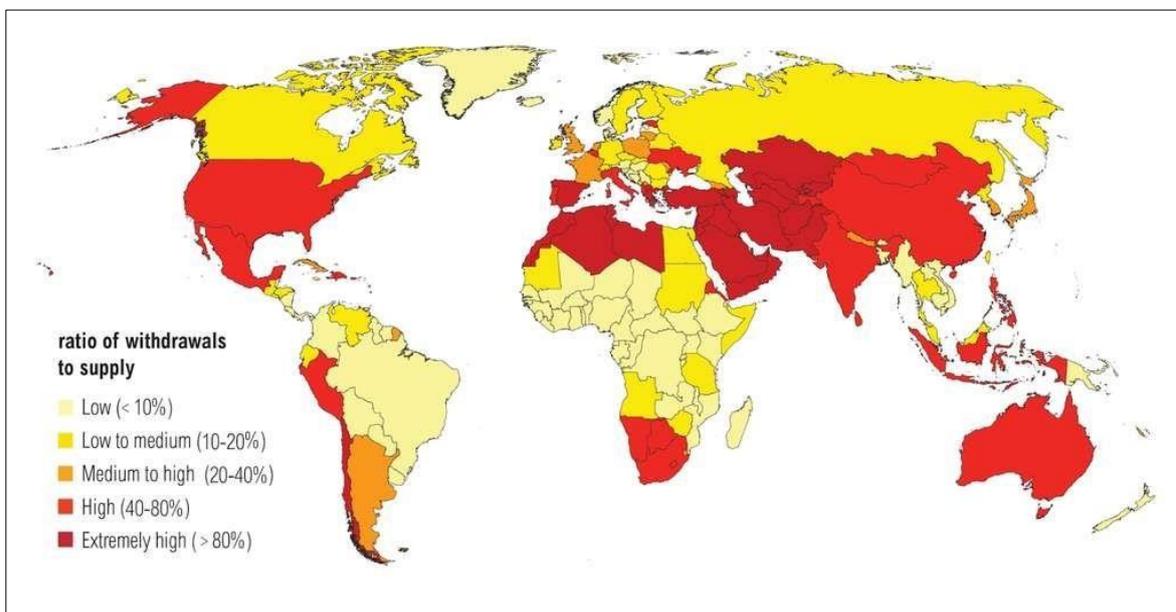


Figure I.1 : Stress hydrique dans le monde (**Source** : www.futura-sciences.com)

Selon les Nations Unies, près de 3 milliards de personnes devraient avoir à faire face à un stress hydrique d'ici 2025. Cette carte, éditée par le World Resources Institute, montre les projections de stress hydrique pour la planète en 2040 (en rouge foncé, les zones subissant le stress le plus important). © WRI

Les pays centraux allant de l'Amérique du nord jusqu'à l'Asie de l'est, souffre d'un taux de stress hydrique très élevés qui dépasse les 80%. Contrairement au pays situé au nord comme au sud de cette « ceinture » le taux de stress hydrique est moins important, sans négligé le fait qu'il peut y avoir des variations au sein d'un même pays. La figure 1 montre que l'Algérie est parmi les pays souffrant d'un stress hydrique important mais ne semble pas indiquer en détail les variations selon les régions du pays sachant que on Algérie les principale ressource d'eaux sont concentré au nord.

On remarque que les pays en développement ne sont pas les seuls touchés par la crise. D'ici 2050, les besoins en eau devront augmenter de 55 % (une population estimée à 9,5 milliards de personnes) les besoins de l'industrie devraient exploser de 400 % d'ici-là. Quant au secteur agricole, ses prélèvements actuels ne sont pas soutenables, estiment les experts. Entre 1961 et 2009, les terres cultivées se sont étendues de 12 %, tandis que les superficies irriguées augmentaient de 117 %. (valo, 2019)

II. Caractéristique de l'effluent entrant en station d'épuration

Parmi les caractéristiques des effluents on a :

II.1 Origine des eaux usées

Les eaux usées ont plusieurs origines :

II.1.1 Les effluents domestiques

Les effluents domestiques sont un mélange d'eaux contenant des déjections humaines : eau de vanne (urines, fèces) et eaux ménagères (eaux de toilette et de nettoyage des sols et des aliments) et on peut y assimiler les eaux pluviales. Ces eaux sont généralement constituées de matières organiques dégradables et de matières minérales, ces substances sont sous forme dissoute ou en suspension.

En Algérie, la pollution journalière produite par une personne utilisant de 150 à 200 litres d'eaux est évaluée :

De 70 à 90 g de matières en suspension

De 60 à 70 g de matières organiques

De 15 à 17 g de matières azotées

4 g de phosphores

II.1.2 Les effluents industriels

Ces eaux sont l'origine d'activités industrielles 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. Selon leur origine industrielle.

Elles peuvent également contenir :

- Des graisses (industries agroalimentaires...).
- Des hydrocarbures (raffineries).
- Des métaux (traitements de surface, métallurgie).
- Des acides des bases et divers produits chimiques (industries chimiques diverses, tanneries)
- De l'eau chaude (circuit de refroidissements des centrales thermiques).
- Des matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs).

II.1.3 Les effluents d'agriculture

L'agriculture constitue la première cause des pollutions diffuses. Les pollutions d'origine agricole englobent à la fois celles qui ont trait aux cultures (pesticides et engrais) et à l'élevage, ces eaux agricoles issues de terres cultivées chargées d'engrais nitrés et phosphatés, conduisent par ruissellement peuvent causer la pollution des nappes les plus superficielles et des eaux des cours d'eau ou des retenues.

II.2 Caractéristiques des eaux usées

Les normes de rejet des eaux usées, fixent des indicateurs de qualité physico-chimique et biologiques. Ce potentiel de pollution généralement exprimé en mg/l, est quantifié et apprécié par une série d'analyse. Pour les eaux usées domestiques, industrielles et les effluents naturels, on peut retenir les analyses suivantes :

II.2.1 Paramètres physiques

Les paramètres physiques qui caractérisent les eaux usées sont :

II.2.1.1 Température (T)

La température est un facteur écologique important des milieux aqueux. Son élévation peut perturber fortement la vie aquatique (pollution thermique). Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision, en effet elle joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels. Elle agit aussi comme un facteur physiologique agissant sur le métabolisme de croissance des micro-organismes vivant dans l'eau.

II.2.1.2 Odeur

L'eau d'égout fraîche a une odeur fade qui n'est pas désagréable, par contre en état de fermentation, elle dégage une odeur nauséabonde.

Les eaux résiduaires industrielles (ERI) se caractérisent par une odeur de moisi. Toute odeur est signe de pollution qui est due à la présence de matière organique en décomposition.

II.2.1.3 Couleur

La coloration d'une eau peut être soit d'origine naturelle, soit associée à sa pollution (composées organiques colorées). La coloration d'une eau est donc très souvent synonyme de la présence de composés dissous et corrélativement la présence de solutés induit une coloration qui ne se limite pas au seul du domaine du visible.

II.2.1.4 Turbidité

La turbidité est un phénomène optique dû aux particules en suspension, peut être mesurée aisément en continu. Pour mesurer la valeur de turbidité on détermine l'intensité de la lumière diffusée par les particules, soit l'atténuation de la lumière transmise (coefficient de diffusion) ou l'intensité de la lumière diffusée sous un angle latéral défini.

Les unités utilisées pour exprimer la turbidité proviennent de la normalisation ASTM (American Society for Testing Matériel) qui considère que les trois unités suivantes sont comparables :

$$\text{Unité JTU (Jackson Turbidity Unit)} = \text{Unité FTU (Formazine Turbidity Unit)} = \text{Unité NTU (Nephelometric Turbidity Unit)}$$

II.2.1.5 Matières en suspension (MES)

Il s'agit de matières qui ne sont ni solubilisées ni colloïdales, ils sont classé entre les particules minérales du type sable et les particules minérales du type mucilagineuse. Elles comportent des matières organiques et des matières minérales.

Les concentrations en MES dans les eaux usées sont très variables, et sont de l'ordre de 300 mg/l.

Les MES s'expriment par la relation suivante :

$$\text{MES} = 30\% \text{ MMS} + 70\% \text{ MVS}$$

Avec :

MES : matières en suspension

MMS : matières minérales en suspension

MVS : matières volatiles en suspension

Matières volatile en suspension :

Elles représentent la fraction organique des matières en suspension. Elles sont mesurées par calcination à 650°C d'un échantillon dont on connaît déjà la teneur en MES. Elles constituent environ 70 à 80% de MES.

Matières minérales en suspension :

C'est la différence entre les matières en suspension et les matières volatiles. Elles représentent donc le résidu de la calcination, et correspondent à la présence de sels, silice, poussières par exemple :

Pour la détermination des matières en suspension (M.E.S) nous avons utilisé la méthode par filtration sur disque filtrant de 0.45um. Le filtre est séché à 105°C puis pesé après refroidissement. (Norme EN 872: 1996). Le taux des matières en suspension (MES), exprimé en milligramme par litre (mg/l) est donné par l'expression

$$\text{MES} = (M1-M0) 1000/V$$

- V : Le volume en ml d'échantillon utilisé ;
- M0 : La masse en mg du disque filtrant avant utilisation ;
- M1 : La masse en mg du disque filtrant après utilisation. (Rodier, 2005).

II.2.2 Paramètres chimiques

II.2.2.1 Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique est la propriété que possède une eau de favoriser le passage d'un courant électrique et qui représente sa salinité. Elle est due à la présence dans le milieu d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique. Elle dépend de la nature de ces ions dissous et de leurs concentrations.

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm². L'unité de conductivité est le siemens par mètre (S/m).on la mesure à l'aide d'un conductimètre.

$$1 \text{ S/m} = 10^4 \mu\text{S/cm} = 10^3 \text{ mS/m}$$

II.2.2.2 Le potentiel Hydrogène (pH)

Le potentiel hydrogène représente l'acidité ou l'alcalinité d'une solution. L'acidité, la neutralité et l'alcalinité d'une solution aqueuse peut s'exprimer par la concentration en H₃O⁺ (noté H⁺ pour simplifier).

Le pH d'une eau domestique ou urbaine se situe généralement entre 6.8 à 7.8.

II.2.2.3 Demande biochimique en oxygène (DBO)

Demande Biochimique en Oxygène correspond à la quantité de dioxygène nécessaire aux micro-organismes aérobies de l'eau pour oxyder les matières organiques, dissoutes ou en suspension dans l'eau. Il s'agit donc d'une consommation potentielle de dioxygène par voie biologique. Ce paramètre constitue un bon indicateur de la teneur en matières organiques biodégradables d'une eau au cours des procédés d'autoépuration.

Pour être complète, l'oxydation biologique nécessite un temps de 20 à 28 jours, on mesure dans ce cas la DBO Ultime ou DBO₂₁ ou DBO₂₈ ; cette période étant longue, on a choisi par convention une mesure après 5 jours d'incubation appelée DBO₅.

II.2.2.4 Demande chimique en oxygène (DCO)

La Demande Chimique en Oxygène traduit la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder chimiquement les matières organiques contenues dans l'effluent.

La mesure de la DCO se fait à l'aide d'un oxydant énergétique comme le bichromate de potassium, en milieu acide, et à chaud pendant deux heures. On estime que cette oxydation détruit à 90-95% des composés. Cependant, elle s'applique à des composés qui ne jouent aucun rôle dans le déficit en oxygène d'un cours d'eau. Il s'agit par exemple, des halogénures minéraux (sauf le fluor). Il est souvent recommandé d'effectuer la mesure de la DCO avant celle de la DBO afin d'estimer la proportion des dilutions à effectuer.

Elle est exprimée en mg O₂/l. Généralement la valeur de la DCO est :

DCO = 1.5 à 2 fois DBO Pour les eaux usées urbaines.

DCO = 1 à 10 fois DBO Pour tout l'ensemble des eaux résiduares.

DCO > 2.5 fois DBO Pour les eaux usées industrielles.

La relation empirique de la matière organique (MO) en fonction de la DBO₅ et la DCO est donnée par l'équation suivante (kg/jours) :

$$MO = (2 \times DBO_5 + DCO) / 3$$

II.2.2.5 Notion de biodégradabilité

La biodégradabilité traduit l'aptitude d'un effluent à être décomposé ou oxydé par les microorganismes qui interviennent dans le processus d'épuration biologique des eaux.

La biodégradabilité est exprimée par un coefficient K, tel que :

$$K = DCO/DBO_5$$

Si **K < 1.5** : cela signifie que les matières oxydables sont constituées en grande partie de matières fortement biodégradables.

Si **1.5 < K < 2.5** : cela signifie que les matières oxydables sont moyennement biodégradables.

Si **2.5 < K < 3** : les matières oxydables sont peu biodégradables.

Si **K > 3** : les matières oxydables sont non biodégradables.

La valeur du coefficient K détermine le choix de la filière de traitement à adopter, si l'effluent est biodégradable on applique un traitement biologique, sinon on applique un traitement physicochimique.

II.2.2.6 Azote Global (NGL)

Quantité totale d'azote (en N mg/l) correspondant à l'azote organique (N_{org}) et ammoniacal (ion ammonium, NH_4^+) et aux formes minérales oxydées de l'azote nitrates (NO_3^-) et nitrites (NO_2^-). L'analyse de l'ammoniac est réalisée sous un PH élevé par la technique de minéralisation (chauffage et condensation) et un test de colorimétrie. Le test kjeldahl consiste à faire subir à un échantillon, un processus de digestion où l'azote organique est transformé en ammoniac. Par conséquent, l'azote Kjeldahl (NTK) représente l'azote organique et ammoniacal. Les formes oxydées (nitrates et nitrites) sont mesurées par colorimétrie.

II.2.2.7 Nitrates (NO_3^-)

Les nitrates constituent la forme azotée la plus dominante dans les cours d'eau et dans les nappes d'eau souterraine. Ils proviennent généralement de la décomposition de la matière organique par oxydation bactérienne des nitrites et constituent ainsi l'ultime produit de la nitrification. Une augmentation de la pollution azotée entraîne d'une manière générale une croissance excessive des algues et plantes dans le milieu récepteur et une consommation supplémentaire de l'oxygène dissous, d'où une dégradation du milieu aquatique (Phénomène d'eutrophisation).

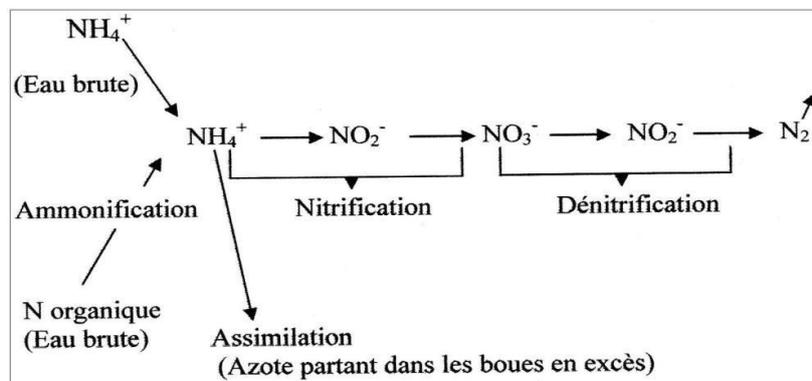


Figure I.2 : Les différentes étapes de la métabolisation de la pollution azotée (Source : M. DEGREMONT, 2001)

II.2.2.8 Phosphore Total (PT)

Quantité (en P mg/l) correspondant à la somme du phosphore contenu dans les ortho phosphates (PO_4^{3-}), les poly phosphates et le phosphate organique. Le phosphore qui pollue les eaux est en majeure partie sous forme de phosphates (PO_4^{3-}). Généralement ce composé est déterminé directement par addition d'une substance chimique qui forme un complexe coloré avec le phosphate.

II.2.2.9 Métaux lourds

Les éléments traces métalliques sont généralement définis comme des métaux lourds. On appelle métaux lourds tout élément métallique naturel dont la masse volumique dépasse $5g/cm^3$.

Ils englobent l'ensemble des métaux et métalloïdes présentant un caractère toxique pour l'homme : le plomb, le mercure, l'arsenic et le cadmium. D'autres comme le cuivre, le zinc, le

chrome, pourtant nécessaires à l'organisme en petites quantités, peuvent devenir toxiques à doses plus importantes.

Les métaux lourds se trouvent dans les eaux usées urbaines à l'état de trace. Des concentrations élevées sont en général révélatrices d'un rejet industriel, sans aucun doute. Leur présence, est nuisible pour l'activité des micro-organismes, donc perturbe le processus d'épuration biologique.

II.2.2.10 TDS (solides totaux dissous)

On mesure tous les sels dissous dans l'eau. L'unité de mesure est le mg/l. C'est important de connaître la concentration des TDS dans l'eau car si elle est élevée cela provoque de la corrosion et de l'incrustation. On détermine les TDS avec des testeurs à affichage digital faciles à utiliser.

II.2.2.11 Charge massique et volumique et âge des boues

On caractérise un bassin d'aération par :

Charge volumique C_v : il s'agit du rapport Kg DBO₅/ m³ de réacteur

Charge massique C_m : il s'agit du rapport Kg DBO₅/ Kg MES et par jour

Charge massique C_m' : il s'agit du rapport Kg DBO₅/ Kg biomasse et par jour

La charge massique s'exprime ainsi soit par rapport à la masse de la MES contenue dans le bassin biologique, C_m , ou soit par rapport à la masse de la MVS, C_m'

II.2.2.12 Age des boues

Il s'agit du rapport entre la biomasse présente dans le réacteur et la quantité de boue purgée chaque jour. Dans la plus part des cas, l'optimum de C_m est déterminé afin d'éviter :

Pour les faibles charges, il n'y a pas assez de nourriture et la respiration endogène a lieu.

Au contraire, si le substrat est abondants, il y a formation de microorganismes filamenteux, les floccs prennent des dimensions anormalement élevées et décantent mal. C'est le phénomène de gonflement des boues ou « Bulking ». Il en résulte une boue légère constituée de capsules cellulaires et donc de mauvaise sédimentabilité. Il y a dispersion des floccs.

II.2.2.13 L'Alcalinité SAR

Le rapport d'adsorption du sodium (SAR) qui exprime l'activité relative des ions de sodium dans les réactions d'échange dans les sols. Cet indice mesure la concentration relative du sodium par rapport au calcium et au magnésium.

C : concentration en ion en mol/m³

Na : Sodium ; Ca: Calcium ; Mg: Magnesium

Si les unités sont en meq/L, la somme de[Ca] et de [Mg] doit être divisée par deux avant de prendre la racine carrée .

Diagramme pour la classification des eaux d'irrigation en fonction du SAR.

SAR : Rapport d'adsorption du sodium (meq/L). C_e : Conductivité électrique à 25 °C (μS/cm).

Le SAR varie de 13 à 23, les eaux peuvent provoquer un risque d'alcalinisation des sols. Où le danger d'alcalinisation du sol est appréciable dans les sols à texture fine. La conductivité électrique varie de 2.25 mS/cm à 5 mS/cm, c'est-à-dire la salinité est très forte ,cette eau n'est

utilisable que si l'on pratique un lessivage intense et pour des cultures très tolérantes; sinon l'eau est inutilisable, car elle est très dangereuse sur sols faiblement drainés et peut présenter dans une certaine mesure un danger sur la plupart des cultures.

Tableau I.1 : Le risque du SAR dans l'eau d'irrigation (Source: Extrait à partir des directives australiennes de qualité de l'eau pour les eaux fraîches et marines (ANZECC))

Risque	SAR	Notes
Nul	< 3.0	Pas de restriction sur l'utilisation d'eau
Léger à Modéré	3.0 - 9.0	Entre 3 et 6, une attention particulière doit être portée sur les récoltes sensibles. Entre 6 et 8 du gypse doit être utilisé. Récoltes non sensibles. Des échantillons de sol doivent être prélevés et examinés tous les 1 ou 2 jours pour déterminer s'il y a une augmentation des teneurs en Sodium.
Elevé	> 9.0	Domage sévère.

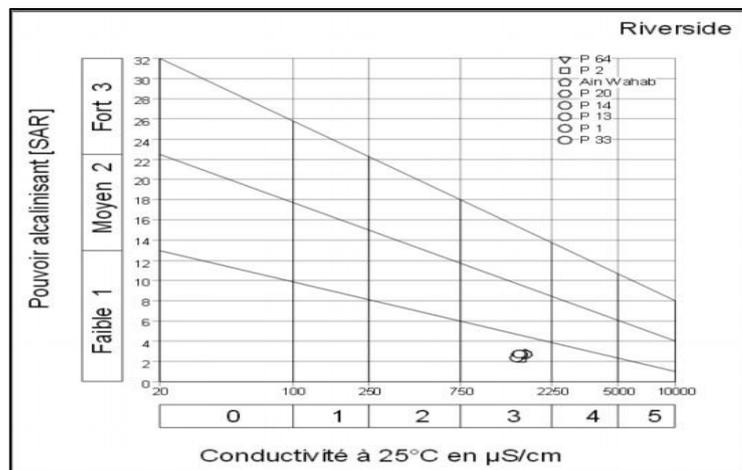


Figure I.3 : Représentation graphique de la relation du SAR et CE (Logiciel Diagramme R.SIMLER)

II.2.2.14 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. La mesure s'effectue à l'aide d'un oxymétrie de type Oxi 179-S.

II.2.3 Paramètres biologiques

Les micro-organismes qui se trouvent dans l'eau usée sont à l'origine du traitement biologique. Ils sont cités par ordre croissant de taille : les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes.

Parmi les éléments pathogènes les plus rencontrés, on cite :

II.2.3.1 Les virus

Les virus sont des parasites intracellulaires qui ne peuvent se multiplier que dans une cellule hôte. On estime leur concentration dans les eaux usées urbaines de 10^3 à 10^4 particules par litre.

II.2.3.2 Les bactéries

Les eaux usées urbaines contiennent environ 10^6 à 10^7 bactéries /100 ml, dont 10^3 sont pathogènes. Les plus connus sont les salmonelles responsables de la typhoïde et des troubles intestinaux, sans oublier les colibacilles qui ont une durée de vie de 2 à 3 mois et qui se multiplient dans l'environnement.

II.2.3.3 Protozoaires

Les protozoaires sont des organismes unicellulaires, plus complexes et plus gros que les bactéries. La plupart des protozoaires pathogènes sont des organismes parasites, c'est-à-dire qui se développent aux dépens de leur hôte. Certains protozoaires adoptent au cours de leur cycle de vie une forme de Kyste. Cette forme peut résister généralement aux procédés de traitement des eaux usées.

II.2.3.4 Helminthes

Les helminthes sont des vers multicellulaires. Tout comme les protozoaires, ce sont majoritairement des organismes parasites. Les œufs d'helminthes sont très résistants et peuvent notamment survivre plusieurs semaines, voire plusieurs mois sur les sols ou les plantes cultivées. La concentration en œufs d'helminthes dans les eaux usées est de l'ordre de 10 à 10^3 œufs /l.

Conclusion

Les eaux usées sont des effluents hétérogènes de composition organique et minérale. Ces eaux usées qui sont caractérisés par des paramètres physiques, chimiques et biologiques. Avant leur rejet ou réutilisations, le passage par un traitement afin de les débarrassés de tous sort de polluant est primordiale. Pour ce faire, le procédé de traitement usuel pour la dégradation de la matière organique est « le procédé de boues activée ».

CHAPITRE II

Historique de la réutilisation des eaux usées traitées

Introduction

Face à une pénurie d'eau mondiale, la réutilisation des eaux usées, aussi appelée « reuse » (issue de l'expression wastewater reuse en anglais) est une voie d'avenir. Une fois traitées, les eaux usées peuvent en effet être destinées à différents usages : l'irrigation des espaces verts ou des cultures, la lutte contre les incendies, le lavage des voiries ou encore la recharge des nappes phréatiques.

Cette alternative se présente comme un enjeu politique et socioéconomique pour le développement futur des services d'eau potable et d'assainissement. De nombreux pays dans le monde se sont déjà lancés dans la réutilisation des eaux usées traitées et l'Algérie en fait partie. A travers cette partie, une bref description des eaux usées est présentée et éventuellement, un aperçu global sur le contexte de la REUT dans le monde et en Algérie.

I. Réutilisation des eaux usée traitée (REUT)

La réutilisation des eaux usées est pratiquée dans plusieurs coins du monde depuis des milliers d'années (Abu-Madi et Al-Sa'ed, 2009). En effet, Mechebbek (1993) et l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 1989) ont rapporté qu'à la fin du 19^{ème} siècle, les effluents urbains, sans traitement préalable, ont été utilisés pour la production agricole, en particulier en Angleterre, en Allemagne, en Australie, aux Etats-Unis, en Inde et en France, et en 1904 au Mexique. Au milieu du 20^{ème} siècle, une meilleure compréhension des phénomènes biologiques et physico-chimiques a favorisé le développement, dans les pays industrialisés, et la mise en œuvre des techniques épuratoires et de réglementations sur l'eau, qui vise la protection du milieu naturel et en particulier des cours d'eau récepteurs.

Le recyclage de l'eau est un processus de réutilisation des eaux usées traitées à des fins utiles telles que les processus industriels, l'irrigation agricole et paysagère, l'utilisation domestique et commerciale et la recharge des eaux souterraines.

Aujourd'hui, seuls 2% des 165 milliards de m³ d'eaux usées collectés et traités annuellement dans le monde sont réutilisés. Pourtant, de nombreux procédés et systèmes de traitement existent qui permettent d'utiliser les eaux usées traitées pour répondre aux besoins en eau croissants des villes, de l'industrie et de l'agriculture. (Réutilisation des eaux usées : un enjeu majeur, partout dans le monde, mars 2017).

Certains pays ou États – comme l'Australie, la Californie, Chypre, l'Espagne, la Floride, la Jordanie, Malte ou Singapour – ont pour objectif de satisfaire de 10 à 60 % de leurs besoins en eau par la réutilisation des eaux usées épurées.

