

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPOLAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DE L'HYDRAULIQUE
-ARBAOUI ABDELLAH-

DEPARTEMENT DE SPECIALITES

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR D'ETAT EN HYDRAULIQUE

Spécialité: Conception des Systèmes d'irrigation et de Drainage

THEME:

**IRRIGATION D'UN PERIMETRE DE 350 HA A
PARTIR DES EAUX USEES EPUREES DE LA
STATION DE BORDJ BOU-ARRERIDJ**

Présenté par :
Mr. ABADA Ahmed Lakhder

Promoteur :
M^r O. RAISSI

Devant le jury compose de :

Présidente : M^{me} F.AMMOUR

Examineurs:

M^r A. HACHEMI

M^{me} O. AZIAZE

M^{me} S. OUIR

M^{lle} D. HADJ BACHIR

M^r B. BOUTAHRAOUI

Octobre 2009

Remerciement

*Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à mon promoteur
Mr RAISSI Omar de m'avoir orienté et pour ses conseils judicieux ses riche
enseignement et sa constante disponibilité dans le but de mener à bien ce projet
de fin d'étude.*

*Mes remerciements s'adressent également à tous les enseignants qui ont
contribué à notre formation, sans oublier tout le personnel de l'ENSH.
Et à tous ceux qui ont contribué de près ou loin à l'élaboration de ce travail.*

*Mon respect aux membres de jury qui me feront l'honneur d'évaluer mon
travail*

ABADA Ahmed Lakhdar

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissances et de respect :

- *A ma mère et mon père pour tous les sacrifices qu'ils ont consenti à mon égard;*
- *A mon frère ;*
- *A mes sœurs ;*
- *A toute la famille ;*
- *A mes amis de l'ENSH.*

ABADA Ahmed Lakhdar

ملخص

في هذا المشروع قمنا بدراسة كيفية تزويد الأراضي الزراعية المكونة لمحيط 350 هكتار الواقع في ولاية برج بوعريريج بالمياه انطلاقا من محطة تصفية المياه المستعملة. لهذا الغرض قمنا بدراسة عامة لمختلف خصائص المنطقة من حيث المناخ و من حيث الخصائص المتعلقة بنوعية التربة وكذا نوعية المياه.

Résumé

L'objectif de ce projet est la conception du réseau d'irrigation qui va alimenter en eaux usées épurées le périmètre de Bordj Bou-Argeridj à partir de la station d'épuration de cette ville.

Pour cela nous avons fait une analyse des caractéristiques climatiques, pédologiques de la région ainsi que la qualité de l'eau d'irrigation.

Abstract

The objective of this project is the conception of the irrigation network that is going to nourish in worn-out waters treated the perimeter of 350 Ha localized in the state of Bordj Bou-Argeridj from the station of purification of this town.

For it we made a general survey on the climatic feature as well as the characteristic of the soils of the region and the quality of water irrigation.

SOMMAIRE

Chapitre I : Considérations générales sur la réutilisation des eaux usées

Introduction :	1
I.1. Objectifs de la réutilisation des eaux usées :	1
I.2. Historique de la réutilisation des eaux usées :	1
I.3. L'expérience Algérienne dans le domaine de réutilisation des eaux usées :	2
I.3.1. Introduction :	2
I.3.2. Statistiques sur la réutilisation des eaux usées épurées en Algérie :	3
A- Situation actuelle de l'irrigation :	3
B- État des ressources en eau mobilisées :	4
B.1- Constat :	4
B.2- Solutions :	4
C- Développement de l'irrigation à travers la réutilisation des eaux usées épurées :	4
C.1. Eaux usées produites :	4
C.2. Eaux usées épurées :	4
C.3. Réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles :	4
I.3.3. Commentaire :	5
I.4. Motifs :	5
I.5. Usages possibles :	5
I.5.1. Usage agricole :	5
I.5.1.1. L'irrigation agricole :	6
I.5.1.2. Arrosage des espaces verts :	6
I.5.1.3. L'irrigation des zones forestières :	6
I.5.2. Usage industriel :	6
I.5.3. Usage domestique et municipale :	6
I.6. Les bénéfices et les contraintes de la réutilisation des eaux usées :	8
I.6.1. Bénéfices et avantages de la réutilisation des eaux usées:	8
I.6.1.1. Ressource alternative :	8
I.6.1.2. Conservation et préservation des ressources :	8
I.6.2. Défis et contraintes de la réutilisation des eaux usées :	9
I.6.2.1. Aspects législatifs et sanitaires:	9
I.6.2.2. Aspects sociaux :	9
I.6.2.3. Aspects économiques :	10
I.6.2.4. Aspects environnementaux et agronomiques :	10
I.6.2.5. Aspects technologiques :	10

I.6.2.6. Aspects financières :	10
I.7. Le marché de la réutilisation :	11
Conclusion :	11

Chapitre II : Eaux usées et procédés d'épuration

Introduction :	12
II.1. Origine des eaux usées urbaines :	12
II.1.1. Les eaux usées domestiques :	12
II.1.2. Les eaux pluviales :	13
II.1.3. Les eaux usées industrielles :	13
II.1.4. Les matières de vidange :	13
II.2. Les paramètres caractéristiques des eaux usées :	14
II.2.1. Les matières en suspension, dissoutes et colloïdales :	14
II.2.2. Les matières organiques et les matières minérales :	15
II.2.3. Les matières biodégradables :	15
II.2.4. Demande biochimique en oxygène (DBO ₅) :	15
II.2.5. Demande chimique en oxygène (DCO) :	16
II.2.6. Les matières azotées :	17
II.2.7. Les matières phosphorées :	17
II.2.8. Le pH :	18
II.2.9. La conductivité :	18
II.2.10. Les matières toxiques :	18
II.3. Composition des eaux usées :	19
II.3.1. Microorganismes :	19
Les bactéries :	19
Les virus :	20
Les protozoaires :	20
Les helminthes :	20
II.3.2. Matières en suspension et matière organique :	20
II.3.3. Eléments traces :	21
II.4. Etapes et procédés de traitement des eaux usées :	21
II.4.1. Le relevage :	22
II.4.2. Les prétraitements :	23
a- Dégrillage :	23
b- Dessablage – déshuilage :	23
II.4.3. Le traitement primaire :	24
II.4.4. Les traitements secondaires :	26

II.4.4.1. Le procédé biologique :	26
Les procédés intensifs ou artificiels :	26
Les procédés extensifs ou naturels :	27
II.4.4.2. Le procédé physico-chimique :	27
II.4.4.3. Procédé d'épuration par oxydation alternée :	28
II.4.5. Les traitements complémentaires :	28
Désinfection :	28
Lagunage de finition :	29
Filtration :	29
Conclusion :	29

Chapitre III : Réutilisation agricole des eaux usées

Introduction :	30
III.1. La planification:	30
III.1.1. Investigations préliminaires :	30
III.1.2. Identification du marché potentiel:	31
III.1.3. Evaluation détaillée :	31
III.2. Qualité des eaux usées pour l'irrigation :	32
III.2.1. Qualité chimique:	33
III.2.2. Qualité microbiologique :	41
III.2.3. La concentration en éléments fertilisants :	46
Phosphore (P) :	47
Potassium (K) :	47
Autres nutriments :	47
III.3. Mesures de lutte sanitaire :	48
III.3.1. Traitement des eaux résiduaires :	48
III.3.2. Mesures professionnelles :	49
III.3.3. Choix des cultures :	49
III.3.4. Choix de la méthode d'irrigation:	50
III.3.4.1. L'irrigation de surface (irrigation gravitaire) :	53
III.3.4.2. L'irrigation par aspersion :	54
III.3.4.3. L'irrigation localisée (ou micro-irrigation):	55
III.4. Impacts environnementaux associés à l'utilisation des eaux usées en irrigation:	56
III.4.1. Avantages environnementaux :	56
III.4.2. Effets négatifs potentiels sur l'environnement :	56
III.4.2.1. Effets sur le sol :	57
III.4.2.2. Effets sur les eaux souterraines :	57

III.4.2.3. Effets sur les eaux de surface (eutrophisation, croissance des algues) :.....	57
III.4.2.4. Effets sur les cultures (problème de phytotoxicité et gestion) :	58
Conclusion :	58

Chapitre IV : Caractérisation de la STEP de B.B.Arreridj

Introduction :	59
IV.1. Présentation de la ville de Bordj Bou-Arreridj :	59
IV.2. Présentation de la station d'épuration :	60
IV.2.1. Principe de l'épuration biologique :	60
IV.2.2. Description des ouvrages de traitement :	61
IV.2.2.1. Déversoir d'orage:.....	61
IV.2.2.2. Les prétraitements :	61
A- Degrilleur	61
A.1- Grille grossière à nettoyage manuel :	62
A.2- Grilles mécanisées fines:.....	62
B- Dessableurs - déshuileur :	63
IV.2.2.3. Le traitement primaire :	64
IV.2.2.4. Le traitement biologique (secondaire) :	64
A- Bassin d'aération :	64
B- Décanteurs secondaires :	65
IV.2.2.5. Le traitement tertiaire (désinfection) :	65
IV.2.2.6. Le traitement des boues :	66
A- L'épaississeur :	66
B- Les lits de séchage :	67
IV.2.3. Appareils et instruments de mesure au niveau de la STEP :	67
IV.3. Etude physico-chimique des eaux de la STEP de B.B.Arreridj :	68
IV.3.1. Considérations générales sur la qualité d'eau d'irrigation:.....	68
IV.3.2. Classification des eaux d'irrigation:.....	69
IV.3.2.1. Classification mondiale de la FAO (g/l) :	69
IV.3.2.2. Classification USSL (United States Salinity Laboratory):.....	70
A- Classification selon la salinité de l'eau CE :	70
B- Classification selon le risque d'alcalinisation SAR :	70
IV.3.3. Evaluation de la qualité de l'eau usée épurée de la STEP de B.B.Arreridj :	71
IV.3.3.1. Normes de rejets :	71
IV.3.3.2. Résultats d'analyses et interprétation :	72
IV.3.3.3. Directives de surveillance :	74
Conclusion :	75

Chapitre V : Présentation du périmètre à irriguer

V.1. Présentation du site :	76
V.1.1. Localisation :	76
V.1.2. La topographie :	76
V.1.3. Réseau routiers :	76
V.2. Climatologie :	76
V.2.1. Pluviométrie moyenne mensuelle :	77
V.2.2. Températures moyennes mensuelles :	78
V.2.3. Humidité relative :	78
V.2.4. Vents :	79
V.2.5. Insolation :	79
V.2.6. Evaporation :	80
V.2.7. Tension de vapeur :	80
V.2.8. Le sirocco :	81
V.2.9. La neige :	81
V.2.10. Les gelées :	81
V.2.11. Les orages :	81
V.2.12. La grêle :	82
V.3. Classification de climat :	84
V.3.1. Classification du climat selon l'indice de MARTON:	84
V.3.2. Classification de climat selon le diagramme d'EMBERGER	84
V.4. Etude hydrologique :	86
V.4.1. Homogénéité de la série pluviométrique :	86
V.4.2. Etude des pluies moyennes annuelles :	89
V.4.2.1. Ajustement à la loi de Gauss :	89
V.4.2.2. Test de validité de l'ajustement à la loi de Gauss :	93
Conclusion:	95

Chapitre VI : Etude agro-socioéconomique

Introduction:	96
VI .1. Cadre socio-économique :	96
VI .1.1. La population :	96
VI .1.2. L'emploi :	97
VI .2. Cadre topographique et géomorphologique :	98
VI .2.1. Relief :	98

VI .2.2. Réseau hydrographique :	98
VI .2.3. Le climat :	98
VI .3. Les ressources en eau :	98
VI .4. Plan de culture (Assolement-Rotation) :	99
VI .4.1. Choix des spéculations:	100
VI .4.2. Assolement rotation :	101
VI .4.3. Pratiques culturales :	102
A- Production de grains :	102
B- Production de fruit.....	103
C- Production de tubercules, bulbes et racines :	104
Conclusion :	106

Chapitre VII : Etude agro-pédologique

Introduction :	107
VII.1. Les Sols :	107
VII.1.1. Etude préliminaire :	107
VII.1.2. Prospection sur terrain :	108
VII.1.3. Description des profils :	108
VII.1.4. Zonalité pédologique :	109
VII.1.5. Classification des sols :	109
VII.2. Identification et classification des sols du périmètre :	109
VII.2.1. Les sols Iso-Humiques (unité n°1) :	109
VII.2.1.1. Caractéristiques du sol :	110
VII.2.1.2. Propriétés physiques :	111
VII.2.1.3. Propriétés chimiques :	111
VII.2.2. Les sols calcimagnésiques (unité n°2) :	112
VII.2.2.1. Caractéristiques du sol :	112
VII.2.2.2. Propriétés physiques :	113
VII.2.2. 3. Propriétés chimiques :	113
VII.2.3. Les sols peu évoluées :	114
VII.2.3.1. Caractéristiques du sol :	114
VII.2.3.2. Propriétés physiques :	115
VII.2.3.3. Propriétés chimiques :	115
VII.3. Aptitude des sols aux cultures :	116
VII.3.1. Aptitude en sec :	116
VII.3.2. Aptitude en irrigué :	117
VII.3.2.1. Principe de la méthode.....	117

VII.3.2.2. Valeur productive et indice globale de fertilité :	118
VII.3.2.3. Evaluation pour les cultures :	119
Conclusion :	120

Chapitre VIII : Besoins en eau du périmètre

Introduction :	121
VIII.1. Bilan hydrique :	121
VIII.1.1. Variation de stock : ΔS	122
VIII.1.2. Pluie efficace :	122
VIII.1.3. Drainage :	123
VIII.1.4. Ruissellement :	123
VIII.1.5. Evapotranspiration :	123
VIII.1.5.1. Méthodes d'évaluation de l'évapotranspiration :	124
VIII.2. Besoins en eau du périmètre :	126
VIII.2.1. Choix des cultures à pratiquer :	127
VIII.2.2. Identification des types d'assolement :	129
VIII.2.3. Calcul des besoins en eau du périmètre :	130
VIII.2.3.1. Calcul des besoins nets en eau d'irrigation : (Bn).....	130
A- Calcul de l'évapotranspiration de référence ET_0 :	131
B- Calcul de la pluie efficace P_e :	132
VIII.2.3.2. Calcul des doses de lessivage :	134
A- Définition :	134
B- Moment et méthodes de lessivage des sols :	135
B.1- Lessivage d'entretien :	135
B.2- Lessivage initial :	137
VIII.2.3.3. Calcul des besoins bruts en eau d'irrigation GIWR:	137
A- Notion d'efficience :	137
B- Calcul des pertes par percolation :	140
Conclusion :	142

Chapitre IX : Réseau de distribution collectif d'irrigation sous pression

Introduction :	143
IX.1. Mode de fonctionnement de réseau :	143
IX.2. Description et schéma d'aménagement du réseau de distribution:	144
IX.3. Plan de bornage :	145
IX.4. Tracé et structure du réseau de distribution :	146

IX.5. Pression demandée aux bornes d'irrigation :	148
IX.6. Dimensionnement du réseau de distribution :	149
IX.6.1. Calcul des débits à transiter par le réseau collectif :	149
IX.6.1.1. Débits spécifiques :	149
IX.6.1.2. Loi de débit :	150
IX.6.1.3. Débits caractéristiques :	152
IX.6.2. Choix du type de réseau :	153
IX.6.3. Optimisation des canalisations :	154
IX.6.3.1. La vitesse admissible:	154
IX.6.3.2. Diamètres :	155
IX.6.3.3. La perte de charge unitaire :	155
IX.6.3.4. Matériaux des canalisations :	156
IX.7. Ouvrages annexes :	156
IX.7.1. Le réservoir de stockage et de régulation :	156
IX.7.2. La station de pompage :	157
IX.7.3. Equipements de contrôle du réseau :	159
IX.8. Ouvrages connexes :	159
IX.8.1. Pistes agricoles :	159
IX.8.2. Les brises vents :	160
Conclusion :	160

Liste des tableaux

Tableau III-1 : Eléments à considérer en cas d'irrigation avec des eaux usées (adapté de Pettygrove et Assano, 1988).....	32
Tableau III-2 : Directives pour l'interprétation de la qualité de l'eau pour l'irrigation (FAO 1985).....	34
Tableau III-3 : Classes de qualité de salure de l'eau d'irrigation(Richards, 1969 in PERIGAUD J., 1977)....	35
Tableau III-4 : Rendement de quelques cultures en fonction de la salinité de l'eau d'arrosage.....	35
Tableau III-5 : Concentrations en Na et Cl de l'eau d'aspersion provoquant des brûlures des feuilles.....	36
Tableau III-6: Concentrations maximales en Bore dans l'eau d'arrosage basées sur l'apparition de symptômes de toxicité lors de cultures sur sable.....	38
Tableau III-7 : Limites recommandées ⁽¹⁾ en éléments traces dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation (FAO, 2000).....	40
Tableau III-8 : Directives concernant la qualité microbiologique des eaux usées utilisées en irrigation (OMS, 1989).....	42
Tableau III-9 : Directives recommandées pour la réutilisation des eaux épurées en région méditerranéenne (adapté de Bahri et Brissaud, 2002).....	44
Tableau III-10 : Apport en NPK (kg/ha) par les eaux d'irrigation pour une culture de tomate nécessitant un volume d'eau d'irrigation de 6500m ³ /ha.....	47
Tableau III-11 : Potentiel de fertilisation par l'eau usée (FAO/RNEA, 1992).....	48
Tableau III-12 : Application des recommandations du CSHPF.....	49
Tableau III-13 : Evaluation des méthodes d'irrigation pour leur aptitude à utiliser l'eau saumâtre (Kandiah, 1990).....	51
Tableau III-13 : Evaluation des méthodes d'irrigation pour leur aptitude à utiliser l'eau saumâtre (Kandiah, 1990).....	51
Tableau III-14 : Facteurs affectant le choix de la méthode d'irrigation et les mesures spéciales exigées quand l'eau usée est utilisée, en particulier quand elle ne respect pas les directives de l'OMS (Mara et Cairncross, 1989).....	52
Tableau IV-1 : Normes de rejets pour l'irrigation (Normes Algériennes).....	71
Tableau IV-2 : Les résultats des analyses obtenus à l'entrée et à la sortie de la STEP.....	72
Tableau IV-1 : Paramètres et fréquence de suivi de qualité.....	74
Tableau V-1 : Caractéristiques géographiques de la station de B.B.A.....	77
Tableau V-2 : Répartition mensuelle moyenne de la pluie en (mm).....	77
Tableau V-3 : Températures moyennes mensuelles en (C°).....	78
Tableau V-5 : Moyenne mensuelle de la vitesse des vents (m/s).....	79
Tableau V-6 : Insolation mensuelle moyenne en heures.....	79

Tableau V-7 : Répartition mensuelle de l'évaporation moyenne.....	80
Tableau V-8 : Tension de vapeur réelle mensuelle en (Hectopascal).....	80
Tableau V-9 : Nombre de jours de sirocco durant l'année.....	81
Tableau V-10 : Nombre de jours de neige durant l'année.....	81
Tableau V-11 : Nombre de jours de gelée.....	81
Tableau V-12 : Nombre de jours d'orage.....	81
Tableau V-13: Précipitations et températures moyennes mensuelles.....	82
Tableau V.14 : Classification de climat selon MARTON.....	84
Tableau V-15 : Test de Wilcoxon pour la série de données de la station de B.B.Arreridj.....	88
Tableau V-16 : Ajustement interannuel à la loi normale de Gauss.....	91
Tableau V.17 : La pluie moyenne mensuelle de fréquence 80% pour une période sèche(Zone de périmètre de B.B.A).....	93
Tableau V-18 : Procédé de calcul du Test de Khi carrée (Pearson).....	94
Tableau VI-1 : Répartition en tranche d'âge et par sexe de la population de la wilaya de Bordj Bou-Arreridj.....	96
Tableau VI-2 : Indicateurs de l'emploi au niveau de la wilaya de B.B.Arreridj.....	98
Tableau VI-3 : Chute de rendement tolérée en fonction de la salinité du sol.....	100
Tableau VI-4 : Principales arboricoles préconisées.....	103
Tableau VI-5 : Principales cultures et leurs stades de développement.....	106
Tableau VII-1 : Données analytiques : profil n°1.....	111
Tableau VII-2 : Données analytiques : profil n°2.....	113
Tableau VII-3 : Données analytiques : profil n°3.....	115
Tableau VII-4 : Aptitude des sols à l'irrigation.....	119
Tableau VII-5 : Aptitude des sols aux cultures.....	119
Tableau VIII-1 : Récapitulatif des principales cultures projetées au niveau du périmètre.....	128
Tableau VIII-2 : Assolement modèle A.....	129
Tableau VIII-4 : Assolement modèle C.....	130
Tableau VIII-5 : Evapotranspiration de référence ET0 dans la zone d'étude.....	131
Tableau VIII-6 : Précipitations efficaces dans la zone d'étude.....	132
Tableau VIII-7 : Récapitulatif des besoins nets en eau du périmètre.....	133
Tableau VIII-8: Facteur de concentration en fonction de la fraction de lessivage.....	134
Tableau VIII-9 : Fractions de lessivage d'entretien.....	136
Tableau VIII-10 : Valeurs indicatives pour les efficacités en irrigation.....	139

Tableau VIII-11 : Estimation des pertes au niveau du périmètre.....	140
Tableau VIII-12 : Récapitulatif des besoins en eau d'irrigation du périmètre de B.B.A.....	141
Tableau IX-1 : Débits de pointe des modèles adoptés.....	150
Tableau IX-2 : Modèles constituant la branche « G ».....	151
Tableau IX-3 : Détermination des seuils de surface S0 et S1.....	152
Tableau IX-4 : Récapitulatif des débits au niveau des bornes.....	153
Tableau IX-5 : Seuils des vitesses admissibles en fonction des diamètres.....	154

Liste des figures

Figure I-01 : Ressource en eau par habitant dans les pays méditerranéens.....	3
Figure I-02: Répartition par secteur et localisation des expériences mondiales les plus importantes en réutilisation des eaux résiduaires urbaines.....	7
Figure II-01 : Schéma d'un poste de relevage par Vis d'Archimède.....	22
Figure II-02 : Types de grilles.....	23
Figure II-03 : Schéma d'un dessableur-déshuileur.....	24
Figure II-04 : Racleur des graisse.....	24
Figure II-05 : Décanteur primaire et secondaire.....	25
Figure III-1 : Diagramme de classification des eaux d'irrigation (D'après United States Salinity Laboratory, U.S.S.L établie 1954).....	39
Figure IV.1 : Déversoir d'orage de la STEP de la ville de B.B.A.....	61
Figure IV.2 : Grilles mécanisées fines de la STEP de la ville de B.B.A.....	62
Figure IV.3 : Dessableurs-déshuileur de la STEP de la ville de B.B.A.....	63
Figure IV.4 : Décanteur primaire de la STEP de la ville de B.B.A.....	64
Figure IV.5 : Bassins d'aération de la STEP de la ville de B.B.A.....	65
Figure IV.6 : Bassin de chloration de la STEP de la ville de B.B.A.....	66
Figure IV.7 : L'épaississeur de la STEP de la ville de B.B.A.....	66
Figure IV.8 : Lit de séchage de la STEP de la ville de B.B.A.....	67
Figure V.1 : Diagramme ombrothèrmique de Gaussen.....	83
Figure V.2 : Diagramme bioclimatique d'EMBERGER.....	85
Figure V.3 : Graphique d'ajustement interannuel des pluies moyennes (1981-2001) à la loi normale -Station de B.B.Arreridj (150612)-.....	92
Fig. IX-1 : Schéma de la variante d'adduction retenue pour le périmètre de B.B.Arreridj.....	145
Fig. IX-2 : Plan de bornage.....	147
Fig. IX-3 : Représentation graphique de la loi de débit.....	150

Introduction générale

En raison de la rareté croissante des ressources naturelles en eau conventionnelle et étant donné la concurrence entre les secteurs du développement économique de point de vue demande en eau, la valorisation des eaux usées traitées est considérée comme une composante essentielle dans la politique de gestion intégrée des ressources hydriques. Cependant, pour qu'elle soit inscrite dans un cadre de développement durable, la mise en valeur de la réutilisation de ces eaux exige une étude prudente et intégrée qui tienne compte surtout des aspects environnementaux.

En effet, ces eaux usées véhiculent des pollutions qui posent des problèmes de santé publique, de conservation des sols et de protection de l'environnement, qui ne doivent être ni exagérés ni sous-estimés.

Le défi sera alors de concevoir et d'opérer une nouvelle génération de systèmes de gestion de l'eau qui soient en mesure de satisfaire la demande alimentaire dans un contexte de rareté de l'eau, tout en respectant les exigences de l'environnement.

Dans ce cadre, on a mené cette étude à un périmètre d'une superficie de 350Ha, localisé dans la région de Bordj Bou Arreridj. Il s'agit de concevoir un réseau d'irrigation et de drainage sur ce périmètre afin d'éviter toute évolution négative sur le milieu récepteur. En effet, les eaux de la station d'épuration de Bordj Bou Arreridj seront mobilisées dans ce domaine. Pour cela, il est envisagé des analyses physico-chimiques et bactériologiques de ces eaux pour une éventuelle utilisation dans l'irrigation.

Ce travail rentre dans l'économie d'eaux de première main et la protection de l'environnement, dans le cadre de développement durable.

Chapitre I : Considérations générales sur la réutilisation des eaux usées

Introduction :

Les démographies galopantes des pays en développement, l'effet de la pollution sur les eaux de surface et souterraines, la distribution inégale des ressources en eau et les graves sécheresses ont forcé les agences de l'eau à rechercher de nouvelles sources innovatrices d'approvisionnement. Les eaux usées deviennent une autre manière de répondre à la demande en eau, associant l'approvisionnement en eau au développement de systèmes d'égouts et aux questions d'urbanisation.

Étant donné que plus de 70% de l'eau est utilisée par l'agriculture et les autres 30% partagés pour les besoins de consommation humaine, commerciale et industrielle, les autorités locales reconnaissent le grand potentiel de la réutilisation des eaux usées en agriculture, en particulier dans les zones de pénurie. [1]

Par définition, cette réutilisation est une action volontaire et planifiée qui vise la production des quantités complémentaires en eau pour différents usages afin de combler des déficits hydriques.

I.1. Objectifs de la réutilisation des eaux usées :

L'objectif principal de la réutilisation des eaux usées est non seulement de fournir des quantités supplémentaires d'eau de bonne qualité en accélérant le cycle d'épuration naturelle de l'eau, mais également d'assurer l'équilibre de ce cycle et la protection de l'environnement (les sols, les cours d'eau, les plans d'eau, les eaux littorales, voire les eaux souterraines qui, autrement, auraient pu être pollués par les rejets des stations d'épuration).

En effet, les volumes d'eau issus des traitements sont, en grande partie destinés dans le domaine agricole, vu sa demande en eau élevée. La recharge de la nappe, usages municipaux et les besoins industriels (centrales nucléaires, centrale hydroélectrique, les usines de fabrication d'acier, ...) pour le refroidissement de moteurs des machines, peuvent être couverts.

I.2. Historique de la réutilisation des eaux usées :

L'utilisation des eaux usées pour l'irrigation des terres agricoles est pratiquée depuis des siècles. Certains documents font mention de la première utilisation d'eau usée il ya 2000 ans en Grèce. La pratique est généralement très répandue en Chine depuis des siècles. Dès la fin du XIXe siècle, de nombreuses grandes villes occidentales (Paris, Londres, Berlin...) utilisent les eaux usées collectées par les égouts afin d'irriguer les terres cultivées.

Le traitement de l'eau usée connaît un regain d'intérêt après la seconde guerre mondiale. L'intérêt est double : réduire la pollution des rivières, mais aussi accroître les ressources en eau dans les régions sèches.

Un grand nombre d'études, spécialement aux Etats Unis, voient le jour dans les années 1950 au sujet des traitements à réaliser avant la réutilisation, et plus particulièrement, sur la prévention des risques liés aux micro-organismes pathogènes. Ce sont bien entendu les pays situés en zone aride qui témoignent du plus grand intérêt pour cette démarche. [2]

Actuellement, la réutilisation des eaux usées est une pratique très répandue dans les régions du monde affectées par des pénuries de ressources en eau. Elle est, par exemple, très développée aux Etats-Unis, où 34 Etats disposent de réglementations ou de recommandations - souvent très exigeantes - relatives à l'usage agricole des eaux usées (EPA & USAID, 1992). En Amérique latine, le plus grand projet des eaux usées se trouve dans la Vallée d'Amezquital, à Mexico, où 83000 hectares sont irrigués avec des eaux usées brutes. Il faut citer aussi l'Australie, l'Afrique du Sud, l'Inde, le Japon, la Chine et les pays du Golfe Persique, ... [3]

Le bassin méditerranéen est l'une des régions du Monde où la réutilisation agricole des effluents urbains est la plus pratiquée. Par exemple, elle est largement systématisée en Israël (67% des eaux usées sont utilisé pour l'irrigation) avec une réglementation très inspirée du modèle californien. La Tunisie constitue aussi un autre exemple d'une politique nationale de réutilisation (2000ha irrigués à partir des eaux usées épurées près de Tunis) (PUIL C, 1998). Pour sa part, l'Espagne se dote progressivement, région par région, d'une réglementation et améliore la qualité des eaux réutilisées.

I.3. L'expérience Algérienne dans le domaine de réutilisation des eaux usées :

I.3.1.Introduction :

Le degré de vulnérabilité d'un pays pour l'eau dépend de la quantité d'eau, de sa répartition dans le temps, de sa qualité, et du niveau de la consommation et de la demande. Alors que le climat est le facteur principal déterminant la quantité d'eau et sa répartition dans le temps, la population et le développement économique sont les influences prépondérantes pour la qualité et la demande.

Quand les ressources internes renouvelables en eau sont inférieures à 1000 m³ par habitant, le manque d'eau est alors considéré comme un grave frein au développement socio-économique et à la protection de l'environnement. (FAO, 1993)

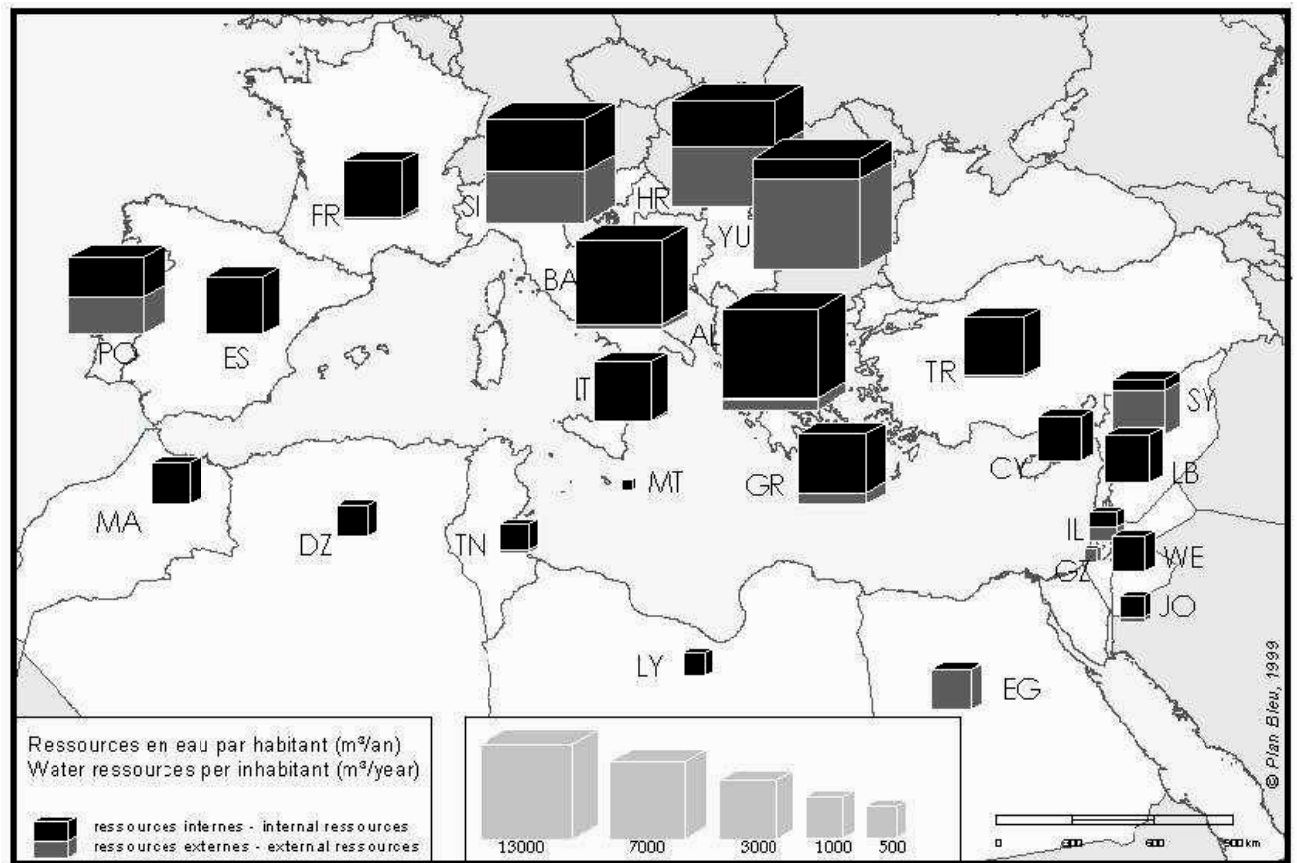


Figure I-01 : Ressource en eau par habitant dans les pays méditerranéens.

D'après les Statistiques de disponibilité en eau de quelques Pays (Année 2000), établis par la FAO sur la base de données de la Banque Mondiale et d'autres organismes, l'Algérie était sous la barre des 1000 m³ par an et par habitant, avec des ressources internes renouvelables estimées à 570 m³/an/hab (voir Fig I-01).

I.3.2. Statistiques sur la réutilisation des eaux usées épurées en Algérie :

Etant donné que les ressources en eau prélevées en 2000 sont estimées à 6.074 milliards de m³, dont 3.938 milliards destinés à l'irrigation (65%) (FAO. 1999. Étude sur le secteur agricole en Algérie).

Et pour mieux analyser la situation, on citera les statistiques suivantes présentées par le Directeur de l'Hydraulique Agricole au Ministère des Ressources en Eau, dans le cadre d'une communication présentée à Rabat, du 09 au 12 juillet 2007, sous le titre : « *La réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation en Algérie* » :

A- Situation actuelle de l'irrigation :

Surface Agricole Utile (SAU) : 8,5 millions ha, soit 3,3 % de la superficie géographique.

Superficie Irriguée (2006) : 900.000 ha, soit 10,5 % de la SAU

Potentiel de croissance à moyen terme : 01 million d'hectare.

B- État des ressources en eau mobilisées :

Eaux souterraines:

- Volume exploité au nord : 1,8 milliards de m³/an.
- Volume exploité au Sahara : 2 milliards de m³/an.

Eaux superficielles:

- Nombre de grands barrages : 59.
- Capacité totale actualisée : 6 milliards de m³.
- Volume régularisé : 2 milliards de m³/an.
- Volume mobilisé (juillet 2007) : 3 milliards de m³.
- Taux de remplissage : 50 %.

B.1- Constat :

- Déficit pluviométrique de plus de 30%.
- Faible taux de remplissage des barrages.
- Taux de satisfaction de l'irrigation de 25 %.
- Demande en eau en augmentation:
 - Croissance démographique.
 - Développement économique.

B.2- Solutions :

- Accroissement de la mobilisation des ressources en eau :
 - Eaux conventionnelles : Barrages et transferts -Retenues collinaires - Forages.
 - Eaux non conventionnelles : Réutilisation des eaux usées épurées.
- Actions sur la demande à travers des programmes d'économie d'eau.

C- Développement de l'irrigation à travers la réutilisation des eaux usées épurées :**C.1. Eaux usées produites :**

- Volume annuel : 730 hm³/an.
- Volume annuel à l'horizon 2020: 01 milliard de m³/an.

C.2. Eaux usées épurées :

- Capacité installée actuelle : 270 hm³.
- Volume actuel épuré : 150 hm³.
- Capacité installée à l'horizon 2020 : 990 hm³.
- Capacité installée à l'horizon 2030 : 1100 hm³.

C.3. Réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles :

- Superficie irriguée en 2006 : 410 ha.

- Superficie en projet : 12.000 ha.
- Superficie à irriguer à terme : 60.000 ha.

Une étude de réutilisation des eaux usées à l'échelle nationale est en cours :

- Etude d'un schéma directeur de réutilisation des eaux usées épurées.
- Elaboration d'un projet de normes de réutilisation des eaux usées épurées.

I.3.3. Commentaire :

Les eaux usées représentent une des composantes de l'offre globale en eau au même titre que les eaux superficielles et souterraines. En dépit des exemples cités précédemment sur la réutilisation des eaux usées épurées dans le monde, cette dernière est encore très peu développée en Algérie. Seulement 20 % de la population raccordée à un réseau d'assainissement bénéficie du traitement de ses eaux usées. Notons que 60 % de ces eaux sont rejetées soit loin des périmètres d'irrigation et des barrages soit en mer ce qui rend leur réutilisation en irrigation peu rentable.