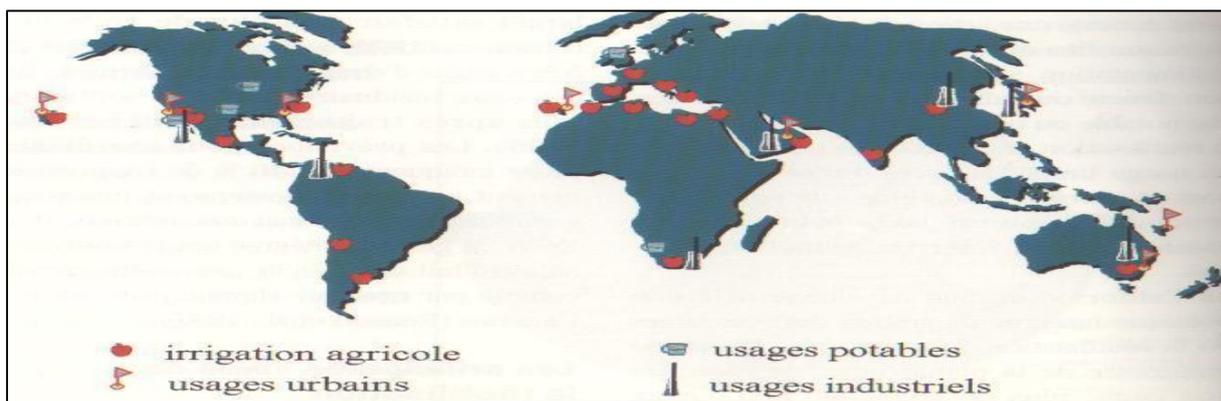


Figure II.1 : Répartition par usage et localisation des expériences mondiales les plus importantes en REUT (Source : Ecosse (2001))

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

Ces dix dernières années, le volume des eaux usées réutilisées a augmenté de 10 à 29 % par an, en Europe, aux Etats-Unis et en Chine, et jusqu'à 41 % en Australie (Lazarova et Brissaud, 2007). Ces résultats ne doivent pas faire oublier que seulement 5 % des eaux usées traitées sont réutilisées, soit un volume de 7,1 km³ par an, à comparer avec les 10 000 à 14000 km³ par an d'eau douce renouvelable et facilement accessible (site Internet de l'UNESCO, 2003)

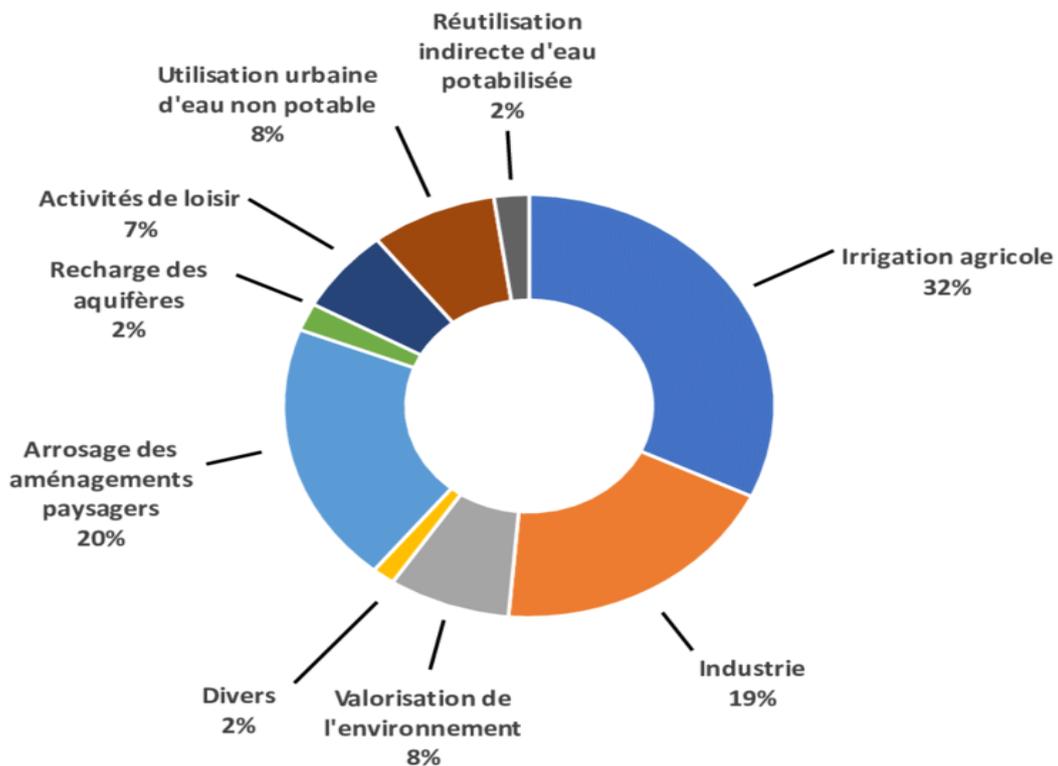


Figure II.2 : Réutilisation globale des eaux usées traitées (part de marché par domaine d'utilisation), (Source : (Lautze et al., 2014).)

I.1 La REUT en Algérie

En Algérie, pour l'année 2020 le volume d'eaux usées produit est estimé à 2 milliards de m³/an, Pour un taux de couverture du réseau d'assainissement de l'ordre de 85%, seules 20% des eaux usées collectées en Algérie sont traitées. La réutilisation des eaux usées non traitées est formellement interdite par la loi n° 83-03 du 5 février 1983, relative à la protection de l'environnement et la loi n° 83-17 du 16 juillet 1983, portant le code des eaux. Par ailleurs, 8% des superficies irriguées tant dans les Hauts-Plateaux qu'à la périphérie des grandes villes reçoivent des eaux usées brutes, alors que la réutilisation après traitement est quasi inexistante (hartani, 2004). Les valeurs maximales de rejets d'effluents liquides par les établissements industriels sont définies par le décret 93-160 du 10 juillet 1993 qui charge également les Inspections de l'Environnement des wilayas (IEW) d'effectuer les contrôles.

Selon des études faites par le Centre de Recherche en Biotechnologies (C.R.Bt) (Constantine, Algérie) il se distingue deux types de réutilisations des eaux usées dont les réutilisations domestiques et industrielles (3,1 millions de m³/an) et les réutilisations pour irrigation des grands et petits périmètres agricoles (3,4 millions de m³/an).

Le ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et de la Pêche en Algérie, et l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), ont lancé un projet sur le déblocage du potentiel des eaux usées traitées et des eaux de drainage.

Mr Abdourahman Maki, l'expert des eaux et sols à la FAO a déclaré que ce projet vise à confirmer la valeur des eaux usées traitées et les eaux de drainage, et favoriser leur utilisation optimale pour achever le développement agricole. (FAO, 2019).

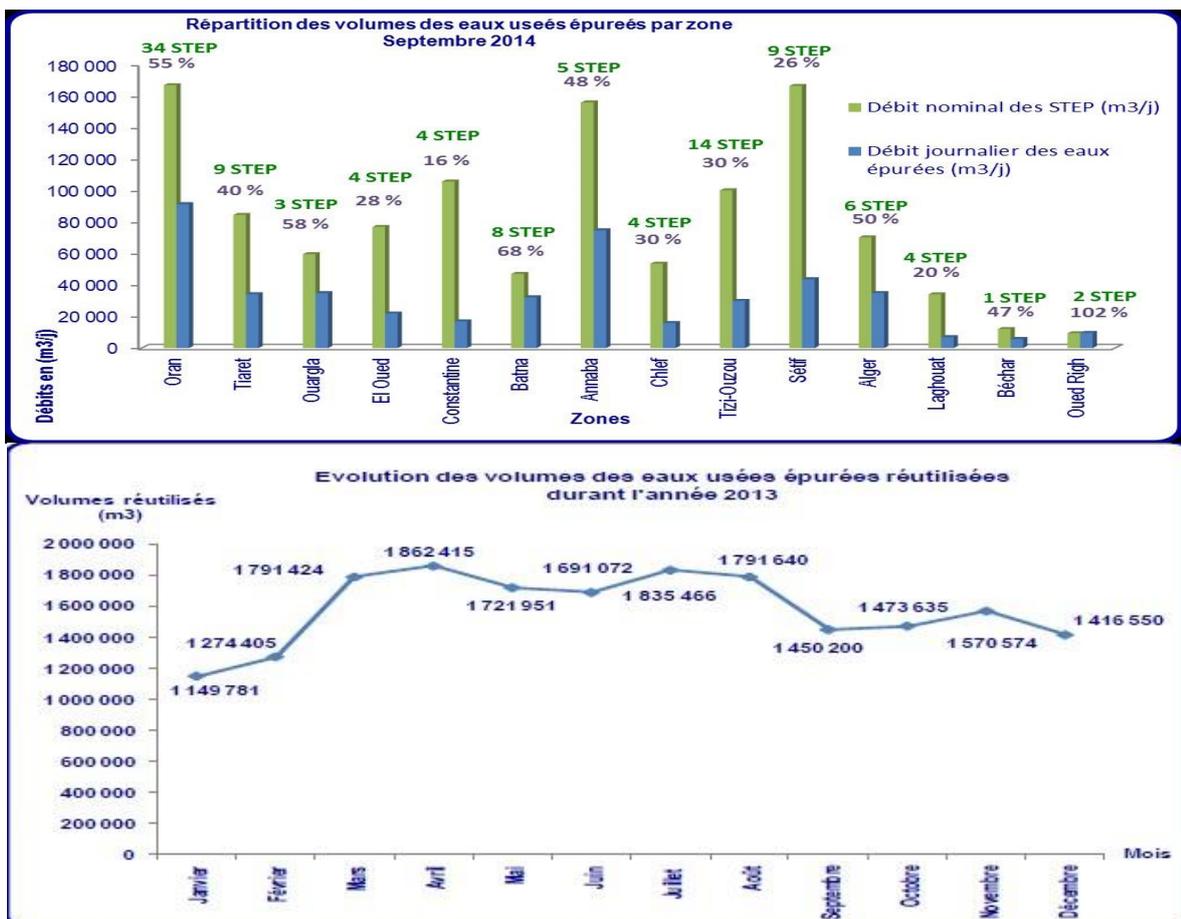


Figure II.3 : Statistiques sur la réutilisation des eaux usées épurées en Algérie (Source : C.R.Bt)

II Les usages de l'EUT

II.1 Réutilisation municipale

Les réutilisations d'eaux épurées en zone urbaine sont extrêmement nombreuses.

L'irrigation d'espaces verts, qui est l'usage le plus commun et qui comprend l'irrigation des parcs publics ou privés, des terrains de sport, des terrains de golf, ainsi que des zones résidentielles et des jardins privés.

Autres utilisations urbaines tels que le nettoyage des rues, le lavage de voitures, la protection incendie, l'alimentation des chasses d'eau et certaines applications commerciales. Le recyclage en immeuble qui se réfère essentiellement au recyclage de l'eau dans les bâtiments de grande hauteur, y compris des immeubles de bureaux, des centres commerciaux et des immeubles résidentiels privés.

Amélioration de l'environnement et les usages récréatifs pour la reconstitution et l'alimentation des plans d'eau, des lacs et des cours d'eau urbains, y compris ceux utilisés pour la natation (avec ou sans contact physique).

En Algérie, les eaux usées épurées sont réutilisées principalement par la protection civile qui récupère un volume de 18763 m³/mois d'eau usée épurée de la STEP de Tipaza pour lutter contre les incendies, et les collectivités locales qui récupèrent 12000 m³/mois des eaux épurées pour le nettoyage de la ville à partir de la STEP de Boumerdès.(STEP BOUMERDES)

II.2 Réutilisation industrielle

Pour certains pays, l'eau recyclée fournit 85% des besoins globaux en eau pour l'industrie, Les applications sont nombreuses et on peut classer les secteurs où se pratique la REUT en fonction des différentes catégories d'activités industrielles : Le secteur chimique et para chimique ; Le secteur agro-alimentaire ; celui du cuir et du textile ; le secteur des industries mécaniques, métallurgiques et électroniques. En Algérie, le seul exemple à citer est celui de la STEP de Jijel, qui cède un volume de 15000 m³/mois d'eau usée au profit de la tannerie de Jijel.

II.2.1 Le risque lié à la réutilisation industrielle :

La qualité requise est spécifique à chaque industrie parce que sa composition chimique peut avoir des répercussions sur les processus industriels. Les préoccupations concernant principalement les phénomènes d'entartage, de corrosion, de développement de bactéries, d'encrassement, de formation de mousse, et de d'inhalation d'aérosols par les travailleurs. Il n'y a pas de problèmes sanitaires spécifiques à l'industrie et on retrouve les mêmes contaminants que pour les autres usages. (ASANO, 1998).

II.3 La production d'eau potable

La production d'eau potable est l'aboutissement le plus extrême de la réutilisation des eaux usées épurées. Elle a lieu essentiellement dans les zones arides ou semi – arides et peut être directe ou indirect :

La réutilisation est direct quand l'eau ne revient jamais dans le milieu naturel ; les eaux épurées sont directement acheminées de la station d'épuration à l'usine de traitement pour l'eau potable (système « pipe to pipe »). L'unique exemple dans le monde de réutilisation directe se trouve en Afrique, à Windhoek, capitale de la Namibie. (ASANO, 1998).

Cependant, ce mode de REUE est déconseillé ; il doit être mis en œuvre uniquement quand aucune autre solution n'est possible. (CROOK et al, 1999)

La réutilisation est indirecte et non planifiée quand les eaux épurées sont rejetées dans un cours d'eau ou une réserve souterraine qui sert à l'alimentation d'une usine de traitement, sans que ce lien soit volontaire. Cette notion est limite de la définition d'une REUE.

La réutilisation est indirect et planifiée quand elle consiste à rejeter des effluents de station volontairement en amont d'une usine de traitement, au niveau le, plan d'eau ou de la nappe qui sert d'ultime réservoir naturel avant le pompage et le traitement c'est le cas du comté d'Essex en Angleterre ou une ville de 140000 habitants, Chelmsford, est alimentée en eau potable pendant l'été par des eaux épurées, après un passage dans la rivière chelem. (LUNN, 2001).

II.4 Réutilisation agricole

Avec l'augmentation de la demande de produits agricoles, les agriculteurs se tournent vers des sources d'eau non conventionnelles. En raison de leur forte teneur en nutriments, les eaux usées domestiques et municipales offrent une possibilité intéressante, notamment lorsque les ressources en eau classiques sont rares ou absentes.

En fait, le sol représente un filtre efficace avec jusqu'à une ou deux tonnes de micro organismes « épurateurs » par hectare. Après le traitement adéquat des eaux usées, et le recours au traitement tertiaire jusqu'à un niveau de qualité spécifique au type d'usage.

L'utilisation de ces EUT apportent non seulement de l'eau pour les cultures, mais aussi contribuent à l'amélioration des rendements par l'apport de nutriments au plante, (notamment l'azote, phosphore et le potassium) ce qui réduit le besoins en engrais chimique, et l'amélioration des caractéristiques physique des sols grâce aux matières organique qu'elle contient ce qui prévient de l'érosion.

En Algérie Selon l'enquête, 25 STEP sont actuellement concernées par les projets de REUE pour l'irrigation de plus de 70 000 hectares de terres agricoles. Le ratio entre la réutilisation des eaux usées et l'affectation des ressources permet d'estimer la contribution de la réutilisation des eaux usées en irrigation. Cette contribution est de 13.37% dans le cas de la région hydrographique Chelif Zahrez, de 21.4% dans la région hydrographique Constantine-Seybousse-Mellegue, et de 34.92 % dans la région hydrographique Oranie- Chott-Chergui , on notera que la contribution des EUT frôle les 100% dans le cas du périmètre de Mléta dans la région de l'Oranie de l'Ouest algérien. (SEOR).

II.5 La recharge des nappes

La recharge artificielle, introduction artificiellement d'une quantité d'eau dans une formation aquifère perméable à travers un dispositif aménagé (Chaieb, 2010), est utilisée pour prévenir la réduction des niveaux d'eaux souterraines et pour préserver ses ressources pour leur utilisation future. La recharge d'un aquifère présente plusieurs avantages, comme une évaporation négligeable, une contamination par les animaux très faible et pas de floraison d'algues. De plus, la construction de canalisation n'est pas nécessaire. C'est aussi un moyen pour protéger les eaux souterraines de l'intrusion marine de prévenir l'affaissement des sols (UNEP et Global Environment Centre Foundation, 2005), d'accroître les ressources en eau et d'optimiser le régime d'exploitation des aquifères (Chaieb, 2010). Un autre avantage de la recharge artificielle d'un aquifère est d'ôter aux effluents eaux usées leur identité, avec

un impact psychologique positif pour l'acceptation par l'opinion de la réutilisation des eaux usées (UNEP, 2003).

III. Avantage et inconvénient de la réutilisation des EUT

III.1 Intérêt, avantages et bénéfices

1. Ressource alternative

- Augmenter la ressource en eau et la flexibilité d'approvisionnement tout en diminuant la demande globale.
- Différer le besoin de mobilisation d'autres ressources en eau.
- Assurer une ressource fiable, disponible et indépendante des sécheresses.
- Dans certains cas, une exécution rapide et plus facile que la mobilisation de nouvelles ressources en eau de première main.
- Garantir une indépendance vis-à-vis du fournisseur d'eau potable.

2. Conservation et préservation des ressources

- Économiser l'eau potable pour la réserver aux usages domestiques.
- Contrôler la surexploitation des ressources souterraines.

3. Aspects législatifs et sanitaires

- Anticiper la compatibilité avec les nouvelles tendances réglementaires.

4. Valeur économique ajoutée

- Éviter les coûts du développement, du transfert et de pompage de nouvelles ressources en eau douce.
- Réduire ou éliminer l'utilisation des engrais chimiques en irrigation.
- Assurer des revenus complémentaires grâce à la vente de l'eau recyclée et des produits dérivés.
- Assurer des bénéfices économiques pour les usagers grâce à la disponibilité de l'eau recyclée en cas de sécheresse.
- Augmenter la valeur foncière des terrains irrigués.

5. Valeur environnementale

- Réduire les rejets de nutriments et de polluants dans le milieu récepteur.
- Améliorer et maintenir les plans d'eau en cas de sécheresse.
- Éviter les impacts négatifs liés à la construction de nouveaux barrages, réservoirs.
- Améliorer le cadre de vie et l'environnement.
- Proposer une alternative fiable aux rejets d'eaux usées dans les milieux sensibles.
- Profiter des nutriments apportés par l'eau d'irrigation pour augmenter la productivité des cultures agricoles et la qualité des espaces verts.

6. Développement durable

- Réduire les coûts énergétiques et environnementaux par rapport à ceux de l'exploitation des aquifères profonds, du transport d'eau à longues distances, du dessalement, etc.
- Assurer une ressource alternative à faible coût pour les régions arides, la protection des milieux sensibles et la restauration des zones humides.
- Augmenter la production alimentaire en cas d'irrigation

III.2 Défis et contraintes

1. Aspects législatifs et sanitaires

- Problèmes de santé publique liés aux pathogènes éventuels dans les eaux usées non traitées.
- Absences de réglementation et des incitations à la réutilisation.
- Exploitation inappropriée et/ou qualité non-conforme.

2. Aspects sociaux-légaux

- Acceptation publique de la réutilisation.
- Répartition des responsabilités et gestion des litiges.

3. Aspects économiques

- Financement des infrastructures et des coûts d'exploitation.
- Recouvrement des coûts aléatoire.
- Demande saisonnière pour l'irrigation et besoin de stockage.
- Responsabilité pour la perte potentielle du revenu de la vente d'eau potable.

4. Aspects environnementaux et agronomiques

- La présence de beaucoup de sels, bore, sodium et autres micropolluants peut avoir des effets négatifs sur certaines cultures et les sols.

5. Aspects technologiques

- Une grande fiabilité d'exploitation est requise.
- Importance du choix de la filière de traitement.

III.3 Problèmes de santé liés à la REUT

Le traitement des eaux usées doit se faire selon les normes afin d'éliminer toutes substances nocives et micro-organismes avant de l'utiliser pour l'irrigation car la présence de des substances toxique, de forte concentration de sel de agents pathogènes, cause de diverses problèmes de santé chez les êtres vivants.

Selon les organisme de santé mondiale, les risques liés à l'irrigation par eaux usées sont à l'origine de transmission de parasite intestinaux et de bactéries (les vers ronds, les trichures et les ankylostomes) provenant des champs irriguées qui provoque des maladies tels que la dysenterie, a diarrhée , le choléra et la typhoïde chez les consommateurs de cultures.

Les agents pathogènes microbiens provoquant des maladies chez l'homme, les types d'agents pathogènes entériques contaminant l'eau comprennent les bactéries, les protozoaires, les virus et les helminthes ; les facteurs de maladie d'origine hydrique : nombre d'agents pathogènes / leur degré dispersion dans l'eau/degré de contamination fécales de l'eau.

Les parasites helminthes couramment observés dans les eaux usées et les boues d'épurations non traitées présentant des risques considérables pour la santé sont le ver rond, le ver à crochet et le ver à fouet.

Théoriquement, les bactéries pathogènes sont capables de s'auto-répliquer dans leur environnement, soit en dehors du corps de leur hôte ou à l'intérieur.

Les agents pathogènes entériques protozoaires sont des eucaryotes monocellulaires qui sont des parasites obligatoires. L'infection par ces protozoaires pourrait survenir après l'ingestion d'aliments ou d'eau contaminés par les oocystes.

IV. Réglementation

La réglementation exige des niveaux de qualité pour les eaux usées épurées, déterminés par les taux de concentration des divers composants de ces eaux.

IV.1 Les normes de L’OMS

L’Organisation Mondiale de la Santé (OMS) impose des normes concernant uniquement les quantités de micro-organismes. Les protozoaires ne sont pas inclus directement car il est considéré qu’ils sont éliminés en même proportion que les helminthes.

Les virus ne sont pas considérés non plus, leur présence étant difficile à détecter lors des contrôles de routine. Ces normes sont destinées à une utilisation internationale, et sont donc adaptées aux pays en voie de développement. (alain, 2011).

Tableau II.2 : Les normes de rejets des eaux usées selon l’OMS (Source :OMS)

Caractéristiques	Normes utilisées (OMS)
PH	6.5-8.5
DBO ₅	<30 mg/l
DCO	<90 mg/l
MES	<20 mg/l
NH ₄ ⁺	<0.5 mg/l
NO ₂	1 mg/l
NO ₃	<1 mg/l
P ₂ O ₅	<2 mg/l
Température	<30°C
Couleur	Incolore
Odeur	Inodore

Tableau II.3 : Recommandation de l'OMS catégorie des EUT(Source : OMS)

catégories	Groupe exposé	Conditions de réutilisation	Œuf d’helminthes (NPP/ml)
A	Travailleur /consommateurs/public	Irrigation de cultures pouvant être consommées crue, terrain de sport, parc public	≤ 1
B	travailleurs	Irrigation de culture céréalières, industrielles, de fourrage, d’arbres fruitier et de pâturages	≤ 1
C	personne	Irrigation localisée de la catégorie B, sans exposition possible avec les travailleurs ou lepublic	Non applicable

IV.2 Les normes Algérienne

Les eaux usées doivent impérativement obéir à des normes établies pour protéger les milieux récepteurs contre la pollution. Le contexte réglementaire :

La réglementation algérienne est assez succincte concernant la réutilisation des eaux usées épurées. Les textes de la loi n° 05/12 du 04 Août 2005 relative à l'eau sont :

Art.2.- Les objectifs assignés à l'utilisation, à la gestion et au développement durable des ressources en eau visent à assurer :

- la préservation de la salubrité publique et la protection des ressources en eau et des milieux aquatiques contre les risques de pollution à travers la collecte et l'épuration des eaux usées domestiques et industrielles ainsi que des eaux pluviales et de ruissellement dans les zones urbaines.

Art. 4.- les eaux usées épurées et utilisées dans un but d'utilité publique font partie du domaine public hydraulique naturel.

Art. 43.- conformément aux dispositions des articles 48 à 51 de la loi n° 03-10 du 19 Joumada El-Oula 1424 correspondant au 19 Juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.

Les milieux hydriques et les écosystèmes aquatiques doivent être protégés de toute forme de pollution susceptible d'altérer la qualité des eaux et de nuire à leurs différents usages.

Art. 46.- Sont interdits :

- tout déversement ou rejet d'eaux usées en toute nature dans les puits, forages, galerie de captage, fontaines et abreuvoirs publics, oueds à sec et canaux.

Art. 52.- Les caractéristiques techniques des systèmes d'épuration des eaux usées sont fixées par voie réglementaire en prenant en compte notamment les critères relatifs aux agglomérations, aux possibilités d'utilisation des eaux épurées, aux risques de contamination et de pollution.

Art. 77.- Sont soumises au régime de la concession d'utilisation des ressources en eau, les opérations portant sur la réalisation d'infrastructures destinées à l'utilisation d'eaux usées épurées pour des usages agricoles individuels ou collectifs ou pour des usages industriels.

Art. 82.- Les cahiers de charges portant sur la concession d'utilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation de certaines cultures ou l'arrosage d'espaces vert doit tenir compte des mesures préventives liées aux risques sanitaires et aux impacts sur l'environnement

Art. 93.- Des aides et soutiens de toute nature peuvent être accordés aux personnes physiques ou morales, de droit public ou privé, qui initient et mettent en œuvre des opérations portant notamment sur l'utilisation des eaux usées épurées en vue de valoriser les eaux traitées.

Art. 130.- L'utilisation des eaux usées brutes pour l'irrigation est interdite. (Journal officiel de la république Algérienne n° 06, 2005)

Normes de qualité des eaux en irrigation (conductivité)

Selon la salinité de l'eau, exprimée par sa conductivité électrique CE à 25 °C, on distingue cinq(5) classes :

• C1 : $0 < 0,25$ mmhs/cm ou ds/m : L'eau à faible salinité. Elle peut être utilisée pour irriguer la plupart des cultures sur la plupart des sols et il est peu probable qu'elle provoque des difficultés. Un certain lessivage est nécessaire, mais celui-ci fait partie des pratiques normales d'irrigation, sauf sur les sols de très faibles perméabilités.

• C2 : $0,25 < CE < 0,75$ mmhs/cm ou ds/m : l'eau à salinité moyenne, peu de danger si elle est utilisée avec un léger lessivage pour les plantes modérément tolérantes aux sels.

- C3 : $0,75 < CE < 2,25$ mmhs/cm ou ds/m : l'eau à salinité à prendre en considération, pour les sols à drainage restreint.
- C4 : $2,25 < CE < 5$ mmhs/cm ou ds/m : l'eau à très forte salinité et inutilisable pour les conditions normales, elle n'est autorisée que si on pratique un lessivage intense et sur des cultures très tolérante.
- C5 : $CE > 5$ mmhs/cm ou ds/m : l'eau est inutilisable sauf sur des sables lessivés et drainés et pour des cultures extrêmement tolérantes (ex : palmiers et dattier)

Tableau II.4 :Les valeurs limites des paramètres de rejet dans un milieu récepteur

(Source :Journal Officiel de la République Algérienne, 2006)

Paramètres	Unités	Normes
Température	°C	30
Ph	mg/l	6.5-8.5
MES	mg/l	35
Turbidité	mg/l	50
DBO ₅	mg/l	35
DCO	mg/l	120
Azote Kjeldahl	mg/l	30
Phosphates	mg/l	02
Phosphore total	mg/l	10
Cyanures	mg/l	0.1
Aluminium	mg/l	03
Cadmium	mg/l	0.2
Fer	mg/l	03
Manganèse	mg/l	01
Mercure total	mg/l	0.01
Nickel total	mg/l	0.5
plomb total	mg/l	0.5
Cuivre total	mg/l	0.5
Zinc total	mg/l	03
Huiles et Graisses	mg/l	20
Hydrocarbures totaux	mg/l	10
Indice Phénols	mg/l	0.3
Fluor et composés	mg/l	15
Etain total	mg/l	02
Composés organiques chlorés	mg/l	05
Chrome total	mg/l	0.5
(*) Chrome III+	mg/l	03
(*) Chrome V I+	mg/l	0.1
(*) Solvants organiques	mg/l	20
(*) Chlore actif	mg/l	1.0
(*) PCB	mg/l	0.001
(*) Détergents	mg/l	02
(*) Tensioactifs anioniques	mg/l	10

(*) Valeurs fixées par le Décret exécutif n° 93-160 du 10 Juillet 1993

Conclusion

Lors de ces dernières années l'eau devient rare, en particulier dans les régions arides et semi-arides. Pour remédier à cette situation, les chercheurs envisagent depuis longtemps utilisation des eaux usées comme une alternative à l'eau d'irrigation.

Cependant, les eaux usées peuvent contenir plusieurs substances, minéraux et produits toxique qui ont des effets néfastes sur l'environnement, le sol, les eaux souterraines et la santé de l'homme, si ils ne sont pas utilisées avec une bonne stratégie.

De nombreuses stratégies de traitement telles que le procédé par boues activée la désinfection par Ultra Violet UV ou Ozonation ont été établi afin d'éliminer les substances nocives des eaux usées.

Ces alternatives peuvent orienter sur des recherches pour la mise au point d'une stratégie de gestion respectueuse de l'environnement, économiquement, efficace et durable pour l'utilisation des eaux usées pour l'irrigation.

CHAPITRE III
Présentation de la STEP de BOUFARIK
« BENCHAABANE »

Introduction

Le traitement des eaux usées, quel que soit le système choisi, fait toujours appel aux procédés de séparation liquide-solide. Cette séparation effectuée dans une station d'épuration spéciale aux traitements des eaux usées. Une station d'épuration (STEP) est un ensemble d'installations et procédés où sont dirigées les eaux usées pour éliminer les différents polluants. Nous nous intéressons particulièrement à une STEP type Boues Activées. C'est le traitement biologique le plus utilisé pour des stations de taille moyenne à importante.

I. Présentation de la station d'épuration BEN CHAABANE

La station d'épuration des eaux usées de Boufarik se situe à Ben Chaâbane, Chef-lieu de la commune de Ben Khilil qui se trouve au nord de la wilaya de Blida.

Cette station qui s'étend sur 6 Ha a une capacité de 257 676 habitants pour l'horizon 2030 . Le procédé de traitement retenu pour cette station est le procédé à boues activées aérobies à moyenne charge.

Cette installation est conçue pour recevoir l'ensemble des rejets des 07 communes de la wilaya de Blida, notamment Boufarik, Ben Khilil, Soumâa, Guerouaou, Beni Tamou, Oued Alleug et Bouinan

La station de Boufarik a été réalisée pour épurer les eaux usées des communes citées précédemment et rejeter dans le milieu récepteur une eau moins polluée qui n'affecte pas les écosystèmes se trouvant en aval de la station.

L'épuration des eaux comprend deux filières de traitement, une filière EAU qui permet l'élimination de la pollution particulaire et carbonée et une filière BOUE qui traite les boues issues du traitement de l'eau.

I.1 Principe du traitement adopté

Le procédé de boue activée à moyenne charge consiste à provoquer le développement d'un floc bactérien (micro-organismes en suspension) dans un bassin d'aération alimenté en eaux usées : on brasse suffisamment la masse pour maintenir les boues en suspension et on lui fournit l'oxygène, nécessaire à la prolifération de ces microorganismes aérobies.

Un floc bactérien résulte de la prolifération bactérienne dans des conditions de milieu (aliments, oxygène dissous, température) favorables à sa croissance par division cellulaire.

Le bassin d'aération est précédé d'un décanteur primaire ; il est suivi d'un clarificateur permettant la récupération des boues qui seront en partie recyclées dans le bassin d'aération pour en assurer le réensemencement et la concentration permanente, et en partie extraite vers le traitement des boues : épaisseur et enfin le bassin de stabilisation permettant d'obtenir des boues stabilisées ne dégageant pas d'odeurs et pouvant être reçue sans nuisance sur le séchage mécanique (filtre à bande) ou naturel (lits de séchage).

Les différentes étapes de traitement des eaux usées sont les suivantes :

- Prétraitement,
- Traitement primaire,
- Traitement secondaire,
- Traitement complémentaire (Tertiaire) par Ozonation,
- Traitement des boues résiduelles.

II Données de base**II.1 Evolution démographique**

L'évolution démographique exerce une pression croissante sur les Stations d'Épuration des Eaux Usées (STEP), mettant en lumière la nécessité d'ajuster constamment leurs capacités pour répondre à la demande croissante en traitement des eaux. L'évolution de la population au niveau de la zone d'étude en fonction des horizons est présentée dans le tableau suivant : Toutes les données de ce chapitre sont présent de la DRE de BLIDA.

Tableau III.1: Récapitulatif de la projection de la population (Source :DRE BLIDA)

Années Communes	2006	2010	2020	2030
Boufarik	64969	69228	81137	94163
Soumaa	29774	30304	31392	31951
Guerrouaou	15389	16333	18955	21998
Ben Khellil	30250	32487	38832	46417
Amroussa	5762	6751	7307	8907
Oued El Alleug	6245	6760	8241	10046
Beni Tamou	30250	32106	36167	41973

La population totale pour la zone d'étude est estimée à :

222 031 habitants pour l'horizon 2020

257 676 habitants pour l'horizon 2030

(La population correspond à un taux d'accroissement de l'ordre de 1,5%).

II. 2 Flux à traiter sur la station d'épuration et évolution de la charge polluante

Les flux hydrauliques et les caractéristiques de la charge polluante actuelle et leurs évolutions aux horizons 2020,2030 sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau III.2: Flux hydrauliques (Source : DRE BLIDA)

PARAMETRES	Unités	Horizon 2020	Horizon 2030
Hydraulique			
Habitant raccordés	H	222 031	257 676
Nombre d'équivalent d'habitant	eq.H	222 031	257 676
Dotation	l/j	170,00	180,00
Quantité rejetée/habitant	l/j	144,50	153,00
Volume total d'eaux usées domestiques	m ³ /j	32083	39425
Volume d'eau parasite	m ³ /j	3208,3	3942,5
Volume total d'eaux usées	m ³ /j	35291	43368
Débit moyen d'eaux usées	m ³ /h	1471	1807
Coefficient de pointe par temps sec		1.63	1.62
Débit par temps sec	m ³ /h	2397	2927
Coefficient de dilution		2.45	2.45
Débit par temps de pluie	m ³ /h	3604	4427
Charges polluantes			
DBO5	g/Eh*j	65,00	65,00
DCO	g/Eh*j	130,00	130,00
MES	g/Eh*j	70,00	70,00
NTK	g/Eh*j	15	15,00
DBO5	Kg/j	14432	16749
DCO	Kg/j	28864	33498
MES	Kg/j	15542	18037
NTK	Kg/j	3330	3865
DBO5	mg/l	409	386
DCO	mg/l	818	772
MES	mg/l	440	416
NTK	mg/l	94	89

On remarque qu'avec l'évolution démographique dans la zone d'étude le flux hydraulique à traiter sur la station d'épuration de BENCHAAABANE a évoluer concernant toutes les paramètres, ainsi pour les charges polluantes une évolution comparant les résultats pour l'horizon 2020 et 2030.

III. FILIERE D'EPURATION RETENUE

III.1 Schéma de principe de la filière d'épuration

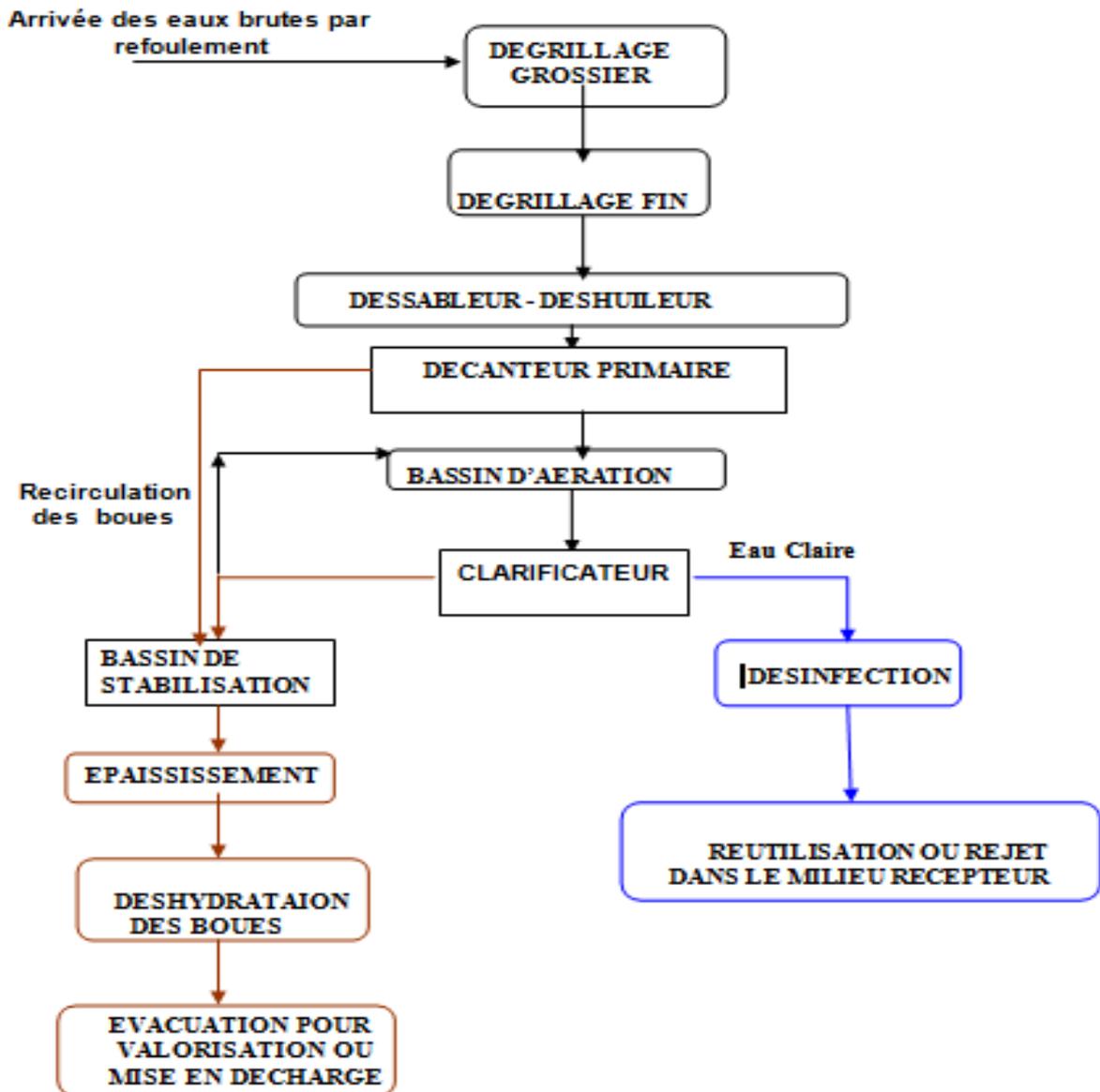


Figure III.1 : Schéma de principe de la filière d'épuration de la STEP de BOUFARIK(Source :ONA BLIDA)

III.2 Nature des eaux usées

L'évaluation qualitative de la pollution arrivant en tête d'une station dépend essentiellement de deux facteurs très importants :

- Les prélèvements et la conservation de l'échantillon ;
- Les analyses.

La composition des effluents résiduaux varie au cours de la journée d'une façon imprévisible, ceci est dû au mode de vie et aux habitudes de la population raccordée, ainsi qu'aux horaires et cycles des activités de la région.

Compte tenu des résultats obtenus, nous pouvons conclure que:

- Les eaux usées de la zone d'étude sont faiblement chargées et répondent aux critères d'une eau usée urbaine à prédominance domestique.
- Les eaux usées de la zone d'étude sont aptes aux traitements conventionnels réservés aux eaux usées urbaines à prédominance domestique.
- Dans notre cas, l'ensemble des échantillons analysés possède des teneurs en phosphore acceptables. La teneur moyenne obtenue pour l'ensemble des rejets est de 4.04 mg/l pour la première campagne et de 4.5 mg/l dans la deuxième campagne.
- Les résultats d'analyses ont montré que la teneur moyenne en azote ammoniacal enregistrée est de 23 mg/l pour la première campagne et de 30.62 mg/l pour la deuxième campagne. Ces valeurs correspondent aux valeurs généralement observées dans les eaux usées urbaines qui sont de l'ordre de 10 à 60 mg/l.
- Dans l'optique d'une réutilisation agricole des eaux usées épurées, un traitement par désinfection demeure indispensable pour atteindre une qualité d'eau apte à sa réutilisation sans risque sanitaire.
- Dans le cas des eaux de STEP, elles sont classées dans la catégorie C3 – S1, ce qui signifie qu'elles présentent une qualité moyenne à bonne et nécessitent une utilisation à utiliser avec précaution pour les plantes sensibles. Il est recommandé d'assurer un bon drainage du sol, d'appliquer des doses de lessivage et éventuellement d'apporter du gypse pour minimiser les risques liés à leur utilisation en irrigation.

Pratiquez la lixiviation régulière pour éliminer l'excès de sels du profil du sol. L'irrigation excessive peut être utilisée pour déplacer les sels loin de la zone racinaire

Conductivité CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1444
Ca^{2+} (mg/l)	6,37
Mg^{2+} (mg/l)	0.82
Na^{+} (mg/l)	0.4
SAR	0.22

Le tableau ci-dessous présente le récapitulatif des concentrations moyennes des différents paramètres obtenues lors des deux campagnes d'analyse des eaux usées urbaines de la STEP BEN CHABANE.

Tableau III.3 : Caractéristiques Des Eaux Résiduaires Urbaines des quatre rejets de la zone d'étude (Première et deuxième campagne)(Source :DRE BLIDA)

Paramètres Analysés	Unité	Concentration Moyenne (première campagne)	Concentration Moyenne (deuxième campagne)
PH	/	7,15	7,64
Température	C°	17,04	18,16
Conductivité	µS/cm	1169	1444
Oxygène dissous	Mg/l	0	0,86
DCO	mgO ₂ /l	947	645
DBO5	mgO ₂ /l	483	448
M.E.S	Mg/l	468	317
M.V.S	%	42,22	64,4
Ammonium N-NH ₄	Mg/l	23	30,62
Azote KJELDAHL N-NTK	Mg/l	43	63,6
Phosphate P-PO ₄	Mg/l	4,04	4,5
DCO/DBO5	/	2,16	1,45

IV. Description de la procédure de traitement de la STEP de BOUFARIK

La chaîne de traitement est composée de deux lignes : une ligne d'eau et une ligne de boue. Le débit est divisé parallèlement sur certains ouvrages afin d'améliorer la fiabilité du traitement, les opérations de maintenance et la souplesse de fonctionnement de la station.

IV.1 Filière d'eau

IV.1.1 Fosse à bâtards

Une fosse à bâtards (piège à cailloux) installée en amont de la station dans le but, d'une part à protéger les différents équipements de la station et à tranquilliser l'effluent d'autre part.

Cet ouvrage est dimensionné sur la base de la vitesse de passage maximale de 250 m/h en pointe.

Tableau III.4: Caractéristiques de la fosse à bâtards (Source :DRE BLIDA)

Désignation	Unité	Valeurs
Débit maximal d'eau usées	m ³ /h	3604
Temps de retenion à débit max	S	30

Charge superficielle	m/h	≤ 250
Surface de l'ouvrage	m²	14,42
Hauteur totale	M	1,00
Volume de la fosse	m³	14,42

Le nettoyage de cette fosse s'effectuera par camion hydrocureur.

IV.1.2 Pré dégrillage

Le réseau de « la zone d'étude » étant unitaire, pour protéger les groupes électropompes, il est prévu un dégrillage grossier à nettoyage manuel pour éliminer tous les éléments de dimensions importantes .

Les paramètres de dimensionnement de la grille grossière sont:

Tableau III.5: Les paramètres de dimensionnement de la grille grossière (Source :DRE BLIDA)

Désignation	Unité	Valeurs
Entrefer pour un dégrillage grossier	Mm	> 40
Epaisseur de la grille	Mm	15
Vitesse de passage entre les barreaux	m/s	0.5 - 1
Vitesse d'approche	m/s	0,3 - 0,8
Hauteur d'eau	M	0,45
Largeur utile de la grille	Mm	1500
Inclinaison	Degré	70

Les caractéristiques de la grille sont :

Tableau III.6: Les caractéristiques de la grille(Source :DRE BLIDA)

Désignation	Unité	Valeurs
Entrefer pour un dégrillage grossier	Mm	40
Epaisseur de la grille	Mm	15
Vitesse de passage entre les barreaux	m/s	0,81
Hauteur d'eau	M	0,41
Largeur utile de la grille	M	1.5
Inclinaison	Degré	70

IV.1.3 Poste de relevage des eaux usées

L'arrivée des eaux brutes en tête de la station se fera par un collecteur débouchant sur une station de relevage dans le cas où la côte du collecteur principal est supérieure à celle du terrain naturel. Si la ligne d'assainissement est gravitaire , la conduite d'amenée des eaux brutes débouchera dans le canal de dégrillage.

La cave de pompage est équipée de :

- Quatre pompes immergées et une (01) de secours ;
- Un panier dégrilleur du type panier permettant une installation aisée et une manutention simplifiée ;
- Des détecteurs de niveau permettront le pilotage du démarrage des pompes ;

Les pompes assurent ensemble le débit par temps de pluie à l'horizon 2020.

le dimensionnement de la cave est les caractéristiques des pompes sont suivants :

Tableau III.7: le dimensionnement de la cave est les caractéristiques des pompes(**Source** :DRE BLIDA)

Désignation	Unité	Débit par temps sec à l'horizon 2020
Débit à relever	m ³ /h	3604
Nombre de pompes en fonctionnement	U	4
Nombre de pompe en réserve	U	1
Nombre de démarrages	H	8
Volume de régulation total	m ³	114.84
Longueur utile de la bête	M	10
Largeur de la bête	M	4.00
Hauteur d'eau	M	2.87
Hauteur totale de la bête	M	4.48
Volume de la bête	m ³	179
Caractéristiques des pompes		
Débit unitaire	m ³ /h	1249
Hauteur monométrique	m.c.e	10,20
Puissance Totale absorbée	Kw	44

Les caractéristiques des pompes submersibles sont les suivantes :

- Principe de fonctionnement : Mode manuel et/ ou mode automatique ;
- Protection contre l'échauffement thermique et courts circuits des moteurs ;
- Les pompes sont dotées de disjoncteurs, ainsi que d'un arrêt d'urgence pour intervention en cas d'accident ;
- Les pompes sont manutentionnées au moyen d'une potence mobile.

Dans la nécessité d'intervenir dans l'une des pompes en service, cette opération peut se faire tout en maintenant les autres pompes en fonctionnement, en évitant ainsi l'arrêt de l'installation.

Le système de contrôle est prédisposé sur les éléments suivants de la pompe:

- Des détecteurs thermiques sont prévus sur chaque phase du moteur pour signaler l'augmentation de la température ou l'arrêt automatique de la pompe avant que la température dépasse les limites admises. Ce phénomène généralement est provoqué par une forte surcharge de la pompe ou par la température du liquide pompé trop élevée.
- Des détecteurs thermiques sont installés aussi dans les sièges du roulement supérieur et inférieur, ils arrêtent la pompe au cas où la température dépasserait les limites imposées.

IV.1.4 Dégrillage fin

La grille fine à nettoyage automatique est installée dans un canal alimentée gravitairement à partir du poste de relevage des eaux usées. Cette grille comportant des espacements entre barreaux de 10 mm, protégera les ouvrages et les équipements ultérieurs contre les corps volumineux ayant échappé au dégrillage grossier.

Les paramètres de dimensionnement de la grille :

Tableau III.8: Les paramètres de dimensionnement de la grille(**Source** :DRE BLIDA)

Désignation	Unité	Valeurs
Débit unitaire par temps de pluies	m ³ /h	1802
Entre fer pour un dégrillage fin	mm	< 20
Vitesse de passage entre les barreaux	m/s	0,8 - 1,4
Vitesse d'approche	m/s	0,6 - 0,8
Hauteur d'eau	m	0,94
Largeur utile de la grille	mm	1000
Inclinaison	degré	70

Les paramètres de dimensionnement du dégrillage mécanique et grille de by-pass sont les suivants :

Grille mécanisée :

Tableau III.9 : Caractéristiques de la Grille mécanisée(Source :DRE BLIDA)

Caractéristiques	Unités	Horizon 2020
Débit unitaire par temps de pluies	m ³ /h	1802
Nombre de grilles	u	2
Ecartement entre barreaux	mm	10
Largeur des barreaux	mm	6,0
Largeur de la grille	m	1,00
Vitesse d'approche	m/s	0,53
Vitesse de passage entre barreaux	m/s	0,85
Hauteur d'eau	m	0,94
Surface mouillée	m ²	0,94
Volume de déchets sur la base de 0,015 m ³ /1000Hab/j	m ³ /j	3,33

L'espacement et la forme des barreaux doivent être définis en fonction de la qualité du dégrillage désiré.

La vitesse de passage à travers les barreaux doit être suffisante pour obtenir l'application des matières sur la grille, sans pour autant provoquer une perte de charge trop importante, ni entraîner un colmatage en profondeur des barreaux.

Le degré de colmatage tolérable (en pourcentage de la section mouillée libre) dépend de la qualité de l'eau et du système de reprise des résidus sur la grille. Ce facteur est important pour le dimensionnement du canal.

Le fonctionnement automatique des grilles est asservi par une mesure de niveau à ultrasons ou par temporisation.

Les déchets recueillis lors du dégrillage des effluents sont repris et acheminés, vers une benne d'évacuation par l'intermédiaire d'une bande transporteuse ou vis de transport, assurant également l'égouttage par percolation.

Grille de by-pass:

Les paramètres de dimensionnement sont :

Tableau III.10 : Les paramètres de dimensionnement sont de Grille by-pass (Source : DRE BLIDA)

Désignations	Unités	Valeurs
Nombre de grille	U	1
Largeur de la grille	m	1.0 m
Entrefer maximum	mm	25 mm

Les caractéristiques du dégrilleur fin sont :

Tableau III.11: Les caractéristiques du dégrilleur fin (Source : DRE BLIDA)

Caractéristiques	Unités	Horizon 2020
Débit unitaire par temps de pluie	m ³ /h	1802
Nombre de grilles par filière	u	1
Ecartement entre barreaux	mm	25
Largeur des barreaux	mm	10.00
Largeur de la grille	m	1.00
Vitesse de passage	m/s	0,75
Vitesse de passage entre barreaux	m/s	0.53
Hauteur d'eau	m	0,94

IV.1.5 Dessablage-déshuilage

L'élimination des matières solides, des huiles et graisses en suspension dans les eaux usées pouvant gêner, voir même freiner le traitement adopté, est réalisée dans l'ouvrage de dessablage-déshuilage, réparti en deux filières identiques, faisant partie d'un bloc unique, constitué en béton armé et de fonctionnement simultané ou en alternance au moyen de vannes murales.

Cet ouvrage est doté de ponts racleur, de diffuseurs d'air, de compresseurs, d'extracteurs pneumatiques de sables, de pompes d'évacuation des graisses, de garde-corps et d'escalier.

Les dessaleurs-déshuileurs contiennent chacun un pont racleur symétrique. Les ponts racleurs permettent d'éliminer les huiles qui forment un film sur la surface de l'eau avec un racleur, ainsi que d'extraire les sables du fond des bassins avec supprimeurs.

Un disjoncteur moteur (pour chaque pompe) assure la sécurité des supprimeurs. Les huiles et graisse extraites sont séparées déversées dans une bache de stockage et ensuite orientées vers un concentrateur à graisses avant d'être stockées en benne avant leur évacuation vers une décharge.

Les particules de sables, accumulés au fond de l'ouvrage sont aspirées par pompage pour être ensuite soit envoyées en décharge, soit réutilisées selon la qualité du lavage.

L'ouvrage est alimenté en eaux usées à partir du répartiteur de débit, incorporé dans l'ensemble du dessableur-déshuileur

Les paramètres de dimensionnement :

Tableau III.12 : Les paramètres de dimensionnement
dessauteur/déshuileur(**Source** :DRE BLIDA)

Désignation	Unité	Horizon 2020
Débit unitaire par temps de pluie	m ³ /h	1802
Nombre d'ouvrage	U	2
Charge hydraulique	m ³ /m ² /h	18
Surface unitaire	m ²	100
Volume unitaire	m ³	300
Largeur unitaire	m	3,16
Longueur	m	31,64
Rapport L / l		10
Largeur unitaire zone d'huiles	m	0,45
Surface totale	m ²	200
Volume total	m ³	600
Temps de séjour	mn	10
Vitesse transversale	m/h	18



Figure III.2 : Classificateur et laveur de sables(**Source** :STEP BOUFARIK)

Quantité de sables recueillis

Tableau III.13 : Quantité de sables recueillis (**Source** :DRE BLIDA)

Désignation	Unité	Horizon 2020
Apport de sable moyen	g/l	5
Quantité de sables recueillis	kg/j	432 480

Il est à noter que le lit de sables peut être remplacé par des bennes transportables pratiques à exploiter. Le choix de ce type d'équipement dépendra de l'exploitation et de l'accessibilité du terrain.

Quantité d’huiles recueillies

Tableau III.14: Quantité d’huiles recueillies(Source :DRE BLIDA)

Désignation	Unité	Horizon 2020
Quantité d’huiles	g/l	10
Débit max	m ³ /h	3604
Quantité d’huile	kg/j	864 960

Il faut prévoir un dispositif des pompes à flottant pour l’évacuation des huiles vers la fosse ainsi que leur extraction de la fosse.

IV.1.6 Décanteur primaire

Elle consiste en une séparation des éléments liquides et des éléments solides sous l’effet de la pesanteur .les matières solides se déposent dans le fond d’un ouvrage appelé décanteur pour former les boues primaire .Ces dernières sont récupérés au moyen d’un système de raclage. Ce traitement s’effectue par des voies physico-chimiques pour faciliter la décantation.

Durant la phase de traitement primaire, une quantité importante de la pollution totale est éliminée (abattement des matières en suspension MES pouvant atteindre 90% et de la demande biochimique en oxygène DBO de l’ordre de 35%. (CARDOT ,1999). La DCO et la concentration en azote peuvent également être réduits durant cette phase de traitement. Les effluents ainsi prétraités seraient ensuite dirigés sur un ouvrage de répartition puis au décanteurs primaires cylindro-coniques de caractéristiques unitaires suivantes :

Tableau III.15 : Les paramètres de dimensionnement à respecter(Source :DRE BLIDA)

Désignation	Unité	Horizon 2020
Charge hydraulique	m ³ /m ² /h	0,5 - 0,7
Surface minimale de décantation	m ²	Qts/VA
Charge superficielle moyenne admise	kgMES/m ² /h	< 6,5
Profondeur de l’ouvrage	M	> 2,5

Tableau III.16 : Dimensionnement de l’ouvrage(Source :DRE BLIDA)

Désignation	Unité	Horizon 2020
Débit (Qts)	m ³ /h	2397
Nombre de décanteurs	U	2
Vitesse ascensionnelle	m/h	1,3
Surface total	m ²	1844
Surface unitaire	m ²	922
Diamètre unitaire	M	34.26
Hauteur unitaire	M	3
Volume total	m ³	5532
Volume unitaire	m ³	2766
Temps de séjour	H	2.31



Figure III.3 : Décanteur primaire(Source :STEP BOUFARIK)

IV.1.7 Traitement biologique

La première étape du traitement biologique est la zone de contact. Ce bassin de faible volume n’a pas un rôle de dépollution mais il est nécessaire pour éviter la prolifération d’algues filamenteuses. Les boues recyclées sont injectées dans cette zone de contact et grâce à un agitateur, ces boues sont mélangées avec l’eau à traiter. Ainsi, le bassin ayant un faible volume, la concentration en nutriments se trouve considérablement augmentée.

Le brassage permet également une bonne aération. Or, dans un environnement aéré comportant une forte teneur en carbone assimilable les bactéries floculantes ont une vitesse de croissance nettement plus élevée que les bactéries filamenteuses. Cette zone permet donc la sélection d’un type de bactérie.

Le principe de la zone de contact consiste à brasser le mélange : effluent à traiter et une certaine quantité de boues provenant essentiellement par la recirculation des boues fraîches. Ceci, dans le but d’éviter les phénomènes de bulking (ou foisonnement des bactéries filamenteuses) au niveau de l’aération.

Les caractéristiques des effluents admis sur cette chaîne de traitement sont rappelées dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.17 : Les caractéristiques des effluents(Source :DRE BLIDA)

Paramètres	Unités	Valeur pointe temps sec 2020
Volume journalier	m ³ /j	35300
DBO5	kg/j	14432
DCO	kg/j	28864
MES	kg/j	15542
NTK	kg/j	3330

▪ **Zone d'aération**

Le choix de la charge massique conditionne le rendement épuratoire, la production de boues et les besoins en oxygène ramenés à la pollution éliminée.

Le bassin de boue activée est équipé de deux agitateurs grands pales vitesse lente ayant pour rôle :

- Maintenir en suspension les floccs bactériens lors de l'arrêt des turbines.
- D'homogénéiser au mieux l'effluent à traiter et les boues recirculées.

Chaque bassin est équipé d'un système d'aération et d'une sonde d'oxygène nécessaire pour contrôler en continu la teneur en oxygène dissous dans la biomasse.

Le système d'aération doit nécessairement :

- Apporter l'oxygène nécessaire aux bactéries épuratrices.
- Provoquer une intense turbulence qui permet d'une part, le maintien en suspension des boues activées et d'autre part, renforcer le contact intime de l'eau brute avec les bactéries épuratrices.

Après un temps de contact suffisant, le mélange eau/ boues activées est évacué par l'intermédiaire d'un ensemble de réservoir réglable vers la zone de dégazage puis vers la décantation.

L'aération sera de type moyenne charge, définie par rapport à la charge massique ou par rapport à l'âge des boues.

Les paramètres de dimensionnement à respecter pour un traitement par boue activée moyenne charge:

Tableau III.18 : Les paramètres de dimensionnement de bassin d'aération (Source :DRE BLIDA)

Désignations	Unités	Valeurs
Charge volumique	kg DBO5/m ³ /j	0,5<Cv<1,5
Charge massique	kg DBO5/MVS/j	0,15< Cm<0,4
Concentration des boues dans le bassin biologique	g/l	3 à 4
Age des boues	jours	4à 10

La géométrie du bassin d'aération ,la capacité d'oxygénation installée, le mode d'alimentation , le soutirage, et le mode de recyclage des boues ainsi que les dispositions prises pour l'aération ont une influence sur l'homogénéité du milieu réactionnel et sur le rendement d'épuration.