I.4. Motifs :

Les motifs pour le développement des systèmes de réutilisation peuvent être très variés, suivant le contexte local:

- Absence d'exutoire pour les effluents collectés ;
- Absence ou déficit de ressources en eau et en conséquence, besoin de mobiliser des ressources supplémentaires ;
- Protection de l'environnement et des milieux récepteurs ;
- utilisation des eaux usées comme source d'éléments fertilisants et leur application pour améliorer les sols et la production agricole.

I.5. Usages possibles :

Les usages des eaux usées épurées sont nombreux. Cependant, les réalisations les plus connues, portent sur l'agriculture (vergers, fourrages, produits à consommer après cuisson), d'autres usages sont possibles et qui portent, dans l'ordre sur les eaux urbaines de lavage et d'arrosage, le refroidissement, l'industrie, les loisirs avec la navigation de plaisance. En effet pour ces usages, l'adaptation en qualité est assez aisée. [4]

I.5.1. Usage agricole :

Le secteur agricole constitue actuellement le plus grand débouché pour la valorisation des eaux usées, c'est également la solution qui a le plus d'avenir à court et à moyen terme.

I.5.1.1. L'irrigation agricole :

Avec les eaux usées épurées, on peut irriguer des cultures très variées : Céréales, arbres fruitiers, cultures fourragères.... etc.

La réutilisation des eaux usées épurées apporte en outre des bénéfices supplémentaires en améliorant, dans certains cas, des rendements des cultures.

I.5.1.2. Arrosage des espaces verts :

Parcs, terrains de sport, etc. C'est une opération pratiquée dans les pays du bassin méditerranéen comme la France, l'Espagne ainsi que dans certains pays arabes comme la Jordanie à condition que ces eaux respectent les normes d'utilisation.

I.5.1.3. L'irrigation des zones forestières :

Dans les pays occidentaux, c'est une pratique qui commence à se généraliser. En effet, les zones irriguées concernent des zones vierges pour le reboisement.

I.5.2. Usage industriel :

La REUE industrielle peut donc être intéressante dans le secteur de l'énergie, dans les circuits de refroidissement fermés ou ouverts. Les autres applications possibles concernent les laveries industrielles, les stations de lavage de voiture, l'industrie du papier, la production d'acier, de textiles, les industries d'électroniques et de semi-conducteurs, etc. (Asano, 1998).

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

On cite un exemple de la centrale nucléaire de Palo Verde (États-Unis), qui est la plus grosse centrale nucléaire des États-Unis (4 millions de kW). Elle se trouve à Phoenix, en Arizona. Elle est aujourd'hui l'unique exemple dans le monde d'une centrale nucléaire qui utilise des eaux épurées pour ses tours de refroidissement. L'opération a débuté en 1974, elle consomme environ 6 400 m³ d'eau par minute. Les eaux usées urbaines sont traitées par une station d'épuration qui a une capacité de 500 000 m³ par jour environ. [5]

I.5.3. Usage domestique et municipale :

La réutilisation des eaux usées traitées au domicile de l'habitant ou à l'échelle de la ville est possible à différents niveaux de qualité et suivant plusieurs schémas : [6]

- recyclage partiel à l'intérieur d'immeubles. Cette solution qui a fait l'objet d'applications en Extrême-Orient consiste le plus souvent à alimenter les chasses de toilette au moyen des autres eaux usées qui sont réutilisées après traitement ;
- alimentation de réseaux municipaux de lavage (rues, camions, etc.) et de réseaux d'incendie. Cette utilisation ne doit pas apporter de gêne d'exploitation dans le réseau (dépôts, développements bactériens, corrosion, etc.) ni entraîner de risques sanitaires inacceptables ;
- réalimentation partielle de nappes d'eaux souterraines, (Lits filtrants ...).

La **Figure I-02** résume les principales voies de réutilisation dans les pays ayant une expérience significative dans ce domaine. Il apparaît que la réutilisation pour l'irrigation est essentiellement présente dans les pays réputés agricoles mais dont les ressources hydriques sont faibles, comme le bassin méditerranéen, le Sud des Etats-Unis. Les plus grands projets de réutilisation ont été développés dans les régions de l'Ouest et de l'Est des Etats-Unis, l'espace méditerranéen, l'Australie, l'Afrique du Sud.

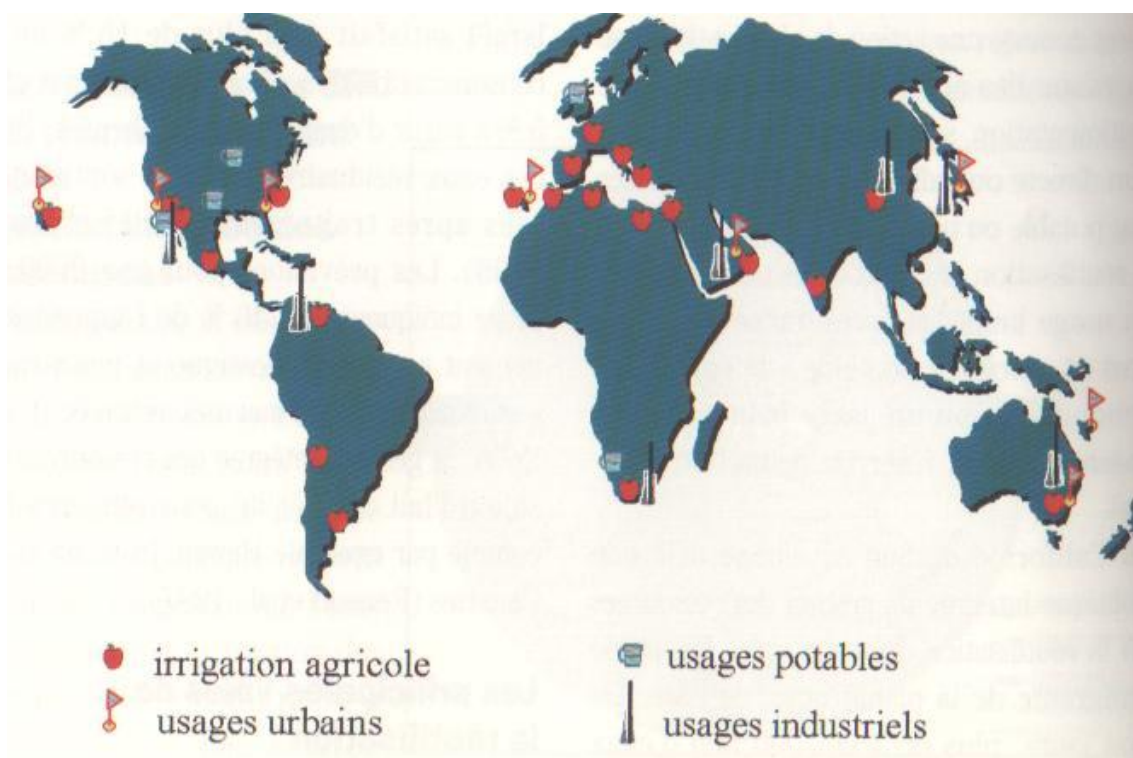


Figure I-02: Répartition par secteur et localisation des expériences mondiales les plus importantes en réutilisation des eaux résiduaires urbaines

I.6. Les bénéfices et les contraintes de la réutilisation des eaux usées :

La réutilisation des eaux usées peut être un atout important dans la politique d'aménagement du territoire des collectivités locales. Les avantages et les bénéfices les plus importants de la réutilisation de ces eaux, ainsi que les défis et les contraintes les plus fréquemment rencontrés dans l'exécution et l'exploitation de tels projets, sont les suivants :[7]

I.6.1. Bénéfices et avantages de la réutilisation des eaux usées:

I.6.1.1. 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 pour l'irrigation et les usages industriels ;
- 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 (par exemple pour des raisons politiques).

I.6.1.2. Conservation et préservation des ressources :

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

I.6.1.3. Valeur économique ajoutée :

- Eviter les coûts du développement, du transfert et de pompage de nouvelles ressources en eau fraîche ;
- Dans certains cas, éviter les coûts de l'élimination des nutriments des eaux usées ;
- 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 ;
- Favoriser le tourisme dans les régions arides ;
- Augmenter la valeur foncière des terrains irrigués.

I.6.1.4. 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 ;
- Eviter les impacts négatifs liés à la construction de nouveaux barrages, réservoirs, etc... ;
- Améliorer le cadre de vie et l'environnement (espaces verts, etc.) ;
- Proposer une alternative fiable aux rejets d'eaux usées dans les milieux sensibles (zones de baignade ou conchylicoles, Réserves naturelles, etc.) ;
- Profiter des nutriments apportés par l'eau d'irrigation pour augmenter la productivité des cultures agricoles et la qualité des espaces verts.

I.6.1.5. 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.

I.6.2. Défis et contraintes de la réutilisation des eaux usées :**I.6.2.1. 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 ;
- Droit sur l'eau: qui possède l'eau recyclée et qui récupère les revenus ;
- Exploitation inappropriée et/ou qualité non-conforme.

I.6.2.2. Aspects sociaux :

- Malgré les réticences psychologiques à utiliser les EUE, la rareté de l'eau et les réalités économiques poussent les agriculteurs de certaines régions à la REU;
- Il faut établir un système de surveillance de la qualité des EUE pour instaurer une confiance entre le distributeur et l'utilisateur;
- En vertu de l'incertitude des risques liés à la REU, des stratégies nationales de réutilisation des eaux usées pourraient s'orienter uniquement vers les espaces verts et l'agroforesterie (ex : Egypte).

I.6.2.3. Aspects économiques :

- Considérer la REU comme faisant partie de la trilogie : assainissement, épuration et réutilisation. Cette trilogie devrait s'insérer dans des stratégies nationales;
- Le coût de la réutilisation doit être comparé au coût de l'inaction qui a des impacts environnementaux, sanitaires et qui augmente le coût de traitement de l'eau potable à la source;
- Le coût de la réutilisation doit aussi être comparé à d'autres alternatives comme le dessalement;
- La réutilisation est devenue une nécessité et peut contribuer au développement de certains secteurs économiques (tourisme et loisirs);
- Le coût de la réutilisation varie d'un bassin hydrologique à un autre et en fonction de l'usage final souhaité.

I.6.2.4. 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.

I.6.2.5. Aspects technologiques :

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

I.6.2.6. Aspects financières :

- Il y a deux systèmes de tarification nécessaire :
 - Celui pour l'eau réutilisée
 - Celui pour couvrir l'assainissement et le traitement;
- Dans les systèmes de traitement et d'assainissement, il y a des taxes de branchement, de consommation et de charges polluantes;
- Pour la réutilisation, dans l'expérience de la Jordanie et de la Tunisie, seuls les frais d'opération et d'entretien sont couverts dans le prix des eaux usées épurées. Ce sont des mesures incitatives pour pousser les agriculteurs à adopter la REU (Tunisie: exonération de taxes pour les équipements de REU);
- Le prix des EUE doit rester inférieur à celui des eaux conventionnelles.

I.7. Le marché de la réutilisation :

Depuis 1980 la réutilisation des eaux usées connaît un développement très rapide. Actuellement, environ 2 % des eaux usées sont réutilisée dans le monde, ce qui représente un volume d'environ 7,1 milliards de m³, soit 0,18 % de la demande mondiale en eau. Toutes les

études de marché de la réutilisation prévoient une forte croissance dans les dix ou vingt années à venir. Au niveau mondiale, le volume des eaux réutilisées va triplés dans les dix années à venir et, dans certain pays comme la chine, il sera multiplié par dix. La croissance annuelle de marché de la réutilisation, en volume est, estimé à environ 10 à 12 %. Soit 181 % de croissance dans les dix ans à venir a comparé à 102 % pour le dessalement. Plusieurs pays ont d'ores et déjà inclus la réutilisation dans leur politique nationale, avec pour objectif de satisfaire par ce biais de 10 à 30 de leur demande en eau. [8]

Conclusion :

A travers ce chapitre on constat que la réutilisation des eaux usées est appelée à se développer, à se diversifier et à être socialement plus acceptée. Des efforts restent à faire dans de nombreux domaines afin de mieux maîtriser l'utilisation de ces eaux. Des systèmes de traitement fiables et économiques demandent à être développés. Les effets à long terme de la réutilisation des eaux usées et des opérations de recharge sont également à prendre en compte.

Les futurs projets de réutilisation des eaux usées dépendront d'une meilleure planification et d'un meilleur aménagement des opérations de réutilisation. Ceci signifie l'amélioration de l'évaluation et de la prise en compte des facteurs techniques, sociaux, économique, réglementaires et environnementaux et la recherche d'une meilleure organisation sur le plan institutionnel.

Chapitre II : Eaux usées et procédés d'épuration

Introduction :

Collectées par le réseau d'assainissement d'une agglomération, les eaux usées urbaines contiennent de nombreux éléments polluants, provenant de la population (eaux ménagères, eaux vannes, etc.) et des activités commerciales et industrielles.

Elles sont acheminées vers une station d'épuration où elles subissent plusieurs phases de traitement. Le but est de diminuer suffisamment la quantité de substances polluantes contenues dans les eaux usées pour que l'eau finalement rejetée dans le milieu naturel (ou réutilisée pour différents usages) ne dégrade pas ce dernier. Le nettoyage des eaux usées obéit donc à une logique de préservation des ressources en eau et de protection de l'environnement.

II.1. Origine des eaux usées urbaines :

Il existe quatre types de pollution contre lesquels des moyens de lutte doivent être mis en œuvre : [9]

- La pollution traditionnelle des eaux usées domestiques ;
- La pollution apportée par les eaux pluviales ;
- la pollution des industries implantées dans la commune ;
- la pollution des matières de vidange issues de l'assainissement autonome des habitations non raccordées au réseau collectif.

II.1.1. Les eaux usées domestiques :

Constituant généralement l'essentiel de la pollution. Elles sont essentiellement porteuses de pollution organique. Elles se répartissent en :

- Eaux vannes d'évacuation des toilettes, chargées de diverses matières organiques azotées et des germes fécaux.
- Eaux ménagères d'évacuation des cuisines, salles de bain, généralement chargées de détergents, de solvants, de débris organiques, etc.

La pollution journalière produite par une personne utilisant de 150 à 200 litres d'eau est évaluée à :

- de 70 à 90 grammes de matières en suspension ;
- de 60 à 70 grammes de matières organiques ;
- de 15 à 17 grammes de matières azotées ;
- 4 grammes de phosphore ;
- plusieurs milliards de germes pour 100 ml.

II.1.2. Les eaux pluviales :

Elles peuvent, elles aussi, constituer la cause de pollutions importantes des cours d'eau, notamment pendant les périodes orageuses. L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles), puis, en ruisselant, des résidus déposés sur les toits et les chaussées de villes (huiles de vidange, carburants, résidus de pneus et métaux lourds...). En outre, lorsque le système d'assainissement est dit « unitaire », les eaux pluviales sont mêlées aux eaux usées domestiques. En cas de fortes précipitations, les contraintes de préservation des installations d'épuration peuvent imposer un déversement (« délestage ») de ce « mélange » très pollué dans le milieu naturel. Enfin, dans les zones urbaines, les surfaces construites rendent les sols imperméables et ajoutent le risque d'inondation à celui de la pollution.

II.1.3. Les eaux usées industrielles :

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques sont bien évidemment directement liées aux types d'industries. En plus des matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques, des hydrocarbures.

Certaines d'entre elles doivent faire l'objet d'un prétraitement de la part des industriels avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte. Elles ne sont mêlées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et qu'elles ne perturbent pas le fonctionnement des stations d'épuration.

II.1.4. Les matières de vidange :

Dans toutes les communes, il existe des habitants non raccordés ou non raccordables à l'égout public. Or, toute fosse septique (ou appareil équivalent) produit obligatoirement des matières de vidange. L'évacuation et le traitement de ces matières domestiques font partie intégrante de l'assainissement.

Ces matières de vidange sont un concentré de pollution, leur rejet, inconsideré dans le milieu naturel accroît les risques de pollution. Il est indispensable de déterminer leur origine et leur bonne prise en compte lors de la conception de la station d'épuration.

Leur traitement simultanément à celui des eaux usées domestiques peut constituer une alternative intéressante dans la mesure où la station est équipée spécifiquement d'une fosse de réception de ces résidus.

II.2. Les paramètres caractéristiques des eaux usées :

La pollution c'est la présence d'une ou plusieurs substances modifiant la composition ou l'état d'une eau, dans la mesure où :

- la vie aquatique est perturbée, voire impossible,
- les utilisations envisagées de l'eau sont restreintes ou même interdites.

Ces substances ou polluants sont nombreux et d'origine très variée. On peut les différencier en fonction :

- De leur aspect physique (matières en suspension, matières dissoutes) ;
- De leur composition chimique (matières organiques, matières minérales) ;
 - De leur évolution dans la nature (matières rapidement biodégradables, matières difficilement biodégradables, matières non biodégradables) ;
- De leur impact sur les espèces vivantes (matières toxiques, matières non toxiques).

Les principaux paramètres de mesure de la pollution de l'eau sont les suivants : [9]

II.2.1. Les matières en suspension, dissoutes et colloïdales :

La distinction porte sur la taille des composés contenus dans l'eau :

- Taille > 1 micron : ce sont les matières en suspension, responsables essentiellement de troubles de l'eau ; les plus lourdes sédimentent rapidement et constituent les matières décantables.
- Taille < 1/1000 micron : ce sont les matières dissoutes ou liquides. Certains de ces liquides (huile, hydrocarbures, ...) ne se mélangent pas à l'eau. Disposés en fines gouttes, on dit qu'ils forment alors des émulsions.
- La taille intermédiaire correspond aux matières colloïdales, qui participent au trouble et à la coloration de l'eau. Ces matières colloïdales ne sont pas décantables.

❖ Les matières en suspension :

Les matières en suspension représentent la quantité de particules non dissoutes présentes dans l'effluent qu'elles soient décantables ou non (organique et minérale: poussière, sable, argile, graisse,...). Les MES se subdivisent en deux catégories : les matières fixes et les matières volatiles. En effet, une partie des MES se volatilise lorsqu'elles sont chauffées à haute température (600°C); cette partie constitue la fraction organique, principalement biodégradable et est appelée Matières Volatiles Sèches (MVS).

Les teneurs en MES sont obtenues par deux techniques :

- La méthode par filtration puis séchage à 105°C ,
- La méthode par centrifugation puis séchage à 105°C.

II.2.2. Les matières organiques et les matières minérales :

Les matières organiques proviennent des êtres vivants (matières végétales ou animales, excréments, urines, ...) ou des produits fabriqués (papier, tissus, ...).

On retiendra que les matières organiques sont principalement composées par : de l'hydrogène, de l'oxygène, du carbone, de l'azote, du phosphore, du soufre.

A haute température (plus de 500°C), les matières organiques brûlent et se transforment en fumée.

Les matières minérales (graviers, sables, métaux, sels minéraux, ...) sont pour la plupart des composés qui évoluent peu dans les conditions naturelles. Elles constituent les résidus (ou cendres) obtenus après calcination à 550°C.

II.2.3. Les matières biodégradables :

Les matières biodégradables représentent l'ensemble des composés transformables par des organismes vivants, essentiellement des bactéries. Cette transformation peut se réaliser en présence d'oxygène de l'air : on parle de "dégradation aérobie". Elle peut également survenir en absence d'oxygène "dégradation anaérobie". La plupart des matières biodégradables proviennent des matières organiques, alors que les matières minérales sont plus généralement non biodégradables.

On notera enfin que certaines matières sont très rapidement biodégradables, tels le sucre, l'alcool, D'autres matières, de composition chimique plus complexe, nécessitent plus de temps et sont donc difficilement biodégradables. Il s'agit, par exemple, des graisses, du bois, du tissu.

Les matières organiques sont estimées par la quantité d'oxygène nécessaire à leur dégradation. Deux analyses sont utilisées :

- . la DCO ;
- . la DBO₅.

II.2.4. Demande biochimique en oxygène (DBO₅)

La détermination de la demande biochimique en oxygène est une façon indirecte d'évaluer la quantité de matières biodégradables essentiellement organiques contenues dans l'eau.

La demande biochimique en oxygène (DBO) est la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes pour assimiler la pollution biodégradable sur une période définie. En effet, une période allant de 21 à 28 jours serait nécessaire aux micro-organismes pour assimiler la totalité de la pollution biodégradable. Il a été déterminé qu'une période de 5 jours correspondait à l'assimilation de la pollution biodégradable carbonée (oxydation) à une

température standard de 20°C, et qu'ensuite les micro-organismes assimilaient la pollution biodégradable azotée (nitrification).

Pour des raisons pratiques, on prendra en compte pour cette analyse la première phase de 5 jours que l'on notera DBO5.

❖ **Mesure de la DBO₅ :**

Cette analyse est effectuée selon la norme NF EN 1899 de mai 1998 et NF EN ISO 9408 d'octobre 1999.

L'échantillon d'eau à analyser est dilué dans une eau saturée en oxygène. Après mélange, on mesure la concentration initiale T0 en oxygène avant de fermer la bouteille et de la placer dans une enceinte à 20°C à l'obscurité. Après 5 jours, la mesure de la concentration finale T1 en oxygène est effectuée. La valeur de la DBO5 correspond à la différence des concentrations C0 et C1. (DBO5 = C0 - C1).

UNITE : mg O₂ / l

Les valeurs usuelles de DBO5 pour une eau usée urbaine sont de l'ordre de 150 à 300 mg O₂/l

- ✓ [DBO5] eau brute moyenne = 250 mg O₂/l
- ✓ 60 g DBO5/EH/j zone urbaine
- ✓ 54 g DBO5/EH/j zone rurale

II.2.5. Demande chimique en oxygène (DCO) :

La DCO appelée aussi "oxydabilité" représente la quantité d'oxygène consommée par oxydation chimique de la totalité des matières organiques et minérales dissoutes dans l'eau. Elle est basée sur la mesure de la quantité d'oxygène apportée par un réactif chimique (oxydant) pour détruire toutes les matières organiques biodégradables et non biodégradables.

❖ **Mesure de la DCO :**

Cette analyse est réalisée selon la Norme NFT 90-101 de février 2001.

On mélange à l'eau à analyser une quantité volontairement excessive de réactif oxydant (bichromate de potassium). Pour que la réaction soit rapide et complète, on ajoute de l'acide sulfurique et on chauffe pendant deux heures. La DCO correspond à la différence entre la quantité d'oxydant initiale et celle subsistant après deux heures de réaction. UNITE : mg O₂ /l.

Dans une eau usée urbaine, la concentration en DCO est usuellement de l'ordre de 300 à 700 mg O₂/l.

[DCO] eau brute moyenne = 600 mg O₂/l

120 g DCO/EH/j

❖ Rapport DCO/DBO5 :

- la DCO est toujours supérieure à la DBO5.
- la DBO est une fraction de la DCO.

Plus cette fraction est importante, plus les bactéries seront efficaces dans la dégradation de la pollution. Pour vérifier cette caractéristique, on calcule le rapport entre la DCO et la DBO5, appelé rapport de biodégradabilité : $DCO/DBO5 = \text{rapport de BIODEGRADABILITE}$.

- ✓ Pour une eau usée urbaine, ce rapport est de l'ordre de 2 à 3. L'effluent est considéré alors comme biodégradable.
- ✓ Pour les effluents d'industries agro-alimentaires, il est de l'ordre de 1,5 à 2. Cela traduit donc une meilleure biodégradabilité : un traitement biologique est parfaitement adapté pour ce type de pollution.
- ✓ Un rapport supérieur à 3 traduit l'apport d'un effluent industriel plus ou moins difficilement biodégradable. Dans ce cas, le traitement biologique seul risque d'être inadapté (adaptation de souches, traitement physico-chimique).

II.2.6. Les matières azotées :

On distingue 5 formes d'azote dans l'environnement :

- Azote organique, constituant les cellules vivantes végétales ou animales ;
- Azote ammoniacal NH_4^+ , qui provient de la décomposition par les bactéries de l'azote organique (Ammonification) ou des rejets directs d'animaux (urines, excréments) ;
- Les nitrites NO_2^- , Ils sont souvent en quantité très faible car c'est une forme chimique très instable.
- Les nitrates NO_3^- (on parle aussi de l'azote nitrique). C'est une forme chimique stable.
- Azote gazeux N_2 , ce gaz est très peu soluble dans l'eau.

L'azote dans les eaux usées urbaines brute est très présent sous forme d'azote organique et ammoniacal. On constate le plus souvent l'absence de nitrite et de nitrate. Les formes minérales de l'azote, telles que l'ammoniac, les nitrites et nitrates sont en totalité en solution alors que les formes organiques peuvent se retrouver en suspension dans l'effluent. Une analyse permet de mesurer simultanément l'azote organique et l'azote ammoniacal. Cette analyse est notée AZOTE KJELDAHL (NK) : $NK = N_{org} + N-NH_4$

II.2.7. Les matières phosphorées :

On distingue :

- Le phosphore organique en solution ou en MES, résidu de la matière vivante.
- Le phosphore minéral, essentiellement constitué d'orthophosphates (PO_4^{3-}) qui

représente 50 % de la totalité contenue dans les eaux usées urbaines. Les orthophosphates constituent, au même titre que les nitrates, des agents fertilisants susceptibles de provoquer le phénomène d'eutrophisation.

Dans l'eau usée urbaine, Les concentrations sont de l'ordre de 10 à 20 mg P/l. Le Phosphore total décantable correspond à 0 à 10 %.

II.2.8. Le pH :

Le pH ou " potentiel hydrogène" est l'indice d'acidité du milieu. Le pH d'un effluent urbain classique est légèrement alcalin, de l'ordre de 7,5 et 8. Celui des effluents industriels peut être, par contre, extrêmement variable. Ainsi, A titre d'exemple, le pH d'un rejet de laiterie habituellement légèrement basique en valeur moyenne, peut passer de 4 à 10 en moins d'une heure à la suite du nettoyage à la soude des cuves de stockage. Ces variations peuvent affecter le bon fonctionnement de l'épuration biologique.

La régulation du pH en tête de bassin d'aération peut être réalisée par :

- Ajout d'acide et base complémentaire,
- Auto neutralisation dans un bassin tampon.

II.2.8. La conductivité :

La conductivité est une mesure de la capacité d'une solution à laisser passer un courant électrique. Cette capacité dépend des sels solubles dans l'eau et de la température de mesure.

Unité : Siemens/cm ou mho/cm.

La conductivité des eaux usées est très variable d'une région à l'autre :

- ✓ Pour des eaux usées domestiques, on peut citer des valeurs moyennes de 900 à 1 300 m mho/cm. Il faut de plus noter que les traitements physiques ou biologiques n'ont que peu d'incidence sur ce paramètre.
- ✓ Des conductivités plus faibles peuvent être du à des eaux d'infiltration ou à des eaux pluviales.
- ✓ Des conductivités plus élevées peuvent être dues à l'infiltration d'eaux de mer, des raccordements industriels (fabrique d'anchois, de salaison ...), au salage des rues (dégel) ...

II.2.9. Les matières toxiques :

On appelle "toxiques" les matières capables de bloquer l'activité des espèces aquatiques vivantes, d'empêcher leur existence soit partiellement, soit totalement. L'effet de la toxicité peut se traduire immédiatement, entraînant une mortalité brutale : c'est la toxicité directe. Mais, il peut aussi intervenir sous un certain délai, après accumulation de composés toxiques

dans l'organisme : c'est la toxicité indirecte. Tout est donc une question de dose et de temps de contact.

Il existe une infinité de composés susceptibles d'être toxiques. On peut sommairement citer :

- Les métaux tels le chrome, le cadmium, ...
- Les cyanures,
- Les désinfectants,
- Certains détergents,
- Les hydrocarbures,
- Les produits trop acides ou trop basiques.

La majorité des éléments toxiques proviennent des activités industrielles et artisanales.

II.3. Composition des eaux usées : [10]

La composition des eaux usées est extrêmement variable en fonction de leur origine (Industrielle, domestique, etc.), elle dépend :

- essentiellement de l'activité humaine (eaux ménagères et eaux vannes) ;
- de la composition des eaux d'alimentation en eau potable et, accessoirement, de la nature des matériaux entrant dans la constitution des canalisations d'eau, pour les composés chimiques ;
- de la nature et de la quantité des effluents industriels éventuellement rejetés dans le réseau urbain.

Les eaux usées urbaines contiennent des matières solides, des substances dissoutes et des microorganismes. Ces derniers sont la cause des principales restrictions imposées à la réutilisation des eaux usées.

II.3.1. Microorganismes :

Les eaux usées contiennent tous les microorganismes excrétés avec les matières fécales. Cette flore entérique normale est accompagnée d'organismes pathogènes. L'ensemble de ces organismes peut être classé en quatre grands groupes : les bactéries, les virus, les protozoaires et les helminthes.

➤ Les bactéries :

Les eaux usées urbaines contiennent environ 10^6 à 10^7 bactéries/100 ml dont 10^5 proteus et entérobactéries, 10^3 à 10^4 streptocoques et 10^2 à 10^3 clostridium. La concentration en bactéries pathogènes est de l'ordre de 10^4 /l. Parmi les plus communément rencontrées, on trouve les salmonellas dont on connaît plusieurs centaines de sérotypes différents, dont ceux responsables de la typhoïde, des paratyphoïdes et des troubles intestinaux. Des germes

témoins de contamination fécale sont communément utilisés pour contrôler la qualité relative d'une eau, ce sont les coliformes thermotolérants.

➤ **Les virus :**

Les virus sont des parasites intracellulaires obligés qui ne peuvent se multiplier que dans une cellule hôte. On estime leur concentration dans les eaux usées urbaines comprise entre 10^3 et 10^4 particules par litre. Leur isolement et leur dénombrement dans les eaux usées sont difficiles, ce qui conduit vraisemblablement à une sous-estimation de leur nombre réel. Les virus entériques sont ceux qui se multiplient dans le trajet intestinal ; parmi les virus entériques humains les plus importants, il faut citer les entérovirus (exemple : polio), les rotavirus, les rétrovirus, les adénovirus et le virus de l'Hépatite A. Il semble que les virus soient plus résistants dans l'environnement que les bactéries et que leurs faibles dimensions soient à l'origine de leurs possibilités de dissémination.

➤ **Les protozoaires :**

Parmi les protozoaires les plus importants du point de vue sanitaire, il faut citer *Entamoeba histolytica*, responsable de la dysenterie amibienne et *Giardia lamblia*. Au cours de leur cycle vital, les protozoaires passent par une forme de résistance, les kystes, qui peuvent être véhiculés par les eaux résiduaires.

➤ **Les helminthes :**

Les helminthes sont fréquemment rencontrés dans les eaux résiduaires. Dans les eaux usées urbaines, le nombre d'œufs d'helminthes peut être évalué entre 10 et $10^3/l$. Il faut citer, notamment, *Ascaris lumbricoides*, *Oxyuris vermicularis*, *Trichuris trichuria*, *Taenia saginata*. Beaucoup de ces helminthes ont des cycles de vie complexes comprenant un passage obligé par un hôte intermédiaire. Le stade infectieux de certains helminthes est l'organisme adulte ou larve, alors que pour d'autres, ce sont les œufs. Les œufs et les larves sont résistants dans l'environnement et le risque lié à leur présence est à considérer pour le traitement et la réutilisation des eaux résiduaires.

II.3.2. Matières en suspension et matière organique :

Les matières en suspension sont en majeure partie de nature biodégradable. La plus grande part des microorganismes pathogènes contenus dans les eaux usées est transportée par les MES. Les particules en suspension, plus lourdes que l'eau, sont éliminées par décantation. C'est une étape simple dans la réduction de la charge organique des eaux usées et de la teneur en germes pathogènes. Toutefois, un traitement beaucoup plus poussé est généralement requis pour faire face aux risques sanitaires.

Une présence excessive de matières en suspension peut entraîner des difficultés de transport et de distribution des effluents ainsi que le bouchage des systèmes d'irrigation.

La présence de matière organique dans les eaux usées ne constitue pas, sauf cas très particulier, un obstacle à la réutilisation de ces eaux. Bien au contraire, elle contribue à la fertilité des sols. Cependant, l'expérience montre que le maintien d'une concentration importante en matière organique dans les eaux usées gêne considérablement l'efficacité des traitements destinés à éliminer les germes pathogènes. Enfin, les concentrations significatives en matière organique peuvent aussi entraîner des odeurs désagréables, notamment s'il arrive que les eaux stagnent à la surface du sol.

II.3.3. Substances nutritives :

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

- de 16 à 62 kg d'azote ;
- de 2 à 69 kg de potassium ;
- de 4 à 24 kg de phosphore ;
- de 18 à 208 kg de calcium ;
- de 9 à 100 kg de magnésium ;
- de 27 à 182 kg de sodium.

II.3.3. Eléments traces :

Certains éléments traces, peu nombreux, sont reconnus nécessaires, en très faibles quantités, au développement des végétaux : le bore, le fer, le manganèse, le zinc, le cuivre et le molybdène. L'irrigation, à partir d'eaux usées, va apporter ces éléments, mais aussi d'autres oligo-éléments, non indispensables à la plante tels que le plomb, le mercure, le cadmium, le brome, le fluor, l'aluminium, le nickel, le chrome, le sélénium et l'étain.

II.4. Etapes et procédés de traitement des eaux usées :

Les eaux usées ne doivent pas être réutilisées brutes. Un traitement est toujours nécessaire, différent selon le niveau de qualité exigé par le milieu récepteur et les usages de l'eau. Les objectifs principaux sont :

- ✓ Permettre le fonctionnement de l'irrigation, en réduisant les risques de colmatage;
- ✓ Éviter les mauvaises odeurs ;

- ✓ Éliminer les microorganismes pathogènes, chaque fois que la réglementation l'exige ;
- ✓ Réduire la teneur en azote, quand la protection d'une nappe souterraine l'impose.

La dépollution des eaux usées nécessite une succession d'étapes faisant appel à des traitements physiques, physico-chimiques et biologiques.

Le processus d'épuration comprend les étapes suivantes : [11]

- Le relevage ;
- Les prétraitements ;
- Le traitement primaire ;
- Les traitements secondaires ;
- Les traitements complémentaires.

II.4.1. Le relevage :

Le transport des eaux usées dans les collecteurs se fait généralement par gravité, sous l'effet de leur poids. Une station de relèvement permet d'acheminer les eaux usées dans la station d'épuration lorsque ces dernières arrivent à un niveau plus bas que les installations de dépollution. Cette opération s'effectue grâce à des pompes ou à des vis d'Archimède.

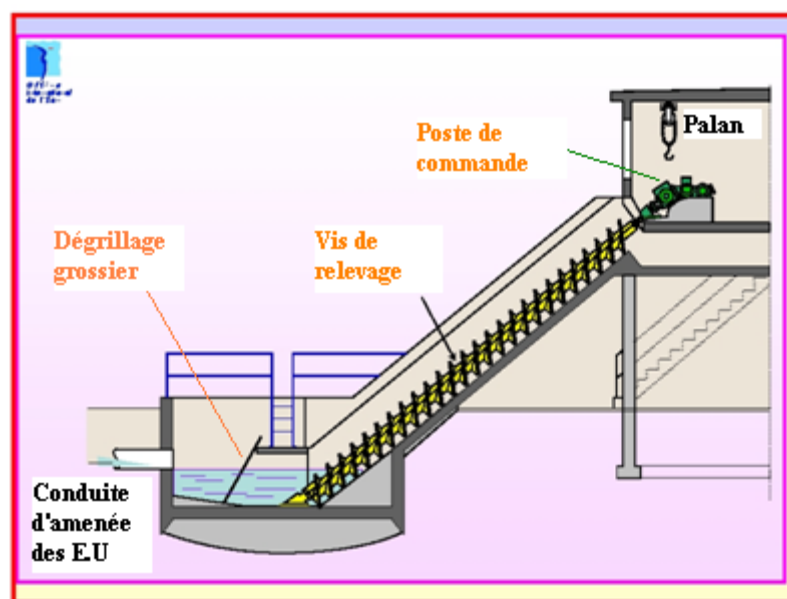


Figure II-01 : Schéma d'un poste de relevage par Vis d'Archimède

II.4.2. Les prétraitements :

Les prétraitements consistent à débarrasser les eaux usées des polluants solides les plus grossiers (dégrillage), ainsi que des sables et de graisses (dessablage, dégraissage). Ce sont de simples étapes de séparation physique :

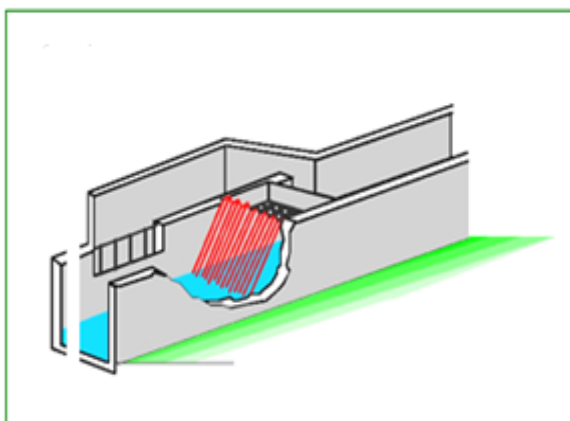
a- Dégrillage :

A l'arrivée à la station d'épuration, les eaux résiduaires brutes doivent subir un dégrillage (parfois un tamisage), permettant de séparer et d'évacuer les matières volumineuses qui pourrait nuire à l'efficacité des traitements suivants ou en compliquer l'exécution, et amener des risques de bouchage dans les différentes unités de l'installation.