Caractéristiques de la zone d'aération

Tableau III.19 : Caractéristiques de la zone d'aération(Source :DRE BLIDA)

Désignation	Unité	Valeurs
Débit unitaire par temps sec (Qts)	m ³ /h	1198
Nombre d'ouvrage	U	2
Volume total	m ³	16200
Volume unitaire	m ³ /h	8100
Temps de séjours au débit moyen (24 h)	H	3.2
Charge massique	kg DBO5/MVS/j	0,38
Longueur de l'ouvrage	M	60
Largeur de l'ouvrage	M	30
Hauteur d'eau	M	4.5

Tableau III.20 : Rendement d'élimination des charges polluantes(Source :DRE BLIDA)

Paramères	Concentration moyenne journalière (mg/l)	Rendement d'élimination des charges polluantes (%)
DBO5	20	95
DCO	90	89
MES	30	93
NTK	10	94

Système d'aération

▪ Besoins en Oxygène

Les bactéries constituant la boue ont besoin d'oxygène d'une part pour se nourrir et se développer à partir d'une certaine quantité de pollution consommée (pollution carbonée) et pour répondre aux besoins de leur métabolisme de base qui correspondent à la respiration endogène (ou auto-oxydation) et qui sont proportionnels à la biomasse active en aération .

Les besoins théorique en d'oxygène sont traduits par la relation suivante :

$$\text{Besoin en O}_2 \text{ (kg/J)} = a' \cdot Le + b' \cdot Xt + 4,3 \cdot N_N - 2,85 \cdot c' \cdot N_{DN}$$

a' : Quantité d' O2 nécessaire à l'oxydation de 1 kg de DBO5

Le : Quantité de BDO à éliminer en Kg/J

b' : Quantité de O2 nécessaire à la respiration endogène de 1 kg de MVS de boues par jour

Xt : Masse de la biomasse dans le bassin d'aération en Kg

4,3 : Taux de conversion de l'azote réduit en azote nitrique

N_N : Flux d'azote à nitrifier (kg/J)

2,85 : Taux de conversion de l'azote

c' : Fraction de O2 des NO³⁻ récupérée par dénitrification (entre 60-70%)

N_{DN} : Flux d'azote à dénitrifier

Le système d'aération est prévu pour fournir le besoin moyen en oxygène en moins de **14 heures**. Le réglage des plages d'arrêt de l'aération permettra de jouer sur cette valeur.

L'aération sera pilotée par sonde redox couplée avec une sonde de mesure d'oxygène.

▪ **Contrôle de mesure de l'oxygène dissous**

Le bassin d'aération est doté d'un dispositif de mesure d'oxygène dissous pour le pilotage du fonctionnement du système d'aération adopté. La mesure de l'oxygène dissous doit permettre en permanence l'optimisation de l'oxygénation dissous.

Le (ou les) point(s) de mesure sera constitué des éléments suivants :

- une sonde de mesure localisée à la fin de la cellule ;
- une porte sonde ;
- un transmetteur avec indication locale de la teneur en oxygène.



Figure III.4 : Bassin d'aération (Source :STEP BOUFARIK)

IV.1.8 Clarification

Le clarificateur permet la séparation de l'eau épurée et des boues. Chaque clarificateur est équipé d'un pont racleur constitué d'une passerelle radiale à laquelle sont suspendues les racles de fond, et de surface. Les racles ont pour rôle de :

- Récupérer les flottants et de les diriger vers la bache de reprise ;
- De ramener les boues du fond de l'ouvrage et les évacuer vers une bache d'où une partie est recirculée en tête du traitement biologique, et une autre partie est extraite et dirigées vers le traitement des boues (« boues en excès »).

Les paramètres de dimensionnement à respecter :

Tableau III.22 : Les paramètres de dimensionnement de clarificateur(Source :DRE BLIDA)

Désignation	Unité	Horizon 2020
Charge hydraulique	m ³ /m ² /h	0,5 - 0,7
Surface minimale de décantation	m ²	Qts/VA
Charge superficielle moyenne admise	kgMES/m ² /h	< 6,5
Profondeur de l'ouvrage	M	> 2,5

Les caractéristiques de Clarificateurs**Tableau III.23** : Les caractéristiques de clarificateurs (Source :DRE BLIDA)

Désignation	Unité	Horizon 2020
Débit (Qts)	m ³ /h	2397
Nombre de décanteurs	U	2
Vitesse ascensionnelle	m/h	0,7
Surface total	m ²	3468
Surface unitaire	m ²	1734
Diamètre unitaire	M	47
Hauteur unitaire	M	3.5
Volume total	m ³	12138
Volume unitaire	m ³	6069

**Figure III.5** : Décanteur secondaire (Source :STEP BOUFARIK)**IV.1.9 Chloration**

Avant leur évacuation, les eaux traitées doivent être désinfectées pour éviter tout risque de contamination. A cette fin, les eaux épurées de la Station subiront un traitement de désinfection par le chlore gazeux.

Le chlore est un oxydant puissant et un bactéricide utilisé pour la destruction de composés tels que les germes ; les microorganismes et algues pouvant être rencontrés dans l'eau épurée. Cependant, l'effet rémanent étant limité dans le temps, donc, son dosage doit être suffisant pour réaliser les fonctions demandées sans toutefois être excessif, afin de limiter les effets non souhaités et de limiter les coûts d'exploitation. Le chlore étant un gaz dangereux, le bâtiment abrite également une installation de sécurité qui, en cas de fuite peut neutraliser une quantité importante de chlore. Le système de chloration est conçu pour l'utilisation de tanks de chlore et pour permettre un dosage équivalent à 5 mg/l



Figure III.6 : Bassin de chloration (Source :STEP BOUFARIK)

IV.1.10 Evacuation des eaux épurées

Les eaux épurées sont évacuées vers le milieu récepteur (oued TLATA), ou vers sa réutilisation pour l’irrigation.

IV.2 Filière boues

IV.2.1 Recirculation des boues vers la zone de contact et l’extraction vers l’épaississeur

Les boues accumulées au niveau du décanteur seront transférées vers la fosse à boues. Une partie de ses boues est recyclée vers la zone de contact, afin de maintenir une concentration constante en MES dans le bassin d’aération avec des taux de recirculation des boues pouvant être ajustables de 100 à 200% par rapport au débit de l’affluent de la station. La partie restante est envoyée vers l’épaississeur.

La recirculation et le transfert des boues en excès sont assurées par des pompes spécifiques et dimensionnées de façon à pouvoir fonctionner 7 jours sur 7 et 6 h par jours.

Les deux moteurs sont protégés chacun par disjoncteurs et par protection en adéquation avec le type de pompe installée.

▪ **La recirculation**

L’efficacité des procédés du traitement biologique par boues activées est basée sur une recirculation importante des boues provenant de la décantation secondaire.

La concentration nécessaire en boues activées dans le bassin d’aération est effectuée par quatre (04) électropompes dont un est prévu en secours (3+1).

Les facteurs limitants la recirculation sont essentiellement :

- La concentration de la boues en suspension dans le liquide
- L’indice de Mohlmann dans ces boues (le volume exprimé en ml occupé par 1g de boue compté en matière sèche et ce après une demi heure de décantation au cône Ilhoff)

La recirculation des boues est caractérisées par le tableau suivant :

Tableau III.24 : Caractéristiques de recirculation des boues(Source :DRE BLIDA)

Désignation	Unité	Horizon 2020
Débit de recirculation	m ³ /h	2637
Taux de recirculation	%	110

Nombre de pompes (+ secours)	U	3
Hauteur géométrique	M	5,00
Débit Unitaire des pompes de recirculation	m ³ /h	879

Pompage des boues vers l'épaississeur

Les boues en excès sont envoyées vers l'épaississeur au moyen d'un groupe électropompe (2+1).Caractéristiques dimensionnelle à respecter :

Tableau III.25 : Caractéristiques des pompes(DRE BLIDA)

Pompes d'extraction	Unité	Horizon 2020
Nombre de pompes en fonctionnement	U	2
Nombre de pompes en réserve	U	1
Débit moyen horaire de la pompe	m ³ /h	150
Hmt	m.	8

IV.2.2Epaississement et pompage des boues epaissies

▪ **Epaississeur**

Les boues biologiques issues des clarificateurs sont convoyées dans un épaississeur hersé, fonctionnant 7j/7 avec 6 heures de sous tirage par jour, du type circulaire, équipé d'une passerelle en béton armé pour le soutènement du groupe moto réducteur d'une puissance de 0 ,25 KW et l'épaississeur tournant à petite vitesse.

Le moteur est également protégé par un arrêt d'urgence, un disjoncteur et le limiteur d'effort en cas d'un colmatage des boues ou un blocage du mécanisme épaississeur, les boues épaissies sont reprises en fond d'ouvrage tandis que le liquide surnageant est récupéré pour être envoyé en tête de la station.

▪ **Caractéristiques dimensionnelles de l'Epaississeur :**

Tableau III.26 : Caractéristiques dimensionnelles de l'Epaississeur(Source :DRE BLIDA)

Désignation	Unité	Horizon 2020
Nombre d'ouvrage	U	1
Volume utile	m ³	1688
Surface	m ²	422
Diamètre	M	23
Hauteur de boue	M	4
Masse journalière de boues produites	kg/j	18 162
Débit de boues entrant dans l'épaississeur	m ³ /j	3046
Séjour des boues dans l'épaississeur	J	1,2
Concentration moyenne des boues en sortie	g/l	25
Vitesse ascensionnelle	m/h	0.88

Pompage des boues vers la stabilisation

Les boues en excès sont envoyées vers l'épaississeur au moyen d'un groupe électropompe pompe (1+1).Caractéristiques dimensionnelle à respecter :

Tableau III.27 : Caractéristiques des pompes(Source :DRE BLIDA)

Caractéristiques	Unités	Valeurs
Nombre de pompes	U	1
Nombre de pompes en fonctionnement	U	1
Nombre de pompes en réserve	U	1
Débit	m ³ /h	100
Type de pompe		Vis excentrique

IV.2.3 Stabilisation aérobie

La stabilisation aérobie consiste à prolonger l'aération des boues dans un bassin de stabilisation pour oxyder la masse bactérienne des boues biologiques sur les quelles elle est généralement appliquée. Les boues stabilisées n'entraînent aucune nuisance et peuvent être envoyé au séchage naturel ou mécanique.

- Caractéristiques dimensionnelle:

Tableau III.28 : Caractéristiques de bassin de stabilisation(Source :DRE BLIDA)

Désignation	Unité	Horizon 2020
Nombre d'ouvrage	U	2
Volume unitaire	m ³	3042
Surface unitaire	m ²	676
Longueur du bassin	M	26
Largeur du bassin	M	26
Hauteur du bassin	M	4,5
Masse journalière de boues produites	Kg MS/j	18 162
Total MVS (80 %)	Kg MVS/j	14522
Taux de stabilisation	%	55
Quantité de boue stabilisée	Kg MS/j	4440
Débit de boues stabilisées	m ³ /j	192
Concentration moyenne des boues stabilisées	g/l	23
Temps de séjour moyen	J	15

- **Oxygénation**

Les caractéristiques d'oxygénation sont :

Tableau III.29 : Les caractéristiques d'oxygénation(Source :DRE BLIDA)

Désignation	Unité	Horizon 2020
Besoins en oxygène spécifique	Kg O2/Kg MVS	2,2
Temps de fonctionnement	H	24
Apport spécifique	Kg O2/Kwh	1,5
Coefficient de pointe		0,7
Puissance totale absorbée	Kwh	384

L'aération est assurée par des turbines de surface fixes à vitesse lente.

L'aération est assurée par quatre (04)aérateurs de surface sur chaque ligne de traitement.

La puissance par turbine sera de 95 KW.

Ces turbines sont montées sur des plates formes de maintenance en béton armé.

Pompage des boues vers la déshydratation mécanique / lits de séchage

Les Pompes, une en service et une de réserve, transfèrent les boues stabilisées vers la déshydratation sont :

Tableau III.29 : Caractéristiques des pompes(Source :DRE BLIDA)

Caractéristiques	Unités	Valeurs
Nombre de pompes	U	2
Nombre de pompes en fonctionnement	U	1
Nombre de pompes en réserve	U	1
Débit	m ³ /h	20
Type de pompe		Vis excentrique

IV.2.4 Deshydratation des boues

Après épaissement, les boues épaissies sont dirigées vers la déshydratation mécanique (filtre à bandes) ; ce qui permet d’obtenir deux valorisations des boues pour l’agriculture, néanmoins, une déshydratation sur lits de séchage de secours est prévue également.

La mise en service des lits de séchage intervient uniquement dans le cas où la deshydratation mécanique est à l’arrêt pour des raisons de nettoyage ou pour des raisons autres.

L’équipement sera dimensionné sur la base de données similaire aux caractéristiques citées par les lits de séchage de secours.

Un réseau de tuyauterie équipé de vannes manuelles assurera l’alimentation cyclique des unités de déshydratations.

Les lits de séchage de secours sont équipés de drains qui évacuent les eaux de drainage vers une fosse de pompage des retours de lits de séchage.

Après déshydratation complète, les boues provenant des postes de deshydratation sont évacuées manuellement et stockées dans une zone prévue à cette effet avant évacuation ou leur réutilisation.

▪ **Paramètres dimensionnel des lits de séchage :**

Tableau III.30 : Paramètres dimensionnels des lits de séchage (Source :DRE BLIDA)

Caractéristiques	Unité	Valeurs
Production annuelle en boues	m ³ /an	108149,5
Hauteur de remplissage	m	0,4
Nombre de rotations	Rotation	18,25
Hauteur annuelle en fonction des rotations	M	7,30
Surface totale nécessaire	m ²	14815
Nombre de lits	U	4
Longueur	M	30
Largeur	M	8
Surface unitaire	m ²	96
Nombre E .H/m ²	E.H	219,35
Durée de séchage des boues	J	20

▪ **Paramètres dimensionnel du séchage mécanique(presse à bande) :**

Tableau III.31 : Paramètres dimensionnel de presse à bande (Source :DRE BLIDA)

Caractéristiques	Unité	Valeurs
Nombre de machines	U	2
Charge massique appliquée par machine	Kg MS/h	965
Quantité de MS journalière	Kg MS/j	19 188
Consommation journalière de polymères	Kg/j	115
Concentration de la solution	g/l	3
Temps de maturation et préparation	Mn	45
Quantité de MS journalière introduite (boues + polymères)	Kg MS/j	19304

IV.2.5 Installations de transport et de stockage et de stabilisation des boues déshydratées

Le système de transport et/ou stockage des boues déshydratées comprend deux lignes identiques et indépendantes dont chacune est associée à une ligne de déshydratation mécanique des boues. Selon les besoins de l'exploitation de la ligne boues, il est possible pour le gestionnaire de la station (chef de station) de choisir, par sélection au niveau de la supervision, pour chaque ligne de stockage et transport, d'une des deux options suivantes, soit:

- Le transport et le déchargement direct de la boue déshydratée dans les bennes des camions pour leur évacuation à l'extérieur du site.
- Le stockage et la stabilisation de la boue déshydratée dans les Silos de stockage de boues pour une future évacuation dans le lieu de décharge.

V. Analyse physico-chimique

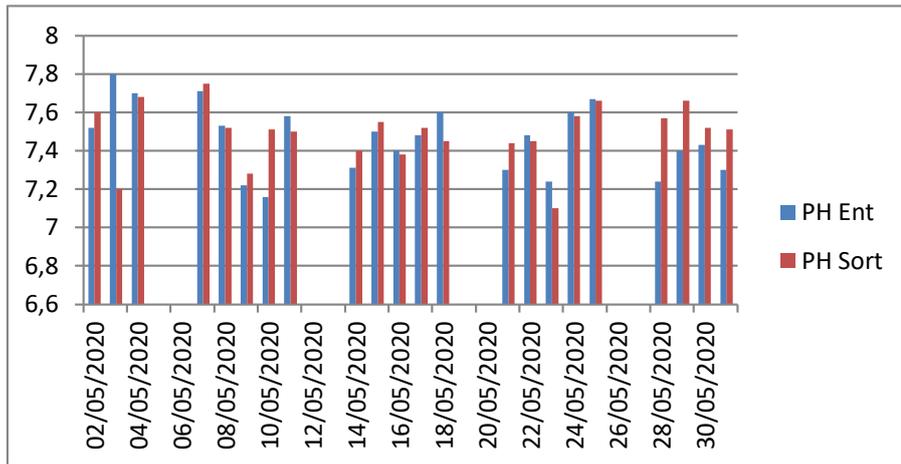
Analyse physico-chimique des eaux usées de la STEP consiste à prélever et mesurer les concentrations et quantités des paramètres physique, chimique et biologique (mentionnée dans le chapitre I), présent dans l'eau usée à l'entrée et à sa sortie de la station épuration. L'objectif de ces analyses est de vérifier la qualité des rejets, le réseau assainissement étant encore majoritairement unitaire, le volume admis sur les stations est dépendant de la pluviométrie. Or l'efficacité du processus épuratoire dépend du degré de dilution des polluants dans l'eau à traiter : de manière générale, la qualité décroît lorsque la dilution augmente, la conformité aux exigences établie et aux normes est obligatoire (norme mentionnée dans le chapitre II).

V.1 Interprétation des analyses physico-chimique de la STEP

Le pH

Selon l'histogramme 1, on constate que les valeurs du pH des eaux traitées sont proches de la neutralité. Elles varient de 7,02 à 7,6 et ne représentent aucun danger ni pour le sol ni pour les cultures. Les valeurs du pH recommandées pour l'eau d'irrigation sont situées dans la gamme: 6 à 8,5.

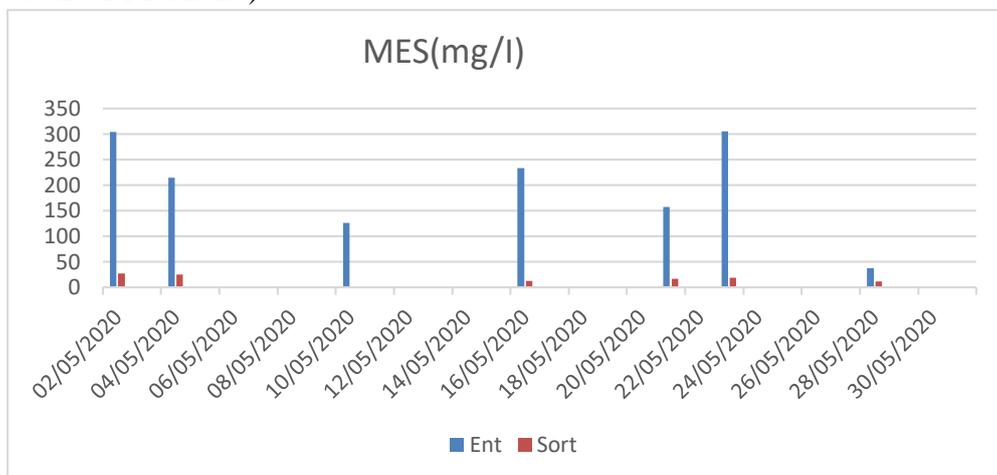
Histogramme 1 : Variation journalière de PH à l'entrée et la sortie de STEP(Période du 2-31 Mai 2020)



Matières en suspension (MES)

Selon l’histogramme 2 on remarque que la teneur en MES dans l’eau épurée est faible. Elle est variable de 11.43 à 26.6 mg/l. Ces résultats mis en évidence l’efficacité de la décantation après le traitement biologique. De telles concentrations n’engendrent pas de difficultés pour le transport ou la distribution de l’eau épurée el que le bouchage des systèmes d’irrigation, puisque la valeur limite admissible dans l’eau d’irrigation est de 30 mg/l.

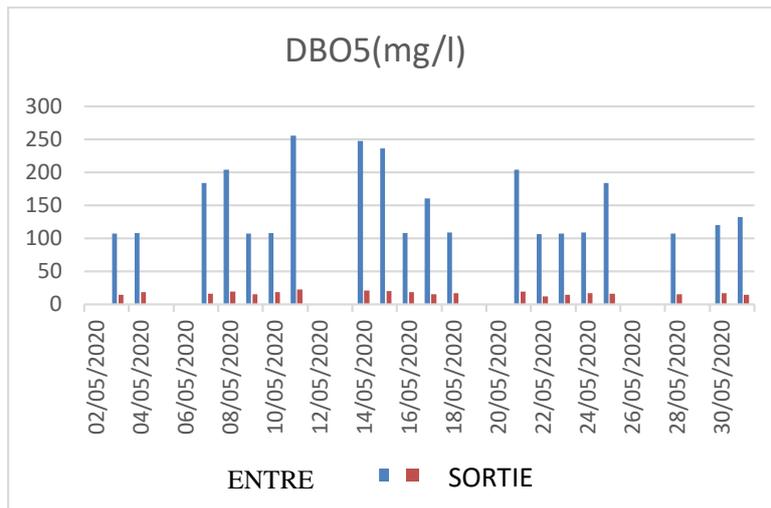
Histogramme 2 : Valeurs de la concentration des MES à l’entrée et la sortie de la STEP (Période du 2-31 Mai 2020)



Demande biologique en oxygène (DBO5)

Selon les résultats obtenus (histogramme 3), il en résulte que les valeurs de la DBO5 de l’eau épurée issue de la STEP de BENCHAABANE, comprises entre 12 et 22 mg/l, sont au dessous de la limite fixée pour l’eau d’irrigation (30 mg/l). En termes de pollution organique biodégradable, l’eau traitée ne présente aucun risque pour les cultures.

Histogramme 3 : Valeurs de la concentration des DBO5 à l’entrée et la sortie de la STEP (Période du 2-31 Mai 2020)

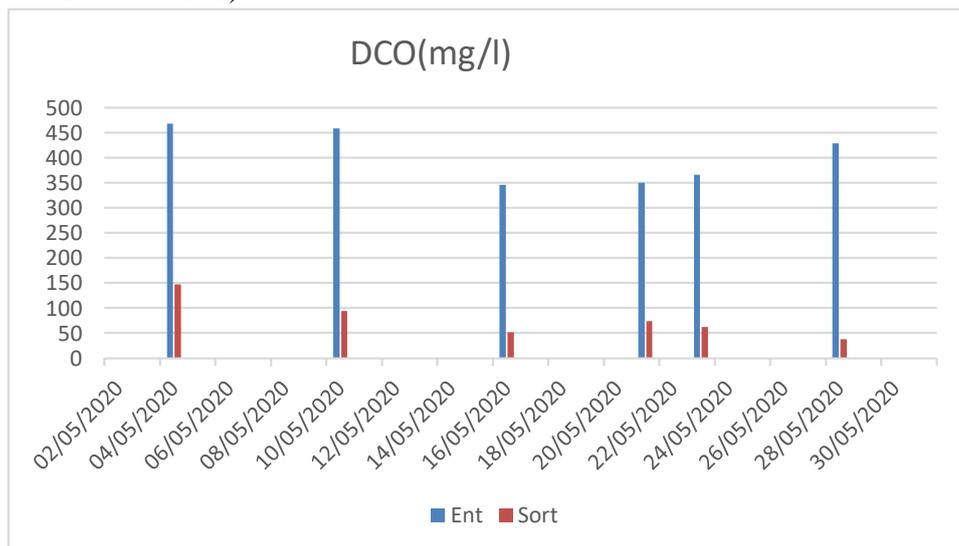


Demande chimique en oxygène (DCO)

La DCO ne fait l’objet d’une réglementation dans la majorité des normes mais dans tous les cas, elle ne doit pas dépasser 120 mg/l pour l’OMS et elle doit être inférieure à 150 mg/l pour quelques états.

D’après l’histogramme 4, on s’aperçoit que la teneur de la DCO dans l’eau traitée par la STEP n’est pas stable. De grandes variations sont observés (de 38 à 147 mg/l). Ces variations dans la teneur de la DCO sont probablement dues aux variations dans la quantité d’oxygène dans les bassins d’aération.

Histogramme 4 : Valeurs de la concentration des DCO à l’entrée et la sortie de la STEP (Période du 2-31 Mai 2020)



Analyses microbiologiques

L’analyse bactériologique consiste à mesurer les germes totaux contenus dans l’eau usée épurée qui va servir comme eau d’irrigation. Les résultats de l’analyse bactériologique sont indiqués dans le tableau suivant :

Tableau III.32: Résultats des analyses Bactériologiques des eaux épurées prélevées à la sortie de la STEP

Paramètre	Eau de la STEP	Normes OMS
Coliformes totaux à 37°C/100ml	< 200 UFC	<1000/100ml
Coliformes fécaux à 37°C/100ml	Abs	
Streptocoque	2,5	
Salmonella	Abs	
Vibrion.colerae	Abs	
E.coli	20,47	

Selon les résultats indiqués sur le tableau III.32 , on constate que pour les coliformes totaux et les streptocoques, les résultats des échantillons de l'eau épurée mettent en évidence une teneur en germes non négligeable (<200 germes/100ml). Cependant, cette teneur reste toutefois conforme à la norme OMS et la norme algérienne édictée pour les eaux usées destinées à l'irrigation des arbres fruitiers (< 1000 CFU/100 ml).

Selon les résultats des analyses obtenus, on peut conclure que les eaux épurées de la STEP de BEN CHAABANE peuvent être utilisées pour l'irrigation. Tous les résultats des analyses paramètres mesurées sur l'eau usée épurée présentent en grande partie des valeurs au dessous des normes fixées pour la réutilisation de l'eau en irrigation notamment en arboriculture.

Nous remarquons qu'il y'a quelque paramètre sont au-dessus de les normes de l'irrigation tel que : la DCO, alors un traitement tertiaire est nécessaires pour ces eaux pour qu'on puisse les réutiliser en irrigation.

Le choix de la méthode qu'on va utiliser pour le traitement tertiaire se basé sur :

✓ Objectifs de traitement : Les objectifs peuvent varier, de la simple séparation à l'élimination spécifique de contaminants comme les nutriments (azote, phosphore), les métaux lourds ou les micropolluants.

✓ Taille de l'installation : Les contraintes d'espace et la capacité de traitement nécessaire influencent le choix des technologies.

✓ Coûts : Les coûts d'investissement, d'exploitation et de maintenance des différentes technologies doivent être pris en compte.

CHAPITRE III Présentation de la STEP de BOUFARIK « BENCHAABANE »

Tableau III.33 : Paramètres physico-chimique à l'entre et la sortie de la STEP de BEN CHAABANE

Date	PH		MES(mg/l)		DBO5(mg/l)		DCO(mg/l)		Cond(μS/cm)	
	Ent	Sort	Ent	Sort	Ent	Sort	Ent	Sort	Ent	Sort
02/05/2020	7,52	7,6	304	26,6	107	14	485.98	123.33	1857	1801
03/05/2020	7,8	7,2	297.54	25.3	108	18	432.54	124.56	1651	1560
04/05/2020	7,7	7,68	214,45	24,6	184	16	467,78	147,14	1941	1821
07/05/2020	7,71	7,75	267.67	12.43	204	19	312.14	54.87	1998	1862
08/05/2020	7,53	7,52	289.45	19.56	107	15	367.45	76.98	1903	1960
09/05/2020	7,22	7,28	276.45	20.12	108	18	378.54	87.67	1989	1973
10/05/2020	7,16	7,51	125,71	19.6	255	22	458,88	94,08	1838	1878
11/05/2020	7,58	7,5	197.55	23.14	247	21	456.34	54.87	1951	1985
14/05/2020	7,31	7,4	204.12	24.16	236	20	356.87	64.66	1532	1517
15/05/2020	7,5	7,55	266.13	16.87	108	18	398.23	96.87	1651	1630
16/05/2020	7,4	7,38	232,86	12	160	15	346,32	51,48	1819	1752
17/05/2020	7,48	7,52	243.12	19.56	109	17	345.67	39.876	1941	1890
18/05/2020	7,6	7,45	178.12	21.56	204	19	387.98	67.98	1829	1800
21/05/2020	7,30	7,44	157,5	16,4	106	12	350,34	74,26	1292	1399
22/05/2020	7,48	7,45	289.4	15.98	107	14	334.78	96.99	1461	1360
23/05/2020	7,24	7,10	305	18,75	109	17	366,52	61,88	1260	1310
24/05/2020	7,60	7,58	298.45	17.55	184	16	467.87	45.76	1251	1160
25/05/2020	7,67	7,66	276.21	19.65	107	15	478.98	67.98	953	1256
28/05/2020	7,24	7,57	37,14	11,43	107	13	428,4	38,08	1258	1526
29/05/2020	7,40	7,66	215.8	18.56	120	17	412 .34	47.98	1302	1204
30/05/2020	7,43	7,52	256.76	17.54	132	14	398.45	87.98	1460	1292
31/05/2020	7,30	7,51	277.43	13.44	156	18	385.67	95.87	1791	1412

Conclusion

La station d'épuration de BEN CHAABANE fonctionne sur la base du procédé de boues activées avec une digestion aérobie en fin de traitement des boues.

Les analyses des eaux usées présentent des rendements épuratoires satisfaisants pour l'élimination des matières en suspension en accord avec les normes de rejet des effluents par le Journal Officiel de la République Algérienne.

CHAPITRE IV
Traitement Tertiaire par Filtration sur sable

Introduction

En général, les techniques d'épuration, même les plus sévères, laissent passer dans l'eau épurée des matières organiques difficilement biodégradables et échappent à la meilleure décantation. Ainsi même après un traitement secondaire, l'eau véhicule presque toujours des micro-organismes et des micropolluants.

Dans le cas d'une éventuelle réutilisation de cette eau, il convient d'utiliser des procédés d'élimination de cette pollution résiduelle.

On parlera donc de correction chimique ce qui permettra de donner à l'eau une qualité meilleure pour sa réutilisation. La principale méthode utilisée est la désinfection, ou on parlera dans ce chapitre sur le traitement des eaux usées par OZONATION.

I. Désinfection par Ozonation

La désinfection avec ozonation est un processus de traitement de l'eau ou de l'air qui utilise de l'ozone (O_3) pour éliminer, tuer ou inactiver les microorganismes, les bactéries, les virus, les champignons, les parasites et d'autres agents pathogènes. L'ozone est un gaz composé de trois atomes d'oxygène, et il est un puissant oxydant, ce qui signifie qu'il a la capacité de réagir chimiquement avec d'autres substances.

II. Principe de fonctionnement d'Ozonation

Le principe de fonctionnement de l'ozonation repose sur l'utilisation de l'ozone (O_3), un gaz composé de trois atomes d'oxygène, comme agent désinfectant. L'ozone est un oxydant puissant, ce qui signifie qu'il a la capacité de réagir chimiquement avec d'autres substances. Voici les étapes fondamentales du processus de l'ozonation :

1. Production de l'ozone : L'ozone est généré à l'aide d'un générateur d'ozone. Il existe plusieurs méthodes pour produire de l'ozone, notamment :

- Décharge corona : L'ozone est généré en exposant l'oxygène à une décharge électrique.
- Décharge de barrière diélectrique : Ce processus utilise une barrière diélectrique pour créer une décharge électrique et produire de l'ozone.
- Électrolyse : L'ozone peut également être produit par électrolyse de l'eau, formant de l'ozone à partir de l'oxygène présent dans l'eau.

2. Injection de l'ozone : Une fois généré, l'ozone est injecté dans le système à traiter, que ce soit de l'eau ou de l'air. Il peut être diffusé directement dans le flux d'eau ou d'air.

3. Réaction chimique : L'ozone réagit avec les contaminants présents dans l'eau ou l'air. L'ozone agit comme un oxydant puissant, attaquant les membranes cellulaires des microorganismes, perturbant leurs processus métaboliques et décomposant les composants organiques. Cette réaction chimique entraîne la destruction des agents pathogènes, tels que les bactéries, les virus, les champignons et les parasites.

4. Désinfection : L'action oxydante de l'ozone aboutit à une désinfection efficace en éliminant les microorganismes pathogènes. L'ozone est particulièrement efficace contre une large gamme de contaminants.

5. Destruction de l'ozone résiduel : Après le processus de désinfection, il est essentiel de détruire tout ozone résiduel pour éviter une exposition excessive. Cela peut se faire

naturellement au fil du temps où en utilisant des méthodes telles que l'injection de dioxyde de soufre ou la filtration à charbon actif.

La désinfection par l'ozone exige que l'eau à ozoner ne contienne plus de manganèse soluble (Mn^{2+}) sous peine de communiquer à l'eau une couleur rose. Cette couleur évolue ensuite vers le brun-marron par suite de la précipitation de MnO_2 .

Au vu de ce qui a été indiqué dans les paragraphes précédents, il convient de ne pas utiliser l'ozone comme désinfectant dans l'étape ultime du traitement : il faut ensuite prévoir une filtration sur charbon actif en grains qui aura pour objectif de réduire les concentrations en CODB afin de limiter les risques de reviviscence dans le réseau de distribution.

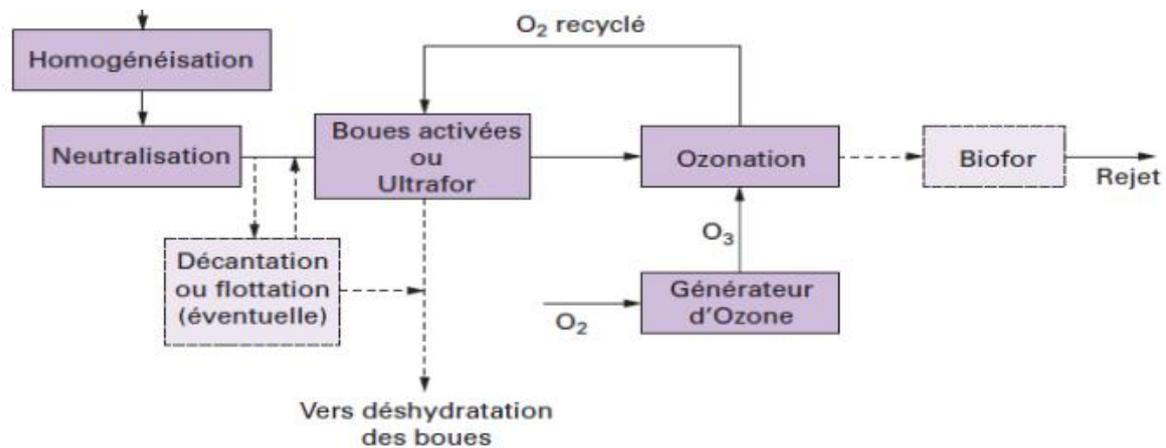


Figure IV.1 : Ozonation

III. Pourquoi l'Ozonation

Notre choix pour la technique de désinfection par ozonation est justifié par les raisons suivantes :

Voici les raisons de ce choix :

- ✓ **Clarification de l'eau non claire** : Nous avons constaté que l'ozonation est efficace pour éliminer les particules en suspension et les impuretés dans l'eau. Cela aidera à clarifier notre eau, améliorant ainsi sa qualité visuelle.
- ✓ **Réduction des odeurs** : L'ozonation est particulièrement efficace pour éliminer les odeurs désagréables dans l'eau. Cette caractéristique est importante pour garantir que l'eau que nous utilisons ne présente pas de goûts ou d'odeurs indésirables.
- ✓ **Réduction de la DCO** : L'ozonation est capable d'oxyder et de décomposer la matière organique, ce qui se traduit par une réduction de la DCO (Demande Chimique en Oxygène). Cela contribuera à améliorer la qualité de notre eau.
- ✓ **Efficacité globale** : Bien que l'ozonation nécessite un investissement initial plus élevé et des coûts de maintenance plus élevés, je crois que les avantages en termes de qualité de l'eau, de clarification, de réduction des odeurs et de réduction de la DCO justifient ces coûts supplémentaires.
- ✓ **Élimination des sous-produits** : Nous tiendrons compte de la gestion appropriée des sous-produits chimiques générés par l'ozonation, afin de minimiser tout impact indésirable sur l'environnement.

- ✓ **Espace requis** : La présence de l'espace suffisant pour installer les générateurs d'ozone et les composants de dosage valent la peine de faire la désinfection par Ozonation.
- ✓ **Conformité aux normes** : Nous nous assurerons que notre installation d'ozonation est en conformité avec toutes les normes et réglementations locales.

IV. Avantages et inconvénients de la désinfection par l'ozonation

Avantages:

- 1. Efficacité élevée** : L'ozonation est un processus de désinfection très efficace qui peut éliminer une large gamme de microorganismes pathogènes, y compris les bactéries, les virus et les parasites. Il offre une désinfection robuste qui peut être supérieure à d'autres méthodes.
- 2. Absence de sous-produits indésirables** : Contrairement à certains produits chimiques désinfectants, l'ozonation ne produit généralement pas de sous-produits indésirables. Il ne forme pas de trihalo méthanes (THM) ou d'autres composés organochlorés qui peuvent être nocifs pour la santé humaine.
- 3. Oxydation des composés organiques** : En plus de la désinfection, l'ozone peut oxyder et décomposer de nombreux composés organiques présents dans les eaux usées, contribuant ainsi à la réduction de la charge organique.
- 4. Réduction des odeurs** : L'ozonation peut contribuer à réduire les odeurs désagréables associées aux eaux usées en oxydant les composés responsables des mauvaises odeurs.
- 5. Polyvalence** : L'ozonation peut être utilisée dans diverses applications de traitement des eaux, y compris le traitement de l'eau potable, le traitement des eaux usées municipales et industrielles, ainsi que dans d'autres processus de purification.

Inconvénients :

- 1. Coût initial élevé** : La mise en place d'un système d'ozonation peut nécessiter un investissement initial important en termes d'équipement et d'installation. Cependant, les coûts opérationnels peuvent être relativement bas.
- 2. Gestion de l'ozone résiduel** : Il est essentiel de gérer l'ozone résiduel après le processus de désinfection pour éviter des concentrations excessives, car une exposition prolongée à des niveaux élevés d'ozone peut être nocive pour la santé humaine. Cela nécessite souvent l'utilisation d'autres processus ou équipements pour détruire l'ozone résiduel.

V. Dimensionnement d'ozonation

V. 1 La dose de l'ozone à injecter

Dans des conditions standard, une plage typique de dose d'ozone requise pour le traitement d'un effluent est de 4 à 5 grammes par mètre cube (g/m^3), avec un temps de contact de 4 minutes (water, 2001). On a choisi une dose de $5 \text{ (g/m}^3\text{)}$, avec un temps de contact de 4 min.

➤La dose journalière :

$$D_j = Q_{\text{moy},j} * (O_3) = 34109 * 0,005 = 170.545 \text{ kg/j}$$

Avec :

- **D_j** : La dose journalière.

- **Q_{moy,j}** : Le débit moyen journalier traités de la STEP de BEN CHAABANE est de $34109 \text{ m}^3/\text{j}$.

- (O3) : La dose d'ozone.

V.2. Dimensionnement du bassin de désinfection par ozonation

Le bassin de désinfection par ozonation est constitué de plusieurs chambres, bien que dans notre situation spécifique, il n'y ait qu'un seul compartiment.

➤ **Le volume du bassin de désinfection :**

$$V = Q_{ptp} * T_c$$

Avec :

- Q_{ptp} : débit de point en temps de pluie ($3 * Q_{pts}$)
 - Q_{pts} : Le débit de point en temps
 - T_c : Le temps de contact (4 min)
 - Q_{pts} de la STEP de BEN CHAABANE est de $17990,48 \text{ m}^3 / \text{j}$
- $$Q_{ptp} = 3 * Q_{pts} = 3 * 17990,48 = 53971,43 \text{ m}^3 / \text{j}$$

$$V = Q_{ptp} * T_c = (53971,43 / 24) * (4 / 60) = 149,92 = 150 \text{ m}^3$$

➤ **La hauteur du bassin**

On fixe la hauteur du bassin à $H = 3 \text{ m}$

➤ **La surface horizontale (Sh)**

$$Sh = V / H = 150 / 3 = 50 \text{ m}^2$$

➤ **La largeur(b) et la longueur(L) du bassin**

On prend : $L = 2 b$

$$\text{On a : } Sh = L * b ; Sh = 2 b * b$$

$$\text{Donc : } b = \sqrt{Sh / 2}$$

$$b = \sqrt{(50 / 2)} = 5 \text{ m}$$

$$\text{Alors : } L = 2b ; L = 2 * 5 = 10 \text{ m}$$

➤ **Le choix des pompes doseuse à utiliser**

- Le débit journalier d'ozone à injecter :

$$\text{Débit (m}^3 / \text{jour)} = \text{Dose d'ozone (kg/jour)} / \text{Densité de l'ozone (kg/m}^3)$$

En utilisant la densité approximative de l'ozone :

$$\text{Débit (m}^3 / \text{jour)} = (170,545 \text{ kg/jour}) / (2,144 \text{ kg/m}^3) \approx 79,54 \text{ m}^3 / \text{jour} = 3,314 \text{ m}^3 / \text{h} = 3314 \text{ l/h}$$

- Les caractéristiques de la pompe

- On a choisi la pompe doseuse Sigma avec module de commande pour le dosage d'ozone.
- Cette pompe doseuse peut être commandée par des signaux de contacts ou par un Signal analogique (par exemple, un signal 4-20 mA).
- Elle est équipée d'un système de protection interne qui la désactive en cas de surcharge, éliminant ainsi le besoin de dispositifs hydrauliques supplémentaires.
- Par rapport à la version de base de la pompe Sigma, la pompe doseuse Sigma à commande offre des fonctionnalités supplémentaires :
- Commande simplifiée grâce à un grand écran LCD rétro éclairé.
- Cette pompe doseuse est fournie par le fournisseur Tech Pompe source (Tech Pompe).

VI. Paramètres influençant l'efficacité de la désinfection par Ozonation

Plusieurs paramètres influent sur l'efficacité de la désinfection par ozonation. Voici six paramètres clés à prendre en compte :

1. **Concentration d'Ozone (O₃)** : La concentration d'ozone dans le gaz ou la solution ozonisée est cruciale. Une concentration adéquate est nécessaire pour assurer une désinfection efficace. Cependant, des concentrations excessives peuvent entraîner des réactions indésirables ou la production de sous-produits.
2. **Temps de Contact (ou Temps de Rétention)** : Le temps pendant lequel l'eau est en contact avec l'ozone est essentiel. Un temps de contact suffisant permet à l'ozone de réagir avec les microorganismes ciblés. Ce paramètre est souvent déterminé par le volume du bassin de désinfection et le débit d'eau traitée.
3. **PH de l'Eau** : Le pH de l'eau influence l'efficacité de l'ozonation. Idéalement, le pH devrait être ajusté pour optimiser l'efficacité de la désinfection. Des variations importantes du pH peuvent influencer la formation d'acides ou de bases et affecter la stabilité de l'ozone.
4. **Température de l'Eau** : La température de l'eau a un impact sur la solubilité de l'ozone. Des températures plus élevées augmentent généralement la solubilité, ce qui peut améliorer l'efficacité de la désinfection.
5. **Concentration initiale de Contaminants** : La concentration initiale de microorganismes et de contaminants dans l'eau influe sur la dose d'ozone nécessaire pour une désinfection efficace. Une eau fortement contaminée nécessitera une dose plus élevée d'ozone.
6. **Caractéristiques de l'Eau** : Certains composants de l'eau, tels que les matières organiques, les ions métalliques, et d'autres impuretés, peuvent réagir avec l'ozone. La composition chimique de l'eau peut donc influencer l'efficacité de l'ozonation et la formation de sous-produits.

Il est essentiel de comprendre et de surveiller ces paramètres pour concevoir et exploiter un système d'ozonation efficace. Les ajustements et les contrôles appropriés de ces paramètres permettent d'optimiser l'efficacité de la désinfection tout en minimisant les risques de sous-produits indésirables.

Conclusion

En conclusion, la désinfection par ozonation offre une méthode puissante et efficace pour éliminer les microorganismes pathogènes de l'eau. Grâce à sa capacité oxydante, l'ozone cible divers contaminants, assurant une désinfection robuste tout en réduisant la formation de sous-produits indésirables. Son efficacité, son absence de résidus nocifs et son impact limité sur l'environnement font de l'ozonation une solution précieuse pour le traitement de l'eau dans diverses applications comme l'irrigation, allant du traitement des eaux usées à la purification de l'eau potable.

Le coût excessif du traitement tertiaire explique pourquoi dans la majorité des stations d'épuration ce type de traitement est inexistant. Ce coût ne se représente pas seulement le prix des réactifs ou des équipements mais aussi celui d'un personnel hautement qualifié.

Notre démarche vise à assurer une gestion durable de nos ressources en eau pour le bien-être de nos utilisateurs finaux et de l'environnement, tout en favorisant la réutilisation de cette eau dans des pratiques d'irrigation durables.

CHAPITRE V
Présentation de périmètre de BEN CHAABANE

Introduction

Dans le but de la valorisation des eaux usées traitées de la station d'épuration de BOUFARIK, les autorités locales ont décidé d'aménager le périmètre BEN CHAABANE situé dans la région de BLIDA afin de réutilisées les eaux usées épurées pour l'irrigation du périmètre.

1. Présentation de la zone d'étude (Périmètre de BEN CHAABANE)

I.1. Localisation géographique de la wilaya de BLIDA

La wilaya de Blida s'étend sur une superficie de 1.478,62 Km². Elle est limitée au sud par la wilaya de Médéa, l'Atlas, la montagne de Chréa et les gorges de la Chiffa ; au nord par les plaines de l'Algérois des wilayas d'Alger, Tipaza et Boumerdès ; à l'ouest par la wilaya d'Ain Defla et enfin à l'Est par la wilaya de Bouira.

La wilaya de Blida est limitée

- au nord, par la wilaya de Tipaza et la wilaya d'Alger.
- au sud, par la wilaya de Médéa.
- à l'est, par les deux wilayas Boumerdes et Bouira.
- à l'ouest la wilaya d'Ain Defla.

La ville de Blida est située au sud ouest d'Alger, entre les coordonnées géographiques 36°28' de latitude. Nord, 2°50' de longitude (Greenwich) et à 270m d'altitude au pied du versant nord de l'Atlas Blidéen, D'après le Recensement Général de la Population et de l'Habitat de 1998 (ONS, 1998).



Figure V.1 : Localisation géographique de la wilaya de Blida(Source :ANRH BLIDA)

I.2 Localisation géographique de BEN CHAABANE

La commune de Boufarik est située (à 20 km environ) au nord est de la ville de Blida .
 Le terrain objet de cette étude est localisé au Nord ouest de la ville de Boufarik, il est limité au Nord, Ouest, Est par des terres de labour et au Sud par terre de labour aussi ainsi construction RDC.



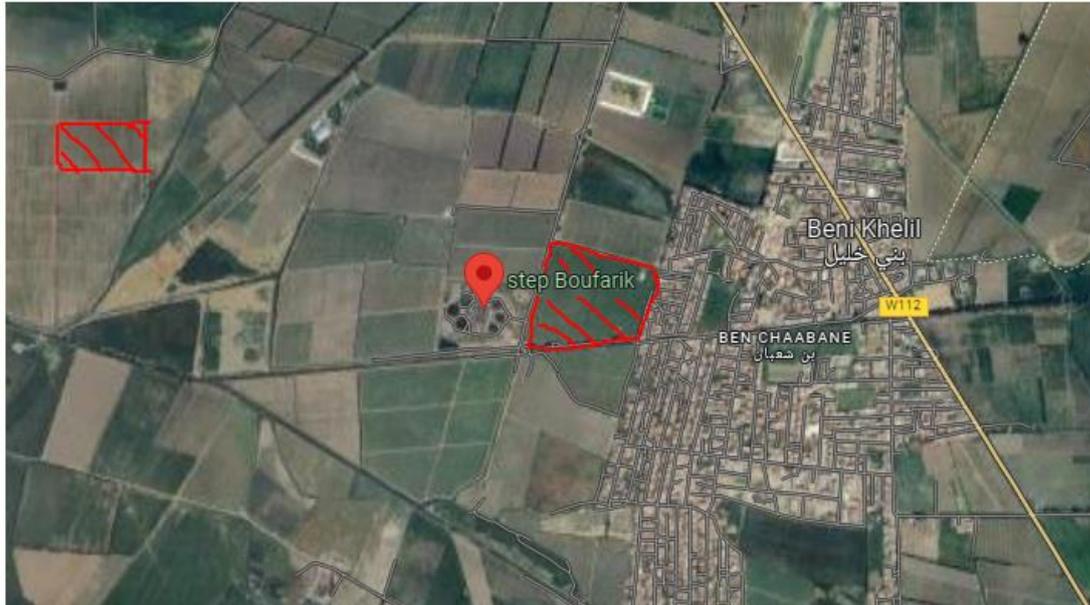
Figure V.2 : Communes limitrophes de BEN CHAABANE(source: <https://wikimonde.com/article/Benkhelil>)



Figure V.3 : Localisation géographique de la commune de BEN CHAABANE (Source : ANRH BLIDA)

Notre périmètre est limité par :

- Au nord par la wilaya d’Alger.
- Au nord ouest par Koléa (wilaya de Tipaza).
- A l’ouest par Oued Alleug.
- A l’est par Boufarik.
- Au sud par Beni Mered.
- Au sud-ouest par Beni Tamou.



Zone d'étude

Figure V.4: Carte de la situation du périmètre d'étude (la plaine de BEN KHLIL) (source : Google Maps)

II .Etude du milieu naturel

II.1. La géologie et l'hydrogéologie de la zone d'étude

La plaine de la Mitidja s'étend au sud d'Alger entre Hadjout et Réghaïa, selon une direction ouest sud-ouest, est-nord-est. Elle est bordée au nord par les collines du Sahel et au sud par l'atlas Tellien. Elle fait environ 90 Km de long et 15 Km de large.

La nappe de la Mitidja s'étend au nord, jusqu'à la limite d'affleurement des alluvions quaternaires et au sud, jusqu'au contact entre les alluvions quaternaires et les formations plus anciennes de l'Atlas Blidéen.

La plaine de la Mitidja est constituée de deux aquifères : la formation quaternaire de la Mitidja qui représente la principale ressource en eau souterraine et la formation de l'Astien qui est l'aquifère le plus profond.

La formation de la Mitidja est hétérogène, constituée de graviers et sables avec des intercalations de niveaux argileux. Les alluvions affleurent sur la majeure partie du bassin avec une épaisseur qui peut atteindre plus de 200 m au centre de la plaine. Localement, les alluvions peuvent être recouvertes par les formations limono-argileuses du Mazafran qui mettent en charge l'aquifère des alluvions de la Mitidja.

La formation de l'Astien est constituée principalement de sables et de grès plus ou moins calcaires qui reposent sur le substratum marneux du Plaisancien. Son épaisseur moyenne est de l'ordre de 100 m.

L'Astien est séparé de l'aquifère des alluvions par la formation argileuse d'El Harrach, hormis au Nord-est de la plaine où les deux formations perméables sont en contact direct.

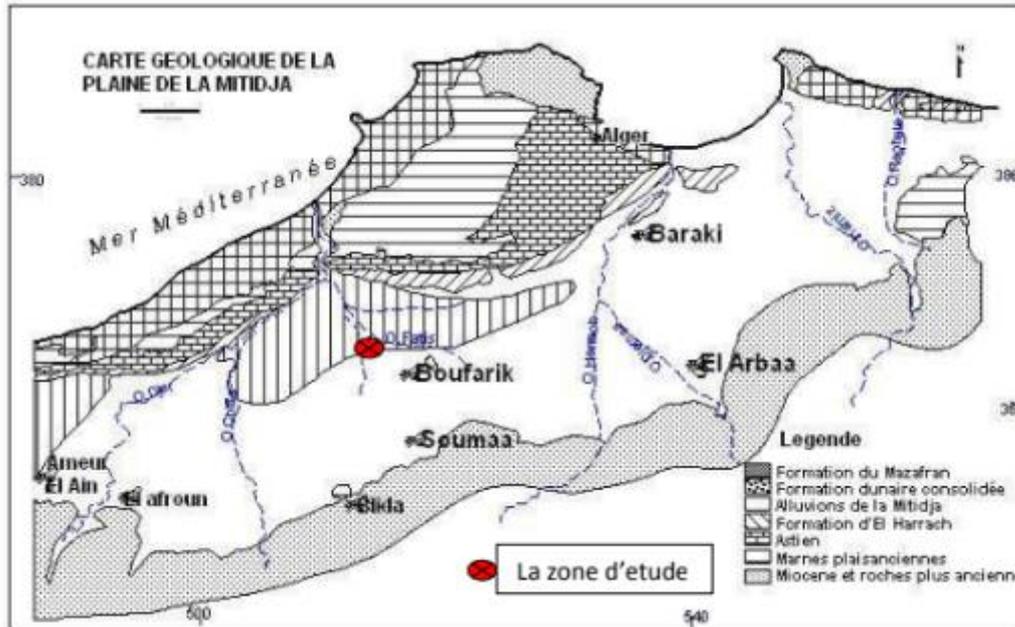


Figure V.5: Carte géologique de la plaine de METIDJA (Source : ANRH)

III. Situation climatologique

III.1. La température

Les températures minimales moyennes mensuelles pour la période (1987-2012) fluctuent de 5,4 °C au mois de février, le mois le plus frais (froid nocturne) à 20,3 °C en août, le mois le plus chaud.

Nous constatons que les nuits du mois de Février sont légèrement plus froides que celles de Janvier.

Quant aux records minimaux mensuels ; ils peuvent atteindre une température de -2,2 °C en janvier et -1,3 °C en mars, voir -0,8 °C en avril ce qui n'exclut pas l'existence des derniers jours de gel en ce mois. Les températures minimales les plus basses à l'échelle mensuelle peuvent varier entre 16,4 °C avec des nuits douces même au cœur de l'hiver et 30,3 °C et des nuits tropicales chaudes en août.

Les températures maximale moyennes mensuelles pour la période (1987-2012) est de 16,9 °C en Janvier (froid diurne) et de 32,8 °C en août.

Quant aux records maximaux mensuels ; ils peuvent atteindre 27,4 °C en janvier et 45,2 °C en juillet, voir 40 °C en mai ce qui n'exclut pas le démarrage précoce des jours caniculaires.

Le pic maximal peut atteindre 47,5 °C en Août, un pic de 30,4 °C peut être enregistré en décembre ce qui explique la fin parfois tardive de la canicule.

Cette forte chaleur est généralement due à une situation synoptique caractérisée par un sirocco « un vent chaud soufflant du sud qui parcourt des grandes étendues du grand sahara vers le sud de l'Europe ».

Les températures maximales les plus basses à l'échelle mensuelle peuvent ne pas dépasser 3 °C avec des journées très froides même au cœur du printemps avec 11,6°C ; en été nous pouvons observer des jours avec de la fraîcheur comme 24,9° C en août.

Les températures de la région d'étude sont présentées dans le tableau suivant:

Tableau V.1 : Températures mensuelles de Boufarik en °C (Période : 1985 – 2012)
(Source : ANRH BLIDA)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne Annuelle
Tmin	7,5	7,7	9,5	11,5	14,1	17,5	19,9	21,5	19,2	15	11,7	9,0	13,64
Tmax	15,2	16,7	19,7	20,8	24,8	28,9	32,8	33,6	30,2	24,7	19,8	16,7	23,66
Tmoy	11,33	12,2	16,7	15,9	19,5	23,2	26,3	27,5	24,7	19,9	15,7	12,8	18,65

Avec:

T min : température minimale.

T max : température maximum.

T moy : température moyenne.

La température moyenne de l'air varie de 11,33 °C au mois de janvier à 27,5 °C au mois d'Août ce qui correspond à un climat relativement frais.