Il existe deux types de grilles, grilles manuelles et grille mécanique :

- Grilles manuelles : Elles sont réservées aux très petites installations, la grille fortement inclinée (angle de 60 à 80° sur l'horizontale) et munie d'un by-pass destiné à éviter le débordement.
- Grille mécanique : Dès que la station dépasse les 5000 habitants, on doit doter l'installation de traitement de grille mécanique.

La **figure II-01** représente les deux types de grilles.



-Dégrilleur manuel-



-Grille mécanique-

Figure II-02 : Types de grilles

b- Dessablage – déshuilage :

Le dessablage porte généralement sur des particules de granulométries égales ou supérieures à 200µm. Le dessablage et le déshuilage s'effectue dans un même bassin. L'ouvrage regroupe dans un même ensemble conique :

- Le dessaleur dans la partie inférieure du tronc conique ;
- Le déshuileur, aéré dans sa partie centrale est raclé mécaniquement par un écumeur pour extraire les graisses.

Le dispositif de dessablage déshuilage profite astucieusement de la différence de densité entre le sable, les graisses et l'eau.

Les sables décantent, tandis que les graisses sont mises en flottation aidées pour cela par un aérateur immergé diffusant de fines bulles, (notons qu'il faut prévoir une zone de calme pour

l'accumulation des écumes), les graisses sont donc évacuées en surface, les sables accumulés dans la partie conique basale sont aspirés par une pompe.

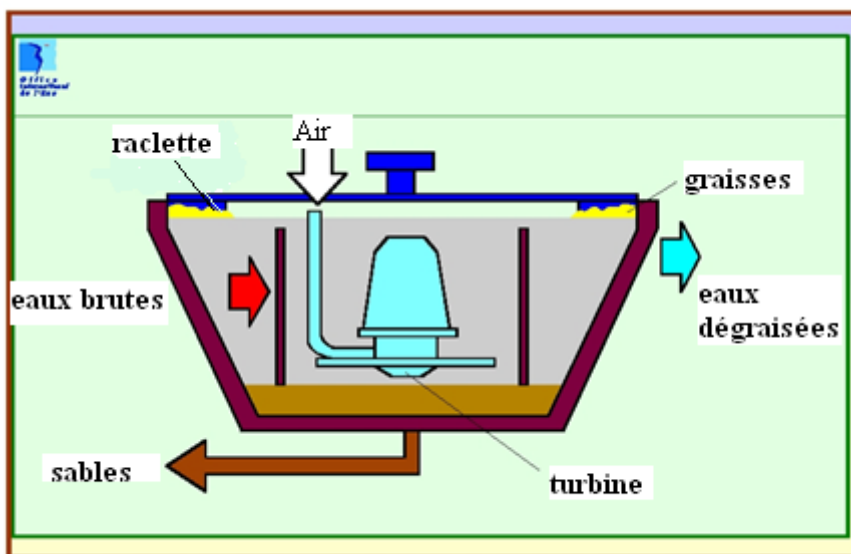


Figure II-03 : Schéma d'un dessableur-déshuileur



Figure II-04 : Racleur des graisse

II.4.3. Le traitement primaire :

Le traitement primaire consiste en une simple décantation des eaux prétraitées permettant aux matières décantables de se déposer.

La décantation s'effectue dans des ouvrages qui peuvent être rectangulaires, carrés ou circulaires. Les plus courants sont les décanteurs rectangulaires et circulaires (à alimentation centrale).

La vitesse lente de l'eau permet le dépôt de matières en suspension au fond du décanteur. Cela constitue « les boues primaires fraîches » qui rejoindront les boues secondaires.

Cette étape primaire du traitement n'est pas obligatoire sur les stations d'une capacité inférieure à 2000 EqH. Sa nécessité est imposée par le choix de la filière retenue pour le

traitement secondaire. Par ailleurs, elle est à l'origine d'une production de boues pour lesquelles un traitement est impératif.

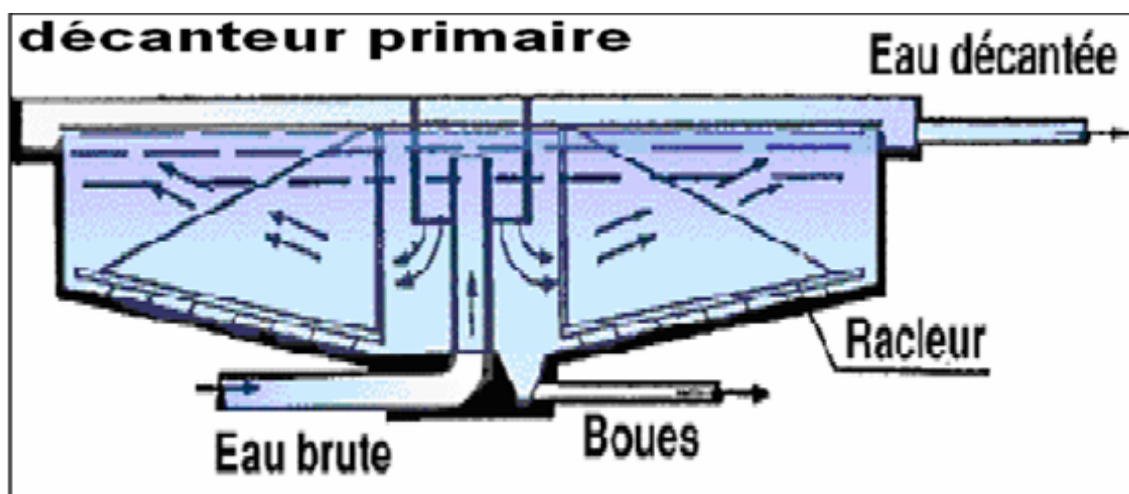


Figure II-05 : Décanteur primaire et secondaire

II.4.4. Les traitements secondaires :

Recouvrent les techniques d'élimination des matières polluantes solubles (carbone, azote et phosphore). Ils constituent un premier niveau de traitement biologique.

Dans la majorité des cas, l'élimination des pollutions carbonées et azotées s'appuie sur des procédés de nature biologique.

Les procédés membranaires combinent à eux des procédés biologiques et physiques.

Certaines installations ont toutefois recours à des filières de traitements physico-chimiques.

II.4.4.1. Le procédé biologique : [8]

Il permet la réduction de la pollution dissoute par l'action d'une masse bactérienne soit en suspension (culture libre), soit fixée sur un support (culture fixée).

En d'autres termes, les procédés d'épuration biologiques sont utilisés lorsque les éléments à éliminer sont sous forme soluble ou lorsque leur taille ne leur permet pas d'être piégés par les prétraitements et traitements physiques sauf au prix d'un conditionnement physico-chimique complémentaire. Ils permettent de faire passer les éléments présents sous formes soluble ou colloïdales en éléments floculables et de constituer des agrégats que l'on peut de nouveau séparer de la phase liquide. Parmi les divers organismes responsables des phénomènes biologiques, les bactéries sont les plus importantes et les plus nombreuses. La dégradation biologique s'accomplit en deux phases simultanées :

- * Une phase d'adsorption, très rapide, au cours de laquelle les substances organiques s'absorbent sur la membrane extérieure des cellules.
- * Une phase d'oxydation, plus lente, au cours de laquelle a lieu l'oxydation des matières organiques en produits de décomposition tels que CO₂ et H₂O.

Les principaux procédés d'épuration biologiques sont:

❖ **Les procédés intensifs ou artificiels :**

Dont le but est de décomposer de façon biochimique par oxydation les matières non séparables par décantation qui n'ont pas pu être éliminées par des procédés mécaniques des eaux usées. En même temps une nouvelle substance cellulaire se forme. La substance cellulaire a un poids spécifique qui est plus grand que celui de l'eau d'égout et de ce fait une décantation est possible. Parmi ces procédés, on distingue :

- les lits bactériens.
- les disques biologiques.
- Boues activées.

❖ **Les procédés extensifs ou naturels :**

Où l'on distingue :

- le lagunage naturel ou aéré (étangs pour eaux usées).
- l'épandage des eaux (valorisation des eaux usées dans l'agriculture).

Dans la pratique, l'épuration biologique est mise en œuvre :

- Soit dans un seul et même ouvrage (cas du lagunage naturel) ;
- Soit dans deux ouvrages :

- Le réacteur biologique (bassin d'aération, disque ou lit, lagune aérée) dans lequel l'eau usée est mise en contact avec la biomasse aérée artificiellement ou naturellement ;
- Le clarificateur dont le rôle est de séparer l'eau épurée et la boue biologique. Dans le cas d'un lagunage aéré, le dernier bassin (non aéré) fait office de clarificateur.

II.4.4.2. Le procédé physico-chimique :

Il permet, par addition de réactifs chimiques, une élimination poussée des matières en suspension et des colloïdes contenus dans l'eau.

Ce procédé trouve son application dans le cas de rejet en mer, dans les communes à fortes variations saisonnières de population, en zone de montagne et pour le traitement spécifique d'effluents industriels.

Ce traitement génère des quantités importantes de boues dites physico-chimiques.

Le principe de ce procédé est basé sur une réaction de coagulation/floculation.

La coagulation consiste à déstabiliser les suspensions colloïdales :

- En neutralisant les charges superficielles des colloïdes (généralement négatives) par apport de charges de signe contraire (apport réalisé par l'injection d'un produit chimique).
- En générant un précipité qui permet d'éliminer le réactif introduit et les particules colloïdales.

Le produit utilisé dit « coagulant » est également un sel de fer ou d'aluminium.

Son introduction dans l'eau doit s'accompagner d'une agitation rapide afin d'assurer sa parfaite dispersion. La floculation, quant à elle, a pour but d'accroître par agglomération, le volume, le poids et la cohésion du floc formé. Ce grossissement est obtenu par la création d'une turbulence modérée afin d'augmenter les chances de rencontre du floc déjà formé. [12]

II.4.4.3. Procédé d'épuration par oxydation alternée :

L'oxydation alternée épure les eaux usées mais par un fonctionnement différent. Par définition, l'oxydation alternée a pour but d'oxyder l'effluent avec l'oxygène (O₂) pour détruire sa structure chimique en alternance.

Le système d'épuration biologique des eaux usées à oxydation alternée, se compose de certain nombre de trains selon le dimensionnement, et chaque train est constitué de six (06) bassins compartimentés, car ce dernier est constitué des bassins suivants :

- 1- Bassin de Fermentation contrôlé ;
- 2- Bassin Anaérobie agité mécaniquement ;

- 3- Bassin d'Aération 1er Etage (Nitrification- Déphosphatation) ;
- 4- Bassin d'Aération 2eme Etage (Dénitrification) ;
- 5- Bassin Clarificateur (recyclage des boues) ;
- 6- Digestion aérobie des boues.

II.4.5. Les traitements complémentaires :

La sensibilité de certains milieux récepteurs, les besoins de potabilisation d'une eau, peuvent exiger des traitements épuratoires encore plus poussés.

Il s'agit notamment d'éliminer la pollution azotée et phosphorée responsable de nuisances particulières (eutrophisation, désoxygénation de l'eau, danger pour la santé...etc.).

Pour l'heure, l'élimination du phosphore est principalement réalisée par voie physico-chimique. Ces traitements associés au traitement biologique sont de mises en œuvre aisées et particulièrement efficaces. Toute fois, ils entraînent une surproduction importante de la quantité de boues et une modification de sa qualité.

Cet aspect doit être connu et étudié avant toute application. Pour remédier à ces inconvénients, une nouvelle technique est en train de voir le jour : l'élimination biologique du phosphore. L'azote contenu dans les eaux urbaines s'élimine par voie biologique simultanément à la pollution carbonée à condition que les paramètres de dimensionnement des ouvrages soient définis en conséquence.

D'autres traitements tels que la désinfection, l'affinage par filtration sur sable ou par lagunage peuvent également être mis en œuvre. [12]

❖ Désinfection :

Une décontamination microbiologique des eaux usées traitées est parfois mise en œuvre. L'effet recherché est un abattement significatif des germes indicateurs.

La désinfection est recommandée quand on veut réutiliser les eaux résiduaires pour l'arrosage au moyen de dispositif qui créent des aérosols.

Une désinfection chimique peut être envisagée. Le réactif le plus fréquemment utilisé est le chlore, qui nécessite, pour être efficace, le maintien d'une teneur résiduelle suffisante (0,1 mg/l) et un temps de contact minimal de 20mn.

L'effet désinfectant du chlore est d'autant plus net que le niveau d'épuration qui procède est élevé. En particulier l'élimination des MES doit être très poussée et une nitrification-dénitrification poussée est favorable à une désinfection au chlore (absence d'ammoniaque, donc absence de formation de chloramines). L'utilisation de dioxyde de chlore supprime cet inconvénient.

Les doses de chlore à appliquer sont :

- après traitement physico-chimique : 3-10 mg/l.
- après épuration biologique : 2 à 10 mg/l.
- après épuration biologique + filtration sur sable : 2 à 5 mg/l.

On peut également utiliser en désinfection le rayonnement UV mais ce procédé revient cher. L'ozone, l'agent désinfectant très actif, est également utilisé en désinfection des eaux usées. Il nécessite un investissement important et le coût d'exploitation est élevé.

❖ **Lagunage de finition :**

L'intérêt principal des lagunes de finition réside dans la décontamination bactérienne. Un temps de séjour de 15 jours à 25°C permet d'abattre les germes tests de 10⁶/100ml à 10³/100ml.

❖ **Filtration :**

C'est un procédé principalement physique permettant d'éliminer de 50 à 80% de MES et de 30 à 40% de la pollution organique carbonée résiduelle.

Cette filtration se fait au travers de filtres à sable d'une hauteur de 1 m à 1,5 m (taille du sable : 0,95-1mm), les vitesses appliquées peuvent aller de 5 à 30 m/h.

Enfin, il faut savoir qu'après ces différentes étapes de traitement que subissent les eaux usées, résultent les boues résiduaires, sous-produit de l'épuration, et qui sont susceptible d'être source de nuisances divers (risques de contamination des eaux, odeurs...etc.).

Leur évacuation, devant satisfaire au respect de l'hygiène publique de l'environnement impose au préalable un traitement de « stabilisation », indispensable pour réduire la fraction organique fermentescible contenue dans ces boues.

Le choix de la destination des boues va permettre de déterminer les traitements complémentaires à mettre en œuvre : épaissement et déshydratation permettant leur réduction de volume.

Conclusion :

Vu la composition des eaux usées brutes, leur rejets direct dans le milieu naturel accroît les risques de pollution ainsi que la réutilisation d'une eau de mauvaise qualité peut présenter des risques pour la santé et l'environnement, et poser des problèmes d'ordre technique en bouchant les conduites et les systèmes d'irrigation par exemple.

Un traitement adéquat est impératif, selon le niveau de qualité exigé. Cela passe en première étape par la caractérisation de la pollution des eaux usées afin d'assurer les performances du procédé d'épuration choisi.

Chapitre III : Réutilisation agricole des eaux usées

Introduction :

La réutilisation des eaux usées est une technique en pleine expansion principalement associée à l'agriculture, cette réutilisation a pour objectif principal la production des quantités complémentaires en eau pour différents usages afin de combler des déficits hydriques et de trouver des sources d'eau alternatives pour l'irrigation vu la rareté croissante de l'eau. En revanche l'irrigation continue et incontrôlée par des eaux d'égouts pose de sérieux risques pour la santé, du fait que les eaux d'égouts contiennent une charge polluante chimique toxique, et sont porteuses d'excrétas pathogènes (bactéries, virus, protozoaires, œufs d'helminthe, vers...etc.) responsables des infections gastro-intestinales chez les humains, aussi cette irrigation peut causer des problèmes sur l'environnement.

D'autre part, l'impact, surtout sanitaire, de cette réutilisation passe via les mécanismes de formation des eaux usées (domestique, industrielle,...) ce qui nous permet de savoir la composition biologique, chimique et physique de cette eau. L'étude des formes de réutilisation, nous permettent de détecter les différentes formes de danger (microbiologique, chimique,...etc.) menaçant la santé humaine.

Par ailleurs, des problèmes sérieux sont imposés, on doit donc agir et trouver des solutions immédiates et efficaces pour éviter toute menace. Il est donc indispensable de respecter les normes de rejet (réutilisations O.M.S. 1989), et opter pour des procédés de traitement efficaces des eaux usées, avant leur réutilisation.

III.1. La planification:

La planification d'un projet de réutilisation des eaux usées comprend une phase d'investigation préliminaire, une phase d'identification du marché potentiel et une phase d'évaluation détaillée. [2]

III.1.1. Investigations préliminaires :

C'est la phase d'information qui, sur base d'éléments physiques, biologiques, économiques et légaux, doit montrer la justification et la viabilité du projet de réutilisation. Cette phase doit être approchée avec une vue d'ensemble. L'exploration de toutes les possibilités de réutilisation pendant cette phase préliminaire doit permettre d'établir le contexte réel du projet et éviter de s'engager vers des solutions non pertinentes.

Les points à prendre en considération dans cette phase sont les suivants :

- Ressource en eau usée ;

- Le marché potentiel des eaux épurées ;
- Les considérations de santé publique associées à la réutilisation et leur prise en charge ;
- Impact environnemental potentiel ;
- Combinaison entre la réutilisation et l'utilisation des autres ressources en eau de la zone ;
- Le coût actuel et projeté de l'eau claire dans la zone ;
- Loi ou réglementation existante ou projeté qui s'applique à la réutilisation dans la zone ;
- L'administration qui doit approuver et suivre le projet ;
- La responsabilité légale du fournisseur ou de l'utilisateur des eaux épurées ;
- Source de financement disponible pour soutenir le projet.

III.1.2. Identification du marché potentiel:

L'objet de cette phase est de comparer le coût unitaire de l'eau claire et le coût de l'eau épurée. La valeur et l'intérêt porté à l'eau épurée prendra :

- de la qualité d'eau à fournir en fonction des besoins des agriculteurs ;
- de la quantité d'eau disponible et la capacité de suivre les fluctuations de la demande ;
- des effets de la législation ;
- du coût actuel ou futur de l'eau claire ;

La réponse à toutes ces interrogations demande des études détaillées.

III.1.3. Evaluation détaillée :

Les volets de cette phase sont :

- La qualité de l'eau nécessaire pour satisfaire chaque type d'utilisation et quelle fluctuation de la qualité est tolérée ;
- La demande journalière et saisonnière ;
- Les risques liés à la qualité des eaux et comment s'en prémunir ;
- Les autres éléments apportés par les eaux usées, en plus de l'eau ;
- Les précautions à prendre pour éviter tout risque de pollution ;
- Nécessité ou non d'un système de stockage ;
- Choix entre le pompage et le stockage pour mieux satisfaire les fluctuations de la demande ;
- La prise en charge du coût d'un traitement complémentaire s'il est nécessaire ;
- L'utilisation des eaux épurées forcera-t-elle les agriculteurs à modifier leur pratique d'irrigation ?

L'utilisation de l'eau usée peut donner des résultats agronomiques très favorables. Les schémas d'utilisation d'eau usée, lorsqu'ils sont correctement planifiés et contrôlés, peuvent avoir un impact environnemental et sanitaire positif, à côté de rendement agricole accrus.

III.2. Qualité des eaux usées pour l'irrigation :

Les eaux usées contiennent habituellement des constituants non désirables tels qu'éléments traces et pathogènes mais contiennent également des composants organiques et des éléments nutritifs (N, P et K) utiles pour l'agriculture.

Les propriétés physiques, ainsi que les constituants chimiques et biologiques des eaux usées sont donc des paramètres importants, dont il faut tenir compte dans la conception de projets réutilisation agricoles des effluents. Ces constituants sont représentés dans le tableau III-1. [2]

Tableau III-1 : Eléments à considérer en cas d'irrigation avec des eaux usées (adapté de Pettygrove et Assano, 1988).

Constituants	Paramètres mesurés	Raison
Solides en suspension	Solides en suspension	Ils peuvent causer le dépôt de boues et l'apparition de conditions anaérobies lorsque les EU sont déversées dans l'environnement aquatique. Les MES colmatent les systèmes d'irrigation.
Matières organiques biodégradables	Demande biochimique en oxygène, Demande chimique en oxygène	Leur décomposition biologique peut causer la diminution de l'oxygène dissous dans les eaux réceptrices et le développement de conditions septiques.
Pathogènes	Organismes indicateurs de contamination fécale, coliformes fécaux et totaux.	Les maladies contagieuses peuvent être transmises par les pathogènes dans les eaux usées : bactéries, virus, parasites.
Nutriments	Azote, phosphore, potassium.	Ces nutriments sont essentiels pour la croissance des plantes. Lorsque les EU sont déchargées dans l'environnement, azote et phosphore peuvent causer la croissance d'une vie aquatique non désirable. L'application en quantité excessives de l'azote sur les terres, peut polluer la nappe souterraine.

Tableau III-1 (suite) :

Constituants	Paramètres mesurés	Raison
Composants organiques spécifiques	Composants spécifiques (ex : phénols, pesticides)	Certains Composants organiques sont toxiques dans l'environnement et leur présence peut limiter l'attrait des eaux usées pour l'irrigation.
Activité de l'ion hydrogène	pH	Le pH des eaux usées affecte la solubilité des métaux ainsi que l'alcalinité des sols. La gamme normale des eaux usées est pH= 6.5÷8.5 mais les déchets industriels peuvent altérer le pH des eaux usées.
Métaux lourds	Eléments spécifiques (ex : Cd, Zn, Ni, Hg)	Certains métaux lourds qui se trouvent présent dans les eaux résiduaires peuvent constituer un risque sanitaire significatif pour les humains et les animaux et peuvent également affecter les cultures irriguées.
Inorganiques dissous	Solides totaux dissous, conductivité électrique, éléments spécifiques (ex : Na, Ca, Mg, Cl, B)	Une salinité excessive peut endommager certaines cultures. Des ions spécifiques tels que Cl, Na, B sont toxiques pour certaines plantes. Le sodium peut poser des problèmes de perméabilité des sols.
Chlore résiduel	Chlore libre et combiné	Une quantité excessive de Chlore libre (> 0.5mg Cl ₂ /l) peut causer des chloroses foliaires et endommager certaines cultures sensibles. Toutefois la plupart du chlore dans les EU est sous formes combinée, et ne cause pas trop de dommages aux plantes.

III.2.1. Qualité chimique:

Les caractéristiques de qualité chimiques et physiques sont identiques pour n'importe quelle eau d'irrigation. A cet égard, les directives générales présentées dans le Tableau III-2 peuvent être employées pour évaluer l'eau

usée traitée, utilisée à des fins d'irrigation, en termes de constituants chimiques tels que les sels dissous, le contenu en sodium et les ions toxiques.[2]

Tableau III-2 : Directives pour l'interprétation de la qualité de l'eau pour l'irrigation (FAO 1985).

Problèmes potentiels en irrigation	Unités	Degré de restriction à l'usage		
		Aucun	Léger à modéré	Sévère
Salinité				
EC _w	dS/m	< 0.7	0.7 ÷ 3.0	> 3.0
Ou				
TDS	mg/l	< 450	450 ÷ 2000	> 2000
Infiltration				
SAR=0-3 et EC _w =	dS/m	> 0.7	0.7 ÷ 0.2	< 0.2
3-6 =		> 1.2	1.2 ÷ 0.3	< 0.3
6-12 =		> 1.9	1.9 ÷ 0.5	< 0.5
12-20 =		> 2.9	2.9 ÷ 1.3	< 1.3
20-40 =		> 5.0	5.0 ÷ 2.9	< 2.9
Toxicité spécifique des ions				
Na				
Irrigation de surface	SAR	< 3	3 ÷ 9	> 9
Irrigation par aspersion	méq/l	< 3	> 3	
Cl				
Irrigation de surface	méq/l	< 4	4 ÷ 10	> 10
Irrigation par aspersion	méq/l	< 3	> 3	
Bore (B)				
	mg/l	< 0.7	0.7 ÷ 3.0	> 3.0
Effets divers				
Azote (NO ₃ -N)	mg/l	< 5	5 ÷ 30	> 30
Bicarbonate(HCO ₃)	méq/l	< 1.5	1.5 ÷ 8.5	> 8.5
pH		Gamme	normale	6.5 ÷ 8.5

Source : FAO 1985

❖ Salinité :

Le principal critère d'évaluation de la qualité d'une eau naturelle dans la perspective d'un projet d'irrigation est sa concentration totale en sels solubles. On estime que la concentration

en sels de l'eau usée excède celle de l'eau du réseau d'alimentation en eau potable de quelques 200 mg/l.

Dans la plupart des pays, l'eau utilisée pour l'approvisionnement municipal est l'eau ayant la meilleure qualité disponible et elle est habituellement de faible salinité. Cependant, en conditions de pénurie en eau, la salinité de l'eau peut être élevée avec pour conséquence une utilisation en irrigation limitée. Il est possible, dans certaines marges, d'adapter l'irrigation à la salinité de l'eau en jouant sur les doses appliquées et les systèmes d'irrigation. La quantité et le type de sels présents sont importants pour évaluer si l'eau usée traitée convient pour l'irrigation. Des problèmes potentiels sont liés à la teneur en sels totaux, au type de sel ou à la concentration excessive d'un ou plusieurs éléments (Ayers et Westcot, 1985).

• Salinisation :

Les plantes et l'évaporation prélèvent l'eau du sol en y abandonnant une large part des sels apportés par l'eau d'arrosage; ce qui conduit à augmenter la salinité de l'eau du sol. La pression osmotique de l'eau du sol augmentant avec sa concentration en sels dissous, la plante consacre alors l'essentiel de son énergie non pas à se développer, mais à ajuster la concentration en sel de son tissu végétal de manière à pouvoir extraire du sol l'eau qui lui est nécessaire. RICHARDS, en 1969, a établi une échelle de qualité des eaux d'irrigation en fonction de leur salinité évaluée par leur conductivité électrique (Tableau III-3). La tolérance de quelques plantes vis-à-vis de la salinité de l'eau d'irrigation est reportée au Tableau III-4.

Tableau III-3 : Classes de qualité de salure de l'eau d'irrigation
(Richards, 1969 in PERIGAUD J., 1977)

Qualité de l'eau	Conductivité de l'eau (mmhos/cm)	Sels solubles correspondants estimés en Na Cl (mg/l)
I. Excellente	< 0,25	< 160
II. Faibles salinité	0,25 - 0,75	160 - 500
III. Forte salinité	0,75 - 2,25	500 - 1 500
IV. Très forte salinité	2,25 - 5	1 500 - 3 600

Tableau III-4 : Rendement de quelques cultures en fonction de la salinité de l'eau d'arrosage (exprimée en dS/m)^(*)

Culture		Rendements				
		100 %	90 %	75 %	50 %	0 %
Orge	CE	5.3	6.7	8.7	12	19
Blé		4.0	4.9	6.3	8.7	13
Maïs		1.1	1.7	2.5	3.9	6.7
Sorgho		4.5	5.0	5.6	6.7	8.7

Betterave sucrière	CE	4.7	5.8	7.5	10	16
Tomate		1.7	2.5	3.4	5.0	8.4
Concombre		1.7	2.2	2.9	4.2	6.8
Choux		1.2	1.9	2.9	4.6	8.1
Pomme de terre		1.1	1.7	2.5	3.9	6.7
Oignon		0.8	1.2	1.8	2.9	5.0
Luzerne		1.3	2.2	3.6	5.9	10
Féтуque		2.6	3.6	5.2	7.8	13

(*) Adapté de Mass et Hoffman (1977) et Mass (1984).

Ces données sont uniquement indicatives. Les tolérances absolues varient en fonction du climat, des conditions de sol et des pratiques culturales.

En dessous de 700S/cm, il n'y a pratiquement pas de culture dont le rendement soit affecté par la salinité; entre 700 et 3 000S/cm, le maintien des rendements est encore possible avec des façons culturales adéquates.

Quand une tendance à l'enrichissement en sels de la solution du sol menace les rendements culturaux, elle doit être compensée par des irrigations supérieures aux besoins en eau de la culture pour entraîner la solution du sol excessivement enrichie en ions en dessous de la zone racinaire. Des abaques permettent de déterminer le taux de lessivage en fonction de la tolérance au sel de la culture et de la salinité de l'eau appliquée. Bien entendu, le projet de réutilisation doit se soucier de l'évacuation de l'eau de lessivage. Si la perméabilité du sol n'est pas suffisante, un drainage doit être prévu.

Le choix du mode d'irrigation doit tenir compte de la salinité de l'eau d'arrosage. L'irrigation à la raie est déconseillée; au contraire, l'irrigation par submersion ou l'irrigation localisée donnent de bons résultats. [13]

• Chlore et sodium :

Les chlorures et le sodium peuvent également poser problème, notamment en bord de mer, quand les réseaux d'égout drainent des eaux phréatiques saumâtres.

Tableau III-5 : Concentrations en Na⁺ et Cl⁻ de l'eau d'aspersion provoquant des brûlures des feuilles ^(a,b)

Concentration en Na ⁺ et Cl ⁻ (meq/l ^(c)) à partir desquelles on observe des brûlures des feuilles ^(d)			
moins de 5	5 - 10	10 - 20	plus de 20
Amandier	Raisin	Orge	Choux fleur
Abricotier	Pommes de terre	Blé	Betterave sucrière
Agrumes	Tomate	Concombre	Tournesol
Prunier	Gazons de golf	Sorgho	

- (a) Données de Maas.
- (b) Susceptibilité basée sur l'absorption directe des sels par les feuilles.
- (c) la concentration de Na ou Cl en meq/l peut être calculée en divisant les mg/l par le poids moléculaire de Na (23) ou Cl (35,5). (meq/l = mg/l x poids moléculaire)
- (d) Le dommage causé aux feuilles est influencé par les conditions environnementales et de culture. Ces données sont présentées uniquement en tant que guide pour l'irrigation par aspersion.

Certaines cultures, comme la vigne, les agrumes, les noyers, l'avocatier et le haricot, les groseilliers, les fraisiers et, d'une manière générale, les fruits à pépins et à noyaux sont sensibles à des concentrations relativement faibles en Na.

La plupart des arbres et autres plantes ligneuses pérennes sont sensibles au chlore à faible dose, alors que la plupart des cultures annuelles le sont moins. Les cultures très sensibles peuvent être affectées par des teneurs en chlore de la solution du sol à partir de 1 meq/l

Les effets toxiques apparaissent beaucoup plus facilement quand les sels sont apportés directement sur les feuilles lors des irrigations par aspersion. C'est particulièrement vrai pour le Cl et le Na. . Quelques valeurs de tolérances au chlore et au sodium sont données au Tableau III-5 .Les risques sont moindres avec des irrigations nocturnes.

Quand les eaux réutilisées ont été chlorées et que le résiduel en chlore est trop élevé au moment de l'irrigation, les cultures peuvent souffrir si elles sont arrosées par aspersion. Mais le chlore résiduel libre (HOCl, OCl-, Cl₂) est très réactif et instable dans l'eau ; il suffit alors de stocker l'eau quelques heures dans un réservoir ouvert pour l'éliminer. Une teneur en chlore résiduel inférieure à 1 mg/l est sans danger pour le feuillage, mais une concentration supérieure à 5 mg/l serait hautement dommageable. La plupart des projets d'irrigation ne devraient pas rencontrer ce problème s'ils utilisent un réservoir de stockage intermédiaire ; mais il est important de redoubler de précautions si ce réservoir est court-circuité et que l'effluent est directement utilisé. [10]

• Le bore :

Dans les eaux usées, le bore provient des lessives et des rejets industriels. A des concentrations très faibles, le bore est indispensable à la croissance des végétaux, ces besoins sont toujours largement couverts par les eaux usées ; mais lorsque sa concentration excède 1mg/l, il peut être toxique pour les plantes les plus sensibles (Tableau III-6). [10]

Tableau III-6: Concentrations maximales en Bore dans l'eau d'arrosage basées sur l'apparition de symptômes de toxicité lors de cultures sur sable

Sensible (0,3 - 1 mg de B/l)	Tolérance moyenne (1 - 2 mg de B/l)	Tolérant (2 - 4 mg de B/l)
Agrumes	Poivron	Carotte
Avocatier		
Abricotier	Avoine	Laitue
Pêcher	Petit pois	Choux
Cerisier	Maïs	Navet
Figuier	Blé	Oignon
Raisin	Orge	Luzerne
Pommier	Radis	Betteraves
Pêcher	Tomate	Asperge
Prunier	Tournesol	
Artichaut		

(Source : Shainberg et Oster, 1978)

❖ Sodisation :

L'accumulation de sodium (sodisation) sur le complexe adsorbant des sols peut dégrader les propriétés physiques des sols. Leur capacité de drainage, donc leur perméabilité, conditionne la productivité des terres irriguées. Un excès de sodium par rapport aux alcalino-terreux (calcium, magnésium, ...) dans le complexe adsorbant provoque une défloculation des argiles, une déstructuration du sol qui se traduit par une réduction de la perméabilité et de la porosité des couches superficielles du sol. L'eau d'irrigation stagne alors à la surface du sol et ne parvient plus jusqu'aux racines.

D'autre part, à proportions égales de sodium et d'alcalino-terreux dans la solution, la tendance à la sodisation du sol est d'autant plus forte que la concentration en cations totaux dans la solution est plus élevée. Ainsi, les risques de sodisation relatifs à une eau d'irrigation sont caractérisés par deux paramètres : le SAR (Sodium Adsorption Ratio), qui rend compte du rapport entre les concentrations en sodium et en alcalino-terreux, et la conductivité de l'eau appliquée.

Le SAR défini comme égal à $\frac{Na^+}{\sqrt{(Ca^{++} + Mg^{++})/2}}$, (Na^+ , Ca^{++} et Mg^{++} étant exprimés en meq/l) peut être ajusté pour mieux tenir compte du calcium susceptible de demeurer sur le sol après une irrigation. L'U.S. Salinity Laboratory a proposé un diagramme

qui, à partir des valeurs du SAR et de la conductivité, classe les eaux d'irrigation en fonction des risques de sodisation et de salinité. [10]

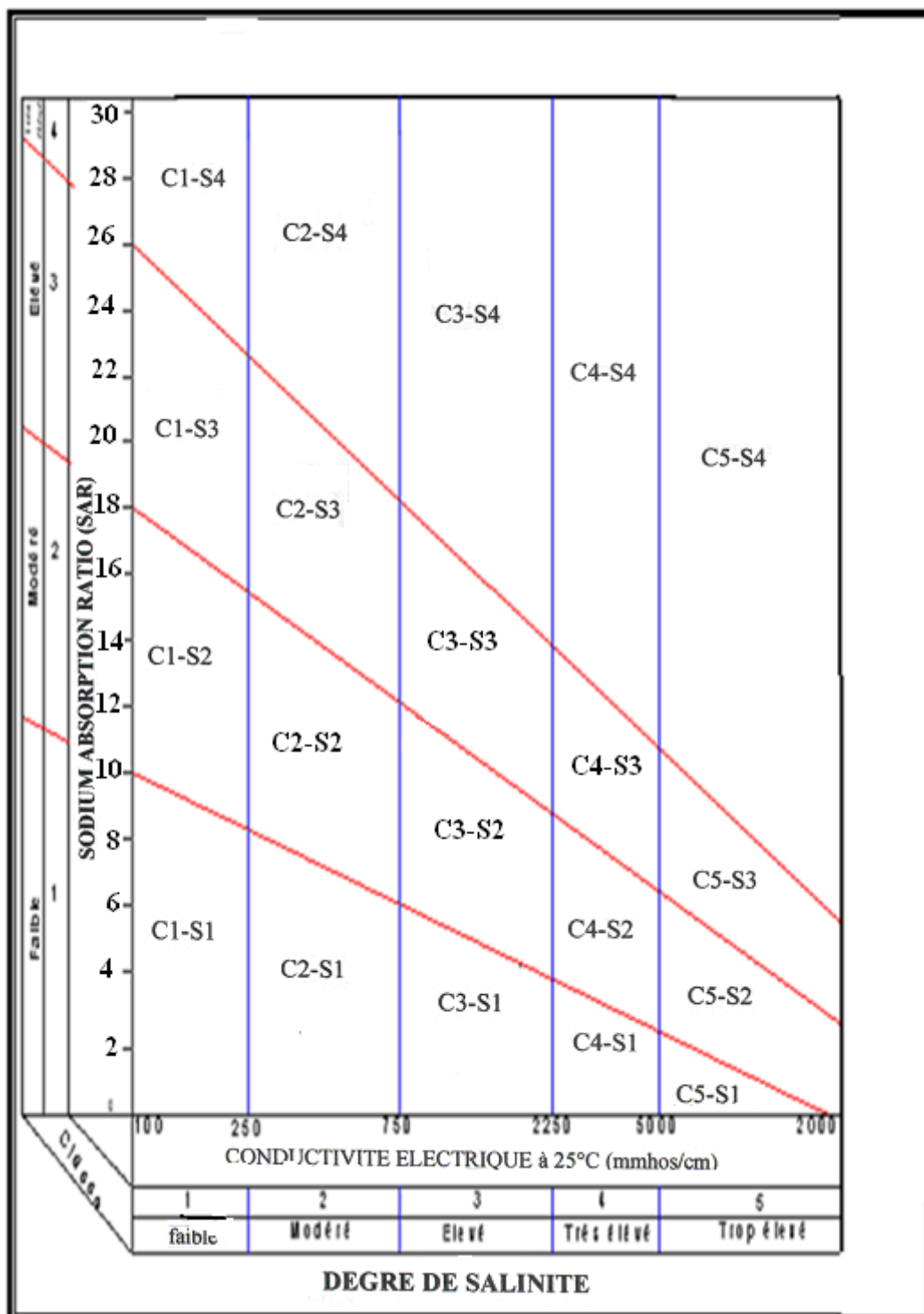


Figure III-1 : Diagramme de classification des eaux d'irrigation (D'après United States Salinity Laboratory, U.S.S.L établie 1954)

❖ Eléments traces et métaux lourds :

Les éléments traces sont, en général, immobilisés dans les couches supérieures du sol, par adsorption et échanges d'ions. Cette accumulation peut avoir pour conséquence, à terme, des risques pour le développement des plantes, la santé des hommes et des animaux. Les métaux lourds qui présentent les risques les plus notables sont {Cadmium (Cd), Cuivre (Cu), Molybdène (Mo), Nickel (Ni) et Zinc (Zn)}. Le nickel, le cuivre et le zinc sont d'abord phytotoxiques. Au contraire, le molybdène et, surtout, le cadmium peuvent être toxiques pour les animaux et l'homme, à des concentrations bien inférieures aux seuils de phytotoxicité.