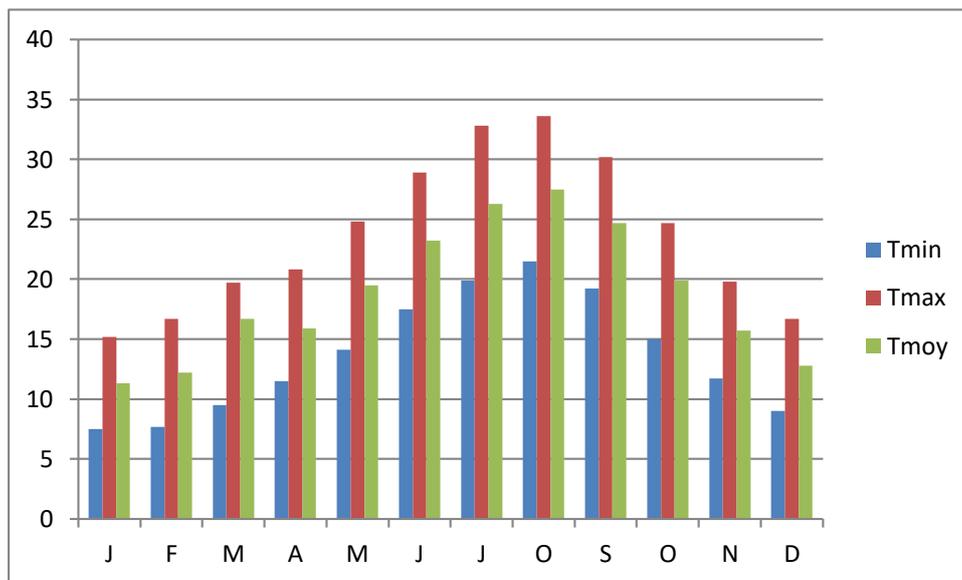


Figure V.6 : Histogramme des températures

III.2. La pluviométrie

Les précipitations à l'échelle annuelle fluctuent en moyenne entre 282,6 mm et 807,2 mm, les quintiles inférieur et supérieur montrent que les précipitations annuelles peuvent être inférieures ou égales à 446,1 mm (année sèche) et supérieures ou égales à 728 mm (année humide) avec une probabilité de 20% (une année sur cinq).

Quininf : quintile inférieure correspond à la quantité de pluie qui peut être obtenue quatre années sur cinq.

Quinsup : quintile supérieur : correspond à la quantité de pluie qui peut être obtenue une année sur cinq.

Médiane : correspond à la quantité de pluie qui peut être obtenue une année sur deux.

On admet que la pluie moyenne interannuelle de la région d'étude est de 640 mm.

Le régime pluviométrique de la région, est caractérisé par deux saisons distinctes : une saison pluvieuse d’octobre à avril, dont la quantité de pluie représente plus de 85 % du total annuel et une saison sèche de mai à septembre.

Tableau V. 2 : Répartition mensuelle moyenne interannuelle des précipitations à la station de Boufarik (Période : 1985 – 2012) (Source :ANRH BLIDA)

Mois	J	V	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MOY
Pmoy(mm)	86,9	71,2	59,3	53,5	48,5	7,5	3,23	6,59	31,9	54,5	85,6	104	612,7

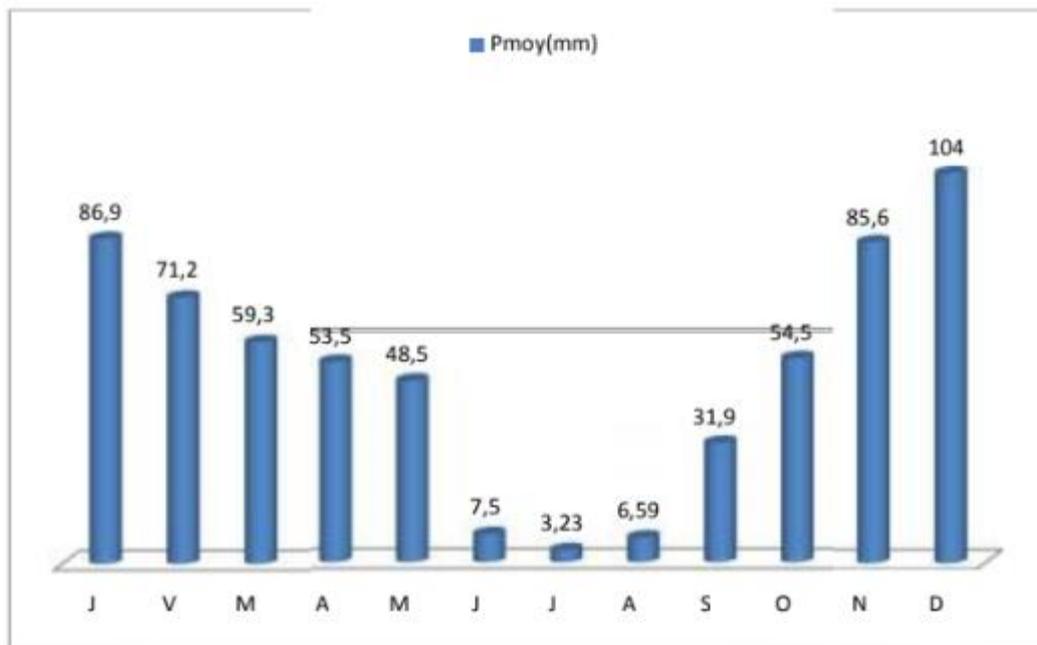


Fig. V.7 : Histogramme de la précipitation moyenne

III.3. Les vents

Le vent est un des éléments les plus caractéristiques du climat. On relève que les vents sont fréquents durant toute l’année à des vitesses relativement faibles.

Tableau. V.3 : Vitesse des vents à la station de Boufarik (Période : 1985 – 2012)(Source :ANRH BLIDA)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
V(Km/h)	3,0	3,1	2,9	3,1	2,8	3,0	3,2	3,1	2,5	2,3	2,5	3,7	2,9

III.4. L'insolation

Les données sur l'insolation dans la station de Boufarik sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau. V. 4 : Insolation moyenne journalière et annuelle à la station de Boufarik (Période : 1985 – 2012)(Source : ANRH BLIDA)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANNE
Moyenne (h)	4,43	6,00	7,09	7,65	9,66	10,12	11,29	10,58	9,29	7,07	5,32	4,09	7,7

III.5. L'humidité relative

L'humidité relative ou état hygrométrique indique que l'état de l'atmosphère est plus ou moins proche de la condensation; C'est à la valeur de l'humidité relative que correspond la sensation de l'humidité ou de sécheresse de l'air. Dans les stations de l'intérieure, la tension de vapeur est partout plus faible que sur le littoral.

L'humidité relative est le rapport exprimé en % de la tension de vapeur à la tension maximum correspondant à la température T.

Tableau. V.5 : Humidité relative moyenne mensuelle et annuelle à la station de Boufarik (2012) (Source : ANRH BLIDA)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANNEE
Hr (%)	74	70	71	66	65	61	60	57	66	69	71	73	67

Avec :

L'humidité relative moyenne est de : 67%.

L'humidité relative minimale est de : 57%.

L'humidité relative maximale est de : 74 %.

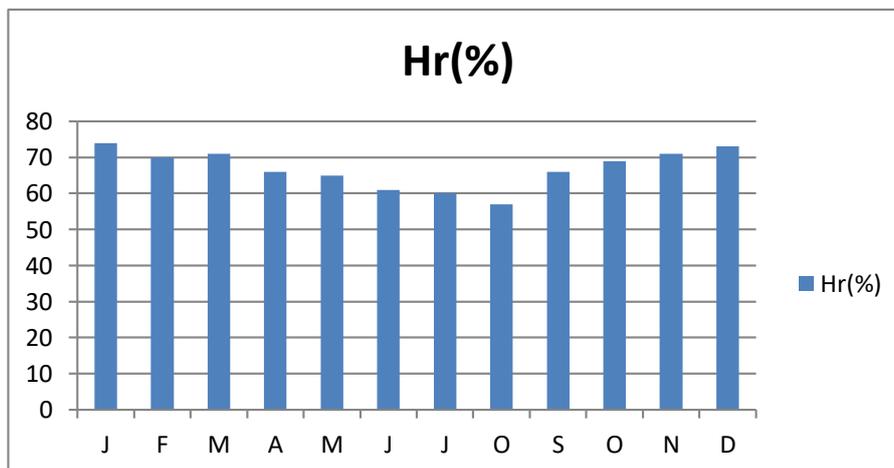


Figure V.8 : Histogramme de l'humidité relative en %

L'humidité relative mensuelle moyenne varie de 70 à 74 % et de 57 à 69% respectivement pour les périodes allant de mois de novembre au mois de mars et du mois d'avril au mois d'octobre.(ANRH BLIDA)

IV. Classification du climat

La région de BEN CGHAABANE bénéficie d'un climat méditerranéen semi-aride qui caractérise la ville avec alternance d'une saison sèche et chaude (Mai - septembre) et d'une saison humide (octobre- avril), elle subie pratiquement les même variations saisonnières que la zone côtière.(ANRH BLIDA)

IV.1. Classification du climat selon l'indice de MARTONNE

L'indice d'aridité ou de MARTON est un paramètre qui permet la classification du climat. L'indice d'aridité de Martonne (I) est utilisé pour évaluer la sécheresse, il s'exprime comme suit :

$$I = P/(T+10)$$

Avec:

I : indice de MARTONNE.

P : précipitation annuelle moyenne de la région en (mm/an).

T : température moyenne annuelle en °C.

Tableau. V.6 : Classification du climat selon de MARTONNE(Source : ANRH BLIDA)

VALEUR DE I	TYPE DE CLIMAT	IRRIGATION
I < 5	Désertique	Indispensable
5 < I < 10	Très sec	Indispensable
10 < I < 20	Sec	Souvent indisponible
20 < I < 30	Relativement humide	Parfois utile
I > 30	Humide	Inutile

Pour :

P = 612,7 mm/an ;

T = 18.65°C

On aura :

$$I = P/(T+10)=612.7/(18.65+10)=21.385$$

$$I \approx 21$$

Selon l'indice d'aridité calculé, on constate d'après la classification ci-dessus que la région est soumise à un régime de climat relativement humide, L'irrigation est nécessaire.

IV.2. Classification du climat selon le diagramme d'EMBERGER

La méthode est fondée sur un diagramme dressé par EMBERGER qui nous renseigne sur le type de climat, ainsi que la nature d'hiver dominant d'une région L'équation d'EMBERGER que nous avons projeté sur le diagramme bioclimatique est le suivant :

$$Q = (1000 * P) / ((M+m)/2*(M-m))$$

D'où :

P : précipitation moyenne annuelle de la région (mm)

M : température moyenne maximale du mois le plus chaud en (°K)

m : température moyenne minimale du mois le plus froid en(°K)

Pour :

P = 612,7 mm

M = 33,6 °K

m = 7,5 °K

On aura :

$$Q = (2 \cdot 1000 \cdot 612,7) / ((33,6 + 273)^2 - (7,5 + 273)^2) \approx 80$$

D'après le diagramme bioclimatique, le périmètre de BEN CHAABANE jouit d'un climat parmi subhumide et semi- Aride caractérisé par des hivers chauds.

Ces renseignements complètent celles obtenus précédemment, car Q =80 ; T=7,5

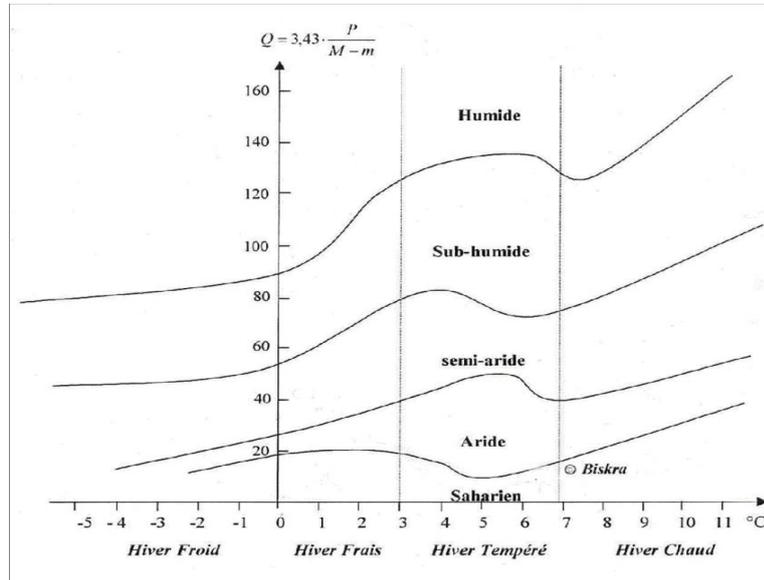


Figure V.9 : Climagramme d'EMBERGER

IV.3 Climagramme de Bagnols et Gaussen

BAGNOULS et GAUSSEN (STEWART, 1969) ont établi des diagrammes ombrothermiques pour évaluer la durée et l'intensité de la saison sèche pendant l'année. Ils se sont basés sur la formule $P = 2 T \text{ °C}$; les mois secs sont définis, quand la courbe des précipitations est située au-dessous de celle des températures moyennes.

On a pris les valeurs du tableau IV.1 et IV.2

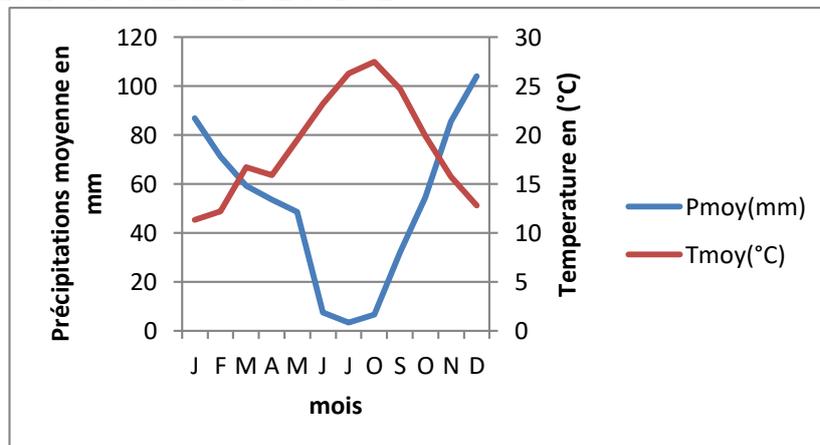


Figure V.10 : Diagramme ombrothermique de Gaussen

V. Pédologie

La pédologie est l'étude et la reconnaissance des sols. La typologie des sols de notre parcelle d'après la carte pédologique est de :

- La classe : sol à sesquioxydes de fer.
- Sous classe : sol rouge formé sous un climat de type méditerranéen.
- Groupe : a réserve calcique et le plus souvent, peu lessivé.
- Sous groupe : vertique.

D'après une étude qui a été faite dans cette région et qui est présentée dans le document « l'étude hydrodynamique des sols du périmètre », établi par l'A.N.R.H, on a résumé cette étude dans le tableau et le paragraphe ci-après.

Tableau. V.7 : Fiche analytique (ANRH BLIDA)

Profondeur (cm)		0 à 15	15 à 50	50 à 90
Argile	%	52	52	49
Limon fin	%	21	21	23
Limon grossier	%	9	9	8
Sable fin	%	7	7	8
Sable grossier	%	6	6	8
Matière organique	%	2	1,7	1,9
C	‰	11,80	10	10,90
N	‰	1,06	1,1	1,08
C/N	%	11	9	9
CaCO ₃ total	%	1,44	0,82	6,60
Ca ⁺⁺	meq/100g	27	22	31
Mg ⁺⁺	meq/100g	2	2	2
K ⁺	meq/100g	0,17	0,38	0,25
Na ⁺	meq/100g	0,92	1,14	1,30
T	meq/100g	30	28	28
PH		7,70	7,40	7,74
Conductivité électrique (mmhos /cm)		0,57	0,76	0,50
Fer total	‰	69	68	-
Fer libre	‰	33	21	-
Fer libre (totale)	%	47	30	-
Densité réelle		2,2	2,2	2,3
Densité apparente		1,6	1,6	1,6

Potentiel capillaire			
$P_{4,2}^f$	14,2	16	15,3
P_3^f	21,8	22,7	23,1
$P_{2,5}^f$	26,9	26,9	26,1

VI. Etat physique du sol

Les propriétés physiques du sol sont liées à deux notions fondamentales la texture et la structure.

a. Texture

La texture d'un sol, soit la répartition de la taille de ses éléments constitutifs. Elle est caractérisée par une courbe granulométrique. Cette courbe représente, en fonction du diamètre apparent, les proportions pondérales d'éléments de tailles inférieures et s'obtient en appliquant successivement diverses techniques de séparation (tamisage, sédimentation ...) à un échantillon de sol.

b. Structure

La structure d'un sol peut être appréhendée sous l'angle du mode d'arrangement de ses particules élémentaires ou, de façon plus quantitative, par le réseau d'espaces lacunaires issus de cet arrangement.

L'état de structure est contrôlé par la porosité, qui est le rapport du volume des vides du sol et le volume total, exprimé en %. Elle dépend de la texture des sols, et est déterminée par la formule suivante :

$$P = ((D - Da)/D) .100$$

Avec :

D : densité réelle.

Da: densité apparente.

A.N :

$$P = ((2.2 - 1.6)/2.2) .100$$

$$P = 27,27 \%$$

c. Perméabilité

La perméabilité c'est la faculté qu'à un sol à laisser circuler l'eau plus ou moins facilement.

Tableau. V.8 : Quelques valeurs de coefficients de perméabilité (K)(Source :ANRH BLID)

Matière	K (m/s)
Gravier	$1 \text{ à } 10^{-2}$
Sable grossier	$10^{-2} \text{ à } 10^{-4}$
Sable fin limoneuse	$10^{-4} \text{ à } 10^{-7}$
Argile	$10^{-7} \text{ à } 10^{-10}$

La méthode qui est utilisée dans le laboratoire de l'A.N.R.H est la méthode de Henin. L'analyse a donné la valeur de $K = 2,5 \cdot 10^{-6}$ m/s, donc le sol est assez imperméable à arroser avec précaution.

c. Analyse chimique du sol

D'après l'analyse chimique qui est faite dans l'A.N.R.H on peut dire que :

- Le sol n'est pas salin parce que $C.E < 4$ mmhos/cm.
- Le sol n'est pas vraiment riche en matière organique.
- La valeur du pourcentage de la matière organique dans les différents horizons et le rapport C/N qui varie entre 9 et 11, ceci induit qu'il y'a une bonne décomposition de la matière organique.
- On a le $SAR < 6$, donc il n'y a pas de danger d'alcalinisation.

I.4.4. Description des profils

- 0 à 15 cm : sec, texture argileuse, structure polyédrique, enracinée moyennement poreux, compact et faible cohésion.
- 15 à 50 cm : texture argileuse, structure prismatique moyenne bien développée, forte cohésion, moyennement poreux et moyennement enraciné.
- 50 à 90 cm : texture argileuse, structure prismatique grossière, porosité faible et faible enracinement.

Conclusion

Dans cette partie nous avons présenté les données de base de la zone d'étude qui représentent l'identité de la commune de BEN CHAABANE et qui servent à l'élaboration du projet d'irrigation à partir la station d'épuration.

Ces données concernent notre agglomération du point de vue géologique, climatologique, démographique, et la situation hydraulique.

CHAPITRE VI
HYDROLOGIE ET LES BESOIN EN EAU

Introduction

En termes généraux, le besoin en eau d'une culture est équivalent au niveau d'évapotranspiration nécessaire à sa croissance optimale. De façon précise, le besoin en eau est défini comme le niveau d'évapotranspiration d'une culture indemne de maladie et poussant dans une parcelle d'une surface supérieure à un hectare dans des conditions optimales de sol. Ces dernières consistent en une fertilité et une humidité suffisantes pour atteindre le potentiel de production de la culture dans le milieu considéré.

L'approche de la F.A.O exprime cette quantité en fonction de l'évapotranspiration de référence (ET_o) qui traduit la demande climatique et des caractéristiques de la culture. Ces derniers dépendent de l'espèce, de la variété, de l'âge, du stade phénologique et du mode de conduite et sont représentés par un coefficient dit cultural K_c.

$$ET_c \text{ (mm)} = K_c * ET_o \text{ (mm)}$$

L'étude hydrologique : dans notre cas a pour but de déterminer les précipitations mensuelles de fréquence au dépassement de 80%.

I.Choix du type de loi

Ces critères de choix sont liés à un ajustement graphique d'abord et ensuite à un test de dispersion. L'allure des points sur du papier à probabilité permet d'accepter ou de rejeter la loi (toute sinusite, mauvaise courbure ou cassure de pente est considérée comme un mauvais ajustement). Et lorsque plusieurs d'entre elles sont adéquates les critères de choix peuvent être les suivant :

- A qualité égale, la loi qui a le moins de paramètres est à retenir.
- A qualité égale et nombre de paramètres égal, il faut comparer les estimations des deux lois.

Si ces estimations sont voisines, il faut retenir la plus simple ; si elles sont nettement différentes, il faut prendre une nouvelle loi quitte à prendre un paramètre supplémentaire. On essaie toujours d'ajuster une loi normale à un échantillon ou de se ramener à une loi normale par changement de variable. Généralement la loi de probabilité ajustable à l'échantillon est d'autant plus près à la normalité que la variable concerne une longue échelle de temps et que le coefficient de variation soit inférieur à 0,5.

I.1. Homogénéisation de la série pluviométrique

L'homogénéité est une analyse statistique de l'information aidant à une prise de décision conséquence.

Pour vérifier l'homogénéité de la série pluviométrique on procède au Test de Wilson ou test des rangs (le plus puissant des tests non paramétriques). La vérification de l'homogénéité d'une série pluviométrique par cette méthode repose sur le procédé ci-dessous :

- On divise la série complète en deux sous séries y et x tel que :

N1 et N2 représentant respectivement les tailles de ces deux sous séries, considérant généralement $N2 > N1$.

- On constitue par la suite, la série x unions y après avoir classé la série de pluie d'origine par ordre décroissant. A ce stade, on attribue à chaque valeur de la série pluviométrique classée, son rang tout en précisant à quelle sous séries appartient elle. Mr Wilcoxon montre que la série est homogène avec une probabilité de 95%, si la relation ci-après est vérifiée.

$$W_{min} < W_y < W_{max}$$

- On calcule la quantité W_y :

$$W_y = \sum_{i=1}^n \text{rang} = 153$$

W_y : Somme des rangs des sous séries.

$$W_{min} = [(N1+N2+1)*N1-1] - U1-(\alpha/2)*[(N1*N2)* (N1+N2+1)^{1/2}] / 12$$

$$W_{max} = (N1+N2+1)*N1 - W_{min}$$

$$U1-(\alpha/2) = 0,7878$$

D'où: $W_{min} = 164,59$ $164,59 < W_y < 255,41$

$$W_{max} = 255,41$$

La condition de Wilcoxon est vérifiée, donc la série des précipitations moyennes annuelle de la station de Ben Chaabene est homogène à seuil de $(1-\alpha)$ avec $\alpha=0.05$. Les données représentées dans les tableaux N° (VI-1 et VI-2) :

Tableau. VI.1 : Précipitations moyennes mensuelles en (mm) à la station de Boufarik (Période : 1985 – 2012)(Source : ANRH BLIDA)

	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Annuel
1985	0	48,4	54,3	239	63	76,5	75,1	77	42	1,5	0	26,5	703,3
1986	12,1	37,5	15	78,5	360,5	122,5	36,5	26,5	69,5	17	1,5	3	780,1
1987	137,5	79,5	202,5	75	0	146,5	29	0,5	2	4,6	0	6,5	683,6
1988	0	20	25,5	83,5	124,5	96	53	57	121,5	12,5	0	0	593,5
1989	31,5	195	33	123	103	34	217	9,1	111	0	0	0	856,9
1990	32,7	29,3	89,8	78,2	68,2	54,3	151	21,3	1,5	15,4	21,5	0	563,4
1991	58	28,6	96,8	174	127,5	150	24,5	1	25	32	1	0	718,3
1992	9	43,1	128,5	38	39,5	63,5	63	47	42,5	21,5	0	0	495,6
1993	34	42,5	32,5	203,2	42,9	24,9	24,2	96,9	6,8	10,1	0,7	3,7	522,4
1994	40,3	19,1	30,5	19,7	48,9	0	35,7	66,6	50,6	2,7	23,1	0	337,2
1995	7	53	52,2	107	53,8	99,9	47,3	27	18,5	7,1	0	1,9	474,4
1996	21,6	91,2	51,2	11,6	155	41	101	73,5	60,9	17	7,7	0	631,4
1997	15,3	68,4	140	104	17,8	127	36,2	68,6	37,9	1,2	2,1	2,5	620,4
1998	30,5	23,4	143	80,1	81,3	41,5	0,5	54,6	4,5	0	0	0	458,9
1998	79	66,2	38,9	88,4	171	39,8	107	46,8	0,2	0,1	0,2	43,2	680,4
1999	17,8	19	85,4	39,2	94,3	143	56,9	161	35,7	31,6	6,7	0,8	691,9
2000	37,7	86,2	27	34	46,8	23,6	9,4	94,8	22,3	10,3	9	33,3	434,4
2001	36,3	44,9	129	93	28,5	51,6	36,6	75,9	151	1,3	0	7,9	656,6
2002	21,8	49,4	103	81,8	121	128	86,4	47,3	1,1	1,5	0	3,6	644,8
2003	18,8	21,7	170	369	15,5	6	19,4	16,9	53,3	0,3	1,2	1	692,9
2004	4,2	46,9	73,7	40,8	126	73,3	0,4	33,5	27,1	1,2	0,1	3,3	430,2
2005	45,1	38,6	49,1	56,8	39,4	12,5	34,8	38,5	13,7	0,1	0	33,6	362,2

2006	11,5	42,9	145	102	102,8	149,4	22,2	99	60,8	0	0	0	735,3
2007	50,6	37,2	86,4	114,2	96	52,8	75,4	67,4	166	5,4	6,8	4	762,2
2008	17	36,2	101,2	150,4	81,2	117,4	61,8	42,2	3,2	0	1	0	611,6
2009	63,2	68,4	83	100	149,6	91,8	24,4	12	146,6	0,8	0	1,4	741,2
2010	40,2	22,6	42,4	161,4	10,2	45,6	146,4	95,2	19,8	17,4	6,2	1,2	608,6
2011	33,7	97,2	159,8	39,8	9,6	27,6	80,6	24	77,8	5	3,2	0	558,3
2012	19	123	95,4	140,8	142	23	64,9	70,7	33,4	0	1,7	13,6	727,5

Tableau. VI.2 : Test de WILCOXON

1	703,3	703,3	856,9	X	
2	780,1	780,1	780,1	X	
3	683,6	683,6	762,2	Y	
4	593,5	593,5	741,2	Y	
5	856,9	856,9	735,3	y	
6	563,4	563,4	727,5	y	
7	718,3	718,3	718,3	x	
8	495,6	495,6	703,3	x	
9	522,4	522,4	692,9	y	
10	337,2	337,2	691,9	y	
11	474,4	474,4	683,6	x	
12	631,4	631,4	680,4	y	
13	620,4	620,4	656,6	Y	
14	458,9	458,9	644,8	Y	
15	680,4		680,4	631,4	X
16	691,9		691,9	620,4	X
17	434,4		434,4	611,6	Y
18	656,6		656,6	608,6	Y
19	644,8		644,8	593,5	X
20	692,9		692,9	563,4	X
21	430,2		430,2	558,3	Y
22	362,2		362,2	522,4	X
23	735,3		735,3	495,6	X
24	762,2		762,2	474,4	X
25	611,6		611,6	458,9	X
26	741,2		741,2	434,4	Y
27	608,6		608,6	430,2	Y
28	558,3		558,3	362,2	Y
29	727,5		727,5	337,2	X

I.2. Ajustement à la loi de Gauss

Le procédé de calcul consiste à :

- Classer les valeurs de l'échantillon par ordre croissant.
- Affecter un numéro d'ordre aux valeurs classées.
- Calculer la fréquence expérimentale par la formule de Hazen.

$$F(x) = (n - 0.5) / N$$

Avec :

F(x) : représente la fréquence.

n : numéro d'ordre.

N : Numéro d'années observées

I.3.Calcul des caractéristiques empiriques de l'échantillon

La série des précipitations moyennes mensuelles de la station pluviométrique est donnée dans le tableau ci-après.

Pour les calculs, on a utilisé le logiciel HYDROLAB. Les résultats sont représentés dans le tableau. VI.3

Tableau. VI.3 : Ajustement à une loi de Gauss

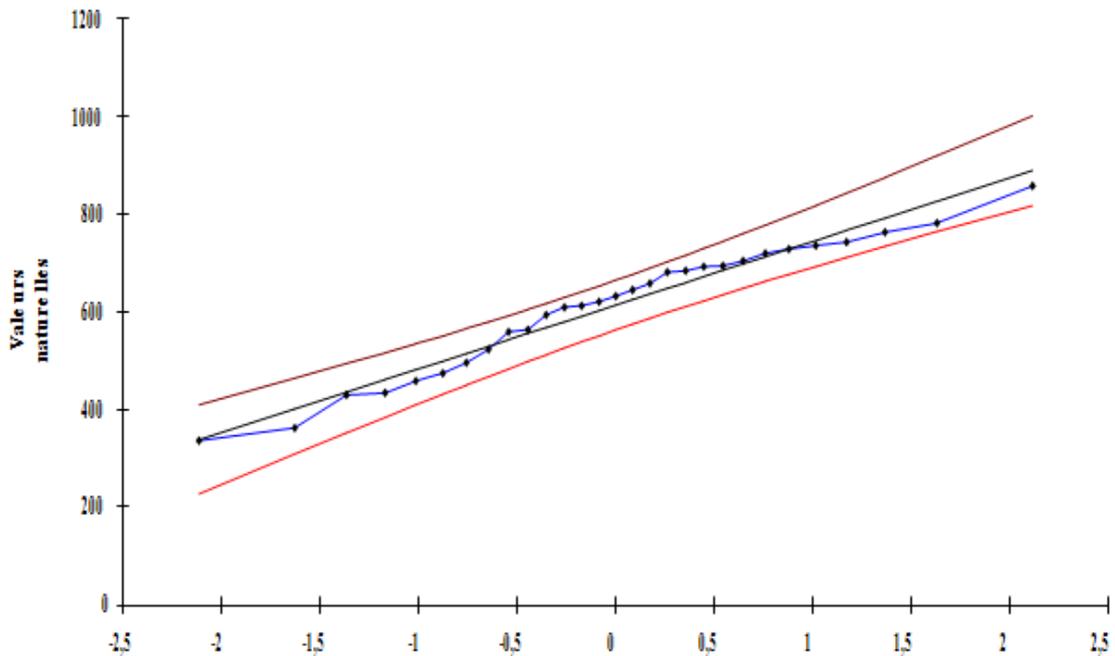
		Ajustement à une loi de Gauss						
Taille n=	29	Moyenne=	613,017241					
		Ecart-type=	130,101452	I.C. à (en%)=	95	U Gauss=	1,9604	
Valeurs de	Valeurs	Ordre de	Fréquence	Variable	Valeur	Valeur	Borne	Borne
Départ	classées	classement	expérimentale	Réduite	expérimentale	théorique	inférieure	supérieure
703,3	337,2	1	0,0172	-2,115	337,2	337,875655	227,103077	409,598331
780,1	362,2	2	0,0517	-1,629	362,2	401,11927	308,71825	463,446336
683,6	430,2	3	0,0862	-1,365	430,2	435,465622	352,377548	493,354403
593,5	434,4	4	0,1207	-1,172	434,4	460,584143	383,898311	515,635667
856,9	458,9	5	0,1552	-1,014	458,9	481,032039	409,242457	534,089414
563,4	474,4	6	0,1897	-0,879	474,4	498,65351	430,81539	550,260379
718,3	495,6	7	0,2241	-0,758	495,6	514,392745	449,843989	564,944064
495,6	522,4	8	0,2586	-0,647	522,4	528,804785	467,045773	578,611811
522,4	558,3	9	0,2931	-0,544	558,3	542,248164	482,880937	591,571377
337,2	563,4	10	0,3276	-0,446	563,4	554,971554	497,665568	604,039314
474,4	593,5	11	0,3621	-0,352	593,5	567,157783	511,629048	616,177841
631,4	608,6	12	0,3966	-0,262	608,6	578,948361	524,945927	628,115514
620,4	611,6	13	0,4310	-0,173	611,6	590,458238	537,754968	639,959787
458,9	620,4	14	0,4655	-0,086	620,4	601,785347	550,171296	651,805294
680,4	631,4	15	0,5000	0,000	631,4	613,017255	562,29468	663,739831
691,9	644,8	16	0,5345	0,086	644,8	624,249135	574,229189	675,863186
434,4	656,6	17	0,5690	0,173	656,6	635,576245	586,074696	688,279515
656,6	680,4	18	0,6034	0,262	680,4	647,086122	597,918968	701,088556
644,8	683,6	19	0,6379	0,352	683,6	658,8767	609,856641	714,405435
692,9	691,9	20	0,6724	0,446	691,9	671,062929	621,995169	728,368915
430,2	692,9	21	0,7069	0,544	692,9	683,786319	634,463105	743,153546
362,2	703,3	22	0,7414	0,647	703,3	697,229698	647,422672	758,98871
735,3	718,3	23	0,7759	0,758	718,3	711,641738	661,090419	776,190494

762,2	727,5	24	0,8103	0,879	727,5	727,380972	675,774104	795,219093
611,6	735,3	25	0,8448	1,014	735,3	745,002443	691,945069	816,792026
741,2	741,2	26	0,8793	1,172	741,2	765,45034	710,398816	842,136172
608,6	762,2	27	0,9138	1,365	762,2	790,56886	732,68008	873,656934
558,3	780,1	28	0,9483	1,629	780,1	824,915213	762,588147	917,316233
727,5	856,9	29	0,9828	2,115	856,9	888,158827	816,436152	998,931406

	Fréquence	U.Gauss	Val.théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
	0,8	0,841	722,491982	671,238579	789,282761	722,491982	0,800	5,0
	0,2	-0,841	503,5425	436,751722	554,795904	503,5425	0,200	1,3
	0,5	0,000	613,017255	562,29468	663,739831	613,017255	0,500	2,0

Test de validité de l'ajustement à la loi de Gauss

Ajustement à une loi de Gauss



(moyenne=613,02 écart-type=130,10 taille 29 et I.C. à 95%)

Figure VI.1 : Ajustement à la loi de GAUSS

I.4.Ajustement à une loi Log-normale

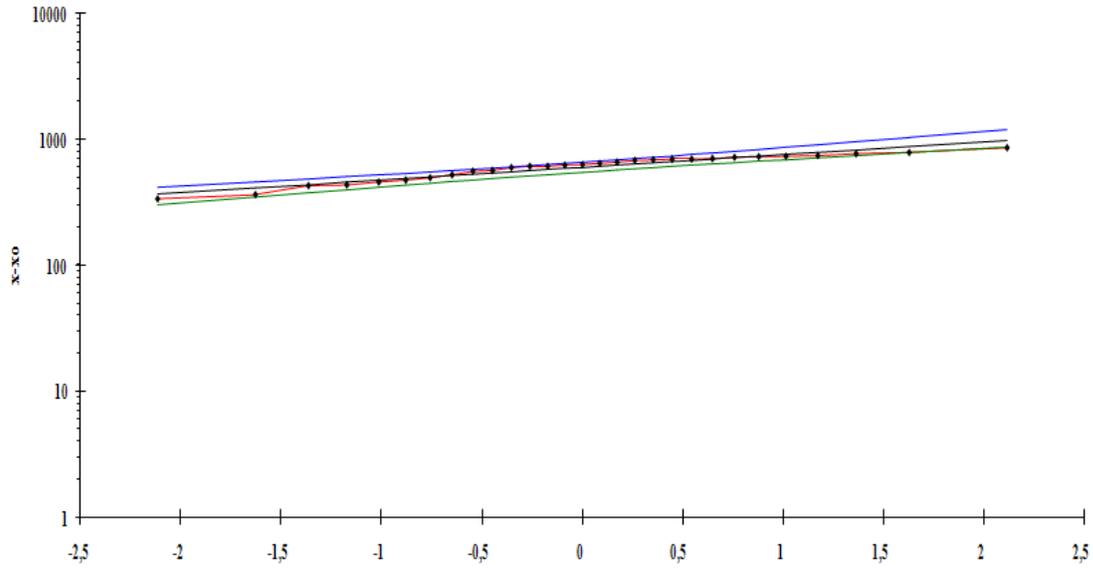
Tableau. VI.4 : Ajustement à une loi Log-normal

Ajustement à une loi Log-normale									
Taillen=	29	Moy.log(x-xo)=	2,776831359						
x _o =	0	E.T. log(x-xo)=	0,101153271			I.C. à (en%)=	95	U Gauss=	1,960
Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure	
703,3	337,2	1	0,017	-2,115	337,2	365,519	299,768	415,59863	
780,1	362,2	2	0,052	-1,629	362,2	409,338	346,929	457,6576	
683,6	430,2	3	0,086	-1,365	430,2	435,297	375,133	482,82979	

593,5	434,4	4	0,121	-1,172	434,4	455,319	396,91	502,47868
856,9	458,9	5	0,155	-1,014	458,9	472,295	415,334	519,35623
563,4	474,4	6	0,190	-0,879	474,4	487,432	431,688	534,61137
718,3	495,6	7	0,224	-0,758	495,6	501,362	446,648	548,85129
495,6	522,4	8	0,259	-0,647	522,4	514,466	460,616	562,4466
522,4	558,3	9	0,293	-0,544	558,3	526,998	473,861	575,6484
337,2	563,4	10	0,328	-0,446	563,4	539,139	486,571	588,64175
474,4	593,5	11	0,362	-0,352	593,5	551,031	498,887	601,57352
631,4	608,6	12	0,397	-0,262	608,6	562,786	510,924	614,56836
620,4	611,6	13	0,431	-0,173	611,6	574,502	522,776	627,73893
458,9	620,4	14	0,466	-0,086	620,4	586,271	534,526	641,19317
680,4	631,4	15	0,500	0,000	631,4	598,179	546,254	655,04017
691,9	644,8	16	0,534	0,086	644,8	610,329	558,051	669,41245
434,4	656,6	17	0,569	0,173	656,6	622,832	570,012	684,45898
656,6	680,4	18	0,603	0,262	680,4	635,799	582,227	700,33591
644,8	683,6	19	0,638	0,352	683,6	649,362	594,804	717,2329
692,9	691,9	20	0,672	0,446	691,9	663,684	607,871	735,38835
430,2	692,9	21	0,707	0,544	692,9	678,975	621,592	755,11262
362,2	703,3	22	0,741	0,647	703,3	695,514	636,182	776,82554
735,3	718,3	23	0,776	0,758	718,3	713,693	651,941	801,12042
762,2	727,5	24	0,810	0,879	727,5	734,089	669,306	828,8815
611,6	735,3	25	0,845	1,014	735,3	757,616	688,965	861,51987
741,2	741,2	26	0,879	1,172	741,2	785,864	712,107	901,50939
608,6	762,2	27	0,914	1,365	762,2	822,01	741,086	953,84433
558,3	780,1	28	0,948	1,629	780,1	874,14	781,847	1031,3888
727,5	856,9	29	0,983	2,115	856,9	978,932	860,971	1193,6522
	Fréquence	U de Gauss	Valeur.théo.	Borne.inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq.théo.	Pér. Ret.
	0,8	0,841	727,6917616	663,8931	820,1191939	727,692	0,800	5,0
	0,2	-0,841	491,7170409	436,3005	538,9699364	491,717	0,200	1,3
	0,5	0,000	598,1792846	546,2542	655,040172	598,179	0,500	2,0

Test de validité de l'ajustement à une loi Log-normale

Ajustement à une loi
Log-normale



($x_0=0,00$ Moy. $\log(x-x_0)=2,7768$ E.T. $\log(x-x_0)=0,1012$ $n=29$ et I.C. à 95%)

Fig . VI. 2 : Ajustement à la loi log normale

1.5. Pluviométrie moyenne mensuelle de probabilité 80%

$$P_{i80\%} = P_{\text{moy de chaque mois}} \times P_{20\%}/P_{50\%}$$

i: mois

On déduire les résultats suivants :

$$\left. \begin{array}{l} P_{\text{théoann } 20\%} = 503,54 \text{ mm} \\ P_{\text{théoann } 50\%} = 613,02 \text{ mm} \end{array} \right\} \longrightarrow P_{20\%}/P_{50\%} = 503,54/613,02 = 0,82 < 1$$

Les valeurs de $P_{i80\%}$ sont représentées dans le tableau ci-après.

Tableau. VI.5 : Pluviométrie moyenne mensuelle de probabilité 80%

mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août
$P_{20\%}/P_{50\%}$	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82
P_{moy}	31,9	54,5	85,6	104	86,9	71,2	59,3	53,5	48,5	7,5	3,23	6,59
$P_{i80\%}$	26,16	44,66	70,21	85,54	71,23	58,35	48,64	43,88	39,78	6,15	2,65	5,40

Conclusion

Dans cette partie, nous avons dégagé les principales caractéristiques statistiques de la série pluviométrique, retenue comme représentative, de la zone de projet.

Quant à l'ajustement des séries de pluies moyennes annuelles, on a utilisé le test de la loi Log-normale qui a montré un ajustement à considérer. Concernant l'ajustement des séries des pluies moyennes annuelles la loi de Gauss a été adoptée.

Les calculs manuels des expressions statistiques vont prendre plus temps, mais avec l'utilisation de l'outil informatique, on aboutit facilement aux résultats escomptés, à l'aide des logiciels tel que l'HYDROLAB, nous a permis l'élaboration des analyses statistiques les plus courantes en hydrologie.

II. Besoin en eau

Le régime d'irrigation c'est l'ensemble du nombre de doses et des dates d'arrosage qu'il faut appliquer aux cultures cultivées, au cours de toute leur période de végétation, dans le but de compenser le déficit hydrique dans la couche active du sol.

II.1. Besoins en eau des cultures

Les cultures pour se développer, puisent du sol l'eau et les éléments nutritifs. La quantité d'eau donnée à la culture n'est pas entièrement absorbée par la culture, une partie percole et se perd en profondeur.

L'eau qui constitue la plante est libérée par transpiration à travers l'appareil foliacé, le reste est évaporé par le sol. L'ensemble de ces deux actions est l'évapotranspiration. Ce phénomène conditionne et détermine les besoins en eau des cultures.

II.2. Détermination de l'évapotranspiration

L'évapotranspiration se définit comme étant le rejet global de vapeur d'eau par le sol et par les feuilles d'une plante. On distingue deux types d'évapotranspiration :

Evapotranspiration potentielle : ETP.

Evapotranspiration réelle : ETR.

- L'évapotranspiration potentielle : représente la quantité d'eau évaporée, et transpirée par une végétation qui recouvrirait totalement le sol en eau n'est pas limité.

- L'évapotranspiration réelle : représente la quantité d'eau effectivement évaporée, à un moment donné, par le sol et la végétation.

II.3. Méthodes d'évaluation de l'évapotranspiration

L'évapotranspiration potentielle est rarement mesurée à l'aide de bacs, et d'évaporomètres. Le plus souvent elle est calculée par des formules à partir des données climatiques mesurées, mais ces formules (Turc, Blaney-criddle, Penman...) ne sont pas toutes équivalentes, leur représentativité varie selon les paramètres utilisés et des régions climatiques où elles ont été établies.

Les formules, les plus utilisées en Algérie sont celles de Blaney-Criddle (U.S.A 1945), Turc (France 1960) et Penman (Angleterre 1948).

II.4. Calcul de l'évapotranspiration

II.4.1. Par la formule Penman

Le calcul se fait par le logiciel cropwat pour la détermination de l'ETP.

Tableau. VI.1. : Évapotranspiration en mm / jour

Mois	Min Temp °C	Max Temp °C	Humidité %	Wind m/s	Insolation Heurs	Radiation MJ/m ² /j	ET _o mm/j
J	7.5	15.2	74	3.0	4.4	8.3	1.69
F	7.7	16.7	70	3.1	6.0	11.9	2.33
M	9.5	19.7	71	2.9	7.1	16.0	3.07
A	11.5	20.8	66	3.1	7.7	19.5	3.94
M	14.1	24.8	65	2.8	9.7	23.9	5.02
J	17.5	28.9	61	3.0	10.1	25.0	6.09
J	19.9	32.8	60	3.2	11.3	26.4	7.05
A	21.5	33.6	57	3.1	10.6	24.1	6.83
S	19.2	30.2	66	2.5	9.3	19.8	4.81
O	15.0	24.7	69	2.3	7.1	14.0	3.08
N	11.7	19.8	71	2.5	5.3	9.6	2.07
D	9.0	16.7	73	3.7	4.1	7.4	1.91

Tableau. VI.2. : Pluies efficace en mm

Mois	P	P-EFF
	Mm	Mm
J	71.2	63.1
F	58.4	52.9
M	48.6	44.9
A	43.9	40.8
M	39.8	37.2
J	6.2	6.1
J	2.6	2.6
A	5.4	5.4
S	26.2	25.1
O	44.7	41.5
N	70.2	62.3
D	85.5	73.8
Total	502.6	455.7

II.4.2. Calcul des besoins en eau d'irrigation pour les cultures d'assolement

Les besoins théoriques mensuels sont déterminés par le bilan hydrique

$$B = ETP - (Pe_{eff} + RFU)$$

B : besoin en eau d'irrigation (mm).

E.T.P : évapotranspiration (mm / jour).

RFU : réserve facilement utilisable.

$$RFU = Y (Hcc - Hpf).Da.Z.$$

Y : degré de tarissement.

Da : densité apparente.

Z : profondeur d'enracinement (mm).

Hcc : humidité à la capacité au champ.

Hpf : humidité au point de flétrissement.

Peff : pluie efficace.

$$Peff = A.pluie ;$$

où : A = 0,8 à 0,9 (pour notre cas on a prendre A = 0,8).

L'irrigation se fait lorsque B > 0,

$$Hcc = 35\% \quad da = 2/3$$

Hpf=17% dont Z =1,2 (pour les arboricultures) et Z = 0,8 (pour les cultures industrielles).

Pour notre travail, on a utilisé le logiciel cropwat, les résultats de calcul pour les différentes cultures sont représentés ci-après.

II.4.3 Besoins en eau de figuier

Tableau. VI.3 : Besoins en eau de figuier

Mois	Coef Kc	ETP	ETM	RFU	Peff	Besoin d'irri mm/mois
		mm/mois	mm/mois	mm/mois	mm	
Sept	0,82	144,3	118,33	0	25,1	93,23
Oct		92,4	0	25,1	41,5	0,00
Nov		62,1	0	66,9	62,3	0,00
Déc		57,3	0	129,2	73,8	0,00
Jan		50,7	0	144	63,1	0,00
Fév		69,9	0	144	52,9	0,00
Mars		92,1	0	144	44,9	0,00
Avril	0,3	118,2	35,46	144	40,8	0,00
Mai	0,41	150,6	62,25	122,55	37,2	0,00
Juin	0,6	182,7	109,62	0	6,1	103,52
Juil	0,62	211,5	131,13	0	2,6	128,53
Août	0,41	204,9	84,70	0	5,4	79,30

II.4.4. Besoins en eau de PECHE

Tableau. VI.4 : Besoins en eau de PECHE

Mois	Coef Kc	ETP	ETM	RFU	Peff	Besoin d'irri
		mm/mois	mm/mois	mm/mois	mm	mm/mois
Sept	0,5	144,3	72,15	0,00	25,1	47,05
Oct	0,46	92,4	42,96	0,00	41,5	1,46
Nov	0,4	62,1	24,84	16,66	62,3	0,00
Déc	0,38	57,3	21,50	57,46	73,8	0,00
Jan	0,31	50,7	15,72	115,55	63,1	0,00
Fév	0,28	69,9	19,57	144,00	52,9	0,00
Mars	0,41	92,1	38,07	144,00	44,9	0,00
Avril	0,5	118,2	59,10	129,80	40,8	0,00
Mai	0,72	150,6	108,93	61,67	37,2	10,07
Juin	0,8	182,7	146,16	0	6,1	140,06
Juil	1,03	211,5	218,55	0	2,6	215,95
Août	0,83	204,9	169,38	0	5,4	163,98

II.4.5. Besoins mensuel en eau d'irrigation des cultures

Tableau. VI.5 : Détermination des besoins en eau des cultures en mm

Cul ture	Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
	Figuier	93,23										103,5	128,53
Pêche	47,05	1,46								10,07	140,1	215,95	163,98
mensuels	140,28	1,46	0	10,07	243,6	344,48	249,28						

Tableau VI.6 Besoins annuels en m³

Cultures	Besoins annuels	Superficies occupées	Besoins annuels
	(mm)	(ha)	(m ³)
Figuier	404,5	90,0	40
r	8	1	458
Pêche	578,5	76,4	115
	7	7	714
Total	983.16	166	15617
		.47	2

II.4.6. Le volume fourni par la STEP

La STEP fournit un volume annuel de 20 997 720 m³, alors que le besoin total de notre secteur est de 156172 m³ en moyen annuel.

Donc, on remarque que la STEP est capable de satisfaire les besoins de notre périmètre.

II.4.7. Calcul du débit maximum journalier (débit spécifique)

Dans notre cas, le débit maximum journalier est le débit caractéristique. Il est calculé par la formule suivante :

$$Q_{car} = q_s \times S$$

Avec :

q_s : débit spécifique du mois de pointe en (l/s/ha).

S : la superficie totales à irriguer = 500 ha.

Le mois de pointe est le mois de juillet, et les besoins de pointe sont de :

344,48 mm. Le débit spécifique q_s est très important (le réseau soit surdimensionné)

$q_s = 4,39$ l/s/ha > 1,5 l/s/ha, on choisira dans ce cas le débit spécifique de la culture la plus

exigeante. La culture la plus exigeante c'est Tournesol en au mois de juillet

($B_{net} = 215,95$ mm.)

$$Q_{car} = B_{net} * 10 * 1000 (K \cdot N_h \cdot n_j \cdot 3600)$$

Avec : - B_{pointe} : Besoins de pointe (mm/mois).

- q_s : Débit spécifique (l/s/ha).

- K : Coefficient d'efficience globale du système d'irrigation ($k = 0,75$).

- N_h : nombre des heures d'irrigation = 20 h.

- n_j : nombre de jours par mois = 26 jours.

Dans notre région d'étude :

Le débit spécifique : $q_s = 1,14$ l/s/ha. Il est inférieur à 1,5

l/s/ha. Donc le choix reste valable.

$$q_s = 1,14 \text{ l/s/ha.}$$

$$Q_{\text{car}} = q_s \times s \Rightarrow 1.14 * 500 = 570 \text{ l/s}$$

$$\Rightarrow Q_{\text{car}} = 0.57 \text{ m}^3/\text{s}$$

D'après le tableau. VI.5, le mois de pointe est le mois de juillet avec une valeur :

$$B_p = 215,95 \text{ mm/mois}$$

Conclusion

Ce chapitre est destiné pour la détermination des besoins en eau des cultures de l'assolement, pour cela nous sommes passés par une étude hydrologique qui nous a permis de déterminer l'année de calcul et les besoins en eau des cultures.

CHAPITRE VII

Réutilisations des eaux usées traité dans le périmètre BENCHAABANE (Dimensionnement du système d'irrigation)

Introduction

L'exploitation des eaux usées traitées de la station d'épuration BOUFARIK pour l'irrigation du périmètre de BENCHAAABANE sera appliquée à partir l'année 2025. Ou la qualité de ces eaux doit répondre aux exigences établis par OMS et les normes Algériennes. Les systèmes d'irrigation appliqués dans le périmètre BENCHAAABANE, dans le cas de l'irrigation par EUT, sont l'irrigation localisée (goutte à goutte) et par aspersion (l'irrigation de surface est fortement déconseillée dans ce cas afin de minimiser les risques sanitaires liés au contact direct des humains avec l'eau).

I. Le choix de la technique d'irrigation

Le choix du système d'irrigation reste toujours un critère de la réussite de l'investissement. Un système d'irrigation mal choisi peut entraîner des pertes économiques très graves. C'est pour ça qu'on doit le prendre en considération. Le choix de l'irrigation localisée est très coûteux, mais leur utilisation fait économiser l'eau pour les régions où elle manque. Pour un investissement de long terme, l'irrigation localisée demeure un bon, voire le meilleur choix pour avoir une grande productivité et pour que l'investissement soit rentable.

I.1 L'irrigation localisée

Sur le plan international, différents termes sont utilisés pour désigner cette technique d'irrigation :

Micro-irrigation : terme choisi par CIID (Téhéran 1976) en référence au débit utilisé qui, contrairement aux deux autres techniques plus anciennes, aspersion et irrigation de surface, sont très faibles.

Irrigation goutte à goutte : terme utilisé par certains auteurs en référence à :

L'utilisation d'un type particulier de distributeurs : le goutteur.

Irrigation localisée : terme choisi par l'Organisation mondiale pour l'alimentation et l'agriculture (FAO, OAA, 1976) en raison des apports d'eau effectués au voisinage immédiat des plantes.

L'irrigation localisée a été définie comme une nouvelle méthode d'irrigation qui comprend tous les systèmes caractérisés par un réseau de distribution à la parcelle fixe et sous pression permettant les apports continus ou fréquents en des endroits déterminés par rapport au dispositif culturel de telle façon que l'infiltration ne se fasse que sur une fraction réduite de la surface du sol (MADR, 1994). Le goutte à goutte permet une économie de l'eau (50% à 70% par rapport au gravitaire et de 30% par rapport à l'aspersion) (MADR, 1994).

I.2 Principe de fonctionnement

L'irrigation goutte à goutte représente une conception nouvelle de l'apport d'eau au sol. Celle-ci est appliquée localement, ponctuellement, dans le volume de sol occupé par les racines. Elle est dispensée en petites quantités mais à des intervalles de temps très rapprochés de quelques heures à un jour. Il se forme de cette manière, sous l'impact des gouttes, un bulbe humide où l'humidité du sol se maintient proche de la capacité de rétention.

On considère que la quantité d'eau versée dans ce bulbe doit être juste égale à celle consommée par l'arbre pour son développement et sa production.

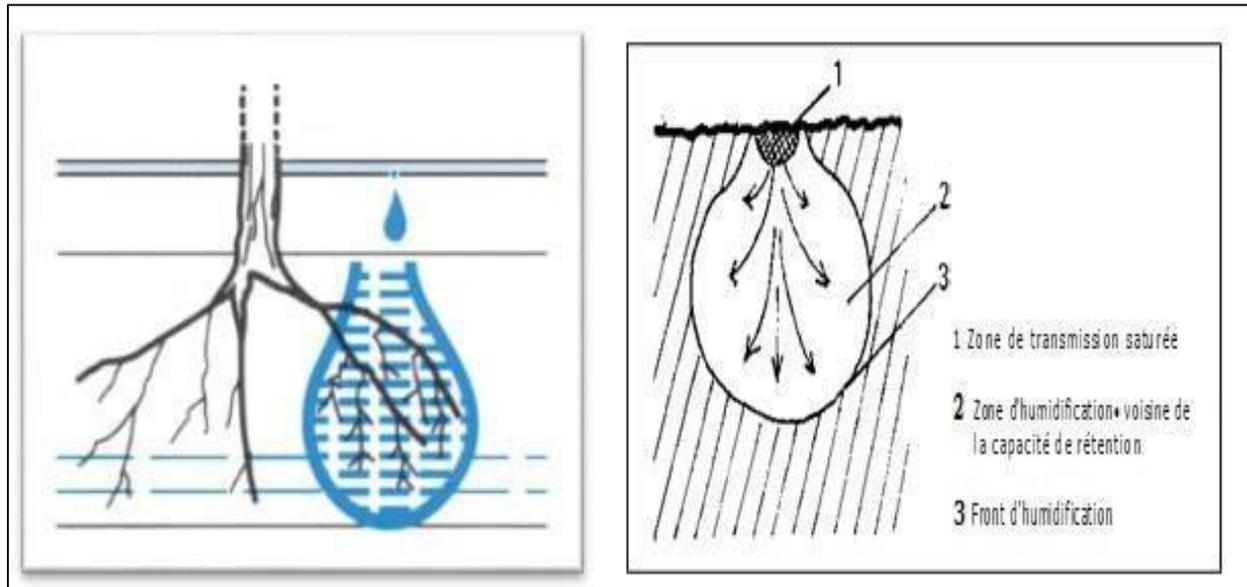


Figure VII. 1: Schéma de principe de la micro-irrigation: apporter l'eau directement aux racines (MADR, 1994).

I.3 Les composantes d'une installation d'irrigation localisée

Une installation ou réseau localisée comprend de l'amont vers l'aval les éléments suivants :

L'unité de pompage ;

La station de tête ;

Des canalisations de transport (canalisations principales et secondaires) en tête des

Postes d'arrosage ;

Une ou des canalisations d'alimentation des rampes (les portes rampes) ;

Des canalisations d'alimentation des distributeurs (les rampes) ;

Les distributeurs (goutteur).