Les concentrations maximales en éléments traces recommandées dans les eaux d'irrigation sont reportées dans le Tableau III-7. Il faut toutefois garder en mémoire que, sauf exception (établissements industriels très polluants raccordés directement au réseau d'assainissement), les concentrations en métaux lourds dans les eaux résiduaires sont faibles et ne constituent pas un facteur limitant la réutilisation des eaux usées en irrigation. L'essentiel de ces métaux est retenu dans les boues des stations d'épuration. Il reste cependant prudent, afin d'éviter tout risque, de suivre la qualité des eaux recyclées et de tenir compte de leur composition dans le choix des cultures arrosées. [10]

Tableau III-7 : Limites recommandées⁽¹⁾ en éléments traces dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation (FAO, 2000).

Élément (symbole)	Eaux utilisées en permanence tous types de sol mg/l	Utilisation allant jusqu'à 20 ans sur des sols à texture fine ayant un pH de 6 à 8,5 mg/l
Aluminium (Al)	5,0	20,0
Arsenic (As)	0,1	2,0
Béryllium (Be)	0,1	0,5
Bore (B)	0	2,0
Cadmium (Cd)	0,01	0,05
Chrome (Cr)	0,1	1,0
Cobalt (Co)	0,05	5,0
Cuivre (Cu)	0,2	5,0
Fluorure (F)	1,0	15,0
Fer (Fe)	5,0	20,0

Plomb (Pb)	5,0	10,0
Lithium (Li) ⁽²⁾	2,5	2,5
manganèse (Mn)	0,2	10,0
Molybdène (Mo)	0,01	0,05 ⁽³⁾
Nickel (Ni)	0,2	2,0
Sélénium (Se)	0,02	0,02
Vanadium (V)	0,2	1,0
Zinc (Zn)	2,0	10,0

(Source: National Academy of Engineering, 1973)

⁽¹⁾ Ayers et Westcoc, 1985.

⁽²⁾ La concentration maximale recommandée pour l'irrigation des agrumes est de 0,075 mg/l.

⁽³⁾ Uniquement pour des sols acides à texture fine ou des sols acides à teneur relativement élevée en oxyde de fer.

III.2.2. Qualité microbiologique :

Les recommandations de l'organisation mondiale de la santé (OMS) relatives à la REU en agriculture, distinguent trois catégories d'eau, A, B et C, sur la base de critères microbiologique (Tableau III-8). Les deux micro-organismes de référence considérés dans les directives de l'OMS sont les coliformes fécaux et les nématodes intestinaux. Ce choix est justifié par des considérations épidémiologiques (Shuval et al., 1986) et pour des raisons de facilité analytique.

Les directives de l'OMS diffèrent de l'approche « risque zéro » établie aux Etats-Unis. Elles ont été basées sur des données épidémiologiques considérant que la présence d'un agent pathogène dans l'environnement est insuffisante pour déclencher la maladie.

Les directives de l'OMS recommandent pour une irrigation non restrictive :

- ✓ l'élimination complète (ou quasi) des Helminthes intestinaux, avec une moyenne < 1 œuf par litre d'eau ;
- ✓ une élimination importante des bactéries pathogènes, avec une valeur moyenne < 1000 CF/100 ml.

Pour l'irrigation restrictive on insiste uniquement sur l'élimination des Helminthes.

Dans les pays où n'existent pas de normes plus contraignantes, les eaux usées traitées qui respectent les directives de qualité de l'OMS pour une utilisation non restrictive (catégorie A) peuvent être utilisées pour irriguer toutes les cultures sans mesure supplémentaire de protection de la santé (OMS, 1989). [2]

Tableau III-8 : Directives concernant la qualité microbiologique des eaux usées utilisées en irrigation (OMS, 1989)

Catégories	Conditions de réalisation	Groupes exposés	Nématodes intestinaux^a (nbre d'œufs / l) moyenne arithmétique	Coliformes fécaux (nbre/ 100ml) moyenne géométrique^b	Procédé de traitement susceptible d'assurer la qualité microbiologique voulue
A	Irrigation des cultures destinées à être consommées crues, des terrains de sport, des jardins publics ^(c)	Ouvriers agricoles Consommateurs, Public	< = 1	< = 1000 ^(d)	Une série de bassins de stabilisation conçus de manière à obtenir la qualité microbiologique voulue ou tout autre procédé de traitement équivalent.
B	Irrigation des cultures céréalières, industrielles et fourragères, des pâturages et des plantations d'arbres ^(e)	Ouvriers agricoles	< = 1	Aucune norme n'est recommandée	Rétention en bassins de stabilisation pendant 8-10 jours ou tout autre procédé d'élimination des helminthes et des coliformes intestinaux.
C	Irrigation localisée des cultures de la catégorie B si les ouvriers agricoles et le public ne sont pas exposés	Néant	Sans objet	Sans objet	Traitement préalable en fonction de la technique d'irrigation, mais au moins sédimentation primaire

(a). Espèces *Ascaris*, *Trichuris* et ankylostomes.

(b). Pendant la période d'irrigation.

(c). Une directive plus stricte (< 200 coliformes intestinaux par 100 ml) est justifiée pour les pelouses avec lesquelles le public peut avoir un contact direct, comme les pelouses d'hôtels.

(d). Cette recommandation peut être assouplie quand les plantes comestibles sont systématiquement consommées après une longue cuisson.

(e). Dans le cas d'arbres fruitiers, l'irrigation doit cesser deux semaines avant la cueillette et les fruits tombés ne doivent jamais être ramassés. Il faut éviter l'irrigation par aspersion.

❖ **Tendances récentes dans la définition des normes :**

La réglementation régissant les normes microbiologiques de la REU est en voie de révision compte tenu des données récentes en épidémiologie, de l'amélioration du niveau moyen d'hygiène enregistré dans chaque pays et des performances épuratoires des procédés de traitement.

Par ailleurs, sur la base de données épidémiologiques, les directives de l'OMS sont en révision. Il a été considéré que la directive < 1 oeuf de nématode par litre pour une irrigation non restrictive est suffisante pour protéger le consommateur des produits irrigués par aspersion avec des effluents de qualité adéquate à une température élevée, mais pas nécessairement suffisante pour assurer la protection du consommateur de produits irrigués par gravité avec le même effluent à des températures élevées. Il est évident que les conditions climatiques jouent un rôle important dans la survie et le développement des formes infestantes du parasite.

La nouvelle proposition de directive pour la REU en Méditerranée tient compte des données actuelles en épidémiologie et des directives et réflexions engagées par les pays méditerranéens et les organisations internationales (Tableau III-9). [2]

Tableau III-9 : Directives recommandées pour la réutilisation des eaux épurées en région méditerranéenne (adapté de Bahri et Brissaud, 2002)

Catégorie de l'eau	Critères de la qualité			Traitement des eaux usées requis pour respecter les critères
	Microbiologique		Physicochimique	
	Nématode intestinaux ^(a) (nbre. Œufs/L)	FC or E.coli ^(b) (cfu/100ml)	SS ^(c) (mg/l)	
Catégorie I				
<p>a) Réutilisation résidentielle : jardin privé, toilette, lavage des véhicule.</p> <p>b) Réutilisation urbaine : irrigation de zone à accès libre (ceinture verte, parcs, terrains de golf, terrain de sport), nettoyage de rue, lutte contre les incendies, fontaine, et autre zone de loisir.</p> <p>c) Paysage et zone destinée aux loisirs : étang, plan d'eau et ruisseaux pour loisir où le contact accidentel est autorisé (à l'exception de la baignade).</p>	< 0.1	< 200 ^(d)	≤ 10	Traitement secondaire + filtration + désinfection
Catégorie II				
<p>a) Irrigation de légumes (irrigation de surface ou par aspersion), fourrage vert et pâture pour pâturage direct, irrigation par aspersion d'arbres fruitiers.</p> <p>b) Paysage : étang, plan d'eau d'ornement où le contact du public avec l'eau n'est pas autorisé.</p> <p>c) Réutilisation industrielle (à l'exception de l'industrie agroalimentaire).</p>	< 0.1 — —	< 1000 ^(d)	≤ 20 < 150 ^(f)	<p>Traitement secondaire ou équivalent^(g) + filtration + désinfection</p> <p>Ou</p> <p>Traitement secondaire ou équivalent^(g) + stockage ou série d'étang de maturation bien à conçu ou bassins d'infiltration</p>

Tableau III-9 (suite) :

Catégorie III				
Irrigation de céréales et graines d'oléagineux, fibre, et récolte de la graine, fourrage sec, fourrage vert, sans pâturage direct, cultures industrielles de la mise en conserve, plantes industrielles, arbres fruitiers (sauf irrigation par aspersion) ^(e) , pépinière de plantes, pépinière ornementale, zone boisée, zone verte sans accès du public.	≤ 1	Non exigé	≤ 35 < 150 ^(f)	Traitement secondaire ou équivalent ^(g) + quelques jours de stockage Ou Systèmes de la lagunage
Catégorie IV				
<p>a) Irrigation de légumes (sauf tubercule, racines, etc.) en irrigation goutte à goutte et souterraine (sauf micro asperseurs) utilisant des pratiques de couverture plastique, garantissant l'absence de contact entre l'eau épurée et la partie comestible du légume.</p> <p>b) Irrigation de cultures de la catégorie III avec des systèmes d'irrigation localisées (tel que goutte à goutte, bubbler, micro-asperseur et irrigation souterraine).</p> <p>c) Irrigation de ceinture verte et de zones vertes sans accès au public avec système l'irrigation localisée de surface.</p> <p>d) Irrigation de parcs, terrains de golf, terrain de sport avec les systèmes d'irrigation souterraine.</p>	Non exigé	Non exigé	Prétraitement comme requis par la technologie de l'irrigation, mais pas moins de la décantation primaire	

- (a). Ascaris, Trichuris et ankylostomes : les valeurs limites de la directive sont aussi supposées de protéger contre les risques des parasites protozoaires ;
- (b). FC ou E.coli (cfu/ 100ml) : coliformes fécaux ou Escherichia coli (cfu : colony forming unit/ 100ml) ;
- (c). SS : solides en suspension ;
- (d). Les valeurs doivent être conformées dans 80% des échantillons par mois, nombre minimum d'échantillons 5 ;
- (e). Dans le cas d'arbres fruitiers, l'irrigation devrait être arrêtée deux semaines avant que le fruit soit récolté, et aucun fruit ne devrait être ramassé par terre. L'irrigation par aspersion ne devrait pas être utilisée ;
- (f). Etangs de stabilisation (lagunage) ;
- (g). Tel que traitement avancé (Jimenez et al., 1999 et 2001).

III.2.3. La concentration en éléments fertilisants :

Si la concentration élevée en éléments fertilisants augmente la valeur des eaux usées, il n'en est pas moins vrai que les éléments nutritifs peuvent constituer un facteur limitant dans le cas d'un apport excessif lié à une concentration élevée et/ou un apport d'eau usée élevée.

Les eaux usées urbaines contiennent beaucoup de nutriments (macronutriments N, P, K, Ca, Mg et micronutriments Fe, Zn, Cu, Mn...) sous forme soluble, directement disponibles pour la plante. L'apport de nutriments des eaux usées à chaque irrigation représente une sorte de fertigation : c'est l'application combinée des fertilisants et de l'eau via le réseau d'irrigation. Cette technique est économiquement intéressante car elle réduit le coût de la fertilisation.

Les éléments minéraux (azote, phosphore, potassium) contenus dans les effluents se présentent généralement en quantité qui dépassent souvent les besoins des cultures. Ces excès peuvent entraîner des anomalies telles que la croissance végétative excessive en retardant la maturité et l'altération de la qualité des produits. [2]

✓ Azote (N) :

L'azote dans les eaux usées est sous trois formes différentes : organique, ammonium et nitrate (voir chapitre II§Les matière azotées).

L'ammonium (NH₄) est la forme principale avec des concentrations qui varient entre 5÷40 mg/l. Dans les procédés aérobies, une partie de l'ammonium des eaux usées traitées est

convertie en nitrates par l'action des bactéries nitrifiantes. La concentration en nitrates peut alors varier de 0 à 30 mg/l.

Certaines cultures sont très efficaces pour consommer l'azote et empêcher son accumulation dans le sol et sa migration, sous forme nitrique, vers les eaux souterraines. Ce sont généralement des cultures à coupes multiples et à enracinement profond.

A titre d'exemple, le Tableau III-10 montre que la quantité d'azote total apportée à une culture de tomate irriguée avec des eaux usées urbaines provenant de la ville de Ouarzazate (Maroc), dépasse les besoins de cette plante.

Tableau III-10 : Apport en NPK (kg/ha) par les eaux d'irrigation pour une culture de tomate nécessitant un volume d'eau d'irrigation de 6500m³/ha.

Eléments minéraux	Eau usée brute	Eau usée épurée	Besoins théoriques
N	334	225	175
P	145	99	75
K	155	111	175

(Source : Xanthoulis, 1996)

✓ **Phosphore (P) :**

Le phosphore comme l'azote est un nutriment essentiel à toutes les plantes. La teneur en phosphore dans l'eau usée après traitement secondaire varie de 6 à 15 mg/l (15-35 mg/l P₂O₅) à moins qu'un traitement tertiaire l'élimine. Un excès de phosphore dans l'eau d'irrigation ne pose pas de problèmes. Il n'existe pas de valeur indicative pour estimer la valeur du phosphore en excès. Pour l'établissement d'un programme de fertilisation, l'évaluation du phosphore dans l'eau usée traitée devrait être réalisée en conjonction avec les analyses de sol.

✓ **Potassium (K) :**

Le potassium contenu dans l'eau usée n'occasionne pas d'effet nuisible sur les plantes ou sur la santé. C'est un macronutriment essentiel qui affecte favorablement la fertilité du sol, le rendement et la qualité des cultures. La concentration en K dans l'eau usée traitée secondaire varie de 10 à 30 mg/l (12-36 mg/l K₂O). Cette concentration doit être prise en compte pour préparer le programme de fertilisation en fonction des besoins des cultures.

✓ **Autres nutriments :**

La plupart des eaux usées contiennent suffisamment de Soufre, Zinc, Cuivre et d'autres micronutriments pour corriger les déficiences du sol au bout de trois ans d'irrigation. Par ailleurs, pour éviter les effets toxiques sur les plantes, les valeurs maximales des

micronutriments ne doivent pas dépasser certaines valeurs recommandées (Ayers et Westcoc, 1985). Une attention particulière doit être portée au Bore. L'eau usée traitée contient assez de Bore pour corriger toutes les déficiences en cet élément. Cependant, lorsque cet élément se trouve en excès, il peut provoquer des problèmes de phytotoxicité. La toxicité du Bore est difficile à éliminer car sa teneur n'est pas affectée par le traitement des eaux usées.

En somme, en terme de fertilisant, une eau usée épurée est caractérisée souvent par son pouvoir nutritif, exprimé par le NPK.

Pour certaines concentrations typiques de N, P et K, les quantités des nutriments correspondant appliquées par hectare avec une irrigation de 1000 mm d'eau usée sont données à titre indicatif par le Tableau III-11 de la FAO, ci-après. Évidemment, l'apport en nutriments dépend de la quantité totale d'eau usée appliquée. Il est évident que pour avoir une efficacité nutritive élevée, l'irrigation devrait être basée sur les besoins en eau des cultures. [13]

Tableau III-11 : Potentiel de fertilisation par l'eau usée (FAO/RNEA, 1992).

Nutriment	N	P	K
Concentration en nutriments (mg/l)	40	10	30
Nutriments apportés annuellement en Kg/ha par l'application de 10 000 m ³ d'eau/ha (1000 mm)	400	100	300

III.3. Mesures de lutte sanitaire :

Plusieurs mesures de lutte sanitaire existent pour limiter les risques liés à l'utilisation des eaux usées en agriculture (Mara et Caincross, 1988). Parmi ces mesures, le traitement des eaux usées résiduaires, les mesures professionnelles, la restriction des cultures et le choix du système d'irrigation sont les plus efficaces. Une combinaison de ces mesures, selon les conditions socioculturelles, institutionnelles et économiques locales peut assurer la protection sanitaire optimale. [2]

III.3.1. Traitement des eaux résiduaires :

L'objectif principal du traitement est de produire des effluents traités à un niveau approprié et acceptable du point de vue du risque pour la santé humaine et l'environnement. A cet égard, le traitement des eaux résiduaires le plus approprié est celui qui fournit, avec certitude,

des effluents de qualité chimique et microbiologique exigée pour un certain usage spécifique, à bas prix et des besoins opérationnels et d'entretien minimaux.

L'efficacité des procédés d'épuration est fortement liée à la conception des ouvrages et leur modalité d'exploitation.

III.3.2. Mesures professionnelles :

Les mesures dépendront fortement du degré d'exposition et de la résistance des groupes visés :

- Les ouvriers agricoles ;
- Les consommateurs ;
- Le grand public ;
- Les habitations limitrophes des champs.

Sur ce sujet on propose le Tableau III-12 établie par le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF, 1991).

Tableau III-12 : Application des recommandations du CSHPF.

Nature des activités à protéger	Niveau de qualité		
	A	B si aspersion maîtrisant les aérosols	C et D
Habitations	50 m si aspersion	100 m	—
Voies de circulation	50 m si aspersion	50 m	—
Milieu hydraulique superficiel	20 m	50 m	100 m
Conchyliculture et aquaculture	50 m	200 m	300 m
Baignades	50 m	100 m	200 m

III.3.3. Choix des cultures :

Le choix des cultures est en étroite dépendance avec la qualité de l'effluent. Ainsi, cet aspect est en relation directe avec les normes de qualité. Les eaux épurées qui répondent à la qualité A de la directive de l'OMS (< 1000 coliformes fécaux par 100 ml et < 1oeuf de nématode par litre), peuvent être utilisées pour irriguer toutes les cultures. Dans le cas où ce niveau de qualité n'est pas atteint, il s'impose de procéder au choix adéquat des cultures qui n'induisent pas de risques sanitaires pour l'agriculteur, les ouvriers et le consommateur.

Voici une classification des cultures par risques décroissants de transmission de pathogènes, si celles-ci sont irriguées avec un effluent traité (FAO, 2000). Les cultures irrigables avec les eaux de catégorie B et C — sauf réglementation nationale contraire —, et les mesures

de protection sanitaire nécessaire sont indiqués dans le tableau III-8. Quelle que soit la méthode d'irrigation utilisée, les cultures du haut de la liste présentent le plus grand risque. Et celles en bas de la liste, les risques minimums :

- 1- légumes mangés crus ;
- 2- légumes mangés cuits ;
- 3- plantes ornementales produites pour être vendues dans les serres ;
- 4- arbres produisant des fruits, mangés crus sans être pelés ;
- 5- pelouses dans des endroits d'agrément avec accès libre au public ;
- 6- arbres produisant des fruits que l'on mange crus après les avoir pelés ;
- 7- pelouses et d'autres arbres dans des zones d'agrément d'accès limité ;
- 8- cultures fourragères ;
- 9- arbres produisant des noix et d'autres arbres similaires ;
- 10- cultures industrielles ou grandes cultures.

Il est évident que la restriction des cultures implique de grands risques en cas d'absence de contrôle et d'autorisation légale. L'agriculteur doit être informé du bien fondé de la restriction des cultures et des pratiques agricoles qui tiennent compte de la qualité de l'effluent.

III.3.4. Choix de la méthode d'irrigation:

Le choix du système d'irrigation approprié dépend de la qualité de l'eau usée, de la culture, des coutumes, de l'expérience, de la compétence, de la capacité des agriculteurs à gérer les différentes méthodes et du risque potentiel sur l'environnement et sur la santé des agriculteurs et du public. Le Tableau III-13 qui évalue la convenance des méthodes d'irrigation, à savoir, la planche, la raie (ou sillon), l'aspersion, le goutte à goutte, par rapport à l'eau saumâtre est également valable pour l'eau usée traitée.

Les problèmes de colmatage des asperseurs, des mini asperseurs, des goutteurs et des systèmes d'irrigation souterrains peuvent être sérieux, la cause est le développement (dépôts biologiques, bactéries...) dans les asperseurs, les orifices d'émission ou les canalisations d'alimentation, ainsi que les sels et les solides en suspension peuvent également produire le colmatage.

Le colmatage le plus sérieux se produit avec l'irrigation goutte à goutte, qui est considérée comme le système idéal en ce qui concerne la protection sanitaire et la contamination des plantes, mais pourrait être difficilement utilisable si l'eau usée contient de fortes concentrations de matières en suspension.

Tableau III-13 : Evaluation des méthodes d'irrigation pour leur aptitude à utiliser l'eau saumâtre (Kandiah, 1990).

Paramètres d'évaluation	Irrigation à la raie	Irrigation à la planche	Irrigation par aspersion	Irrigation localisée
Le mouillage foliaire et endommagement des feuilles ayant pour résultat un rendement faible	Aucun dommage foliaire si la culture est plantée sur la crête du billon	Quelques feuilles inférieures peuvent être affectées, mais les dommages ne sont pas suffisamment sérieux pour réduire le rendement	Les feuilles peuvent être sévèrement endommagées avec pour résultat une perte significative de rendement	Aucun dommage foliaire ne se produit avec cette méthode d'irrigation
Accumulation de sels dans la zone des racines avec les applications répétées	Les sels tendent à s'accumuler sur la crête du sillon, ce qui peut nuire à la culture	Les sels se déplacent vers le bas et ne sont pas susceptibles de s'accumuler dans la zone des racines	Les sels se déplacent verticalement et la zone racinaire n'est pas susceptible d'accumuler des sels	Les mvts de sel sont radiaux le long de la direction du mvt de l'eau. Une zone salée est formée entre les points de goutte à goutte
Capacité de maintenir un potentiel élevé de l'eau dans le sol	Les plantes peuvent être sujettes à un stress hydrique entre les irrigations	Les plantes peuvent être sujettes à un stress hydrique entre les irrigations	Il n'est pas possible de maintenir un potentiel en eau du sol tout au long de la saison de croissance	Possibilité de maintenir un potentiel élevé en eau du sol tout au long de la saison de croissance et de réduire au minimum l'effet de la salinité
Convenance pour manipuler l'eau saumâtre sans perte significatif de rendement	Faible à moyenne. Avec une bonne gestion et un bon drainage, il est possible d'obtenir des rendements acceptables	Faible à moyenne. Les bonnes pratiques en matière d'irrigation et de drainage peuvent produire un niveau de rendement acceptable	Très faible à faible. La plupart des récoltes souffrent de dommages sur des feuilles et d'un faible rendement	Excellent à bon. Presque toutes les cultures peuvent se développer avec une réduction de rendement faible

Si une eau usée traitée répond à la directive de l'OMS, toutes les méthodes d'irrigation sont appropriées du point de vue du contrôle de la transmission de maladies, à condition que les critères agricoles soient également satisfaits. Si l'eau usée ne répond pas aux critères de santé alors (tableau III-14) :

- l'irrigation par aspersion est seulement limitée aux fourrages, fibre, et production de graines ;
- l'irrigation par aspersion de pelouses ou de domaines à accès illimité, peut être pratiquée pendant la nuit ;
- l'irrigation par aspersion n'est pas recommandée en conditions venteuses. Les microbes pathogènes peuvent être emportés par le brouillard ou l'aérosol formé par la dérive du vent, ce qui peut engendrer un risque sanitaire pour les ouvriers, les habitants de la ferme et des zones résidentielles voisines.

Tableau III-14 : Facteurs affectant le choix de la méthode d'irrigation et les mesures spéciales exigées quand l'eau usée est utilisée, en particulier quand elle ne respect pas les directives de l'OMS (Mara et Cairncross, 1989)

Méthode d'irrigation	Facteurs affectant le choix	Mesures spéciales pour les eaux usées
Irrigation à la planche	Plus faible coût, planage précis non nécessaire	Protection complète pour des ouvriers agricoles, les ouvriers qui manipulent les produits agricoles et les consommateurs
Irrigation à la raie	Faible coût, planage précis peut être nécessaire	Protection pour des ouvriers agricoles éventuellement pour les ouvriers qui manipulent les produits agricoles et les consommateurs
Irrigation par aspersion	Efficacité moyenne de l'utilisation de l'eau, nivellement non requis	Les arbres fruitiers, ne devraient pas être irrigués. Distance minimum de 50-100m des maisons et des routes. Des eaux ayant été traitées par voie anaérobie ne devraient pas être employées, en raison des nuisances olfactives
Irrigation souterraine et localisée	Coût élevé, efficacité de l'utilisation de l'eau élevée, rendements plus élevés	Filtration pour prévenir le colmatage des distributeurs

Pour une eau conventionnelle, le choix du système d'irrigation dépendra de la qualité de l'eau (essentiellement sa salinité), des cultures à irriguer, de l'investissement possible et du type de sol. L'utilisation d'eaux usées implique des préoccupations supplémentaires telles que les éléments toxiques, la résistance et la méfiance sociale, les aspects culturels et légaux ainsi que les précautions sanitaires et environnementales associées. Il est toutefois possible de réduire les effets indésirables de l'utilisation des eaux usées par la sélection de méthodes d'irrigation appropriées.

III.3.4.1. L'irrigation de surface (irrigation gravitaire) :

L'irrigation de surface est un système par lequel l'eau est distribuée à la surface du sol par gravité. Cette technique ne souffre pas beaucoup de problèmes de qualité de l'eau d'irrigation. Cependant, certains problèmes peuvent se poser lorsque l'eau utilisée pour l'irrigation transporte beaucoup de sédiments. Ces derniers peuvent se déposer et colmater les canaux et les conduites et parfois réduire la perméabilité des sols.

L'irrigation de surface produit en général des pertes d'eau importantes par rapport aux autres types d'irrigations par écoulement en fin du champ (colature) et par percolation en profondeur hors de la zone racinaire.

Pour réduire ces pertes; il faut déterminer le débit, la dose et la durée de l'irrigation pour fournir au sol la quantité d'eau optimale et minimiser les pertes par percolation et par colature.

La vitesse d'infiltration est le facteur le plus difficile à évaluer (variation dans le temps et dans l'espace). Elle contrôle la quantité d'eau entrant dans le sol et la vitesse d'avancement de l'eau dans la raie. Sa valeur tend vers la vitesse d'infiltration de base qui est proche de la conductivité hydraulique de la surface du sol en condition saturée.

La diminution de la vitesse d'infiltration causée par l'augmentation de la charge polluante en DBO₅ des eaux usées, entraîne la diminution du débit d'irrigation optimum pour éviter le ruissellement des eaux excédentaires et l'augmentation du temps d'irrigation, afin d'obtenir une efficacité d'application maximum.

Les irrigations à la planche, par bassin et par submersion impliquent le recouvrement complet de la surface du sol avec l'effluent traité et donc la contamination des cultures qui poussent sur le sol ou dans le sol. Avec ces méthodes, les fermiers ou les agriculteurs sont en contact avec l'effluent. Ces méthodes d'irrigation ne seront acceptées que pour la production de fourrages, céréales ou arbres fruitiers à condition que les eaux soient au moins de classe B et que les ouvriers évitent le contact direct avec l'eau pendant l'irrigation.

L'irrigation à la raie ne mouille pas l'entièreté de la surface du sol. Cette méthode peut réduire la contamination des cultures puisque les plantes poussent sur les buttes. Mais une protection sanitaire compétente ne peut pas être garantie. Le risque de contamination est réduit si l'effluent est transporté par des conduites fermées.

Outre les risques sanitaires, l'irrigation de surface comporte un danger de pollution du sol et des nappes phréatiques à cause des pertes par colature et par percolation.

III.3.4.2. L'irrigation par aspersion :

L'irrigation par aspersion réalise une économie de main d'œuvre, d'eau et permet un bon contrôle des quantités d'eau apportées.

Elle peut être utilisée pour épandre des eaux usées qui ont subi un traitement secondaire pour autant que l'effluent ne soit pas trop salin. Des précautions supplémentaires telles que la filtration et le choix d'ajutage de diamètre adéquat sont nécessaires.

L'irrigation par aspersion, pour les eaux usées, peut se heurter à deux problèmes majeurs : le bouchage et le colmatage des installations et la dispersion de germes dans l'atmosphère par les aérosols.

❖ Dispersion de germes pathogènes par les aérosols :

L'irrigation par aspersion d'eau usée ou épurée produit des aérosols qui peuvent transporter des germes pathogènes à une certaine distance dans le sens des vents dominants. L'insolation, la température, l'humidité relative, la stabilité des conditions atmosphériques, la vitesse et la constance du vent affectent la survie des pathogènes dans les aérosols. Leur transport dépend des conditions atmosphériques (Camman « 1960 » propose un modèle permettant de prédire la concentration à une distance d des micro-organismes dispersés par une source d'aérosols).

D'une manière générale, on estime qu'une zone tampon d'environ 200 m dans le cas d'effluents secondaire serait nécessaire pour réduire à des niveaux négligeables les concentrations en virus. Il est aussi recommandé de privilégier l'aspersion à basse et moyenne pression, orientation des buses d'asperseurs vers le sol et la protection des champs irrigués contre les vents dominants par des haies d'arbres.

❖ Bouchage des asperseurs :

Le bouchage peut être étudié par le suivi l'uniformité d'arrosage au moyen de pluviomètres installés selon un quadrillage. En général, la répartition de l'eau au sol est considérée comme bonne lorsque la valeur du coefficient d'uniformité d'arrosage de Christiansen est supérieure à 80%. Un bouchage complet nécessitant le démontage de l'asperseur est parfois causé par

des graines ou détritiques organiques apportés par le vent dans le réservoir de stockage. Après nettoyage, l'asperseur retrouve son efficacité initiale.

III.3.4.3. L'irrigation localisée (ou micro-irrigation):

La technique la mieux adaptée à l'apport des eaux usées est certainement l'irrigation localisée parce qu'elle engendre le moins de risques sanitaires et évite la dispersion des odeurs dans l'atmosphère. Par contre, ce système est le plus sensible à la qualité d'eau, il requiert une filtration efficace et demande un entretien constant à cause de sa sensibilité au colmatage.

Les principales causes de colmatage du système goutte à goutte peuvent être classées en trois grandes catégories:

- Les particules minérales en suspension dans l'eau ;
- Les dépôts d'origine chimique ;
- Les matières organiques provenant de l'activité biologique (algues et bactéries).

Les moyens de lutte contre ces problèmes sont ceux habituellement utilisés:

- Filtres à tamis de 80 mesh (maille par pouce) et une pression de fonctionnement de 0.7 à 1 bar sont recommandés ;
- Crépines flottantes et auto nettoyantes ;
- Filtre à sable ou à gravier : le diamètre moyen du sable doit être équivalent ou inférieur au diamètre des distributeurs utilisés ;
- Stockage hivernale de l'eau qui se traduit par une réduction des particules en suspension par sédimentation ;
- Le diamètre critique pour un microjet est de 0.75mm ;
- Les rampes doivent être purgées régulièrement à une fréquence minimale hebdomadaire ;
- Les distributeurs doivent avoir un diamètre ≥ 1 mm. Les distributeurs à jet tournants sont déconseillés à cause du blocage de l'élément tournant par les toiles d'araignée ou les éléments organiques transportés par les eaux usées.

Si ces conditions sont respectées, le pourcentage de colmatage peut être maintenu à moins de 25%.

La lutte chimique contre les algues, les bactéries et les champignons se fait généralement par :

- Utilisation de chlore sous les formes (Chlore gazeux, Chlorite de sodium, Dioxyde de chlore, Hypochlorite de sodium « eau de javel ») ;
- D'autres produits sont également utilisés (l'eau oxygénée : H₂O₂, le permanganate de potassium, les composés d'ammonium « sels d'ammonium », le cuivre et ses composés « chlorure ou sulfate contre la prolifération des algues ») ;
- Des produits chimiques sont également utilisés dans la lutte contre les colmatages chimiques: les acides forts diminuent le pH et solubilisent ainsi le calcaire CaCO₃. Les dépôts ferriques sont difficiles à éliminer. Il vaut mieux, de ce fait, d'écarter une eau riche en fer dissous.

III.4. Impacts environnementaux associés à l'utilisation des eaux usées en irrigation: [2]

III.4.1. Avantages environnementaux :

Lorsque l'eau usée est utilisée correctement à des fins agricoles, plutôt qu'à toute autre utilisation, l'environnement peut être amélioré. Voici quelques avantages environnementaux :

- ✓ la suppression de rejet en eaux de surface, prévient l'éventualité de situations esthétiques désagréables, de conditions anaérobies dans les cours d'eau et l'eutrophisation des lacs et réservoirs. La conservation des ressources en eau fournit des avantages à l'utilisation, tels que l'approvisionnement en eau et la préservation des étendues d'eau à usage réactif ;
- ✓ la sauvegarde des ressources en eau souterraines dans les zones de surexploitation de ces ressources pour l'agriculture pose le problème de l'épuisement et de l'intrusion du biseau salin ;
- ✓ la possibilité de conservation des sols et de leur amélioration par apport d'humus sur les terres agricoles et de prévention de l'érosion.

III.4.2. Effets négatifs potentiels sur l'environnement :

L'utilisation d'eau usée pour l'irrigation peut avoir également des effets négatifs sur l'environnement et la santé humaine. Les principaux dangers pour l'environnement associés à l'eau usée sont :

- ✓ l'introduction d'éléments chimiques, parfois en forte concentration, dans des écosystèmes sensibles (principalement le sol, l'eau et les plantes) ;
- ✓ la propagation des micro-organismes pathogènes.

III.4.2.1. Effets sur le sol :

Ces impacts sont d'importance particulière pour les agriculteurs puisqu'ils peuvent réduire la productivité, la fertilité et le rendement de leurs terres. Les problèmes prévus au niveau du sol sont :

- ✓ la salinisation ;
- ✓ l'alcalinité et la réduction de la perméabilité du sol ;
- ✓ l'accumulation d'éléments potentiellement toxiques ;
- ✓ l'accumulation de nutriments.

III.4.2.2. Effets sur les eaux souterraines :

Dans certaines conditions, les effets sur les eaux souterraines sont plus importants que les effets sur le sol. La pollution des eaux souterraines avec des constituants de l'eau usée est possible. Pour réduire et/ou surmonter le problème, les aspects suivants sont recommandés :

- établissement du programme d'irrigation basé sur les besoins en eau des cultures, la capacité de stockage en eau du sol et la qualité de l'eau usée, avec lessivage minimum ;
- sélection des cultures qui peuvent absorber les constituants potentiellement dangereux ;
- en cas d'eaux salines, introduction dans la rotation culturale de plantes consommant les sels ;
- limitation de la quantité d'eau de façon à assurer l'apport exacte en N nécessaire à la culture, afin d'éviter la contamination par $\text{NO}_3\text{-N}$. Si N excède les besoins des cultures on doit alors :
 - sélectionner des cultures à besoins élevés en N ;
 - choisir un système d'irrigation qui fournit l'uniformité d'application la plus élevée possible ;
 - mélanger l'eau usée avec l'eau claire ;
 - assurer la maintenance et l'entretien des systèmes d'irrigation à un niveau acceptable.

III.4.2.3. Effets sur les eaux de surface (eutrophisation, croissance des algues) :

La concentration élevée en N et P dans l'eau usée épurée peut provoquer des conditions favorables à l'eutrophisation lorsqu'elle est mélangée à l'eau des réservoirs destinés à l'irrigation. L'azote est le facteur limitant pour la croissance des algues en mer, alors que N et P sont les facteurs limitants dans les lacs, les bassins d'eau salée et dans les barrages où l'eau usée est stockée avant irrigation.