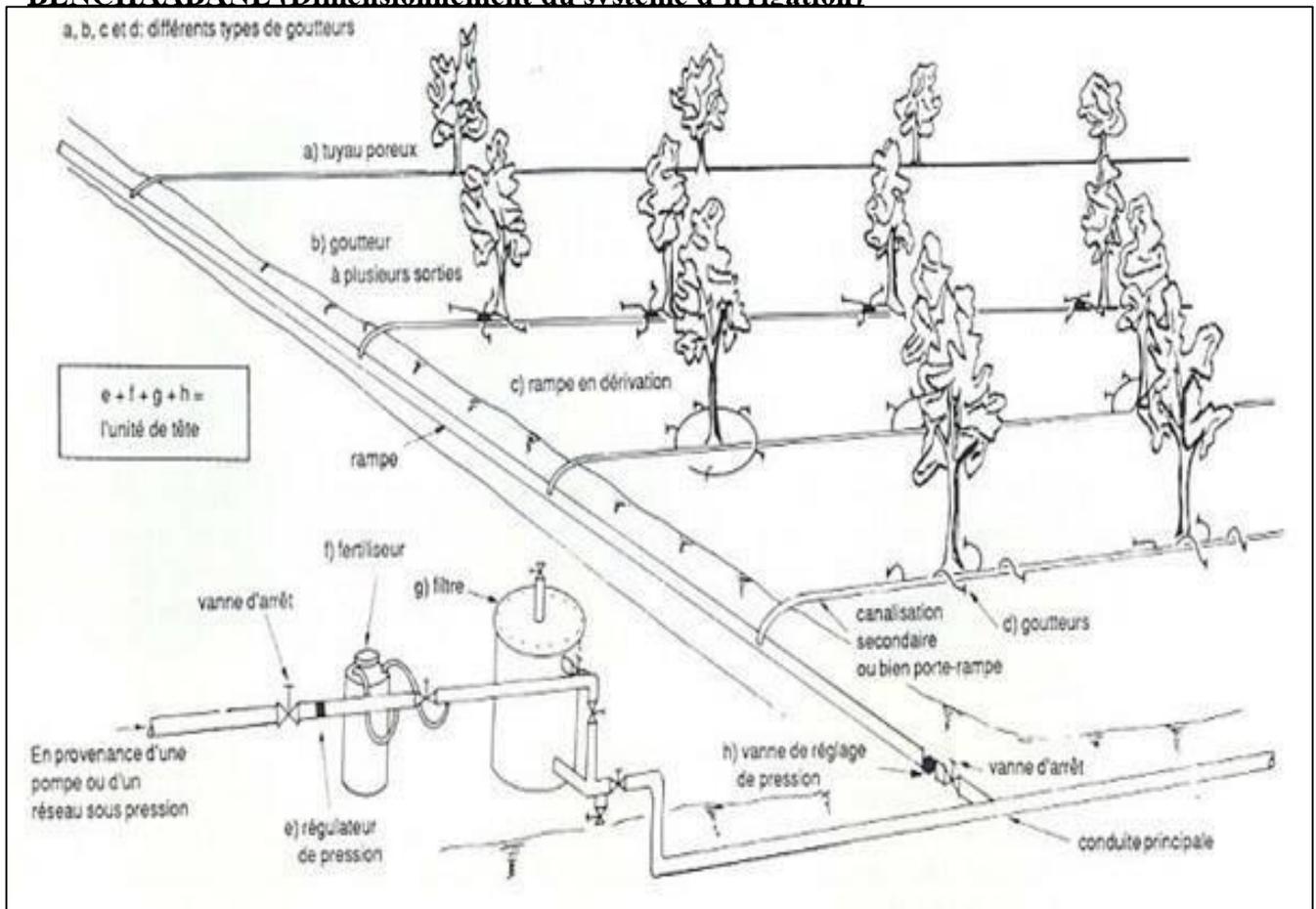


Figure VII.2: Système d'irrigation en goutte à goutte (FAO, 1983)

I.3.1 Point de fourniture d'eau

Une crépine filtrante peut être nécessaire si la ressource en eau, constituée par un petit barrage (lac collinaire) ou un cours d'eau, contient de la matière organique ou des particules en suspension, mais non si elle est relativement propre.

I.3.2 L'unité de tête

Reliée au point de fourniture d'eau elle permet de réguler la pression et le débit, de filtrer l'eau et d'y introduire des éléments fertilisants. Parfois, des régulateurs de pression et des filtres secondaires sont placés en tête des portes rampes ou même des rampes. Pour introduire des éléments fertilisants, on utilise le plus souvent un réservoir que l'on remplit d'engrais solubles (généralement l'azote) : c'est un petit récipient sous pression avec une entrée et une sortie. Une fraction du débit est dérivée de la conduite principale, envoyée dans le réservoir, s'y enrichit en engrais puis est réinjectée dans la conduite principale. Le filtre à sable (ou à gravier), avec vannes permet un nettoyage par contre-courant. Quand l'eau contient beaucoup de sable, on doit installer des filtres spéciaux, appelés dessaleurs, qui fonctionnent suivant le principe au vortex.

I.3.3 Description des conduites et rampes

Le système d'irrigation est composé de canalisations suivantes :

La conduite principale :

C'est la conduite qui relie au point de fourniture d'eau les divers porte-rampes. Elle peut être en amiante ciment, en PVC rigide ou en acier galvanisé. Pour les petites installations, du polyéthylène haute densité peut également être utilisé.

Le porte-rampes :

C'est la conduite qui alimente les rampes d'un seul côté ou des deux côtés. Ils peuvent être soit en polyéthylène moyenne densité (PE), soit en chlorure de polyvinyle rigide (PVC).

Les rampes :

Ce sont les conduites qui généralement en PEBD (polyéthylène basse densité), et sont équipés de distributeurs. Les distributeurs y sont fixés avec un espacement prédéterminé.

Les distributeurs :

Les distributeurs constituent la partie essentielle de l'installation. C'est à partir d'eux que l'eau sort, à la pression atmosphérique, en débits faibles et réguliers (entre 1 et 8 l/h). Il existe de nombreux types différents, des ajutages ou des mini diffuseurs dont le débit est un peu plus important (quelques dizaines de l/h).

I.3.4 Différents types de distributeurs d'un goutteur

Goutteurs :

Les plus utilisés ont des débits de 2 l/h pour les cultures maraîchères et de 4 l/h pour les cultures arboricoles. Ils sont placés en dérivation, en ligne ou intégrés dans les rampes.

Gainé : Destinée aux cultures maraîchères, peut être utilisée pour les vergers ; elles assurent conjointement un rôle de transport et de distributeur.

Tubes poreux : La paroi à structure poreuse laisse passer l'eau, ils sont généralement enterrés.

Mini diffuseurs : Ils sont toujours placés en dérivation, fixés directement sur la rampe, fonctionnent comme de petits asperseurs statiques ne couvrant qu'une partie de la surface du sol au voisinage des cultures.

I.1.4 Recommandation pour l'utilisation des eaux usées dans le cas de l'irrigation localisée

Le risque majeur de cette technique est la sensibilité au colmatage et l'uniformité d'arrosage à la parcelle.

Afin de minimiser ce risque, il est important d'adopter les dispositions suivantes :

Au niveau du distributeur :

Les distributeurs doivent avoir un diamètre égal ou supérieur à 1 mm. Les pressions élevées réduisent le pourcentage de colmatage dans la plupart des goutteurs et micro jets et en particulier ceux à faible diamètre.

Au niveau du filtre à sable :

Le nettoyage du filtre à sable doit s'effectuer lorsque la différence de pression entre l'amont et l'aval du filtre atteint 0,8 à 1 bar.

Au niveau de l'entretien :

CHAPITRE VII Réutilisations des eaux usées traité dans le périmètre BENCHAAABANE (Dimensionnement du système d'irrigation)

Les rampes doivent être purgées régulièrement à une fréquence minimale hebdomadaire afin d'évacuer les particules qui se déposent sur le fond et aux extrémités.

I.1.5 Les Avantages et inconvénients de l'irrigation localisée

Avantages et inconvénients de goutte à goutte sont :

Tableau VII.1: Avantages et inconvénients de goutte à goutte

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">- Précision de l'apport en eau- Réduction des pertes par évaporation- Efficacité du réseau- Diminution des mauvaises herbes- Equilibrage du rapport air – eau- Application intégrée d'eau et l'éléments nutritifs – fertigation- Autonomisation- Adaptation aux conditions topographiques et édaphiques difficiles- Pas d'interférence avec les autres activités agricoles- Insensibilité au vent- Diminution du fungus des feuilles et maladies des fruits- Pas de brûlure des feuilles	<ul style="list-style-type: none">- Risques d'obstruction des émetteurs- Coûts initiaux élevés- Accumulation de sel à la surface du sol- Exposition des tuyaux et goutteurs aux dégâts (animaux)- Influence négligeable sur le microclimat- Limitation du volume des racines-

II.Travaux et aménagements recommandés

II.1. Les amendements organiques

Leur pauvreté en matière organique, les sols du périmètre de Ben Khellil sont de texture généralement fine, riche à moyennement riche en calcaire (total et actif) et à PH légèrement alcalin à alcalin, il est recommandé par conséquent d'envisager des amendements organiques ,soit par la pratique des engrais verts en tête d'assolement ou des prairies artificielles, temporaires pendant les premières années de mise en valeur sinon, il faut prévoir des apports de fumier naturel en grande quantité , ce dernier étant peu disponible dans la zone.

II.2 La fertilisation

Comme le montre les résultats d'analyses, les sols sont en générale, pauvres en éléments fertilisants, ils conviennent d'envisager des apports en fonction des besoins des espèces cultivées et de leur cycle végétatif. Ces apports serviront d'une part à redresser la fertilité du sol et d'autre part à restituer au sol les éléments fertilisants exportés par les récoltes et ceci afin de maintenir à un niveau acceptable la fertilité du sol.

CHAPITRE VII Réutilisations des eaux usées traité dans le périmètre BENCHAAABANE (Dimensionnement du système d'irrigation)

II.3. Les brise vents

L'installation d'un réseau de brise vent composé d'espèces bien adaptées à la région, et bien orienté permet de protéger les cultures contre les effets néfastes des vents surtout les vents secs et chauds.

III. Le dimensionnement à la parcelle du réseau goutte à goutte Données générales

Culture : figuier

Espacement entre arbres : 5m

Espacement entre arbres rangs : 5m

Caractéristique de goutteur

Débit nominale : 4l/h Pression nominale : 10mce

Espacement des goutteurs : 1m

Besoin en eau journaliers : 7,32 mm/j

Caractéristique des données de bases

La superficie de cette parcelle est de 15 ha (L = 500 m, l = 300 m), on partage cet îlot en huit postes de dimensions 1,875ha (L = 150, l = 125)

Temps maximum journaliers de travail : 8 h / 24 h.

IV. Besoins d'irrigation des cultures en irrigation localisée

IV.1. Influence du taux de couverture du sol

Principalement l'irrigation localisée pour les cultures en ligne où une partie seulement de la surface est occupée par les plantes ; donc les chiffres des besoins en eau déterminés par les méthodes ou toute la surface est considérée à irriguée doivent être multipliés par un coefficient de réduction « K_r » dépendant du taux de couverture « C_r ».

Le coefficient K_r est donné par plusieurs formules comme :

La formule de Keller et Karmeli (1974) :

$$K_r = \frac{C_s}{0,85}$$

La formule de Freeman et garzoli :

$$K_r = C_s \cdot 0,51 C_s$$

La formule de Decroix (CTGREF) :

$$K_r = 0,1 C_s$$

Pour notre cas on considère un taux de couverture égale à 60% (pour les arbres adultes) donc :

$K_r = 0,71$ Selon Keller et Karmeli ;

CHAPITRE VII Réutilisations des eaux usées traité dans le périmètre BENCHAAABANE (Dimensionnement du système d'irrigation)

K_r 0.80 Selon Freeman et Garzoli ;

K_r 0.70 Selon Decroix (CTGREF).

On prend le ($K_r = 0.71$),

Irrigation traditionnelle demanderait pour le mois de pointe et m $M_{\text{pointe}} = 7,32$ mm/jour

(Tableau des besoins en eau)

En irrigation localisée les besoins se réduisent à :

$$ETM_r = ETM_{\text{pointe}} * K_r$$

$$ETM_r = 7.32 * 0,71 = 5.2 \text{ mm}$$

IV.2 Réserve facilement utilisable RFU

$$RFU = (H_{cc} - H_{pf}) * Z * P / 100 = RFU$$

Avec :

H_{cc} = humidité volumique du sol à la capacité aux champs.

H_{pf} = humidité volumique du sol au point de flétrissement.

Z = profondeur du sol considéré (zone raculaire) en m.

P = volume du sol humidifié exprimé en pourcentage du volume total.

P est donné par la relation suivante :

$$P = (n * Spd * Sh) / (Sa * Sr)$$

n : Nombre de pointe de distribution par arbre.

Spd : Distance entre deux points de distribution voisins du même arbre.

Sh : Largeur de la bande humidifiée.

Sr : Ecartement entre rangs d'arbre.

Sa : Espacement des arbres sur les rangs. $P\%$: Pourcentage du sol humidifié.

$Z = 1,2$ m pour les Figier ; Z : profondeur d'enracinement(Annexe 03)

Donc : $RU = 317,52$ mm

$$H_{cc} = 35 \% \quad da = 1,47$$

$$H_{pf} = 17 \%$$

$$Y = 2/3$$

; Y : degré de tarissement admis.

$$RFU = 2/3 * 317,52 = 211,68 \text{ mm.}$$

IV.3. Dose nette

$$D_{\text{nette}} = RFU * P = 211,68 * 0,32 = 67,74 \text{ mm}$$

IV.4. Dose brute

CHAPITRE VII Réutilisations des eaux usées traité dans le périmètre BENCHAAABANE (Dimensionnement du système d'irrigation)

C'est le volume d'eau d'irrigation nécessaire en pratique D_{nette} et D_{brute} sont liées par l'équation suivante la dose brute d'arrosage dépend en fait de l'uniformité de l'irrigation et de l'efficience du réseau.

$$D_{brute} = \frac{D_{nette}}{C_u} * C_{eff}$$

$$D_{brute} = 67.74 / (0.9 * 0.9) = 83.63 \text{ mm}$$

Avec :

C_u : coefficient d'uniformité : $C_u = 90 \%$.

C_{eff} : coefficient efficience du réseau d'irrigation : $C_{eff} = 90 \%$.

IV.5. Fréquence d'arrosage

La fréquence ou espacement entre deux arrosages. Cette valeur dépend de la transpiration journalière moyenne dans la période de pointe des cultures et de la dose appliquée à chaque arrosage.

$$F = D_{nette} / ETM = 83.63 / 5.2 = 16.08$$

Donc, on prend $f = 17$ jours et on corrige la dose d'irrigation :

$$D_{nette} = f * ETM_r = 17 * 5.2 = 88.4 \text{ mm}$$

IV.6. La durée d'arrosage

$$t = \frac{D_{brute} * E_g * E_r}{q_g} = \frac{83.63 * 1 * 5}{8} = 52.27 \text{ heures}$$

$$t : \text{Irrigation} / \text{jour} = \frac{53}{8} = 6.625 \text{ heures}$$

Ecartement des lignes : $E = 5\text{m}$. On a le choix entre différents goutteurs de débits varie

$$q = (1 : 2 : 4 : 6 : 8) \text{ l/h.}$$

IV.7. Choix des goutteurs dans la zone d'étude et la densité des cultures

- Pour nos cultures en utilise généralement 2 goutteurs de débits de 4 l/s.
- Pour chaque poste on doit déterminer les paramètres de calcul.
- Lorsque tous les postes ont les mêmes surfaces, on fait les calculs pour un seul secteur.
- La longueur de la rampe : $L_{poste} \quad L_r = 125 \text{ m}$.
- La longueur de la conduite principale : 380m .

CHAPITRE VII Réutilisations des eaux usées traité dans le périmètre BENCHAAABANE (Dimensionnement du système d'irrigation)

- La longueur de la porte rampe 150m

IV.8. Le nombre des rampes

$$N_{rampe} = 300/50 = 30 \text{ rampes}$$

L_{pr} : Longueur de la porte rampe

IV.9. Le nombre d'arbre par rampe

$$N_{arbres / rampe} = 125/5 = 25$$

Et le nombre d'arbre par poste :

$$N_{arbres/poste} = N_{arbres/rampe} \cdot N_{rampe} = 25 \cdot 30 = 750 \text{ arbres.}$$

Remarque : Les valeurs sont calculées pour un seul poste de surface 1,875 ha. Le tableau ci- après donne les résultats pour un ilot d'une surface de 15 ha.

Tableau VII-2 Caractéristiques générales du réseau localisé

Poste	Superficie		Rampe		Nombre	Nombre de
	Ha	Nombre	Longueur			
I, II, III, IV, V, VI, VII et VIII	1,875	30	125		750	1500
Total	15	240	-		6000	12000

IV.10. Débit de la rampe et le diamètre

Le Débit

$$Q_r = N_g \cdot Q_g \quad \text{ou} \quad Q_r = N_{arbres/rampe} \cdot 2 \cdot Q_g$$

Avec :

$N_{arbre/rampe}$: nombre des arbres dans un rampe et 2 c'est deux goutteurs pour chaque arbre. Q_g : débit de goutteurs égale 4 l/h.

$$Q_r = 25 \cdot 2 \cdot 4 = 200 \text{ l/h}$$

Le diamètre

Le diamètre est calculé d'après la formule suivante. On propose que les rampes en PEHD.

$$\varnothing \text{ (cal)} = (P.d.c(r) \cdot 2,75 / 0,478 Q(r) \cdot L(r))^{1/4.75}$$

Avec :

P.d.c (r) : La perte de charge dans la rampe ;

CHAPITRE VII Réutilisations des eaux usées traité dans le périmètre BENCHAAABANE (Dimensionnement du système d'irrigation)

Q(r) : Le débit de la rampe en l/h ;

L(r) : La longueur de la rampe en m

La perte de charge

La perte de charge est déterminée après le choix du diamètre par la formule suivante :

$$J_r = Q^{1.75} * L_r (0.478 / 2.75) * D_r^{4.75}$$

D'où :

J = Perte de charge en m ;

D = Diamètre en mm

Q = Le débit en l / h ; L = Longueur en m.

IV.11. Débit de la porte rampe

Débit du porte-rampe

Le débit d'un porte- rampe est calculé par la relation : $Q_{PR} = Q_R \cdot N_R$

Avec :

Q_{PR} = Débit du porte rampe en l / h ; N_R = Nombre de rampes ;

Q_R = Débit d'une rampe en l / h.

Le diamètre

Le diamètre du porte rampe est calculé par la formule ci-dessous

On propose que les porte-rampes en PEHD.

$$\varnothing (\text{cal}) = (P.d.c (\text{pr}) 2,75 / 0,478 Q(\text{pr}) L(\text{pr}))^{1/4.75}$$

La perte de charge

Elle est calculée après avoir déterminé le diamètre par la formule suivante :

$$J_r = Q^{1.75} * L_r (0.478 / 2.75) * D_r^{4.75}$$

Les résultats de calcul des différents postes sont représentés dans le tableau.

Tableau. VII.3 : Caractéristiques générales du réseau localisé

Rampe						Porte-rampe					
L (m)	Q (l/h)	D _{cal} (mm)	D _N (mm)	V (m/s)	J (mce)	L (m)	Q (l/h)	D _{cal} (mm)	D _N (mm)	V	J (m/s) (mce)
125	200	12.95	16	0.276	0.44	150	6000	51	50		

IV.12. La conduite principale

Le débit

CHAPITRE VII Réutilisations des eaux usées traité dans le périmètre BENCHAAABANE (Dimensionnement du système d'irrigation)

Le débit de la conduite principale est calculé par la formule :

$$Q_{c.p} = N_G \cdot Q_G$$

D'où :

N_G : nombre des gouteurs totale

Q_G : Débit d'un goutteur en l/h

Donc : $Q_{c.p} = 4 * 12000 = 48000 \text{ l/h.}$

La longueur

On a : $L_{C.P} = 380 \text{ m}$

Le diamètre

D'après la formule de « Bonin » le diamètre de la conduite principale est :

$$\varnothing = \sqrt[3]{Q}$$

Q ; débit en m^3/s

$$\varnothing = \sqrt[3]{1,33 \cdot 10^{-2}} = 115 \text{ mm.}$$

On choisit un diamètre commercialisable de **125 mm**.

La perte de charge

La perte de charge de la conduite principale $P.d.c = 1,13\text{m.c.e.}$

La vitesse :

La vitesse dans la canalisation principale est donnée par :

$$Q = V.S$$

$$V = Q/S \quad ; \quad S = \pi D^2/4$$

$$V = 1,09 \text{ m/s} \quad (0.8 \leq V \leq 1.2) . \quad \text{Acceptable}$$

IV.13. La pression en tête de l'installation

Elle est calculée à partir du point le plus défavorable (figure VII-3)

$$P = P_G + J(R) + J_{AB}(PR) + P_{Fi} + J_{tot}$$

Avec :

P_{Fi} : la perte de charge dans le filtre ($P_{Fi} = 2 \text{ mce}$)

D'ou :

P = Pression en tête de l'installation en m ; P_G = Pression d'un goutteur = 1 bar ;

$J(R)$ = perte de charge dans la rampe en m ;

CHAPITRE VII Réutilisations des eaux usées traité dans le périmètre BENCHAAABANE (Dimensionnement du système d'irrigation)

J_{AB} (PR) = Perte de charge dans le porte-rampe ; P_{Fi} : la perte de charge dans le filtre ;

J_{tot} = Perte de charge totale ;

$$J_{tot} = (1.1 \div 1.15) * J_{lin}.$$

J_{lin} = Perte de charge linéaire en m ; tel que : $J_{lin} = J_{BF}$ (CP) + J_{FE}

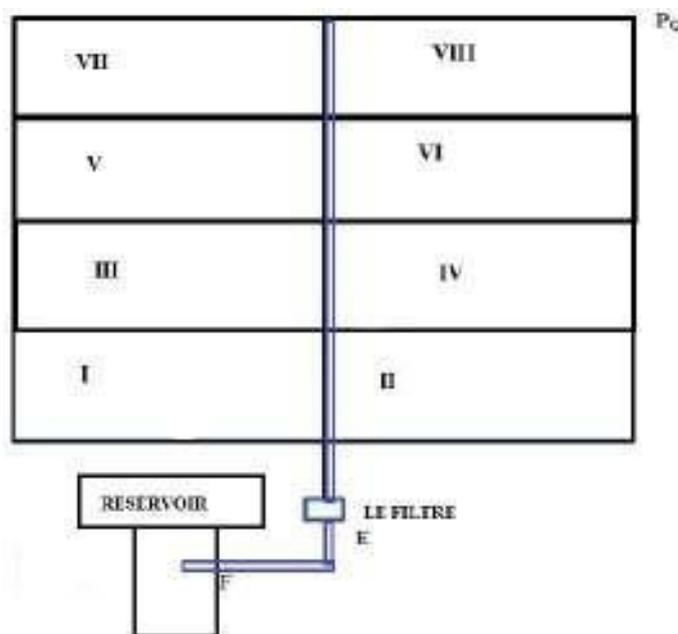
Telque :

J_{BF} (CP) = Perte de charge dans la conduite principale en m ;

AN:

$$P = 10 + 0,44 + 0,66 + 1,2 (1,13 + 0,015) + 2 = \mathbf{14,47 \text{ m}}$$

Figure VII.3: Plaine d'irrigation



Conclusion

Le choix de ce système a été évident vu ces nombreux avantages cités dans le chapitre, économiser l'eau d'irrigation, et aussi d'améliorer les rendements des cultures. L'excellente qualité des eaux épurées provenant du traitement par rayonnement UV permet de minimiser au maximum le risque de colmatage des goutteurs et aussi d'élargir le domaine de culture irrigable par ces eaux.

La façon de distribuer l'eau aux plantes, la durée d'arrosage, la fréquence, le débit nécessaire, représente le calcul de base d'un réseau d'irrigation localisée pour un îlot.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Face à la surexploitation et la pénurie des ressources en eau, plusieurs solutions sont envisagées afin de les préserver, à savoir la valorisation des eaux usées en irrigation des cultures et des espaces verts.

Il est reconnu et accepté que l'irrigation des plantes par les eaux usées donne des résultats mieux que ceux obtenus par une irrigation par les eaux de la nappe, et ne nécessite pas l'ajout d'engrais, vu que ces eaux contiennent ce dont la plante a besoin en élément fertilisants.

Cependant, l'utilisation des eaux usées peuvent causer de graves problèmes pour l'environnement et pour la santé publique, c'est dans ce cadre que les scientifiques et les chercheurs ont mené des expériences pour produire une eau pure qui répond aux normes de l'irrigation des cultures où tout simplement aux normes de rejets dans la nature.

Pour traiter l'eau il y a plusieurs types de procédés d'épuration. Le rendement diffère d'un procédé à un autre. A la station d'épuration BENCHAAABANE à BOUFARIK, le traitement des eaux se fait selon un traitement primaire qui consiste en une décantation des matières solides selon la gravité, ensuite ces eaux sont infiltrées dans des bassins de sable et enfin elles subissent un traitement tertiaire par des Ozonation qui éradient les microorganismes.

Le traitement par Ozonation est sûr et inoffensif ni pour l'homme, ni pour l'environnement et la faune, et garantit des résultats satisfaisants, sans sous-produits chimiques. Elle permet d'obtenir des taux d'abattement qu'on a le droit d'attendre pour un usage sécuritaire.

L'Algérie passe par un stress hydrique, alors il faut impérativement que les eaux usées épurées de la station d'épuration de BEN CHAABANE aient une qualité favorable pour les utiliser dans le domaine agricole (l'irrigation), surtout que la station est située au cœur de vastes terrains agricoles.

Références bibliographique

Alain, MAUREL. 1993. *technique de l'ingénieur* .

Alain, rotbardt. 2011. *rapport final:reutilisation des eaux usées traitées ,prespectives opérationnelles et recommandations pour l'action.*

B, REMINI. LA PROBLEMATIQUE DE L'EAU. Blida : Larhyss Journal, Juin 2010.

FAO. 2019. alger : s.n., 2019.

FAO. 2017. Bureau régional de la FAO pour le Proche-Orient et l'Afrique du Nord. *Organisation des Nations Unies (FAO).* [En ligne] 2017.

FAO - Irrigation goutte a goutte - (www.fao.org/3/a-az836f.pdf)

Hartani. 2004. [En ligne] 2004.

IPEMED.*La raréfaction des ressources en eau en Méditerranée.*Seine-Saint-Denis : s.n., 2015.

Johanet, Vincent.*Réutilisation des eaux usées : un enjeu majeur, partout dans le monde.* mars 2017.

Journal officiel de la république Algérienne n° 06. 2005. 2005

T. Hartani. La réutilisation des eaux usées en irrigation : cas de la Mitidja en Algérie.

Séminaire sur la modernisation de l'agriculture irriguée, 2004, Rabat, Maroc. 11 p. ffcirad-00188187

Anis BEN MESSAOUD (2009) : Etude expérimentale et modélisation d'un procédé de Désinfection par rayonnement UV. Thèse. 211p. Tunisie.

Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (1995) Section des eaux, Recommandations sanitaires relatives à la désinfection des eaux usées urbaine. Rapport interne. France

Hayet MILOUS. Modélisation par la méthode numérique des fluides du procédé de désinfection des eaux par les rayonnements ultraviolets UV. Mémoire. 108p. Algérie

ANNEXES

ANNEXE 1
Coefficient culturel Kc de chaque culture

	Figuiers	Pêches	Oranges	Olives	Cerises
Kc initial	0,5 à 0,7				
Kc moyen	0,7 à 1,0				
Kc maximal	0,8 à 1,1				

ANNEXE 2
Valeurs minimales et maximales de Z pour diverses cultures

Cultures	z (m)
Tomates	1 - 1,2
Cultures maraichères	0,3 - 0,6
Agrumes	1 - 1,2
Arbres fruitiers à feuilles caduques	1 - 2
Vigne	1 - 3