III.4.2.4. Effets sur les cultures (problème de phytotoxicité et gestion) :

Au-delà de l'effet global de certains constituants de l'eau usée sur les cultures irriguées comme la salinité, l'eau usée peut potentiellement créer une toxicité due à une concentration élevée de certains éléments comme le bore et quelques métaux lourds. Les nécroses sur les feuilles identifient des symptômes de toxicité au bore chez les cultures sensibles.

Conclusion :

Une irrigation de cultures ou d'espaces verts qui met en œuvre des eaux usées n'est pas une irrigation banale. En effet, ces eaux véhiculent des pollutions qui posent des problèmes de santé publique, de conservation des sols et de protection de l'environnement, qui ne doivent être ni exagérés ni sous-estimés.

Les propriétés physiques, ainsi que les constituants chimiques et biologiques des eaux usées sont des paramètres importants, dont il faut tenir compte dans la conception de projets de réutilisation agricoles des effluents. Il est aussi indispensable de respecter les normes de rejets des effluents définies par l'OMS.

Pour limiter les problèmes et les risques associés à la réutilisation des eaux usées en agriculture, des mesures de lutte sont recommandés. Parmi ces mesures, le traitement des eaux usées résiduaires, les mesures professionnelles, la restriction des cultures et le choix du système d'irrigation sont les plus efficaces.

Ce qui concerne le choix du système d'irrigation, la technique la mieux adaptée à l'apport des eaux usées est certainement l'irrigation localisée parce qu'elle engendre le moins risques sanitaires.

Chapitre IV : Caractérisation de la STEP de B.B.Arreridj

Introduction :

L'eau collectée par les égouts est conduite à une usine de traitement appelée couramment station d'épuration. Les plus efficaces emploient des techniques nombreuses et parfois coûteuses.

L'eau est d'abord filtrée par des grilles de plus en plus fines, qui retiennent tous les déchets solides. Les déchets en suspension (petites particules dans l'eau) ou solubles (produits entièrement mélangés à l'eau) doivent être séparés par d'autres méthodes : décantation, floculation, traitement par des bactéries.

Le choix d'un éventuel site pour l'implantation d'une station d'épuration doit tenir compte de divers critères parmi lesquels les plus importants sont :

- Réseau de la collecte existant (il est important d'éviter le relevage des eaux usées) ;
- Caractéristique du site (nature du sol, hauteur de la nappe phréatique, pente) ;
- Protection du site contre les inondations (digue protectrice) ;
- Choix d'un milieu récepteur pour les eaux épurées en excédent ;
- La disponibilité du terrain (paramètre plus important où le procédé est de type extensif).

IV.1. Présentation de la ville de Bordj Bou-Arreridj :

La wilaya de Bordj Bou-Arreridj se situe dans les hauts plateaux, au nord est de l'Algérie, distante de 228Km de la capitale Alger, à environ 36° de latitude nord et 5° de longitude ouest.

Elle est limitée :

- Au Nord par la wilaya de Bejaïa ;
- A l'Est par la wilaya de Sétif ;
- Au Sud par la wilaya de Msila ;
- A l'Ouest par la wilaya de Bouira.

Les rejets des eaux usées de la ville de B.B.Arreridj d'une population de 155 380 habitants se déverse dans l'un des principaux affluents de Oued Slib.

La configuration topographique de la ville est composée de 04 exutoires naturels où se déversent les eaux usées et pluviales.

Le réseau d'assainissement est de type unitaire d'une longueur globale de 290Km de canalisation dont 40Km collecteurs primaires. [18]

IV.2. Présentation de la station d'épuration :

La STEP est implantée au niveau de la commune de Bordj Bou-Arreridj, sur 07 hectares. Elle a été mise en service en 2002, et d'une capacité nominale de 150.000 EH, elle a été conçue pour traiter chaque jour 30.000 m³ d'eaux usées par voie biologique.

Le traitement se fait selon le procédé suivant :

- Dégrillage, dessablage-déshuilage ;
- Traitement biologique par boues activées à faible charge ;
- Clarification ;
- Chloration ;
- Traitement des boues :
 - Stabilisation aérobie ;
 - Epaissement ;
 - Déshydratation naturelle sur lits de séchage.

Cette station de type (boues activées) a un rendement de 91% sur les matières en suspension et de 94% sur les matières organiques.

Les eaux usées épurées de la STEP sont recyclées à des fins agricoles et les boues d'épuration sont utilisées par les agriculteurs comme fertilisants. [18]

IV.2.1. Principe de l'épuration biologique :

Dans le traitement biologique des effluents, on fait généralement appel aux processus aérobies par lesquels les bactéries provoquent une oxydation directe des matières organique des eaux usées à partir de l'oxygène dissous dans l'eau.

Le procédé à boues activées consiste en un réacteur biologique aérobie où on provoque le développement culture bactérienne dispersée sous forme de flocons appelés bioflocs.

Le réacteur est alimenté en eau polluée et le mélange eau usée – bioflocs est appelé liqueur mixte. La liqueur mixte est maintenue dans un régime turbulent par le système d'aération ; les aérateurs de surface, en l'occurrence.

De l'oxygène dissous est donc introduit dans la masse de la liqueur mixte, lequel est nécessaire pour la respiration et le développement des micro-organismes aérobies.

Après un temps de contact suffisamment long, la liqueur mixte est envoyée dans un clarificateur mécanisé appelé aussi décanteur secondaire. Durant cette phase, une séparation solide/liquide s'effectue par gravité et est amélioré par le mécanisme racleur. Celle-ci est obtenue dans le bassin cylindro-conique où l'eau épurée séparée des boues.

Les boues sont ensuite recyclées dans le bassin d'oxydation de manière à maintenir une

concentration adéquate en bactéries épuratrices. Les boues en excès venant du décanteur secondaire sont évacuées des ouvrages et dirigées vers le traitement des boues en même temps que les boues primaires.

Les caractéristiques de sédimentation et d'épaississement des boues produites sont les premières conditions requises pour un rendement satisfaisant du procédé à boues activées. Celles-ci sont caractérisées par la charge massique qui donne une approximation du rapport entre la masse journalière de pollution à éliminer et la masse de bactéries épuratrices présente dans le réacteur.

Le traitement des boues consiste essentiellement en une digestion aérobie ayant pour effet la réduction des matières volatiles encore présentes dans les boues. Les boues primaires et secondaires sont regroupés et évacués par pompage vers de bassins de stabilisation.

Les boues sortant des bassins de stabilisation sont évacuées vers un épaisseur et ensuite pompées vers les lits de séchage. [8]

IV.2.2. Description des ouvrages de traitement : [18]

IV.2.2.1. Déversoir d'orage:

Le déversoir d'orage de la station est installé à l'amont de celle-ci et qui déverse le surplus du débit admissible dans la by passe général de la station ; la hauteur de la lame de débordement sera adaptée pour acceptée pour une charge maximum de 850 m³/h. cependant le débit de pointe horaire admis au traitement est de 2800m³/h.



Figure IV-1 : Déversoir d'orage de la STEP de la ville de B.B.A

IV.2.2.2. Les prétraitements :

A- Degrilleur :

Les eaux brutes pénètrent dans la STEP par un chenal et sont dégrillées par une grille grossière, puis par deux grilles fines mécanisées.

A.1- Grille grossière à nettoyage manuel :

La station est équipée d'une fosse à bavards située avant le dégrillage grossier qui permet de réduire la charge des matériaux transportés avec les eaux brutes.

Après cette étape, les eaux brutes seront dégrillées à l'aide d'un dégrillage grossier à nettoyage manuel, permettant de retenir les déchets volumineux (chiffons, Sacher, ...etc.). Un détecteur de niveau installé à l'amont de la grille grossière d'éclanche une alarme sonore dans le cas où le niveau d'eau est très haut " colmatage", les caractéristique de la grille sont les suivantes :

- Largeur : 1.8m
- Inclinaison : 70%
- Ecartement entre les barreaux : 50mm
- Matériau : aluminium

A.2- Grilles mécanisées fines:

Les effluents qui sortent de dégrilleur grossier seront dirigés vers deux grilles fines à nettoyage mécanique, constituées de barreaux en acier, elles sont nettoyées par un double râteau tournant entraîné mécaniquement.

Les deux grilles fines ont les caractéristiques suivantes :

- Largeur : 1m
- Inclinaison : 70%
- Ecartement entre les barreaux : 20 mm
- Puissance du moteur : 0,37 kw
- Profondeur : 1,5 m



Figure IV-2 : Grilles mécanisées fines de la STEP de la ville de B.B.A

Les deux grilles mécanisées déposent leur refus sur une bande transporteuse. Le fonctionnement de la bande est en alternance avec le racleur.

La station d'épuration est équipée aussi d'un by passe qui se trouve à coté des grilles mécanisées. Ce dernier assure le bon fonctionnement de la station en cas de problème au niveau des grilles mécanisées (panne, bouchage,..... etc.).

B- Dessableurs - déshuileur :

Cet ouvrage et de type longitudinal à deux compartiments, il est constitué d'un canal béton armé de forme trapézoïdale, l'air est insufflé par des suppresseurs (l'un de secours) pour provoquer une émulsion afin de pouvoir favoriser la séparation du sable et des graisses.

Il existe des lames de séparation qui permettent la séparation des huiles et des graisses vers la zone de raclage, le dessableur est équipé d' :

- un moteur réducteur de translation de 0,37 kw avant arrière ;
- une pompe air lift avec groupe moto suppresseur de 4kw assurant l'évacuation des sables déposés vers le lit de séchage de sable ;
- un racleur de surface pour racler les huiles et les graisses flottantes, l'eau prétraitée est déversée et évacuée gravitairement à travers un canal à ciel ouvert pour subir les traitements ultérieurs. Le sable extrait est conduit vers un lit de sable pour sécher et envoyé à l'utilisation ou vers la décharge.

Les huiles et les graisses sont stockées dans un ouvrage spécial puis sont évacuées.

Les deux dessableurs-déshuileurs ont les dimensions suivantes :

- Largeur : 4m.
- Longueur : 20m.
- Hauteur : 8m.



Figure IV-3 : Dessableurs-déshuileur de la STEP de la ville de B.B.A

IV.2.2.3. Le traitement primaire :

Le traitement primaire consiste en une simple décantation des eaux prétraitées permettant aux matières décantables de se déposer.

Il y a deux décanteurs de forme circulaire, chacun a les dimensions suivantes :

- diamètre : 33 m
- surface : 855 m²
- profondeur : 3 m
- volume : 1473 m³

Chaque décanteur est équipé d'un pont racleur. 90 % des matières décantables seront éliminées et les boues fraîches seront raclées, puis transférées par pompage vers la stabilisation.



Figure IV-4 : Décanteur primaire de la STEP de la ville de B.B.A

IV.2.2.4. Le traitement biologique (secondaire) :

A- Bassin d'aération :

On a deux bassins d'aération et chaque bassin a les dimensions suivantes :

- forme : 35,4 m de côté
- hauteur d'eau : 4,0 m
- hauteur de béton : 5,0 m

L'aération dans le bassin est réalisée à l'aide d'aérateur de surface à vitesse lente, chaque bassin est équipé de quatre aérateurs 75kw chacun.

Les eaux brutes arrivant dans le bassin d'aération sont brassées avec la liqueur mixte et les boues de circulation en provenance du décanteur secondaire.

Ce milieu favorable provoque le développement des bactéries, qui sous l'action physique et

physico-chimique elles retiennent la pollution organique, et s'en nourrissent.



Figure IV-5 : Bassins d'aération de la STEP de la ville de B.B.A

Pour la protection du béton, chaque bassin est équipé d'un système d'injection de l'eau pour casser les mousses formés par l'aération.

B- Décanteurs secondaires :

Il existe deux décanteurs secondaires de forme circulaire de :

- diamètre : 46 m
- surface : 1661 m²
- profondeur : 4 m

Les boues viennent des bassins d'aération et sont introduit dans le décanteur secondaire par une tuyauterie noyée dans le béton de radier (500 mm de diamètre) et aboutissement dans une jupe siphonoïde de tranquillisation pour éviter la formation des vagues dans le décanteur.

Les boues se déposent dans le fond et sont raclées vers une fosse à boues centrale à l'aide d'un pont racleur tournant muni de raclettes de fond et de surface pour ramener les flottants vers le récepteur de flottants, se dernier se déplace sur le bord du bassin autour d'un point centrale d'assise, à vitesse de rotation de 0,04m/s.

Les boues décantées sont divisées en deux parties. Une partie sera recyclée dans le bassin d'aération et l'autre partie refoulée vers l'épaississeur (dite boues en excès).

Les eaux clarifiées sont ensuite envoyées vers la dernière étape de traitement qui est la désinfection par chloration.

IV.2.2.5. Le traitement tertiaire (désinfection) :

La désinfection consiste à détruire les germes pathogènes de l'effluent, elle est effectuée par un agent oxydant qui est le chlore (eau de javel).

Le bassin de chloration est en béton armé, d'un volume de l'ordre de 500m³, le bassin de

chloration est équipé de 04 bassin transvasent d'un bassin à l'autre et cela pour laisser le temps au chlore pour désinfecter l'eau.



Figure IV.6 : Bassin de chloration de la STEP de la ville de B.B.A

IV.2.2.6. Le traitement des boues :

Après traitement biologique, les boues constituent le résidu de la station d'épuration.

Les boues qui arrivent à l'épaississeur sont d'origine soit de :

- La tour de recyclage "boues en excès" ;
- Bassin d'aération "boues stabilisées".

A- L'épaississeur :

Les boues en excès sont dirigées vers l'épaississeur, qui est de forme circulaire est réalisé en béton armé de $D=12m$ d'une hauteur utile de 4m, le fond du bassin à une pente de 1/10.

Les boues sont introduites dans le bassin par le centre, dans une jupe siphonide de réparation où l'épaississement se fait par une double action de la gravité et de mécanisme ainsi facilitant de l'écoulement de l'eau des boues, tandis que le surnageant des eaux débordent dans une goulotte périphérique équipé de lames crantées et retournent aux pieds des vis de recirculation par pompage.

Les boues épaissies sont reprises par pompage et renvoyée vers les lits de séchage.



Figure IV.7 : L'épaississeur de la STEP de la ville de B.B.A

B- Les lits de séchage :

Le séchage des boues s'effectue à l'air libre dans des surfaces étendues aménagées spécialement pour ça.

Chaque lit de séchage est composé de diverses couche de matériaux "sable et gravies" avec granulométrie de plus fine vers la surface du lit, recouvrant une tuyauterie de drainage.

Il existe 16 lits de séchage de forme 30 x15m conçus d'un tond en béton, équipés d'un tuyau de drainage perforé, pour permettre l'évacuation de l'eau filtrée vers l'entrée de la station.

Les boues de séchage seront stockées dans un air spéciale appelé "air de stockage", après ils seront envoyés vers l'utilisation ou vers la décharge publique.



Figure IV.8 : Lit de séchage de la STEP de la ville de B.B.A

IV.2.3. Appareils et instruments de mesure au niveau de la STEP :

La STEP dispose un laboratoire d'analyse de la qualité de l'eau à l'entrée et à la sortie, à l'aide de plusieurs appareils comme :

- Conductimètre LF90: pour mesurer la conductivité de l'eau ;
- Réacteur DCO ;
- Incubateur de la DBO_5 ;
- Etuve MES à $T^\circ = 105^\circ C$;
- Four a moufle à $T^\circ = 500$ à $600^\circ C$: Pour mesures les matières minérales ;
- Balance à peser ;
- L'oxymétrie oxi 92 : pour calcul l' O_2 ;
- Spectrophotomètre DR/2000 : pour mesurer plusieurs paramètres (PO_4^{-3} , SO_4^{-2}) ;
- Microscope : pour l'observation microscopique.

Les analyses des différents paramètres de pollution sont réalisées selon des méthodes normalisées et avec des fréquences déterminées.

IV.3. Etude physico-chimique des eaux de la STEP de B.B.Arreridj :

IV.3.1. Considérations générales sur la qualité d'eau d'irrigation:

Étant une pratique particulière, l'irrigation avec les eaux usées traitées exige, en plus des paramètres communs d'une irrigation avec des eaux conventionnelles, la maîtrise d'autres paramètres liés à la qualité physico-chimique et microbiologique des effluents (micro-organismes Pathogènes, éléments toxiques, salinité, matières en suspension, etc.).

Rien ne nous empêche de procéder à différent test de contrôle et de surveillance. La notion de « surveillance continue » implique des mesures quantitatives périodiques de certains paramètres physiques et chimiques dans des échantillons d'eau prélevée à la station d'épuration.

Les indices de qualité de l'eau qui doivent être mesurés sont interprétés à base des différentes organisations et laboratoires parmi lesquelles :

- United State Salinity Laboratory ;

❖ Guide de l'U.S Salinity Laboratory :

L'eau utilisée pour irriguer contient toujours des quantités mesurables de substances dissoutes qui, selon une terminologie collectivement admises sont appelés sels, on y trouve en quantités relativement faibles mais ayant des effets importants.

Une eau convient ou non à l'irrigation selon la quantité et le type de sels qu'elle contient. Avec une eau de qualité médiocre on peut s'attendre à divers problèmes pédologiques et agronomiques, il faut alors mettre en œuvre des méthodes d'aménagement spéciales afin de maintenir une pleine productivité agricole.

Les problèmes qu'entraîne l'utilisation d'une eau de médiocre qualité varient tant en nature qu'en gravité, les plus communes sont les suivantes :

Salinité ; perméabilité ; toxicité.

Un guide pour l'évaluation de la qualité de l'eau usée traitée, utilisée à des fins d'irrigation, en termes de constituants chimiques tels que les sels dissous, le contenu en sodium et les ions toxiques, est représenté sous forme d'un tableau (voir Tableau III-2).

❖ Contraintes chimiques :

Selon les recommandations du Conseil Supérieure de l'Hygiène Publique de France la qualité chimique à laquelle doivent répondre ces eaux est la suivante:

Les effluents à dominante domestique [(le rapport **DCO/DBO5**<2,5, **DCO**<75mg/l et **NTK** (azote total Kjeldhal <100 mg/l)] peuvent être utilisés, après épuration, pour l'irrigation des

cultures et l'arrosage des espaces verts. L'utilisation d'effluents à caractère non domestique, du fait de la présence possible (en quantité excessive) de micropolluants chimiques minéraux ou organiques, reste assujettie à un examen particulier de leur qualité chimique; dans certains cas, elle pourra être interdite.

IV.3.2. Classification des eaux d'irrigation:

Parmi les différents paramètres physico-chimiques d'une eau d'irrigation la salinité en constitue l'aspect le plus important. L'irrigation conduite avec des eaux chargées en sels entraîne une accumulation de ces sels dans le sol susceptible de ralentir la croissance des végétaux avec baisse des rendements pouvant aller jusqu'au dépérissement, parallèlement un excès de sodium peut engendrer l'alcalinisation et la dégradation de la structure du sol. Deux paramètres permettent d'apprécier, pour une étude sommaire les risques dus à la salinité :

- Conductivité électrique exprimée en CE (mmhos/cm) ;
- Le SAR (% de Na échangeable).

❖ Définition de la salinité d'une eau :

La salinité d'une eau est un terme utilisé pour faire référence à la concentration totale d'ions inorganiques majeurs (Na, Ca, Mg, K, HCO_3^- , SO_4^- et Cl^-) dissous dans cette eau. Elle exprime la concentration totale des cations ou anions en solution et non la somme des concentrations de ces cations et anions.

Pour des raisons de commodité analytique, un indice pratique de salinité électrique C_e exprimée en decisiemens par mètre (**ds/m**) ou en **mmhos/cm**.

La mesure de la salinité d'une eau se fait comme celle d'un extrait saturé à l'aide d'un conductimètre à une température standard de 25°C.

Les eaux d'irrigations, en fonction des dangers que peuvent entraîner leur utilisation, sont réparties en plusieurs classes. Plusieurs auteurs s'étant intéressés de très près à la qualité des eaux d'irrigations ont proposé différentes classes d'eau salée comme nous allons voir.

IV.3.2.1. Classification mondiale de la FAO (g/l) :

Pour C_e égal ou compris entre :

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

Si le sol et l'eau d'irrigation sont pauvres en calcium (Ca), une alcalinisation du sol peut se produire du fait de l'adsorption de Na^+ par le complexe adsorbant du sol surtout dans les proportions dépassant 3-1 g/l. Généralement au delà de 1 g/l il est nécessaire d'avoir un bon drainage du sol, un régime de lessivage et une technique élevée des travaux agro-techniques du sol.

IV.3.2.2. Classification USSL (United States Salinity Laboratory):

C'est la classification la plus utilisée en ce qui concerne l'irrigation. Proposée par le laboratoire de Riverside (RICHARDS 1954) voir (Figure III-1), elle est basée essentiellement sur 2 paramètres :

Selon la salinité et le risque d'alcalinisation des eaux pouvant être destinées à l'irrigation. C'est-à-dire :

- ✚ Conductivité électrique exprimée en CE (mmhos/cm) ;
- ✚ Le SAR (% de Na échangeable).

A- Classification selon la salinité de l'eau CE :

Selon la salinité de l'eau, exprimée par sa conductivité électrique $\text{CE}_{25^\circ\text{C}}$, on distingue cinq(5) classes :

- **C1** : $\text{CE} < 0,25$ mmhos/cm: l'eau à faible salinité, elle ne posera aucun problème sur la plus part des sols et des cultures.
- **C2** : $0,25 < \text{CE} < 0,75$ mmhos/cm : l'eau à salinité moyenne, peu de danger si elle est utilisée avec un léger lessivage pour les plantes modérément tolérantes aux sels.
- **C3** : $0,75 < \text{CE} < 2,25$ mmhos/cm : l'eau à forte salinité, inutilisable pour les sols à drainage restreint.
- **C4** : $2,25 < \text{CE} < 5$ mmhos/cm : l'eau à très forte salinité et inutilisable pour les conditions normales, elle n'est autorisée que si on pratique un lessivage intense et sur des cultures très tolérantes.
- **C5** : $\text{CE} > 5$ mmhos/cm : l'eau est inutilisable sauf sur des sables lessivés et drainés et pour des cultures extrêmement tolérantes (ex : palmiers et dattiers).

B- Classification selon le risque d'alcalinisation SAR :

Le risque d'alcalinisation d'un sol par l'eau d'irrigation est apprécié selon le sodium adsorbable par ce sol. Ainsi, selon le taux adsorbable de sodium (SAR) d'irrigation, on distingue quatre (4) classes :

- **S1** : SAR < 10: L'eau contenant une faible quantité de sodium, peut être utilisée pour l'irrigation de presque tous les sols sans qu'il y ait à craindre que des difficultés ne surgissent du point de vue alcalinisation.
- **S2** : 10 < SAR < 18: Les eaux contenant une quantité moyenne de sodium, peuvent présenter quelques difficultés dans les sols à texture fine, à moins qu'il n'y ait du gypse dans le sol. Ces eaux peuvent être utilisées sur des sols à texture grossière ou sur des sols organiques qui absorbent bien l'eau.
- **S3** : 18 < SAR < 26: Les eaux contenant une quantité de sel élevée, peuvent provoquer des difficultés dans la plupart des sols et ne peuvent être employées qu'avec des précautions spéciales : bon drainage, lessivage important et addition de matières organiques. S'il y a une forte quantité de gypse dans le sol, il peut ne pas surgir de difficultés pendant quelques temps.
- **S4** : SAR > 26: Les eaux contenant une quantité très élevée de sodium, sont généralement impropres à l'irrigation, sauf pour un degré de salinité très faible et si on ajoute du gypse ou autre source de Ca soluble pour améliorer le bilan ionique.

✓ **Commentaire :**

Ces types de classification et d'autres sont rigides et dans plusieurs cas, elles ne tiennent pas compte des facteurs spécifiques qui sont importants pour la détermination de l'utilisation potentielle d'une eau donnée.

La qualité d'une eau d'irrigation doit être évaluée en fonction des conditions spécifiques dans les quelles elle est utilisée c'est à dire la nature des cultures, le type de sol, les modes d'irrigations, les pratiques culturales et les conditions climatiques. En raison de toutes ces réserves les classifications existantes doivent être utilisées comme indicateurs et être vérifiées en fonction des conditions locales d'utilisation.

IV.3.3. Evaluation de la qualité de l'eau usée épurée de la STEP de B.B.Arreridj :

IV.3.3.1. Normes de rejets :

Pour une meilleure protection de l'environnement, aquatique, l'eau traitée doit satisfaire certaines normes de rejet; qui sont données dans le tableau suivant :

Tableau IV-1 : Normes de rejets pour l'irrigation (Normes Algériennes)

Paramètres	Unité	Valeurs seuils
Température	°C	< 30
pH	–	5.5 à 8.5
Oxygène dissout ^(*)	mg O ₂ /l	> 5

MES	mg/l	< 30
DBO ₅	mg/l	< 40
DCO	mg/l	< 90
Azote totale	mg/l	< 50
Phosphore (PO ₄)	mg/l	< 02
Huile et graisse	mg/l	< 20
Coliformes fécaux ^(*)	nombre de CF/100mL	<1000 CF/100mL

Source : ANRH (Constantine)

(*) : OMS

IV.3.3.2. Résultats d'analyses et interprétation :

Les analyses ont porté sur les paramètres physico-chimiques suivant :

Température, Conductivité, pH, DCO, DBO₅, MES, NO₃⁻, NH₄⁺, NO₂⁻ et PO₃⁻.

Pour la température et le pH, la mesure a été réalisée in-situ par contre les autres paramètres tels que DCO, DBO₅... etc. la mesure a été effectuée au laboratoire tout en tenant compte du mode de conservation de l'échantillon, afin d'éviter l'évolution de l'effluent entre le moment de prélèvement et celui de l'analyse.

Les résultats obtenus sont regroupés dans les tableaux suivants:

Tableau IV-2 : Les résultats des analyses obtenus à l'entrée et à la sortie de la STEP

Paramètres	Eau brute	Eau épurée
Température	15.09 °C	15.05 °C
pH	8.1	7.6
MES	436.71 mg/l	41.26 mg/l
DBO ₅	432.67 mg/l	25 mg/l
DCO	933.75 mg/l	73 mg/l
Azote totale NT	64.5 mg/l	48.25 mg/l
Ammonium (NH ₄)	43.29 mg/l	28.86 mg/l
Nitrates (NO ₃)	7.58 mg/l	1.75 mg/l
Phosphore	3.4 mg/l	1.87 mg/l
Conductivité à 25 °C	–	2.6 mmhos/cm
HCO ₃	–	4.6 meq/l
Na+Cl	–	15.1 meq/l

Source : ONA (Unité de B.B.A, Avril 2009)

❖ Interprétation :

D'après les résultats du tableau IV.2 on constate que :

- ✓ La température et le pH de l'eau épurée correspondent aux normes de rejet :

L'influence de pH est indiscutable sur le rendement d'élimination de la pollution organique, et tous les travaux effectués montrent que l'activité optimale du nitrobacter a lieu pour une plage de pH (7.8 - 8.5). Pour le processus de précipitation du phosphore, c'est plutôt d'un pH acide qui donne un meilleur rendement d'élimination.

Pour la température l'élévation de celle-ci dans les rejets non contrôlés a pour effet d'accélérer les réactions biologiques et par conséquent l'épuisement de l'oxygène qui a pour cause la perturbation de la vie aquatique.

- ✓ Les valeurs de DCO et DBO₅ répondent aux normes de rejets :

Le rendement d'élimination de la DCO est efficace (plus de 92 %) et pour la DBO₅ il est de l'ordre de plus de 94%. La bonne élimination de la DBO₅ s'explique par le fait du bon ajustement de pH du milieu ambiant, ainsi l'absence des matières inhibitrice, la présence des nutriments (phosphore, azote), bonne aération de l'ouvrage qui a pour conséquent la reproduction du floc bactérien.

Le rapport DCO/DBO₅ donne une estimation de la biodégradabilité des eaux usées. Ce rapport est égal à 2.15 (933.75/432.67), signifie que l'effluent de la station est biodégradable.

- ✓ La valeur de MES est supérieure à la norme, ce qui peut engendrer le colmatage des distributeurs du système d'irrigation localisée. Pour lutter contre ce problème, une filtration efficace préalable et adaptation des distributeurs sont recommandées (voir chapitre 3, §3.4.3).

- ✓ La teneur de l'eau épurée en éléments nutritifs est assez élevé notamment en composés azotés. La teneur très faible en nitrates NO₃ ne pose aucune restriction à l'usage (FAO1985).

- ✓ On note essentiellement la présence du sodium et du chlore, en quantité assez élevée qui peuvent causer des brûlures des feuilles. Les effets toxiques apparaissent beaucoup plus facilement quand les sels sont apportés directement sur les feuilles lors des irrigations par aspersion (données de Mass). L'apport des eaux sera mieux adapté par l'irrigation localisée ou de surface. La teneur des bicarbonates (4.6 meq/l) fait que le degré de restriction à l'usage est léger à modéré (FAO 1985, voir tableau III.2), le problème est croissant pour l'aspersion (USSL).

- ✓ Le caractère le plus important est la salinité de l'eau, on enregistre une valeur très forte de l'ordre de 2,6 mmhos/cm (Richards, 1969 in PERIGAUD J., 1977). L'utilisation de cette eau n'est autorisée que si on pratique un lessivage intense et sur des cultures très tolérantes.

✓ Ce qui concerne la qualité microbiologique et d'après les analyses faites par L'ANRH (Constantine) cette eau est de classe **A**, peut être utilisée pour irriguer toute les cultures.

❖ Calcul du SAR ajusté :

Le coefficient ajusté d'adsorption du sodium (SAR ajusté) se calcul au moyen de la formule ci-dessous :

$$SAR \text{ ajusté} = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}} * [1 + (8,4 - PHc)]$$

Avec :

Na, Ca et Mg : déterminées par analyse de l'eau, exprimés en meq/l ;

PHc : calculé à l'aide de table, $PHc = (pK_2+PKc) + P(Ca+Mg) + P(A/K)$:

(pK_2+PKc) : s'obtient en faisant la somme de (Ca+Mg+Na) en meq/l

P(Ca+Mg) : s'obtient en faisant la somme de (Ca+Mg) en meq/l

P(A/K) : s'obtient en faisant la somme de (CO_3+HCO_2)

d'où **PHc = 6.85**

PHc < 8.4 indique une tendance à dissoudre la chaux du sol à travers lequel l'eau circule.

On aura : **SAR ajusté = 5.1** (classe S1), pas de problème de point de vue infiltration dans le sol. L'eau peut être utilisée pour l'irrigation de presque tous les sols sans qu'il y ait à craindre que des difficultés ne surgissent du point de vue alcalinisation (USSL).

D'après la classification de laboratoire USSL (Diagramme III-1), l'eau épurée est de classe C4S1 (SAR ajusté = 5.1 et Ce = 2,6 mmhos/cm).

IV.3.3.3. Directives de surveillance :

Les résultats d'analyse des différents paramètres sont des indices de rentabilité de la STEP néanmoins l'on note la variabilité de ces paramètres dans le temps, une analyse unique ne peut donc compromettre l'existence ou la projection de périmètre irrigué.

A titre d'information on donne ci-dessous un tableau pour les principaux paramètres de suivi de qualité, et la fréquence de suivi.

Tableau IV-1 : Paramètres et fréquence de suivi de qualité.

Paramètres	Fréquence
Eaux épurées	
Salinité (CE)	3/an
Bilan ionique	1/an
Alcalinité sodique (SAR)	1/an
DBO5 et DCO	1/mois

Eléments traces	1/an
MES	1/semaine
Qualité biologique (CF, SF, Helminthes)	1/semaine la première année
Nitrates	1/an
Produits agricoles	
Qualité microbiologique Eléments traces, si nécessaire (selon les analyses de l'eau et du compost des déchets appliqués comme amendement do sol).	A la récolte, et pour chaque coupe pour les cultures fourragères à cycles répétés. Le contrôle concerne toutes les parties consommables par l'homme et l'animal.
Sols	
Salinité (CE)	1/an (avant premiers pluies)
Sodicité (ESP)	1/2ans
Taux d'infiltration	1/2ans
Stabilité des agrégats	1/2ans
MO et éléments traces	1/2ans

Conclusion :

Les analyses effectuées sur les eaux résiduaires urbaines de la station de B.B.Arreridj pour déterminer le rendement d'élimination de la charge polluante nous ont permis de conclure que plus de 94 % de la charge polluante est éliminée, témoin d'un bon rendement et de l'efficacité de traitement utilisé au niveau de la station d'épuration (Traitement biologique à boue activée).

Mais la salinité de l'eau très élevée pose des problèmes de risque de salinisation du sol et par conséquent une chute de rendement des cultures. Un choix des cultures tolérantes aux sels irriguées par un mode approprié (localisée, gravitaire), l'application d'un lessivage intense, la dilution de l'eau salée par une eau douce et un bon drainage du sol peut résoudre le problème de la salinité de l'eau. La présence des MES dans l'eau épurée en quantité supérieure à la norme exige la filtration préalable pour lutter contre le colmatage des distributeurs.

Le contrôle et le suivi de la qualité de l'eau est obligatoire pour intervenir en cas d'enregistrements indésirables.

Chapitre V : Présentation du périmètre à irriguer

V.1. Présentation du site :

V.1.1. Localisation :

Le périmètre à irriguer s'étend sur les hauts plateaux dans la wilaya de Bordj Bou-Argeridj, au Nord Est de l'Algérie, à environ 36° de latitude nord et 5° de longitude ouest. La superficie exploitable du périmètre est de 350 ha, d'une altitude de 900m en moyenne, subdivisée en deux secteurs équilibrés en surface.

Le périmètre d'étude se situe à l'aval de la station d'épuration de la ville de B.B.Argeridj, limité au Nord par la zone industrielle, à l'Ouest par l'Oued Slib et la route nationale N°45 reliant B.B.Argeridj à Msila, au Sud et à l'Est par l'Oued Argeridj.

L'alimentation de ce périmètre est assurée par la STEP de B.B.Argeridj mise en service en 2002, située au Nord ouest du périmètre et très peu éloignée de ce dernier.

V.1.2. La topographie :

Deux classes de pente ont été repérées au niveau du périmètre d'étude :

- Classe de 0 à 7% : représentant 90% de la superficie totale du périmètre, c'est une pente caractéristique des hauts plateaux, et particulièrement les terrains à très haute potentialité, situé sur les terrasses alluviales et constitués de sol peu évolués où la texture est relativement équilibrée.

- Classe > 7% : elle représente 10% de la superficie totale du périmètre, elle n'est pas apte à l'irrigation (ni à l'aspersion ni au gravitaire) car les pentes dans ce cas sont trop fortes. Les superficies pourront être affectées à l'arboriculture en sec (olivier, amandier).

V.1.3. Réseau routiers :

Le périmètre d'irrigation est traversé à l'ouest par la route nationale RN reliant B.B.Argeridj à Msila. Il est également traversé par la ligne de la voie ferrée (B.B.A-Msila).

En matière de desserte agricole on notera l'existence d'un réseau de pistes d'exploitation de longueur totale de 6.5 Km.

V.2. Climatologie :

Dans l'aménagement d'un périmètre irrigué, l'étude climatologique revêt une importance capitale, car le climat est un facteur qui est déterminant pour le choix des cultures ainsi que pour l'estimation des doses d'irrigation nécessaires.

Cette étude va nous permettre de déterminer le climat de la région où se situe notre périmètre. Pour cela nous allons nous intéresser à un ensemble de phénomènes météorologiques qui conditionne l'évolution de ce dernier.

Parmi ces phénomènes météorologiques on peut citer : les précipitations ; les variations de température, l'évapotranspiration, le vent, l'humidité relative.....etc.

Les données météorologiques utilisées dans cette étude ont été fournis par l'ANRH , certains compléments sont extraits de la banque de données disponibles à L'ENHYD ou obtenus auprès de l'Office National de la Météorologie.

La station climatique existante, susceptible d'être considérée comme représentative de la région d'étude, et possédante des données fiables, que celle de B.B.Arreridj.

Les caractéristiques géographiques de la station sont présentées dans le tableau V-1.

Tableau V-1 : Caractéristiques géographiques de la station de B.B.A

station	Latitude (X)	Longitude (Y)	Côte (Z)	code
B.B.A	36°11	05°15	970	150612

V.2.1. Pluviométrie moyenne mensuelle :

La station pluviométrique représentative est celle de notre région d'étude, les données couvrent la période de 1981 à 2001 (voir Annexe N°1). La répartition mensuelle des pluies est donnée par le tableau suivant :

Tableau V-2 : Répartition mensuelle moyenne de la pluie en (mm)

MOIS	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Pmoy	44.87	36.75	39.90	34.12	38.34	22.61	9.92	14.09	31.78	35.52	38.41	45.62
%	11.44	9.38	10.18	8.72	9.78	5.77	2.53	3.60	8.10	9.06	9.81	11.65

Source : (ANRH) Alger

Avec une pluviométrie moyenne d'environ **391 mm/an**, on peut dire d'ores et déjà que la zone souffre d'un déficit en eau important. L'analyse des pluies moyennes, nous a permis de constater que la répartition est caractérisée par deux saisons bien distinctes :

* Une saison pluvieuse qui s'étale du mois de septembre qui annonce l'arrivée des premières pluies de l'automne jusqu'au mois d'Avril ou par fois Mai qui annonce la fin de la saison humide et le début de la saison sèche. La pluviométrie atteint en moyenne **88%** des précipitations totales annuelles, avec des maximums répartis entre Décembre et Janvier, qui dépassent les **11%** et des minimums qui ne descendent pas au-dessous de **8%**.

* Une saison sèche qui dure trois (**03**) mois : de Juin à Août, avec des minimums en Juillet

et Août. Les pluies d'été caractérisées par des orages représentent seulement **12%**.

On note aussi la variabilité interannuelle des précipitations où l'on remarque qu'une grande partie des pluies tombe sur cette zone en quelques semaines sous forme d'averses et puis de grandes sécheresses s'annoncent après ces averses.

V.2.2. Températures moyennes mensuelles :

Les températures moyennes mensuelles enregistrées au niveau de la station pluviométrique de B.B.Arreridj pour une période allant de 1981 au 2001 sont récapitulées dans le tableau suivant :

Tableau V-3 : Températures moyennes mensuelles en (C°)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
T min	0.9	1.3	2.4	4.7	9.1	13.5	15.7	14.8	12.5	8.7	4.3	1.6
Tmax	10.2	11.7	14.9	18.4	23.8	30.2	33.2	32.5	28.1	20.89	15.4	10.9
Tmoy	5.56	6.5	8.65	11.55	16.45	21.85	24.45	23.65	20.3	14.8	9.85	6.25

Source : St pluviométrique B.B.A (1981-2001)

L'analyse de ces moyennes montre qu'au niveau mensuel, il ressort une forte amplitude thermique, les températures diminuent pendant les trois mois d'hiver (Décembre, Janvier, Février) d'un minima de (5,56°C) et elles progressent pendant les trois mois d'été (Juin, Juillet, Août) d'un maxima de (24.45°C), l'écart entre ces deux extrêmes donne une amplitude thermique de (18.9°C). Quant à la température moyenne annuelle elle est de 14,16 °C.

V.2.3. Humidité relative :

L'humidité relative ou état hygrométrique est le rapport en % de la tension moyenne de vapeur sur la tension maximum de celle-ci, correspondant à la température mesurée au thermomètre sec.

C'est un élément important du cycle hydrologique contrôlant l'évaporation du sol et la couverture végétale et qui représente le degré de saturation de l'air en vapeur d'eau.

Les données d'humidité relative mensuelles moyennes de la région, mesurée au psychomètre sont présentées au tableau :

Tableau V-4 : Répartition mensuelle de l'humidité relative de l'air en % (B.B.A)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Hr %	76,0	69,0	63,0	59,0	53,0	41,0	35,0	38,0	54,0	62,0	72,0	77,0

Source : ENHYD, 2007

L'humidité se manifeste durant sept mois dans l'année, du mois d'octobre au mois d'avril où les valeurs sont toutes supérieures à la moyenne annuelle (58.25%). Le reste de l'année, notamment la période qui coïncide avec les fortes températures, l'humidité ne s'abaisse pas au dessous de 35 %.

V.2.4. Vents :

Le vent constitue un facteur exerçant une grande influence sur les cultures et les systèmes d'irrigations. Il est caractérisé par sa vitesse et sa direction. Son étude nous semble nécessaire pour l'orientation et l'implantation des brises vents.

Les vitesses moyenne du vent sont considérées comme « modérées » et homogènes durant toute l'année, avec une moyenne annuelle de (3,9 m/s).

Tableau V-5 : Moyenne mensuelle de la vitesse des vents (m/s)

Mois	J	V	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
V(m/s)	3.9	3.8	3.9	4.2	4.6	3.6	3.8	4.0	3.8	3.2	3.7	4.2	3.9

Source : ONM 1997-2007

Les vents dominants sont ceux qui soufflent du (Nord-est).

V.2.5. Insolation :

Le phénomène d'insolation qui est défini par le nombre d'heures pendant les quelles le soleil a brillé, est enregistré durant toute l'année avec des valeurs variables, les plus importantes ont lieu en période chaude allant d'Avril au mois de Septembre, la valeur la plus élevée est celle du mois de Juillet avec (11.90 heures).

Les moyennes inférieures à 8,2 h/j (moyenne annuelle) sont enregistrées dans les six mois de la période froide, elles atteignent leurs minima au mois de Décembre avec 4.03 heures/jour.

Tableau V-6 : Insolation mensuelle moyenne en heures.

Mois	J	V	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Moy (heure)	196	220	234	259	264	334	369	315	280	222	172	125
Heure/j	6,32	7,86	7,55	8,63	8,52	11,13	11,90	10,16	9,33	7,16	5,73	4,03

Source : ENHYD, 2007

On lève à partir de ce tableau que l'insolation de la région est très importante. Elle est de l'ordre de 2 990 heures par an soit une moyenne de 8.2 heures par jour.

V.2.6. Evaporation :

L'évaporation est un problème physique qui croît avec la température et la sécheresse de l'air. La quantité d'eau évaporée pendant un temps donné dépend de plusieurs facteurs liés d'une part à l'état de l'atmosphère et d'autre part à la surface évaporant.

Les valeurs de l'évaporation du plan d'eau libre dans la zone d'étude sont adoptées d'après les données observées au barrage Ain-Zada (W.Setif).

Les valeurs mensuelles observées à ce barrage sont comme suit :

Tableau V-7 : Répartition mensuelle de l'évaporation moyenne

Mois	J	V	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Evap (mm)	33	79	87	67	86	151	243	234	141	134	39	23.6	1319

Source : ANB, 2002

On observe une évaporation annuelle de 1319 mm, sa répartition mensuelle est importante pendant la période allant de mai à septembre et elle est plus ou moins faible du mois de novembre à janvier.

V.2.7. Tension de vapeur :

La tension de vapeur réelle mensuelle exprimée en millibars est un facteur très important dans l'évaluation de l'évapotranspiration. Le moment où s'effectue la mesure étant important, n'ayant pas été mentionné dans notre cas. Le tableau V-8, donne la tension de vapeur réelle au niveau de la région d'étude.

Tableau V-8 : Tension de vapeur réelle mensuelle en (Hectopascal)

Mois	J	V	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Tension de vapeur	85	454	243	234	141	134	39	23.6	33	79	87	67	1319

Source : ENHYD, 2007

V.2.8. Le sirocco :

Le vent chaud et sec du Sahara souffle en moyenne entre 12 à 15 jours par an. Il peut constituer une contrainte pour les cultures, des irrigations d'appoint seront nécessaires à partir de juin.

Les observations faites sur l'apparition de ce phénomène dans l'année sont indiquées dans le tableau suivant :

Tableau V-9 : Nombre de jours de sirocco durant l'année

<i>Mois</i>	<i>J</i>	<i>F</i>	<i>M</i>	<i>A</i>	<i>M</i>	<i>J</i>	<i>J</i>	<i>A</i>	<i>S</i>	<i>O</i>	<i>N</i>	<i>D</i>	<i>total annuel</i>
<i>Jours</i>	0	0	1	2	1	2	3	2	2	1	1	0	15

Source : ANB, APD, projet de transfert Sétif-Hodna, 2002

V.2.9. La neige :

La neige tombe souvent de fin novembre à début avril. On observe en moyenne 17 jours de neige par an.

Tableau V-10 : Nombre de jours de neige durant l'année

<i>Mois</i>	<i>J</i>	<i>F</i>	<i>M</i>	<i>A</i>	<i>M</i>	<i>J</i>	<i>J</i>	<i>A</i>	<i>S</i>	<i>O</i>	<i>N</i>	<i>D</i>	<i>total annuel</i>
<i>Jours</i>	4	5	3	2	0	0	0	0	0	0	1	2	17

Source : ANB, APD, projet de transfert Sétif-Hodna, 2002

V.2.10. Les gelées :

On relève un total annuel de 64 jours/an. Nous enregistrons durant le printemps 13 jours de gelées, qui se manifestent au moment de la floraison des espèces arboricoles.

Tableau V-11 : Nombre de jours de gelée

<i>Mois</i>	<i>J</i>	<i>F</i>	<i>M</i>	<i>A</i>	<i>M</i>	<i>J</i>	<i>J</i>	<i>A</i>	<i>S</i>	<i>O</i>	<i>N</i>	<i>D</i>	<i>total annuel</i>
<i>Jours</i>	15	14	9	5	1	0	0	0	0	0	6	14	64

Source: ONM 1997-2007

V.2.11. Les orages :

Ce sont des pluies torrentielles à caractère local qui se déversent durant toute l'année avec des fréquences importantes en période de printemps et été. Durant la période 1981-1993 on a dénombré en moyenne 38 jours d'orages par an.

Tableau V-12 : Nombre de jours d'orage

<i>Mois</i>	<i>J</i>	<i>F</i>	<i>M</i>	<i>A</i>	<i>M</i>	<i>J</i>	<i>J</i>	<i>A</i>	<i>S</i>	<i>O</i>	<i>N</i>	<i>D</i>	<i>Total annuel</i>
<i>Nombre de jours</i>	0.5	0.8	1.4	2.6	4.2	5.8	3.9	6.1	7.9	2.7	1.4	0.7	38.4

Source: ONM 1997-2007

Le mois de septembre est le plus orageux avec 7,9 jours. Au total on compte 3,2 jours d'orage par mois en moyenne pendant l'année.

Ce sont les eaux excédentaires de ces averses qui causent des dégâts aux cultures et nécessitent un traitement spécial à travers la commune.

V.2.12. La grêle :

La grêle est un phénomène qui se produit fréquemment d'avril à mai. On observe en moyenne quatre (04) averses de grêle durant l'année.

❖ Représentation du diagramme de Gaussen: (voir figure N° V.1)

Le diagramme de Gaussen est une représentation graphique de variation de précipitations et de températures en fonction du temps (mois) qui nous permet de déterminer la période où l'irrigation est indispensable (période sèche).

Dans cette représentation, les mois secs sont définis comme étant les mois où le total des précipitations exprimées en (mm) est égal ou inférieur au double des températures moyennes mensuelles exprimées en (C°). Le contraire est bien sûr valable pour les mois humides.

Pour la représentation de ces graphiques on a le tableau suivant :

Tableau V-13: Précipitations et températures moyennes mensuelles

Mois	<i>J</i>	<i>F</i>	<i>M</i>	<i>A</i>	<i>M</i>	<i>J</i>	<i>J</i>	<i>A</i>	<i>S</i>	<i>O</i>	<i>N</i>	<i>D</i>
P (mm)	44.87	36.75	39.90	34.12	38.34	22.61	9.92	14.09	31.78	35.52	38.41	45.62
T (C°)	5.56	6.5	8.65	11.55	16.45	21.85	24.45	23.65	20.3	14.8	9.85	6.25
2T (C°)	11,12	13	17,3	23,1	32,9	43,7	48,9	47,3	40,6	29,6	19,7	12,5

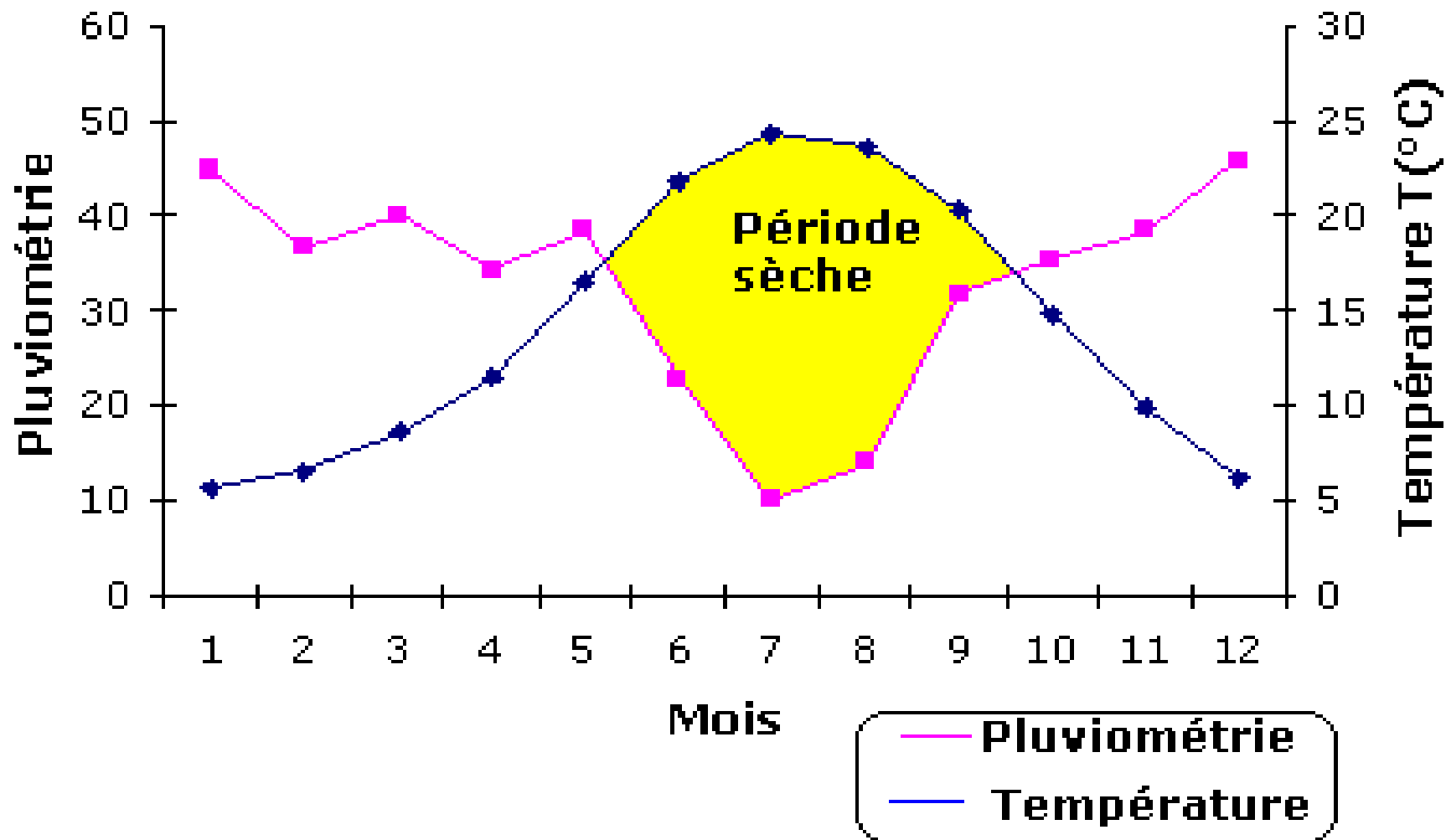
En résumé:

- Mois sec: $P \text{ (mm)} \leq 2T \text{ (C}^\circ\text{)}$
- Mois humide: $P \text{ (mm)} \geq 2T \text{ (C}^\circ\text{)}$

Nous pouvons constater de ce diagramme que nous avons deux saisons, l'une sèche qui s'étend sur plus de 4 mois, du fin Mai jusqu'au mois de Septembre, pendant cette période l'irrigation est une nécessité absolue.

L'autre saison est la saison humide, qui dure 8 mois pendant laquelle le recours à l'irrigation peut être une nécessité si on enregistre un déficit en eau.

Graphique N°V.1 : Diagramme Ombrothèrmique de Gaussen



V.3. Classification de climat :

V.3.1. Classification du climat selon l'indice de MARTON:

L'indice d'aridité ou de MARTON est un paramètre qui permet la classification de climat afin de nous renseigner sur l'indisponibilité de l'irrigation par rapport au climat.

L'indice d'aridité est donné par l'expression :

$$I_A = \frac{P}{T + 10} \quad (1)$$

Avec :

IA : indice de MARTON ;

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

T : température moyenne annuelle en °C.

Tableau V.14 : Classification de climat selon MARTON

Valeurs de I	Type de climat	Irrigation
$I < 5$	Désertique	Indispensable
$5 < I < 10$	Très sec	Indispensable
$10 < I < 20$	Sec	Souvent indispensable
$20 < I < 30$	Relativement humide	Parfois utile
$I > 30$	Humide	Inutile

Pour :

$$P_{\text{moy}} = 391.97 \text{ mm/an} \quad \text{et} \quad T_{\text{moy}} = 14.16 \text{ °C}$$

On aura :

$$I_A = \frac{391.97}{14.16 + 10} = 16.22$$

Selon l'indice d'aridité calculé $10 < I_A = 16.22 < 20$, on constate d'après la classification ci-dessus que la région est soumise à un régime de climat Sec, où l'irrigation est souvent indispensable.

V.3.2. Classification de climat selon le diagramme d'EMBERGER:

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

$$Q = \frac{1000 * P}{\frac{M + m}{2} (M - m)} \tag{2}$$

Avec :

Q : quotient pluviométrique d'EMBERGER ;

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 :

$$P = 391.97 \text{ mm}$$

$$M = 33.2 + 273 = 306.2 \text{ K}^\circ$$

$$m = 0.9 + 273 = 273.9 \text{ K}^\circ$$

On aura :

$$Q = \frac{1000 * 391.97}{\frac{306.2 + 273.9}{2} (306.2 - 273.9)} = 41.83$$

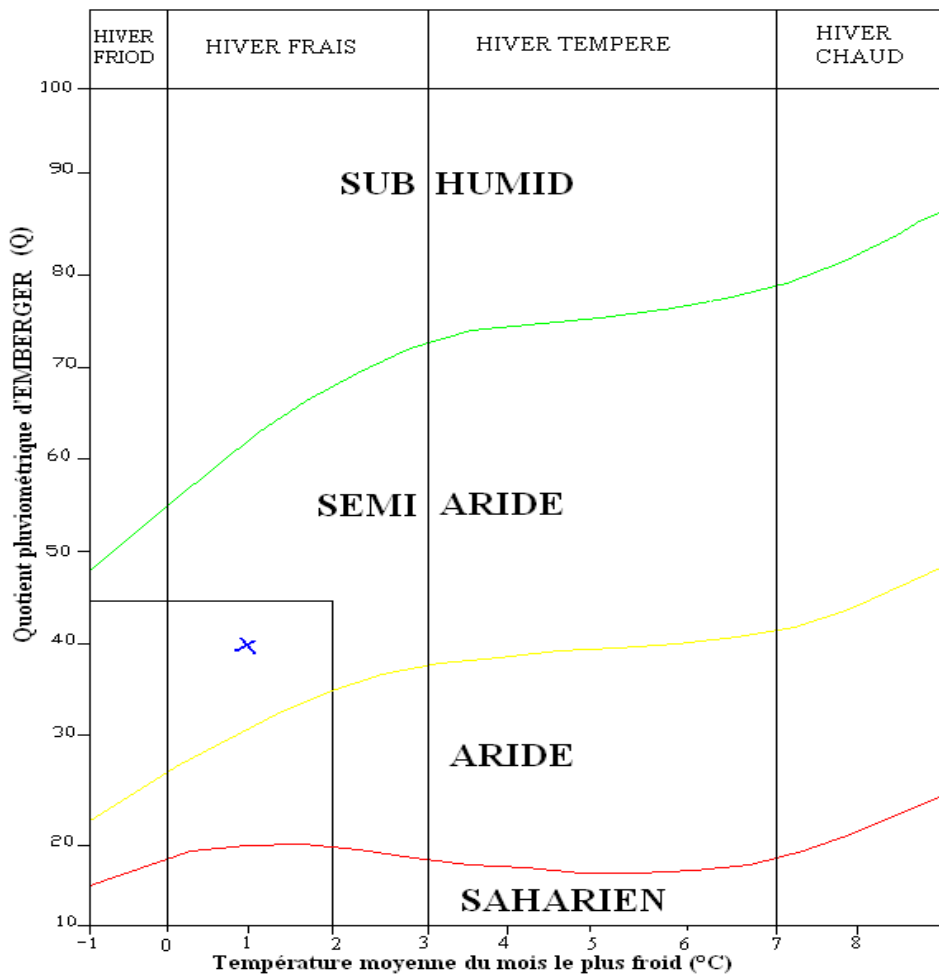


Figure N° V.2 : Diagramme bioclimatique d'EMBERGER

Après projection des valeurs ($Q=41.83$, $m=0.9^{\circ}\text{C}$) dans le diagramme bioclimatique d'Emberger nous pouvons conclure que le climat de la région est semi aride à hiver frais. Ces renseignements complètent celles obtenus précédemment par la méthode de Marton, et qui sont d'une importance majeure.

V.4. Etude hydrologique :

An niveau de cette étude nous allons faire une analyse fréquentielle des précipitations afin de définir la probabilité d'occurrence d'une valeur théorique à partir des relevés pluviométriques sur un nombre assez long en admettant que chaque événement pluvieux prend une valeur indépendante et aléatoire lors de sa réalisation.

Cette analyse permettra de déterminer la hauteur de pluie qu'on est sur de dépasser avec une probabilité donnée. Pour les projets d'irrigation, on adopte généralement les probabilités de dépassement de 4 années sur 5 soit une fréquence de 80%.

Pour cela nous aurons dans un premier temps à faire le choix de la probabilité qui sera susceptible de s'ajuster d'une manière adéquate à notre échantillon, ce qui aura pour but d'ajuster d'une loi théorique de répartition des fréquences connues à la droite ou à la courbe expérimentale des fréquences de l'échantillon.

Dans un second temps nous aurons à estimer analytiquement ou graphiquement la valeur que prendra un événement quelconque pour une probabilité donnée et ce à partir de la loi ajustée.

Mais avant tout il y'a lieu de vérifier la fiabilité des données pluviométrique qui sont à notre niveau. Pour cela nous allons nous assurer de l'homogénéité des valeurs de cette série.

V.4.1. Homogénéité de la série pluviométrique :

En générale, l'homogénéisation des données hydrologiques est indispensable, préalablement à toute exploitation hydrologique de ces dernières, car les mesures ne sont pas menées souvent avec soin. En effet, outre que la possibilité de données défectueuses ou sujette à caution, il arrive fréquemment qu'une station pluviométrique présente des interruptions dans les relevés, rendant difficile son utilisation.

La série à laquelle nous faisons allusion cette partie est la série enregistrée au niveau de la station pluviométrique de Bordj Bou-Arredj (150612), les valeurs de cette série sont représentées dans l'annexe N°1.

Donc comme nous l'avons précédemment dit, nous allons dans cette partie tester l'homogénéité de cette série afin de détecter et de corriger les anomalies où les valeurs erronées qui peuvent exister. Pour cela nous allons utiliser le test de Wilcoxon.

► Test de Wilcoxon :

Ce test repose sur un procédé simple, permettant de tester l'homogénéité d'une série de données, sans qu'il fasse appel à une autre série pluviométrique homogène d'une station voisine, étalée sur la même période d'observation.

La vérification de l'homogénéité d'une série pluviométrique d'enregistrement complet, par le test de Mr Wilcoxon, repose sur le procédé ci-dessous : [14]

*On divise la série complète des pluies moyennes annuelles de référence en deux sous-séries : x et y de telle sorte que N1 et N2 représente respectivement les tailles de ces deux sous séries, (généralement on prend $N_2 > N_1$).

*On constitue par la suite, la série "X" union "Y" après avoir classé la série de pluie d'origine par ordre croissant. A ce stade, on attribue à chaque valeur de la série pluviométrique classée, son rang, tout en précisant à quelle sous-séries appartient-elle.

Une fois que ces opérations sont effectuées nous allons passer au test de Wilcoxon selon lequel une série est homogène avec une probabilité de 95% si :

$$W_{\min} < W_x < W_{\max} \quad (3)$$

Avec :

W_x : Somme des rangs de la sous série X ;

$$W_{\min} = \left[\frac{(N_1 + N_2 + 1)N_1 - 1}{2} - u_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{N_1 N_2 (N_1 + N_2 + 1)}{12}} \right] \quad (4)$$

$U_{1-\alpha/2}$: représente la valeur de la variable centrée réduite de Gauss correspondant à une probabilité de $1-\alpha/2$ ($U_{95\%} = 1.96$)

$$W_{\max} = (N_1 + N_2 + 1)N_1 - W_{\min} \quad (5)$$

Le tableau V-15, détaille le procédé de test d'homogénéité proposé par de Mr Wilcoxon pour la station de Bordj Bou-Argeridj.

On a donc :

$$W_{\min} < W_x < W_{\max} \Leftrightarrow 81.67 < 115 < 138.33$$

Après avoir vérifié la condition de Mr Wilcoxon, la série des précipitations moyennes annuelles est jugée homogène.

Tableau V-15 : Test de Wilcoxon pour la série de données de la station de B.B.Arreidj

Rang	Série d'origine P (mm)	Série X (mm)	Série Y (mm)	TRI ↓ (mm)	X Union Y
1	303,7	303.7	401.1	207,8	X
2	561,5	561.5	505	288,5	Y
3	207,8	207.8	319.1	303,7	X
4	505,6	505.6	288.5	304,2	Y
5	424,5	424.5	437.2	319,1	Y
6	432,3	432.3	442.9	320,1	X
7	320,1	320.1	304.2	342,5	Y
8	428,3	428.3	455.9	351,8	Y
9	403,1	403.1	398	398	Y
10	398,4	398.4	351.8	398,4	X
11	401,1	-	342.5	401,1	Y
12	505	-	-	403,1	X
13	319,1	-	-	424,5	X
14	288,5	-	-	428,3	X
15	437,2	-	-	432,3	X
16	442,9	-	-	437,2	Y
17	304,2	-	-	442,9	Y
18	455,9	-	-	455,9	Y
19	398	-	-	505	Y
20	351,8	-	-	505,6	X
21	342,5	-	-	561,5	X

N1	N2	Wmin	Wx	Wmax
10	11	81.67	115	138.33

Après avoir vérifié l'homogénéité de la série, il faudra choisir une loi de probabilité susceptible de s'ajuster d'une manière à notre échantillon. C'est à partir de loi, que l'on pourra estimer analytiquement ou graphiquement la valeur de la pluie moyenne annuelle d'une fréquence 80% avec une période de retour 5 ans, valeur à partir de laquelle nous

pourrons estimer la pluie moyenne mensuelle de fréquence 80% sur la même période de retour.

V.4.2. Etude des pluies moyennes annuelles :

Dans le cas de notre projet, il sera utile de connaître les variations annuelles des précipitations pour les périodes de retours de 2 ans et 5 ans (fréquence de 0.5 et 0.2 respectivement), dont le but, est de calculer les besoins en eau d'irrigation.

Pour cela, nous proposons l'ajustement des séries par la loi normale, appelée souvent loi de Gauss, qui s'adapte bien avec les pluies moyennes annuelles.

V.4.2.1. Ajustement à la loi de Gauss :

La loi de Gauss est une loi qui admet la fonction ci-dessous comme fonction de répartition : [14]

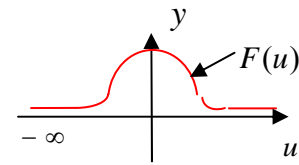
$$F(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^u \text{Exp}\left(-\frac{1}{2}u^2\right) \cdot du \quad (6)$$

Avec :

F(x) : fonction de répartition.

U : variable réduite de Gauss donnée par la formule :

$$u_{p\%} = \frac{P_{p\%} - \bar{P}}{\sigma} \quad (7)$$



Dans l'expression (7) apparaissent deux paramètres d'ajustement :

* \bar{P} : Précipitation annuelle moyenne.

* σ : Ecart type de la série de pluies moyennes annuelles.

Les pluies moyennes annuelles probables seront déterminées par la relation (8) :

$$P_{p\%} = \sigma * u_{p\%} + \bar{P} \quad (\text{droite de Henri}) \quad (8)$$

❖ Procédure d'ajustement :

Notre série est de taille 21 valeurs pluviométriques, qui doivent être ajustées à une loi théorique à savoir la loi de Gauss (loi normale), afin de déterminer les précipitations moyennes mensuelles en période sèche « P » qui correspondent à la fréquence P%=80%. Pour cela nous devons suivre les étapes ci-dessous :

✚ Classer les valeurs de l'échantillon par ordre croissant, tout en affectant un numéro d'ordre aux valeurs classées. Par la suite on calculera la fréquence expérimentale par la formule de Hazen.

$$F(x) = \frac{n - 0.5}{N} \quad (9)$$

Avec :

n : Numéro d'ordre.

N : Numéro d'années observées.

✚ Calcul des caractéristiques de l'échantillon à savoir :

$$\text{La moyenne arithmétique : } \bar{x} = \sum \frac{x_i}{n} \quad (10)$$

$$\text{L'écart type : } \sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad \text{Si } n < 30 \quad (11)$$

$$\text{Le coefficient de variation : } c_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (12)$$

$$\text{La variable réduite de Gauss : } u = \frac{x - \bar{x}}{\sigma} \quad (13)$$

✚ Pour faire l'ajustement nous avons utilisé le logiciel « Hydrolab » développé à l'université de Nice (France) par le C.N.R.S (Centre Nationale De Recherche Scientifique). Ce logiciel nous permis également de tracer le graphique d'ajustement (voir graphique N°V.3) et de déterminer les principales caractéristiques de la série pluviométrique.

Les résultats d'ajustement de la série des pluies moyennes annuelles de la station pluviométrique de B.B-Argeridj sont représentés dans le tableau V-16.

❖ **Commentaire :**

Nous remarquons sur le graphique V.3 ci-dessous que toutes les valeurs observées sont toutes très proche de la droite d'ajustement (droite d'Henri). Ce que signifie que nous avons une bonne corrélation et que la loi d'ajustement considérée est bonne. Mais rien ne nous empêche de confirmer l'adéquation de la loi d'ajustement par un test de validité d'ajustement.

❖ **Précipitation du projet :**

La quantité de précipitations sur la quelle on peut compter quatre années sur cinq, correspond à une probabilité de **80%** et représente une année "normale" sèche. C'est la précipitation utilisée dans le dimensionnement d'un réseau d'irrigation, appelée souvent précipitation de projet. Pour cela nous allons appliquer la formule ci-dessous :

$$P_{i.moy.80\%} = \frac{P_{sec,80\%} * P_{i.moy}}{P_{50\%}} \quad (14)$$

Avec :

$P_{i.moy.80\%}$: pluie moyenne du mois « i » avec une fréquence de 80% (année de calcul) ;

$P_{i.moy}$: moyenne de pluies du mois « i » sur une période de 21 ans ;

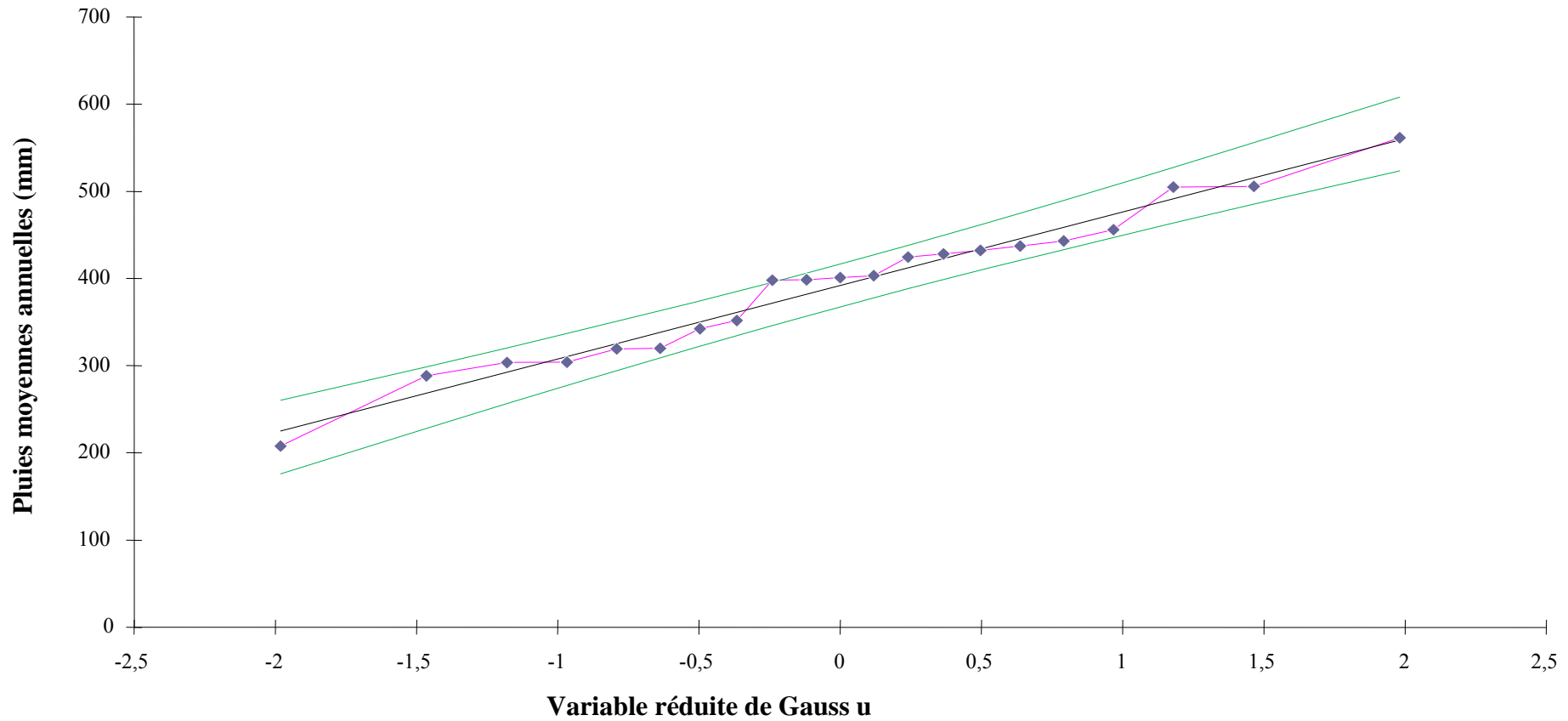
$P_{sec.80\%}$: pluie annuelle estimée pour une fréquence de 80% ($P_{sec.80\%} = 321.05$ mm) ;

$P_{50\%}$: pluie moyenne annuelle pour les 21 ans ($P_{moy} = 391.98$ mm).

Tableau V-16 : Ajustement interannuel à la loi normale de Gauss.

Taille n =21		Moyenne = 391,97619 Ecart-type = 84,2912208		I.C. à (en%)=80 U Gauss=1,2817				
Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
303,7	207,8	1	0,0238	-1,981	207,8	224,979626	175,950779	260,412538
561,5	288,5	2	0,0714	-1,466	288,5	268,446075	228,083898	298,751113
207,8	303,7	3	0,1190	-1,180	303,7	292,523607	256,521839	320,428497
505,6	304,2	4	0,1667	-0,967	304,2	310,435971	277,390112	336,843278
424,5	319,1	5	0,2143	-0,791	319,1	325,265417	294,433393	350,666219
432,3	320,1	6	0,2619	-0,637	320,1	338,269511	309,172417	362,994106
320,1	342,5	7	0,3095	-0,497	342,5	350,10126	322,391189	374,402106
428,3	351,8	8	0,3571	-0,366	351,8	361,154088	334,556876	385,241936
403,1	398	9	0,4048	-0,241	398	371,692837	345,978869	395,755447
398,4	398,4	10	0,4524	-0,119	398,4	381,913726	356,881212	406,127011
401,1	401,1	11	0,5000	0,000	401,1	391,976199	367,440559	416,51184
505	403,1	12	0,5476	0,119	403,1	402,038655	377,82537	427,071169
319,1	424,5	13	0,5952	0,241	424,5	412,259544	388,196934	437,973512
288,5	428,3	14	0,6429	0,366	428,3	422,798292	398,710445	449,395505
437,2	432,3	15	0,6905	0,497	432,3	433,851121	409,550275	461,561192
442,9	437,2	16	0,7381	0,637	437,2	445,68287	420,958275	474,779964
304,2	442,9	17	0,7857	0,791	442,9	458,686964	433,286162	489,518988
455,9	455,9	18	0,8333	0,967	455,9	473,51641	447,109103	506,562269
398	505	19	0,8810	1,180	505	491,428774	463,523884	527,430542
351,8	505,6	20	0,9286	1,466	505,6	515,506306	485,201268	555,868483
342,5	561,5	21	0,9762	1,981	561,5	558,972755	523,539843	608,001602

**Graphique N° V.3 : Graphique d'ajustement interannuel des pluies moyennes (1981-2001) à la loi normale
Station de B.B.Arreridj (150612)**



Période (ans)	Fréq(*)	U.Gauss	Val.théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.
5.0	0,2	-0,841	321,048777	289,611217	346,711819	321,048777	0,200
2.0	0,5	0,000	391,976199	367,440559	416,51184	391,976199	0,467
1.25	0,8	0,841	462,903604	437,240562	494,341164	462,903604	0,800

(*) Fréquence au non dépassement

Les valeurs annuelles correspondantes aux probabilités de dépassements de : **80%**, **50%** et **20%** sont :

P80%=321.05 mm (année sèche)

P50%=391.97 mm (année normale)

P20%=462.90 mm (année humide)

Application :

- $P_{sec.80\%} / P_{50\%} = 0.82$
- Les valeurs de $P_{i.moy}$ sont reportées dans le tableau V-2 ;

Après un calcul simple en appliquant la formule n°(14), on obtient la série des pluies moyennes mensuelles de l'année de calcul ($P_{i.moy.80\%}$), représentée ci- dessous :

Tableau V.17 : La pluie moyenne mensuelle de fréquence 80% pour une période sèche (Zone de périmètre de B.B.A).

MOIS	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
P_{moy 80%} (mm)	36.79	30.14	32.72	27.98	31.44	18.54	8.13	11.55	26.06	29.13	31.50	37.41

La pluie annuelle de fréquence 80% est de 321.39 mm/an

V.4.2.2. Test de validité de l'ajustement à la loi de Gauss :

La loi choisie pour ajuster la distribution statistique de l'échantillon, ne représente qu'approximativement l'échantillon étudié. L'erreur commise en adoptant une loi donnée est une erreur d'adéquation.

Par ailleurs, sur un échantillon donné, plusieurs lois d'ajustement peuvent être appliquées, donnant des résultats qui divergent notablement d'une loi à une autre.

Il convient par conséquent de tester l'adéquation de telle loi choisie afin de juger l'ajustement (satisfaisant ou mauvais); l'un des tests le plus employé, est le test du Khi carré " χ^2 " ou test de Pearson :

- ✚ Soit un échantillon de N valeurs, classées par ordre croissant ou décroissant à étudier et pour lequel une loi de répartition F(X) a été déterminée.

✚ On divise cet échantillon en un certain nombre de classe "K" contenant chacune n_i valeurs expérimentales. Le nombre V_i est le nombre théorique de valeurs (sur un échantillon de N valeurs) affectées à la classe " i " par la loi de répartition, donnée par la relation (15);

$$v_i = N \int_{X_{i+1}}^X f(X)dX = N[F(X_i) - F(X_{i+1})] \tag{15}$$

$f(X)$: étant la densité de probabilité correspondant à la loi théorique. La variable aléatoire x^2 , dont la répartition a été étudiée par Mr Pearson, est définie par l'expression (16), qui dépend du nombre de degré de liberté λ , donné par la formule (17) ;

$$\chi^2 = \sum_1^K \frac{(n_i - v_i)^2}{v_i} \tag{16}$$

$$\lambda = K - 1 - P \tag{17}$$

Avec :

P : Nombre de paramètres, dont dépend la loi de répartition.

Donc :

P=2 : Pour la loi de Gumbel-Fréchet et de Gauss. (\bar{p} et σ).

P=3 : Pour la loi de Gibrat-Galton. (\bar{P} , σ et μ_3).

✚ On recherche sur la table de Mr Pearson la probabilité de dépassement correspondant au nombre de degré de liberté donné par la formule n° (17). Si cette probabilité est supérieure à 0,05 (un risque $\alpha=5\%$), l'ajustement est satisfaisant, sinon, il y a de fortes chances pour que l'ajustement soit mauvais, donc, il est conseillé de le rejeter.

Le procédé de test de validité de Khi carrée pour l'ajustement à la loi de Gauss de notre série est récapitulé dans le tableau V-18.

Tableau V-18 : Procédé de calcul du Test de Khi carrée (Pearson)

Classe K	n_i	u_1	u_2	$F(u_1)$	$F(u_2)$	$F(u_1) - F(u_2)$ = P_i	$n * P_i = v_i$	$(n_i - v_i)^2 / v_i$
200-350	7	-2.02	-0.71	0.023	0.239	0.216	4.536	1,338
350-410	5	-0.71	-0.06	0.239	0.477	0.238	4.998	8,003E-07
410-450	5	-0.06	0.59	0.476	0.722	0.246	5.116	0,0053
450-600	4	0.59	1.90	0.722	0.971	0.249	5.229	0,2889
Somme	21							1.633

Ces résultats donnent ainsi : $\chi^2 = \sum \frac{(n_i - v_i)^2}{v_i} = \mathbf{1.633}$

Le nombre de degré de liberté est : $\lambda = K - 1 - p = 4 - 1 - 2 = 1$.

La table de Khi carré χ^2 de Pearson, donne pour ces valeurs une probabilité de $P(\chi^2) = \mathbf{0,762}$.

$P(\chi^2) = \mathbf{76,2\%} > \mathbf{5\%}$ donc l'adéquation de la loi de Gauss est bonne autrement dit l'ajustement aux précipitations annuelles est bon pour une probabilité $1-\alpha$ soit 95%.

Conclusion:

Dans ce chapitre nous avons traité les principales données qui nous aideront à connaître la nature du climat de la zone d'étude et on a déterminé les paramètres de calculs des besoins en eaux du périmètre.

En résumé ;

Du point de vue topographique le périmètre possède une topographie relativement plane, la pente ne dépasse pas les **7%** pour **90%** des terres.

Le diagramme ombrothermique nous a permis de déterminer la dissociation de deux saisons à savoir : la saison humide, et la saison sèche qui est la période d'irrigation.

La période pluvieuse débutera à partir du mois de Septembre et se terminera au mois de Mai. La pluviométrie atteint en moyenne **88%** des précipitations totales annuelles. Les mois les plus secs sont juin, juillet et août.

D'après l'analyse statistique des données hydrologiques le périmètre est caractérisé par une pluie moyenne annuelle de 391.98 mm, la pluie de 80% est de l'ordre de 321.05 mm. L'évaporation de la région est de 1319 mm, valeur nettement supérieure aux apports d'où la nécessité de l'irrigation pour palier au déficit enregistré dans la région.

Chapitre VI : Etude agro-socioéconomique

Introduction :

Cette étude a été établie dans le but d'analyser les paramètres socio-économiques, qui influencent la production agricole végétale, depuis la mise en place de la culture jusqu'à la récolte, et à l'écoulement du produit sur le marché.

Cette étude nécessite une enquête sur le terrain aux prés des services spécialisés telles que les administrations locales les délégations agricoles, mais aussi auprès des agriculteurs.

L'enquête s'est déroulée avec l'aide des autorités locales. Les entretiens avec les exploitants agricoles se faisaient directement sur la base d'un questionnaire préalablement établis. Pour les informations statistiques et/ou qualitatives sur la région d'étude, l'opération a ciblé les personnes ressources des administrations agricoles de la wilaya de Bordj Bou Arreridj.

VI .1. Cadre socio-économique :

VI .1.1. La population :

La population de la wilaya de Bordj Bou-Arreridj, d'après (DPAT) de B.B.A, était 629 948 habitants en 2006 répartie sur 34 communes, sur une superficie de 3934.75 km². La ville de Bordj occupe une superficie de 82.24 km², avec une population de 155 380 habitants (la densité de population est de 1 889.30 hab/ km²).

Les caractéristiques de la population, en termes de tranche d'âge et sexe, sont représentées dans le tableau suivant.

Tableau VI-1 : Répartition en tranche d'âge et par sexe de la population de la wilaya de Bordj Bou-Arreridj

Groupes d'âge	RGPH 1998			Estimations actuelles		
	Masculin	Féminin	Ensemble	Masculin	Féminin	Ensemble
0-4	33 166	31 924	65 090	30 088	29 075	59 163
5-9	38 851	37 477	76 328	30 947	29 786	60 733
10-14	40 334	38 699	79 033	37 353	36 003	73 356
15-19	36 269	34 479	70 748	40 635	39 065	79 700
20-24	27 923	26 973	54 896	38 781	36 900	75 681
25-29	22 469	21 695	44 164	31 296	30 065	61 361
30-34	17 499	16 794	34 294	24 385	23 724	48 109
35-39	15 612	14 589	30 201	19 155	18 466	37 621

40-44	11 928	11 724	23 652	16 125	15 403	31 528
45-49	10 070	9 547	19 617	13 257	12 682	25 939
50-54	5 435	6 019	11 454	10 865	10 238	21 103
55-59	5 193	5 808	11 001	6 922	7 021	13 943
60-64	5 248	5 770	11 018	4 605	5 444	10 049
65-69	4 555	4 891	9 446	4 761	5 413	10 174
70-74	3 135	3 175	6 310	4 122	4 671	8 793
75-79	1 943	1 703	3 646	2 810	3 031	5 841
80 et +	2 245	2 260	4 505	2 642	2 320	4 962
Wilaya	281 875	273 527	555 402	318 747	30 9307	628 054

Source : DPAT de Bordj Bou-Argeridj, 2006

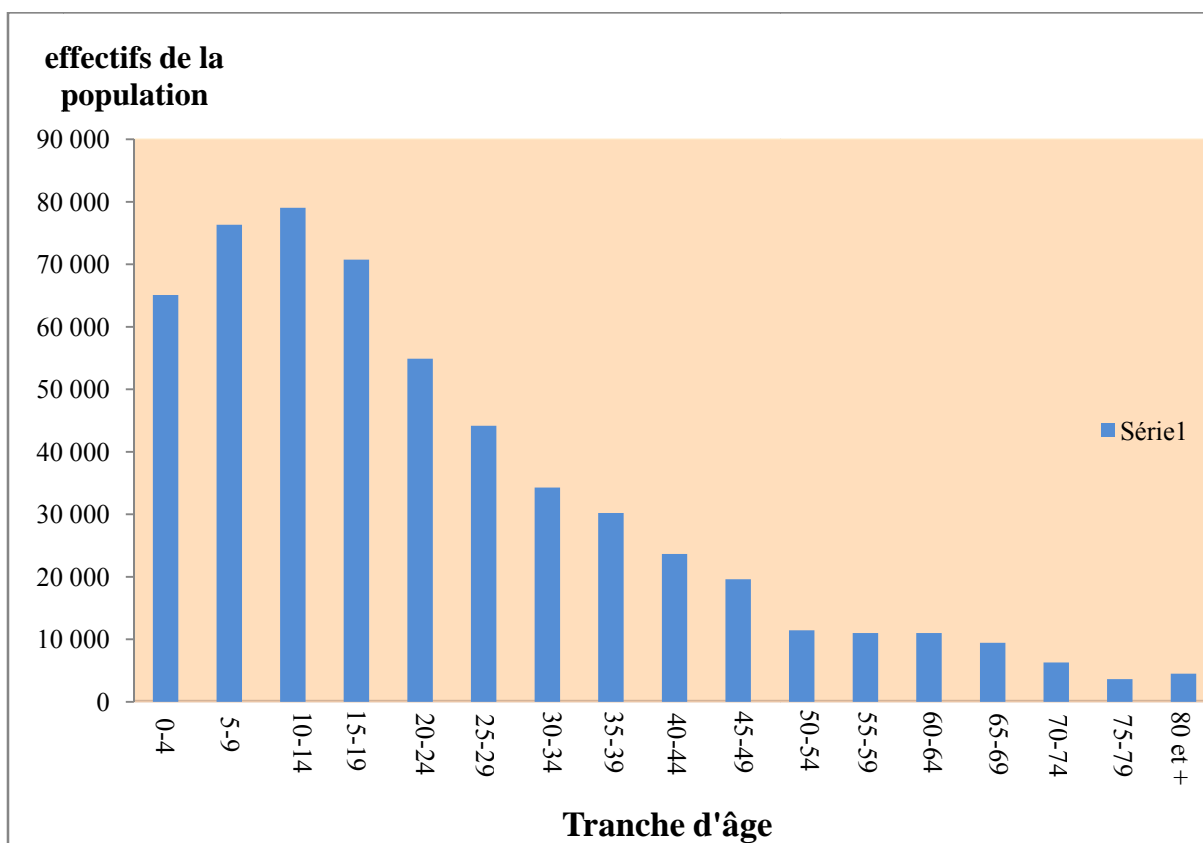


Figure VI.1 : Pyramide des âges de la wilaya de Bordj Bou-Argeridj.

On remarque que le pyramide est large à la base ce qui indique une population jeune. Cette population constitue un volant de main d'œuvre important.

VI.1.2. L'emploi :

L'offre d'emploi dans la wilaya de B.B.Argeridj semble insuffisante, eu égard au taux de chômage estimé à 19.79%. Le tableau ci-dessous est un indicateur d'emploi.

Tableau VI-2 : Indicateurs de l'emploi au niveau de la wilaya de B.B.Arreridj

Pop Active	Pop Occupée	Pop en chômage	T%
197 061	158 062	38 999	19.79

Source : DPAT de Bordj Bou-Arreridj, juin 2006

Le secteur agro-industrie fait travailler un nombre de 1416 employeur.

VI .2. Cadre topographique et géomorphologique :

VI .2.1. Relief :

La région d'étude se situe dans les hauts plateaux dans la wilaya de B.B.Arreridj, au Nord Est de l'Algérie, à environ 36° de latitude nord et 5° de longitude Ouest. Le site présente un relief légèrement ondulé et aux pentes pas très fortes (0-7%) d'une altitude de 900m en moyenne.

VI .2.2. Réseau hydrographique :

La zone d'étude située au Sud de la commune de BBA est drainée par l'oued Slib et l'oued Arreridj, d'axes sensiblement Nord-sud.

VI .2.3. Le climat :

L'étude des caractéristiques climatiques, dans le cadre d'un aménagement hydro-agricole, constitue un matériau d'information indispensable pour la décision dans le choix des espèces végétales que l'on peut cultiver et calculer leur besoins en eau.

Les paramètres de climat à prendre en considération sont : les précipitations (pluies, la neige, les orages, la grêle, les gelées), le vent, le sirocco et la température.

VI .3. Les ressources en eau :

Les eaux usées épurées de la station d'épuration de la ville de Bordj Bou-Arreridj seront à 100% affectées à l'agriculture avec les prévisions suivantes :

Horizon	Débit de la STEP (m3/j)	Demande unitaire du périmètre (l/s/ha)	Superficie irrigable (ha)
Actuel	7000	1.00	81,00
Court terme	15 000	1.00	174,00
Moyen terme	30 000	1.00	347,00
Long terme	45 000	1.00	520,00

Source : DHW-Bordj.B.A

A moyen terme la surface irrigable ne peut atteindre que 300 hectares, sur une surface globale délimitée de 340 hectares, la différence (40 ha), représente la servitude de la future voie ferrée, ainsi que les terrains présentant des affleurements rocheux et des pentes fortes défavorables principalement pour l'irrigation superficielle.

Surface globale (ha)	Servitude chemin de fer (ha)	Surface agricole (ha)		Occupations dominantes
		Privé	EAC	
340.1	22.65	301.95	15.5	Céréales, jachère
		317.45		

Source : DHW-Bordj.B.A

Le volume d'eau excédentaire (47 l/s) servira à l'irrigation des terres avoisinantes de la STEP.

Une régulation horaire et journalière s'impose étant donné la différence entre la production de la STEP, et la demande du périmètre en période de pointe. Le stockage que comporte toute installation de réutilisation d'eau a des dimensions très différentes selon les objectifs poursuivis. Il s'agit seulement d'une réserve de régulation destinée à mettre la demande d'eau d'irrigation à l'abri des variations horaires du flux de sortie de la STEP, son volume sera multiple de la consommation 2,5,10 heures.

Le volume stocké, pourra être plus important s'il doit faire face aux risques d'interruption de l'approvisionnement en eau épurée ou aux pannes de systèmes de traitement, étant donné le coût de ces ouvrages, cette éventualité est à écarter, vu que et par mesure de sécurité, qu'en période de pointe les cultures, les plus exigeantes n'occupent que 19,3% du périmètre, soit 29ha, de la superficie irrigable.

Ce qui concerne la qualité d'eau épurée, on doit signaler la très forte salinité(2,6 mmhos/cm) de cette dernière, un choix des cultures tolérantes aux sels avec un lessivage est recommandé.

VI .4. Plan de culture (Assolement-Rotation) :

Le choix du plan et des intensités de cultures dépendant de nombreux facteurs (climat, sol, aspects sociaux, financiers et économiques ainsi que la rentabilité).

Selon les recommandations du CSHP (voir étude physico-chimique), les crudités sont à écarter du plan de culture, étant donné la qualité de l'eau d'irrigation (salinité très forte), l'on tolère une chute de rendement de l'ordre de 10% pour toutes les cultures y compris l'arboriculture.

Tableau VI-3 : Chute de rendement tolérée en fonction de la salinité du sol

Conductivité de l'extrait saturé (mmhos/cm)	Tolérance des plantes	Plantes pour lesquelles le rendement est diminué à cause d'une salinité par à peu près	
		10%	50%
2 à 4	Bon rendement sauf des plantes sensibles	<u>Cultures maraîchères</u> : Céleri, pois, courgette, patate douce, pomme de terre, navet, chou-fleur. <u>Cultures pérennes</u> Prunier, pommier, poirier, abricotier, amandier, pêcher, vigne. <u>Cultures fourragères</u> : Luzerne, trèfle blanc	Haricot vert carotte Fraise, framboise Trèfle hybride, trèfle rouge

VI .4.1. Choix des spéculations:

L'eau est une denrée rare et chère, il est impératif d'orienter le choix des cultures, avec celles qui sont les plus aptes à valoriser cette eau, et les moyens de production avec.

Il convient donc de pratiquer un système intensif susceptible de rentabiliser au maximum des investissements consentis pour la mobilisation et l'exploitation des ressources en eau dans le souci d'avoir le maximum de sécurité pour la rentabilité face aux divers contraintes d'ordre climatiques et socio-économiques qui peuvent s'opposer, il conviendra de diversifier les cultures afin de répondre à ces exigences, de telle manière à ne pas obliger l'exploitant à pratiquer la monoculture, qui va à l'encontre de l'entretien de la fertilité du sol et si même au cours d'une campagne, une spéculation est sinistrée, l'exploitant aura gagné d'autres spéculations.

Le choix doit tenir compte :

- Des conditions édaphiques, et climatiques du milieu naturel ;
- Des habitudes et maîtrise de la conduite des cultures dans le système de production donné ;
- La rentabilité ;
- L'aptitude culturale du sol, et de la qualité de l'eau d'irrigation.

Sur la base d'une projection arbitraire, et des données recueillis dans la zone d'étude concernant les spéculations pratiquées, l'on retient sommairement les groupes suivants :

- 1- les fourrages : orge en vert, maïs, sorgho, etc.
- 2- les céréales, légumes secs : blé dur, blé tendre, avoine, pois-chiches, etc.
- 3- le maraîchage : pomme de terre, navet, ail, tomate, haricot vert, courgette, chou-fleur.
- 4- l'arboriculture fruitière.

Avec la répartition suivante :

- Cultures assolées : 85%;
- Cultures pérennes (arboriculture fruitières) : 15%.

VI .4.2. Assolement rotation :

Le problème d'assolement pour réduire la jachère dans le périmètre d'étude se pose surtout pour la vaste zone semi-aride, dite à « céréales-moutons », dont la pluviométrie annuelle est comprise entre 300 et 400 mm. L'assolement actuel dans cette zone est d'environ 50% céréales est à fortiori l'assolement diversifié est marginal et aléatoire, la démystification du rôle indispensable de la jachère travaillée et sa suppression partielle ou totale par une culture dérobée ou de « tête d'assolement » selon les situations permettraient d'atteindre les objectifs suivants avec des modalités éventuellement différentes :

- 1- Association culture élevage ;
- 2- Diversification des cultures ;
- 3- Augmentation du rendement des céréales par des actions indirectes (rôle des précédents);
- 4- Maintien ou amélioration de la productivité des sols et lutte contre l'érosion.

De nombreux facteurs interviennent lors de l'établissement de l'assolement parmi lesquels :

- Economiques (prix des produits, débouchés...) ;
- Techniques (rotation et mécanisation) ;
- Humains (main d'œuvre).

Lorsque l'un des facteurs change l'agriculteur est amené à reconsidérer son assolement en s'assurant qu'il n'y a pas d'autres facteurs limitants qui apparaissent l'augmentation du prix d'un produit ou la création de débouché nouveaux incite l'agriculteur à augmenter la surface l'on retient pour le périmètre. Un assolement intensif quadriennal avec la répartition suivante : Céréales : 51.2%, Maraîchage : 14.6%, Fourrages : 20,6%, une répartition qui exprime la vocation première du périmètre entre autre la céréaliculture, élevage. L'affectation des

cultures maraîchères sur 14% de la superficie globale du périmètre est tributaire de trois paramètres :

- 1- C'est une spéculation consommatrice d'eau ;
- 2- Les cultures maraîchères sont exigeantes en eau, une panne au niveau de la station pour plusieurs jours peut causer des dégâts considérables. Tandis que les cultures céréalières et fourragères résistent bien à ces pénuries.
- 3- La régularisation des apports de la STEP, au niveau du réservoir de stockage proposé n'est que journalière, en période de sécheresse la station fournira certainement un débit qui sera nettement inférieur à celui demandé à la tête du réseau, étant donné que la production de la STEP est liée directement à l'alimentation en eau de la ville (y compris la zone industrielle).

VI .4.3. Pratiques culturales :

L'agriculteur doit tenir compte de nombreux facteurs pour conduire l'irrigation étant donné la relation entre le déficit d'alimentation en eau, et la perte de rendement des cultures.

- ❖ **Culture dont une partie seulement de la masse élaborée fait l'objet de récolte :** (Grande majorité des productions que soit des grains, fruits, tubercules, bulbes, et des racines)

A- Production de grains :

On peut distinguer les cultures pour lesquelles la floraison est très groupée (la majorité des céréales), la période physiologiquement la plus critique est celle de l'élaboration des organes de reproduction car la réduction de nombre de fleurs fertiles peut en bien des cas, ne plus être compensée par les autres composantes du rendement.

- L'insuffisance des pluies en automne gêne l'exécution des derniers travaux de préparation du sol et retarde parfois la levée.
- Les pluies d'hiver (décembre, janvier, février) ont une importance.
- Les pluies du printemps (mars, avril, mai) sont décisives pour le développement du blé, avoine, l'orge et les légumes secs.

Les variétés couramment pratiquées :

Blé dur : Montpellier 37.856, triticum polinicum X Z B, BIDI 17, hedba 3, M^{ed} BENBACHIR, oued ZENATI 368.

Blé tender: BT MEXICAIN, Anza, ciete-cerros, strampelli, florence aurore, malion demias, tobari, soltane.

Avoine : Aron, caravelle, prevision.

B- Production de fruit :

Il faut distinguer les cultures annuelles et les plantations pérennes pour lesquelles le volume de production d'une année peut induire des répercussions par les suivantes.

L'importance de la floraison chez certaines espèces oblige à surveiller particulièrement la période d'induction florale, il ne reste pas moins que l'appareil végétatif doit être suffisant pour supporter une fructification abondante, de plus pour de nombreuses productions de « légumes-fruits » il est important de ne pas pénaliser les premiers stades de développement afin de ne pas retarder la fructification. Ci-dessous les principales espèces arboricoles préconisées.

Tableau VI-4 : Principales arboricoles préconisées.

Espèces	Irrigation	Densité	Variétés	Rendement
Oliviers	Zones où P=450 à 650mm/an, les apports *En gravité 6000 à 8500 m ³ /ha/an entre Mars-Sept. *En irrigation localisée 3200 m ³ /ha/an (avec 4goutteurs/arbre 8-10h par irrigation tous les 3 jours).	6 x 4 ou 5x5 (soit 416 arbre/ha)	SIGOISE (conserve), CORNICABRA (huile), AZERADJ et BOUCHOUK (huile et conserve), ABELOUT (huile), ROUSSETTE	Pour des verges de 400 arbres/ha conduits en irrigué : 3 T/ha à 4-5 ans 15 T/ha à 8-9 ans
Figuiers	2 à 3 irrigations en hiver Tous les 8 à 10 jours en été	6 x 4	Zones à faible hygrométrie, fort ensoleillement et des étés chauds et secs : MESSARI, AOUNQ HMAM, LEMBDAR LABIAD, LEMBDAR LAKHAL, JOHRI	1,5 T/ha en moyenne
Grenadiers	3000 m ³ /ha/an	5 x 5	ROUGE, OUARDISAYEB	150 qx/ha

C- Production de tubercules, bulbes et racines :

Il ne faut pas tolérer le déficit hydrique pendant la période de tubérisation de la culture et surtout de prématurité un déficit modéré et sans conséquence. La production des bulbes tels que l'oignon et ail, tout au moins jusqu'à ce que l'organe d'emménagement soit au trois quart formé, ensuite un déficit de 20 à 30% qui ne nuit pas à la migration des éléments des tiges et feuilles vers le bulbe permet de garantir des conditions de meilleure conservation. La production de racines dont l'exemple (carotte, navet et betterave) correspond à un type spécial de réaction du déficit.

Cette culture a une importante faculté de rattrapage dont on tolère un déficit hydrique certain provoqué par des irrigations peu fréquentes, il faut toutefois empêcher que des phénomènes irréversibles de dépérissement du feuillage ne se produisent afin de sauvegarder un bon potentiel de synthèse de sucre.

❖ **Culture dont l'essentiel de la masse élaborée fait l'objet de récolte :**(cultures fourragères, légumes et certaines cultures industrielles)

A-Maïs fourrager :

L'eau est un élément déterminant de la production du maïs, après le levé le maïs a des besoins faibles puisque se sont surtout les racines qui se développent, au cours de la montaison les besoins en eau croissent considérablement puisqu'en 25 jours le maïs doit trouver près de 50% de ses besoins totaux.

1- L'affouragement en vert :

Le maïs peut être consommé en vert pendant les mois d'été, le stade de récolte est le stade laiteux, car au-delà le bétail manifeste un moindre appétit pour le fourrage qui lui est présenté et le niveau de consommation baisse il faut alors recourir au hachage pour que l'animal l'accepte bien.

Les rendements en vert, pourront être élevés, mais comme la plante récoltée précocement ne contient en moyenne que 15% de MS, le fourrage obtenu sera aqueux.

2- Le maïs ensilé :

Il s'agit de récolter le maïs lorsque le rendement en MS et en UF atteint la valeur maximale, mais aussi à un stade compatible avec les exigences techniques de récolte et de conservation.

Le stade de récolte optimum conciliant ces deux objectifs est le stade grain pâteux-pâteux dur, le rendement en MS est maximal, la teneur moyenne en MS de plante se situe vers 27%, et du grain à 60%, ce taux facilite :

- ✓ Le hachage par des ensileuses à coupes fines sans dépenses excessives d'énergie, et un bon éclatement des grains ;
- ✓ L'obtention d'un ensilage de qualité ;
- ✓ Un bon niveau de consommation dans des bonnes conditions, le rendement de maïs-fourrage peut se situer entre 10 et 15 tonnes de MS/ha.

Les principales variétés sont : PAG 650 W, PAG 751 du groupe IV, INRA 258, Punck's G288

B- Sorgho-fourrager :

1- Les sorghos « fourragers » :

Les sorghos « fourragers » sont des sorghos à développement végétatif important (1,5 à 2 m) généralement tardifs à tallage faible adapté à l'exploitation ensilage, dans cette catégorie on trouve :

- Les sorghos « sucrés » (récolte en Aout) : Atlas, Honey, Black-Amber ;
- Les sorghos « les plus communs » : Sorgho commun, beef-builder, NK-300.

2- Les sorghos « menus » ou Sudan-gras :

Sont plus courts à tiges fines et feuilles étroites, ils repoussent très bien après une coupe et sont bien adaptés aux exploitations fréquentes, donc à la pâture et à l'affouragement en vert.

Les populations les plus cultivées sont : le Sudan-gras, le piper, trudent I et II, l'auge-grasse.

3- Les hybrides sorgho-sudan :

Ils représentent des caractères intermédiaires et se trouvent donc adaptés à toutes les types d'exploitations (pâture et ensilage), ils sont donc plus tolérants à des conditions de milieu défavorables.

Les hybrides les plus connus sont : le sweet-sudan, le grazer, le sudan, les sudax... de façon générale, sur le critère rendement en MS/ha, la supériorité des sorghos et des hybrides sorgho-sudan a été établie tout spécialement on peut retenir : beef-builder et grazer qui ont fourni autour de 20T de MS/ha.

Ci-dessous les principales cultures et leurs stades de développement, récapitulées dans le tableau VI-5 ci-après.

Tableau VI-5 : Principales cultures et leurs stades de développement

Cultures	Durée du cycle végétatif (jours)	Plantation (semis-récolte)	Phase de développement				Rendement T/ha
			initiale	Développ- emnt	mi- saison	Arrière saison	
P.T.saison	145	Avril-août	30	35	50	30	30 à 35
Piment	145	Avril-août	30	35	50	30	15
Poivron	145	Avril-août	30	35	50	30	22 à 25
Tomate	145	Avril-août	30	40	45	30	50 à 60
Carotte	120	Sept-nov	25	35	40	20	30 à 50
Navet	120	Sept-nov	25	35	40	20	15 à 25
Ail	180	Déc-mai	30	50	55	45	12
Oignon.V	95	Déc-mai	20	45	20	10	15 à 20
Oignon.S	150	Janv-juin	15	25	70	40	20 à 40
Orge en vert	120	Oct-janv	15	25	50	30	13
Pois-chiches	170	Janv-juin	25	35	70	40	45
Pt- arrière saison	145	Juil-déc	30	35	50	30	25 à 30
Blé dur	240	Nov-juin	25	35	65	40	40
Courgette	100	Avr-juil	25	35	25	15	20
Laitue	105	Déc-mars	30	40	25	10	7
Melon	120	Avr-août	25	35	40	20	22 à 25
Pastèque	120	Avr-août	25	35	40	20	25 à 35
Chou-fleur	120	Août-nov	25	35	40	20	15 à 18
Maïs	110	Mars-juil	20	30	50	10	10 à 15
Sorgho	130	Mars-août	20	35	45	30	10

Conclusion :

Le problème de l'eau de l'économie de l'eau est très complexe à résoudre si les moyens mis en œuvre sont très variés et liés entre eux (techniques culturales, irrigation), ils exigent de bien connaître les conséquences de leur utilisation.

Afin d'économiser les eaux de première main (eaux d'AEP) et pour compenser le déficit hydrique pour les plantes au niveau du périmètre, on a recours à la réutilisation des eaux usées épurées de la STEP de Bordj Bou Arreridj, tout en jouant sur le choix des cultures et techniques d'irrigation pour garantir un meilleur rendement des cultures et sans risques.

Chapitre VII : Etude agro-pédologique

Introduction :

Le sol constitue l'un des facteurs de productions les plus importants, et la connaissance de la variabilité spatiale de ses propriétés est indispensable comme support d'aide à la décision pour le pilotage des travaux ; ainsi avant pour investissement, il est nécessaire d'établir un diagnostic de la variabilité des sols du périmètre projetée. En effet, il faut connaître la nature des sols, estimer leur surface et analyser leurs caractères pédologiques susceptibles de jouer un rôle majeur dans le développement, et la croissance des cultures.

Les principales contraintes et critères prises en considération pour la classification des sols sont : la texture, le critère d'hydromorphie, la présence et la profondeur de la nappe, la porosité, la salinité et le calcaire actif, bien qu'ils sont localisés dans des zones précises.

A partir de ces critères et selon leurs intensités, une classification proposée par le Bureau d'étude Of Reclamation United States Department Of The Interior en 1953, par la suite adoptée et recommandée par la F.A.O en 1979 et selon laquelle on a la classification des sols du périmètre de Bordj Bou-Argeridj.

VII.1. Les Sols :

Le fond cartographique utilisé pour l'établissement de la carte pédologique est le levé topographique au 1/5000, la carte pédologique ainsi établie a été utilisée comme base lors de l'élaboration de la carte d'aptitude des sols au 1/5000.

Les échantillons prélevés des trois profils représentant les trois unités déterminées ont été analysées au laboratoire des services agro-pédologique de l'ANRH.

Le cheminement suivi pour la réalisation de ce travail se résume suit :

VII.1.1. Etude préliminaire :

C'est la consultation des documents susceptibles de nous fournir des informations utiles sur le périmètre. Dans ce cadre nous avons consulté les documents suivants :

- la carte topographique de **BBA** au 1/50.000 ;
- la carte géologique détaillée de **BBA** ;
- les orto-photo-plans au 1/5000 ;
- le lève topographique au 1/5000.

VII.1.2. Prospection sur terrain :

L'objet de cette prospection est de se familiariser avec le terrain, et de connaître ces

caractéristiques (géomorphologie, topographie, occupation du sol etc....) et d'avoir une idée sur la nature et la répartition des sols.

Après l'étape qui consiste en identification des unités géomorphologiques à l'aide des photographies aériennes, on entame les sondages, les observations et la description des coupes naturelles (oueds ; bordures de route, et de chemin de fer ...).

Les critères de cartographie utilisés sont :

- la couleur ;
- la profondeur ;
- la matière organique ;
- la nature de la roche mère ;
- le relief ;
- le test de l'Hcl.

VII.1.3. Description des profils :

La description morphologique des profils a porté sur 07 profils, on a utilisé pour la description morphologique des profils les fiches de descriptions de « soil survey manuel » (agriculture HANDBOOK N°18 °).

- **la description porte sur :**
 - n ° du profil
 - date de description
 - classification
- **information sur la station :**
 - altitude
 - localisation
 - géomorphologie
 - pente
 - végétation
- **information sur sol :**
 - roche mère
 - drainage externe
 - état hydrique du sol
 - Caillaux et affleurement rocheux
 - Erosion
 - Influence humaine

- **Brève description du profil**
- **Description détaillée du profil**
- **Données analytiques** : l'analyse des échantillons de sol porte sur :
 - Réserves minérales Ca CO₃ total - Ca CO₃ actif
 - P₂ O₅ total-P₂ O₅ assimilable
 - Solution du sol
 - PH - conductivité CE
 - Texture

VII.1.4. Zonalité pédologique :

La connaissance de la variabilité spatiale des propriétés physiques , chimiques et morphologiques des sols est indispensable comme support d'aide à la prise de décisions pour le pilotage des travaux ainsi avant tout investissement il est nécessaire d'établir un diagnostic de variabilité des sols de périmètre projeté. En effet, il faut connaître la nature des sols, estimer leurs surfaces et analyser leurs caractères pédologiques susceptibles de jouer un rôle majeur dans le développement et la croissance des cultures.

L'étude agro-pédologique qui porte sur une superficie de 300 ha objet de notre rapport constitue la base principale des différentes actions nécessaires pour la création d'un périmètre irrigué à partir des eaux produites par la STEP de BBA.

VII.1.5. Classification des sols :

Les unités cartographiques définies sur la carte des sols ont été intégrées dans la classification française adoptée par la commission de pédologie et de cartographie des sols de France (CPCS 1967).

Les unités cartographiques distinguées sur la carte se présentent comme se suit ;

VII.2. Identification et classification des sols du périmètre :

On distingue trois classes de sols :

VII.2.1. Les sols Iso-Humiques (unité n°1) :

Le sol de cette unité couvrent une superficie de **115.68** ha soit **43.6 %** de la superficie totale irrigable du périmètre ; l'horizon superficiel est d'épaisseur variable allant de **20 à 25 cm**, de texture argilo-limoneuse et de structure grumeleuse en surface et polyédrique en profondeur. La matière organique marque l'ensemble des horizons, et leur donne une teinte brun-grise , le calcaire est sous forme diffuse , et le drainage est normal.

VII.2.1.1. Caractéristiques du sol :✓ **Description d'un profil type :****Classification :**

- Classe des sols iso-humique
- Sous classe des sols iso-humique à pédo-climat frais pendant la saison pluvieuse
- Groupe de sierozem
- Sous-groupe modal

Date de description : Aout 2007**Informations sur la station :**

- Localisation : à quelques mètres de la nouvelle ligne de chemin de fer
- Altitude : 900 m
- Géomorphologie : glacis de plaine
- Pente : 1 - 2%
- Végétation : jachère

Informations sur le sol :

- Roche mère : marne grise
- Drainage normal
- Etat hydrique du sol : sec
- Erosion : en nappe
- Caillaux et affleurement rocheux : néant
- Influence humaine : limite aux labours

✓ **Brève description du profil :**

Profil de couleur brun- grise ; profond, avec un aspect uniforme sur tout son épaisseur, la structure est grumeleuse en surface et devient polyédrique fine en (B). A l'exception de la roche mère, la matière organique marque l'ensemble des horizons et le calcaire est sous forme diffuse.

✓ **Description détaillée du profil :**

0-30 cm : brun-grise a l'état frais, brun à l'état sec, texture limono-argileuse, structure grumeleuse, collant, plastique, peu friable a l'état sec, tendre a l'état frais, pores assez nombreux, quelque racines, effervescent, transition nette.

30-50 cm : brun a l'état sec, brun a l'état frais, argilo-limoneuse, structure polyédrique collant, plastique, ferme a l'état frais, dur a l'état sec, poreux avec des fentes de retrait ,

effervescent, transition diffuse.

50 cm et plus : marne grise altérée.

VII.2.1.2. Propriétés physiques :

Les sols de cette unité se caractérisent par un horizon de surface d'épaisseur variable entre **25** à **30 cm**, la texture dominante est argileuse dont la teneur en argile varie et croît en fonction de la profondeur.

A l'inverse des caractères mécaniques plus ou moins lourds, ces sols présentent une forte porosité (micropores) qui influe favorablement sur la capacité de rétention en eau de ces sols, et leurs confère un régime aéro-hydrique favorable.

VII.2.1.3. Propriétés chimiques :

Tableau VII-1 : Données analytiques : profil n°1

Type d'analyse	profondeur	
	0-30 cm	30-50 cm
Classe texturale	Las	Als
Matière organique en %	1.34	0.93
Carbone %	7.8	5.4
Azote %	0.8	0.55
Calcaire total %	29.6	31.16
Calcaire actif	13.3	13.3
P ₂ O ₅ TOTAL %	1.04	1.05
K ₂ O %	0.88	0.67
PH	7.9	7.9
Conductivité électrique	1.45	1.0

Ces sols sont plus ou moins calcaires, le calcaire actif ne varie pas dans le profil, par contre on constate une légère variation du calcaire total 29.26 en (A) et 31.16 en (B), le taux de calcaire actif (13.3) est élevé et constitue une contrainte pour les espèces sensibles au calcaire ; la salure est négligeable se sont des sols non salés avec une conductivité électrique inférieure à 1.4 mmhos /cm.

Les sols de cette unité et par rapport aux autres sols de la région sont moyennement pourvus en humus (1.34-0.93) par contre sont pourvus en azote. Ils ont une faible teneur en phosphore total (1.04-1.05) et faiblement à moyennement pourvu en P₂O₅ (96 pm) et K₂O (0.88-0.67) assimilables. La réaction de ses sols se manifeste par un PH légèrement alcalin (7.9).

VII.2.2. Les sols calcimagnésiques (unité n°2) :

Cette unité regroupe les sols qui ne présentent pas des caractères tel que l'individualisation du calcaire, ou la vertilisation.

Les sols de cette unité occupent une superficie de **104.5 ha** soit **39.40 %** de la surface totale irrigable du périmètre, ils occupent de larges surfaces planes et se développent sur un matériau marno-calcaire tendre, et leur étendue, et leur homogénéité sont le plus souvent interrompu par l'apparition de nappe de couleur blanchâtres dues à l'affleurement d'alluvions marno-calcaires suite a l'effet de l'érosion.

VII.2.2.1. Caractéristiques du sol :

✓ **Description d'un profil type :**

Classification :

- Classe des sols calcimagnésiques
- Sous classe des non carbonate
- Groupe des bruns calcaires
- Sous groupe des bruns calcaires sur alluvions marno-calcaires

Date de description : Aout 2007

Informations sur la station :

- Localisation : au nord de la nouvelle ligne de chemin de fer
- Altitude :890 m
- Géomorphologie : glacis de plaine
- Pente : 1- 2%
- Végétation : jachère

Informations sur le sol :

- Roche mère : alluvions marno- calcaires
- Drainage normal
- Etat hydrique du sol : sec
- Caillaux et affleurement rocheux : charge moyenne en Caillaux
- Influence humaine : labours

✓ **Brève description du profil :**

Profil d'épaisseur moyenne, de texture limono-argileuse à tendance équilibrée (légère), la structure est grumeleuse en A et polyédrique fine en B, la teneur en matière organique est faible dans l'ensemble des horizons.

✓ **Description détaillée du profil :**

0-20 cm : bruna à l'état sec, brun à l'état frais , structure grumeleuse , collant plastique, friable à l'état frais, dur à l'état sec, poreux, quelques racines; quelques cailloux, effervescent, transition diffuse.

20-50 cm : brun clair à l'état sec , brun clair à l'état frais , structure polyédrique fine , collant plastique , meuble à l'état frais, tendre à l'état sec , pores assez nombreux, quelques racines, quelques galeries, vive effervescence , cailloux de différents calibres , transition graduelle.

50-110 cm : brun claire à l'état sec , brun à l'état frais , collant , plastique , structure prismatique,, friable à l'état frais , tendre à l'état frais , tendre à l'état sec , effervescent , pores peu nombreux, quelques galeries de vers, faibles effervescence, transition nette.

VII.2.2.2. Propriétés physiques :

L'horizon de surface des sols de cette unité varie entre **15** et **25 cm**, la profondeur de ces sols comme leur couleur est fonction de leur position topographique.

En effet ces sols sont de profondeur moyenne dans les parties basses du relief et de faible profondeur sur les formations perchées du terrain. La texture est équilibrée parfois argileuse, leur profil est plus ou moins cailloux.

Selon la position topographique la couleur de ces sols varie entre le brun rouge sur les parties basses du relief et le brun jaunâtre ou blanchâtre sur les parties hautes.

La structure polyédrique du sous-sol et la présence de cailloux facilitent l'infiltration de l'eau et la pénétration des racines, quant aux autres caractéristiques physiques de ces sols on peut dire qu'elles sont favorables.

VII.2.2. 3. Propriétés chimiques :

Tableau VII-2 : Données analytiques : profil n°2

Type d'analyse	profondeur	
	0-20 cm	30-45 cm
Classe texturale	Las	Als
Matière organique en %	0.96	0.76
Carbone %	5.6	4.4
Azote %	0.61	0.42
C/N	9	10
Calcaire total %	30.4	42.56
Calcaire actif	14.3	16.6
P ₂ O ₅ TOTAL ‰	0.76	0.80

P ₂ O ₅ assimilable ppm	50	45
K ₂ O %	0.95	0.72
gypse	0	0
PH	7.9	7.9
Conductivité électrique	1.4	1.1

Le calcaire se manifeste dès la surface, la teneur varie entre 30.4 et 42.56 pour le calcaire total et entre 14.2 et 16.6 pour le calcaire actif.

La teneur en matière organique est faible (0.76 - 0.96) et le rapport C/N (9-10) indique sa bonne décomposition.

Le PH est faiblement alcalin (7,9) et pour la valeur de 1,4 et 1,7 de la conductivité électrique on peut dire que le sol est sain.

VII.2.3. Les sols peu évolués :

Avec une superficie de **45.15 ha** ces sols représentent un faible pourcentage soit **17 %** de la couverture pédologique du périmètre, ils caractérisent les vallées étroites le long des deux oueds qui le traversent, c'est une zone d'inondation dont l'infiltration des eaux est ralentie par la faible pente du terrain, elle constitue également par endroit une zone d'épandage des eaux usées de la ville de BBA.

Les sols de cette unité se développent sur des soltano-rarbiennes, ils sont profonds et présentent un horizon intermédiaire perméable qui intercale deux couches de texture lourde avec une accumulation excessive des sels due probablement à la mauvaise qualité des eaux d'irrigation. La concentration des sels pendant la période de prélèvement des échantillons est élevée étant donné une évaporation intense (août).

L'horizon de surface est à la limite des sols peu évolués salins et solonchacs (jeunes).

VII.2.3.1. Caractéristiques du sol :

✓ Description d'un profil type :

Classification :

- Classe des sols peu évolués
- Sous classe peu évolués
- Groupe des peu évolués halomorphe
- Sous groupe peu évolués halomorphe à structure non dégradée

Date de description : Aout 2007

Informations sur la station :

- Localisation : près d'une ferme a quelque mètres de la RN n°45
- Altitude : 855 m
- Géomorphologie : formations soltano-rarbiennes
- Pente : 0-1 %
- Végétation : jachère laboure

✓ **Brève description du profil :**

Sol profond, profil de couleur, de texture argilo-limoneuse à tendance légère à grossière entre **20** et **50 cm**, la structure est grumeleuse en A, la présence de l'efflorescence saline est évidante, la teneur en matière organique décroît progressivement avec la profondeur.

✓ **Description détaillée du profil :**

0-20 cm : brun rouge à l'état sec, brun à l'état frais, **structure** grumeleuse, collant plastique, friable à l'état frais, dur à l'état sec, poraux, quelques racines ; quelques cailloux, effervescent, transition diffuse.

20-45 cm : blanchâtre à l'état sec brun clair à l'état frais , structure polyédrique fine , collant plastique , meuble à l'état frais, tendre à l'état sec , pores assez nombreux, quelques racines, quelques galeries, vive effervescence , cailloux de différents calibres , transition graduelle.

VII.2.3.2. Propriétés physiques :

Ce sont des sols épais présentant un horizon intermédiaire qui intercale deux couches à texture lourde entre **20** et **50 cm**, caractérisé par une texture grossière avec une légère dominance des sables grossière favorisant ainsi l'infiltration des eaux (caractéristique a prendre en considération lors de la mise en place du réseau de drainage) le profil présente une hydromorphie temporaire due probablement à une nappe peu profonde.

VII.2.3.3. Propriétés chimiques :**Tableau VII-3 : Données analytiques : profil n°3**

Type d'analyse	profondeur		
	0-20 cm	20-50 cm	50-110 cm
Classe texturale	Las	SAL	Als
Matière organique en %	1.19	0.91	0.74
Carbone %	6.9	5.3	4.3
Azote %	0.73	0.47	0.4
C/N	9	11	11
Calcaire total %	34.96	37.24	35.34

Calcaire actif	11.6	11.6	10.8
P ₂ O ₅ TOTAL ‰	1.4	1.2	1.05
P ₂ O ₅ assimilable ppm	96	100	65
K ₂ O %	0.92	0.75	0.66
gypse	0	0	0
PH	7.6	7.6	7.8
Conductivité électrique	16.2	6	9

La principale caractéristique chimique des sols de cette unité reste sans aucun doute la salinité de tout le profil avec des proportions très inquiétantes dans l'horizon de surface avec une conductivité électrique de 11,2. La salinité est liée à notre sens à la mauvaise qualité des eaux d'irrigation (eau très chargée) en l'absence de toutes précautions (lessivage, drainage, rotation culturale adaptée) et la valeur de CE peut être la résultante du prélèvement effectuée en Août, période de forte évaporation favorisant la concentration des sels. Le pH est faiblement alcalin (7,6).

VII.3. Aptitude des sols aux cultures :

L'aptitude culturale d'un sol n'est autre que la capacité par laquelle ce dernier est apte à produire une culture bien déterminée.

VII.3.1. Aptitude en sec :

Au vu des conditions peu favorables du climat, précipitation inférieure à 400 mm/an, fréquence des gelées et les vents desséchant qui soufflent dans toutes les directions, nous sommes contraints de ne conseiller que les cultures annuelles (céréales, fourrages) quant à l'arboriculture, la gamme est très restreinte et se limite aux espèces les plus rustiques (olivier, amandier).

VII.3.2. Aptitude en irrigué :

L'aptitude en irrigué est déterminée par la méthode FAO(1976) développée par SYS (1980) cette méthode introduit une évaluation très approfondie des exigences pédologiques et climatiques.

VII.3.2.1. Principe de la méthode :

Cette méthode recommande cinq degrés de contraintes de 0 à 4 pour chaque degré de contrainte, il est attribué une notation paramétrique tel que :

- Degré 0 : contrainte nulle qui lui correspond une notation paramétrique 98-100 ;
- Degré 4 : contrainte forte lui correspond une notation paramétrique inférieure à 45 ;

Après avoir déterminé le degré de contrainte, la valeur paramétrique de chaque propriété du sol, l'indice global des terres sera calculé, notons que chaque classe lui est attribuée un type d'utilisation.

A- les facteurs pédologiques de classification sont :

- Le drainage(W)
- Caractères physiques (S) : (profondeur, texture, structure, charge caillouteuse, calcaire)
- Caractères chimiques fertilité (F) : matière organique CEC, salinité (S)

B- les facteurs climatiques :

Puisqu'il s'agit de l'aptitude en irrigué la valeur du climat est corrigée et prend la notation 100.

La classification technique de cette évaluation se présente comme suit :

✓ L'ordre **S** divise en trois classes :

S1 : classe des terres convenables, indice global des terres supérieur à 75 ;

S2 : classe des terres modérément convenables, contraintes légères, indice global des terres varie entre 50 et 75 ;

S3 : classe des terres marginalement convenables, contrainte modérée, indice global des terres varie entre 25 et 50.

✓ L'indice **N** divise en deux classes (indice global inférieur à 25) :

N1 : classes des terres convenables dues à la sérénité des contraintes, mais peut être convenables après aménagement, l'indice global varie entre 12 et 25 ;

N2 : classe des terres non convenables, contraintes très sévères et non aménageable, l'indice global est inférieur de 12.

On ajoute pour les niveaux inférieurs des lettres à la suite de l'ordre et de classe qui indiquant le type de contrainte : T topographie, W drainage, S conditions physiques, F fertilité, N salinité, pour le calcul les valeurs réelles des unités et les exigences des cultures sont comparées et suivant le degré de contrainte les indices des sols sont calculés, de cette manière on obtient une valeur quantitative pour chacune et ce sans aucun aménagement (conditions actuelles « potentiels »).

Pour la légende de la carte, on retient les notations suivantes :

C pour les céréales et fourrages

M pour les cultures maraichères

A pour l'arboriculture

VII.3.2.2. Valeur productive et indice globale de fertilité :

❖ Unité N°1 :

De l'examen des caractéristiques physiques et chimiques des sols de cette unité et de calcul de l'indice global de fertilité qui est de l'ordre de 0,7 (classe d'aptitude « convenance bonne ») d'écoulent que ces sols sont de bonnes terres dont la fertilité est satisfaisante, et que l'introduction de l'irrigation, les amendements organiques et la fertilisation chimique ne peut qu'augmenter leur fertilité.

❖ Unité N°2 :

L'indice global de leur fertilité qui est de l'ordre 0,6 (classe d'aptitude « convenance moyenne ») et l'examen des caractéristiques montre que du point de vue chimique ces sols présentent une contrainte liée à la teneur élevée en calcaire actif et de point de vue la présence d'alluvions marno-calcaire qui avec le temps peuvent parfois évoluer en un horizon endurci empêchant ainsi la pénétration des racines et l'infiltration des eaux.

Pour ces raisons des actions de défoncement et d'apport de fumure surtout organique constitue un préalable pour l'utilisation de ces sols en irrigué et ce pour les différentes cultures.

❖ Unité N°3 :

L'indice global de leur fertilité qui est de l'ordre 0,5 (classe d'aptitude « convenance moyenne ») et l'examen des caractéristiques montre que du point de vue chimique ces sols présentent une contrainte liée à la teneur élevée en sels solubles, elle est la plus élevée au niveau de la semelle de labour et présentent hydromorphie temporaire, ils sont actuellement utilisés pour les cultures maraîchères et fourragères, irrigués par les eaux usées de mauvaise qualité. Dans l'état actuel de choses l'arboriculture est à écarter mais à la rigueur on peut la faire si on mène les travaux suivants :

- Apport du gypse pour permettre la décomposition du sel et la formation des carbonates de calcium et des sulfates de sodium qui ne présentent pas des qualités négatives sur le sol ;
- Installation d'un réseau de drainage adéquat en tenant compte de la disposition et les caractéristiques des différentes couches du sol pour permettre l'évacuation et le lessivage des sols ;
- L'irrigation goutte à goutte peut donner de bons résultats, l'apport d'eau étant continue on évite ainsi la forte concentration des sels qui serait produite par un système d'irrigation classique ;
- Eviter les irrigations insuffisantes car elles sont souvent à l'origine de la salinité.

Tableau VII-4 : Aptitude des sols à l'irrigation

Unité pédologique	Indice global aptitude potentielle	Aptitudes après aménagement	Superficie (ha)
01	0.7	Bonne	115.68
02	0.6	Bonne	104.50
03	0.5	moyenne	45.15

VII.3.2.3. Evaluation pour les cultures :

L'évaluation des sols pour les espèces ne pourra jamais être effectuée dans une seule étude, une évaluation pour quelques cultures dont le choix obéit à un impératif local celui de la création d'un périmètre irrigué par les eaux usées épurées de la STEP de BBA, de ce fait nous avons étudié un ensemble de cultures dont nous vous présentons les exigences de leur tête de groupe, il s'agit :

- du blé pour les céréales ;
- de la pomme de terre pour le maraîchage ;
- d'olivier pour l'arboriculture.

Tableau VII-5 : Aptitude des sols aux cultures

Sols	Culture céréalières et fourragères	Cultures maraîchères	Cultures arboricoles
	Blé, ogre, sorgho, vesce avoine, maïs	Pomme de terre, tomate, navet, ail,	Olivier, pommier, poirier, amandier, abricotier, grenadier
Unité 1	Très bonne	Bonne	Bonne
Unité 2	Bonne	moyenne	Bonne
Unité 3	moyenne	passable	Mauvaise

Conclusion :

Le périmètre de BBA est caractérisé par trois classes de sols différentes qui sont : les sols iso-humiques, calcimagnésiques et les sols peu évolués.

Pour mieux apprécier les caractéristique de ces sols, nous avons sélection et étudié une fosse d'observation au niveau de chaque classe de sols, ce qui nous a permis d'aboutir aux conclusions suivantes :

- Les profondeurs des sols ne sont très par importantes, surtout au niveau des sols

calcimagnésique et des sols iso humiques à cause de l'existante de croûte ou d'encroûtement calcaire en profondeur ;

- Une perméabilité moyenne est observée au niveau de tout le périmètre malgré la prédominance des textures fines, ce qui peut s'expliquer par la structure grumeleuse, et des pourcentages en matière organique assez importants notamment au niveau des sols iso humique ;
- Une CE faible dans l'ensemble du périmètre sauf au niveau de l'unité N°3 où elle atteint les 11mmhos/cm.

Le problème lié l'excès en calcaire actif qui peut engendrer l'apparition de symptômes de carence au niveau des cultures, et qui peut être résolu par un maintien d'une teneur en humus appréciable avec des apports fréquents en engrais.

L'effet de la salinité trop élevée de la zone N°3 peut être réduit par apport de gypse, l'irrigation par le goutte à goutte et apport des doses supplémentaires de lessivage.

Chapitre VIII : Besoins en eau du périmètre

Introduction :

Le présent chapitre, se propose de quantifier les besoins en eau des cultures sur la base des informations définies auparavant, conditionnant la conception de notre projet tels que : les conditions climatiques, cultures envisageables, systèmes agronomiques, l'intensité culturale, potentialités des sols, l'eau disponible, fertilité des sols, pratique culturale et méthodes d'irrigation.

La pluviométrie de la région estimée à **391 mm** ne couvre pas les besoins des plantes et particulièrement en période sèche. Ce déficit en eau provoque des chutes considérables de rendement, d'où la nécessité de bien quantifier les besoins en eau des cultures envisagées dans le périmètre avant de passer à la conception du projet.

Le calcul des besoins en eau passe obligatoirement par deux étapes :

- En premier lieu, il faudra choisir les cultures et un plan d'assolement rotation sur la base des critères déterminants qui répondent aux exigences agro-pédo-climatiques, du milieu naturel d'une part, et la demande des agriculteurs sur le plan socio-économique (maîtrise culturale, rentabilité,...) d'autre part.

- En second lieu, il faudra procéder au calcul proprement dit des besoins en eau par la méthode du bilan hydrique qui donne les besoins nets des cultures et vise par-là l'obtention de très haut rendement. Pour une diminution considérable de la quantité d'eau par unité de produit obtenu à cet effet, les efforts de la science et la technologie doivent être conjugués pour augmenter l'efficacité et l'efficacé de l'irrigation par l'utilisation de données optimales relatives à : l'évaporation, la dose d'arrosage et le débit spécifique.

VIII.1. Bilan hydrique :

Le bilan hydrique d'une culture donnée est par définition la différence entre d'une part, les apports (réserve d'eau initiale + pluie efficace) et d'autre part, les pertes (évapotranspiration). Le bilan hydrique est établi pour chaque culture mensuellement et annuellement, c'est un indicateur permettant de savoir quand et combien il faut apporter la quantité d'eau nécessaire à l'irrigation, certainement la dose d'irrigation est apportée quand le réserve en eau du sol atteindra une limite de sécurité appelée : point de flétrissement (pf).

La formule utilisée pour le calcul du bilan hydrique fait intervenir plusieurs paramètres du climat et du sol : [2]

$$\Delta S = P_{\text{eff}} + I - \text{ETR} - D - R \quad (1)$$

Avec :

ΔS : La variation du stock d'eau du sol sur la profondeur d'action du système racinaire ;

P_{eff} : La pluie efficace en (mm) [stockée dans le sol et réutilisable par la plante] ;

I : Dose d'irrigation ;

ETR : Evapotranspiration réelle;

D : Le drainage ;

R : Ruissellement.

VIII.1.1. Variation de stock : ΔS

La variation de stock doit se faire traditionnellement à l'intérieur de la réserve facilement utilisable RFU avec :

$$\text{RFU} = (0.5 \div 0.75) \text{RUM} \quad (2)$$

La réserve utile maximale est définie par :

$$\text{RUM} = (\text{Hcc} - \text{Hpf}) \cdot Z \cdot \text{da} \quad (3)$$

Avec :

Hcc : Humidité à la capacité au champ;

Hpf : humidité du sol au point de flétrissement ;

Z : Profondeur d'enracinement (m) ;

da : Densité apparente.

La RFU correspond à la fois à une réserve d'eau non utilisée à la fin d'un mois donné, et à une réserve d'eau initiale pour le mois d'après, elle est estimée au début du cycle végétatif c'est-à-dire au moment du semis pour une culture annuelle ou à la reprise de végétation pour une plantation dans le cas d'un semis qui aura bien après un été (généralement chaud), des cultures, tel que l'orge en vert, oignon vert et choux-fleurs, il conviendra mieux d'apporter une irrigation appelée pré irrigation pour constituer la réserve en eau du sol.

Pour l'accroissement de la réserve utilisable l'agriculteur peut le plus facilement agir sur le terme Z par approfondissement de la zone colonisable par les racines (grâce au travail du sol et le drainage).

VIII.1.2. Pluie efficace :

La formulation du bilan hydrique suppose que la pluie sera stockée dans le sol et réutilisée par la plante. La comptabilisation de la pluie mesurée au pluviomètre n'est donc pas suffisante.

Dans la pratique, il est nécessaire d'éliminer des pluies de trop faible valeur (ex : toute pluie isolée < 10 mm, ou tout épisode où la somme des pluies sur 3 jours < 15 mm) ; de même, les pluies de trop grand volume stockée hors de la zone racinaire ne peuvent être comptabilisées.

Les précipitations efficaces sont estimées à 80% des précipitations réelles, compte tenu des pertes par évaporation et par infiltration.

VIII.1.3. Drainage :

Cette notion est plus large que celle du drainage correspondant à une évacuation de l'eau excédentaire ; lorsque la valeur est positive, la zone d'action du système racinaire perd de l'eau vers la profondeur (écoulement en saturé ou non saturé) ; lorsque la valeur est négative, les horizons profonds participent à l'alimentation en eau des plantes.

Dans le cas de plantes plus fortes consommatrices d'eau et pour permettre de mobiliser les ressources profondes, un approfondissement du système racinaire est conseillé (retarder les premiers irrigations, drainer ou sous-soler). Cette action permet de réduire notablement les doses d'irrigation (Leroux 1987). Ces techniques ne sont pas applicables dans le cas de sols salés ou d'irrigation avec des eaux saumâtres car elles accroissent les risques de salinisation des sols.

VIII.1.4. Ruissellement :

Une valeur positive correspond à une perte d'eau évacuée de la parcelle et une valeur négative à un apport extérieur. Généralement, en situation topographiques de très faible pente ce terme est négligé.

VIII.1.5. Evapotranspiration :

L'évapotranspiration représente la quantité d'eau perdue sous forme de vapeur à partir d'une surface couverte de végétation. Cette quantité est généralement exprimée par unité de surface et par unité de temps, en m³/ha/jour, en m³/ha/mois ou en m³/ha/an. Bien entendu, l'évapotranspiration peut également s'écrire en mm/jours par mois ou par an.

On distingue : l'évapotranspiration de référence (ET₀), l'évapotranspiration potentielle (ETP) et l'évapotranspiration réelle (ETR ou ET_c).

► **L'évapotranspiration de référence** est définie comme :

« le niveau d'évapotranspiration d'une surface importante d'un gazon de hauteur uniforme (entre 8 et 15cm), en croissance active, recouvrant complètement le sol et alimenté en eau de façon non restrictive » (FAO 24/ Doorenbos et Pruitt, 1975).

► **L'évapotranspiration potentielle** : est définie comme se suit :

« C'est l'évaporation maximale d'un gazon ras couvrant complètement le sol, bien alimenté en eau, en phase active de croissance et situé au sein d'une parcelle suffisamment étendue » (Perrier, 1977).

► L'évapotranspiration réelle :

C'est la valeur réelle de l'évapotranspiration. Le plus souvent, elle est inférieure à un l'évapotranspiration potentielle, puisque le sol n'est pas en permanence à sa capacité de rétention. En plus, elle est considérée variable pendant la période de végétation.

Donc, c'est l'évapotranspiration d'une culture exempte de maladies, poussant dans un champ jouissant de conditions : agronomiques, pédologiques, et climatiques optimales, donnée par l'expression :

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

Avec :

K_c : Représente le coefficient cultural, dépendant du type de la culture et de son stade de développement, et des conditions climatiques qui y règnent.

VIII.1.5.1. Méthodes d'évaluation de l'évapotranspiration :

On distingue généralement deux types :

- Les méthodes directes.
- Les méthodes indirectes.

❖ Méthodes directes :

• L'évapotranspiromètre ou cuve lysimétrique

Comme son nom l'indique, le dispositif sert à mesurer l'évapotranspiration en un lieu donné du sol nu ou plus généralement d'un couvert végétal.

Les cuves utilisées possèdent généralement une chambre de drainage permettant de régler, par rapport au milieu extérieur, le niveau d'eau au fond de la cuve et de mesurer par apports ou prélèvements le drainage interne ou les remontées capillaires.

• Bac d'évaporation

Deux types de bac sont employés : le bac de « classe A » et le bac « colorado ». Chacun de ces bacs a ses avantages et ses inconvénients. On applique à ces valeurs un facteur multiplicatif de correction (inférieur à 1) pour obtenir l'ETP. Cependant, les bacs d'évaporation posent de problèmes d'utilisation en climat semi-aride, ils ne peuvent être utilisés à bon escient qu'au sein de grands périmètres irrigués, et à condition que le bac ne soit pas installé en bordure d'oasis.

• L'évaporomètre piche

Il s'agit d'un tube de verre rempli d'eau et fermé à son extrémité inférieure par une rondelle de papier buvard. La tranche d'eau évaporée à partir de celle-ci se lie directement sur les graduations du tube.

❖ Méthodes indirectes :

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 (USA 1945), Turc (France 1960), et Penman (Angleterre 1948).

1) Formule de Blaney et Criddle

A la suite de nombreuses expérimentations, Blaney et Criddle ont estimé que la température et la durée du jour étaient les facteurs déterminants de l'évapotranspiration potentielle. Ils ont proposé la formule suivante :

$$ETP = K (0,46t + 8,13) P \quad (5)$$

Dans laquelle :

ETP : Evapotranspiration potentielle en mm/jour ;

t : Température moyenne (en degré Celsius) durant la période considérée (généralement le mois) ;

P : Pourcentage de la durée moyenne du jour pendant la même période, par rapport à la durée moyenne du jour pour l'année ;

K : Coefficient dépendant du stade végétatif de la culture et de la température moyenne (de la zone climatique).

2) Formule de Turc

Cette formule est appliquée dans les régions relativement humides. Elle donne des résultats très surs, et qui se rapprochent de l'ETP mesurée.

Si l'humidité relative est supérieure à 50%, l'évapotranspiration potentielle est donnée par :

$$ETP = 0,40 (I_g + 50) \cdot \frac{T}{T + 15} \quad (\text{mm/mois}) \quad (6)$$

Dans laquelle :

ETP : Evapotranspiration mensuelle (mm) ;

T : Température moyenne mensuelle (°C) ;

I_g : Radiation globale mensuelle (cal/cm²/jour).

Remarque :

- Le coefficient 0,40 est réduit à 0,37 pour le mois de février.

-Si l'humidité relative de l'aire est inférieure à 50% l'évapotranspiration potentielle est donnée par :

$$ETP = 0,40 (I_g + 50) \cdot \left(\frac{T}{T+15} \right) \cdot \left(1 + \frac{50-H_r}{70} \right) \quad (7)$$

Dans laquelle :

T : Température moyenne mensuelle (°C) ;

I_g : Radiation globale en (cal/cm²/jour) ;

H_r : L'humidité de l'air en %.

$$I_g = I_{ga} (0,18 + 0,62) \cdot \frac{h}{H} \quad (8)$$

Avec :

I_{ga} : Radiation maximale théorique ;

H : Durée astronomique de jour en (heure/mois) ;

h : Durée d'insolation de la station considérée en heure/mois ;

$\frac{h}{H}$: Insolation relative en heures.

3) Formule de Penman

La formule donne les meilleures estimations de l'ETP, et ceci sous tous les climats. Son seul inconvénient est de nécessiter un nombre assez important d'informations climatiques, rarement toutes disponibles sur une même station.

La formule est la suivante :

$$ETP = p'(t) \frac{R_n}{L} + \sigma \cdot \frac{E_a}{p(t) + \sigma} \quad (9)$$

Dans laquelle :

R_n : Rayonnement net « climatique » ;

E_a : Pouvoir évaporant de l'air, fonction du vent et du déficit de saturation de l'air ;

L : Chaleur latente de vaporisation (2.5.10⁶ J/kg) ;

σ : Constante psychrométrique (0,65 h la/°C) ;

p'(t) : Valeur de dérivée de la fonction de pression partielle de vapeur d'eau saturante en fonction de la pression de vapeur d'eau en fonction de la température, pour la température de l'air T.

VIII.2. Besoins en eau du périmètre :

Le besoin en eau d'irrigation, B, est la quantité d'eau que l'on doit apporter à la culture pour être sûr qu'elle reçoit la totalité de son besoin en eau ou une fraction déterminée de celui-ci. Si l'irrigation est la seule ressource en eau, le besoin en eau d'irrigation sera au moins égal

aux besoins en eau de la culture et il est souvent plus important en raison des pertes à la parcelle (besoins de lessivage, percolation profonde, inégalité de répartition... etc.).

Le calcul des besoins en eau passe obligatoirement par deux étapes :

- En premier lieu, il faudra choisir les cultures et un plan d'assolement rotation sur la base des critères déterminants qui répondent aux exigences agro-pédo-climatiques, du milieu naturel d'une part, et la demande des agriculteurs sur le plan socio-économique (maîtrise culturale, rentabilité,...) d'autre part.

- En second lieu, il faudra procéder au calcul proprement dit des besoins en eau par la méthode du bilan hydrique qui donne les besoins nets des cultures et de tout le périmètre et vise par-là l'obtention de très haut rendement.

VIII.2.1. Choix des cultures à pratiquer :

Pour faire ce choix nous nous sommes basés sur l'aptitude culturale des sols, sur les contraintes climatiques existantes au niveau du périmètre, mais surtout sur les risques sanitaires liés au potentiel de transmission des microorganismes pathogènes en fonction du type de culture mise en place, car faut-il le rappeler, l'irrigation du périmètre se fera à partir d'une ressource en eau non conventionnelle, à savoir par la réutilisation des eaux usées épurées de la ville Bordj Bou-Argeridj.

L'irrigation avec les eaux usées qui répond aux directives de qualité de l'O.M.S pour un usage sans restriction (<1000 coliformes fécaux par 100ml et <1 œuf de nématode par litre) peut être employé pour l'irrigation de toutes les cultures, sans autres mesures sanitaires de protection supplémentaires. Par contre si les directives de qualité de l'OMS ne sont pas entièrement satisfaites, il sera nécessaire d'opérer à une sélection des cultures en fonction du degré de protection sanitaire requis et du risque lié au potentiel de transmission des microorganismes pathogènes pour chaque culture mise en place.

Rappelons que l'effluent de la STEP de Bordj Bou-Argeridj est de classe A selon les normes de l'OMS ce qui permet l'irrigation de toutes les cultures sans restriction. Cependant la qualité chimique est précisément la salinité de l'eau épurée, qui est très forte (2.6 ds/m), impose le choix des cultures tolérantes aux sels. Pour cela, on tolère une chute de rendement de 10% pour toutes les cultures. Le tableau III-4 et l'annexe N°2 (extrait du tableau n°05 du bulletin n°29 F.A.O) donnent des indications sur le rendement de quelques cultures en fonction de la salinité de l'eau d'arrosage.

Les principales cultures projetées au niveau du périmètre sont récapitulés dans le tableau ci-dessous.

Tableau VIII-1 : Récapitulatif des principales cultures projetées au niveau du périmètre

cultures	Mois											
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Maraîchage												
Tomate												
Pomme de terre saison												
Navet												
Haricot vert												
Ail												
Cultures fourragères												
Sorgho-fourrager												
Maïs												
Orge en vert												
Céréales												
Orge												
Blé dur												
Vesce avoine												
Arboriculture												
Olivier												
Figuier												
Grenadier												

Remarque:

Une rotation annuelle des cultures sera préconisée, dans le but de diversifier la production agricole, de réduire les risques encourus lors de la mise en place d'une seule culture, mais aussi dans le but de protéger les sols et d'éviter qu'il soit trop sollicité par la mise en place d'une même culture plusieurs années de suite.

VIII.2.2. Identification des types d'assolement :

On propose trois modèles d'assolement, avec la répartition suivante :

*L'assolement "A" : S=50ha, caractérisé par les cultures suivantes :

- Blé dur 40%, Orge 20%, Mais 10% ;
- Tomate 10%, Navet 5%, Ail 5%, Figuier 10%.

*L'assolement "B" : S=40ha, caractérisé par les cultures suivantes :

- Sorgho-fourrager 20%, Orge en vert 15%, Blé dur 40%, Vesce avoine 10% ;
- Olivier 15%.

*L'assolement "C" : S=60ha, caractérisé par les cultures suivantes :

- Pomme de terre de saison 15%, Haricot vert 5% ;
- Sorgho-fourrager 10%, Mais 10%, Orge 15%, Blé dur 30% ;
- Grenadier 10%, Olivier 5%.

Tableau VIII-2 : Assolement modèle A

Cultures	S	O	N	D	J	V	M	A	M	J	J	A
Maraîchage												
Tomate								S				R
Navet	S		R									
Ail				S					R			
Fourragères												
Maïs							S				R	
Céréales												
Orge			S						R			
Blé dur			S							R		
Arboricultures												
Figuier												

Tableau VIII-3 : Assolement modèle B

Cultures	S	O	N	D	J	V	M	A	M	J	J	A
Fourragères												
Sorgho-fourrager								S				R
Orge en vert		S			R							
Céréales												
Blé dur			S							R		
Vesce avoine			S					R				
Arboricultures												
Olivier												

Tableau VIII-4 : **Assolement modèle C**

Cultures	S	O	N	D	J	V	M	A	M	J	J	A
Maraîchage												
Pomme .t saison								S				R
Haricot vert						S		R				
Fourragères												
Sorgho-fourrager								S				R
Maïs							S				R	
Céréales												
Orge			S						R			
Blé dur			S							R		
Arboricultures												
Grenadier												
Olivier												

S : semer R : récolte

VIII.2.3. Calcul des besoins en eau du périmètre :

Les besoins en eau du périmètre comprennent :

1. les besoins nets en eau d'irrigation : c'est la quantité d'eau qui sera strictement nécessaire pour assurer de bonne condition hydrique pour chaque culture ;
2. les volumes d'eau perdus au niveau du réseau d'alimentation du périmètre, ou par la non uniformité de la répartition de l'eau lors des irrigations, ce volume doit être quantifié et additionné aux besoins nets pour définir les besoins bruts du périmètre ;
3. le volume d'eau nécessaire pour lessiver les sels contenus dans le sol.

VIII.2.3.1. Calcul des besoins nets en eau d'irrigation : (Bn)

On définit les besoins nets en eau d'irrigation, noté Bn, comme étant le volume d'eau qui devra être apporté par irrigation en complément à la pluviométrie et éventuellement à d'autres ressources telle que la réserve en eau initiale dans le sol, dans le but de compenser les pertes dues à l'évapotranspiration de la culture (ETc), dite également évapotranspiration réelle (ETR).

L'évaluation des besoins nets en eau du périmètre est basée sur la détermination des besoins de chaque culture retenue dans le calendrier agronomique. Pour cela nous devons suivre les étapes suivantes :

A- Calcul de l'évapotranspiration de référence ET₀:

Le calcul de l'évapotranspiration de référence est réalisé à l'aide du logiciel CROPWAT 8, fondé sur la méthode de Mr Penman&Monteith, modifiée et recommandée par la consultation des experts de la FAO tenue à Rome en Mai 1990.

Pour l'exploitation du logiciel, nous devons fournir les informations mensuelles de la station météorologique à savoir :

- Température : Les températures moyennes sont données en degré Celsius.
- Humidité de l'air : L'humidité relative de l'air exprimé en pourcentage de (10 à 100).
- Insolation journalière : L'insolation journalière donnée en heures d'insolation de (1 à 20).
- Vitesse de vent : La vitesse du vent peut être introduite en m/sec de (0 à 10).

Dans le tableau VIII-5, nous représentons l'évapotranspiration de référence ET₀, calculée à l'aide du logiciel Cropwat 8, selon la formule de Penman&Monteith, modifiée.

Tableau VIII-5 : Evapotranspiration de référence ET₀ dans la zone d'étude

Country : ALGERIE		Station : Bordj Bou-Argeridj				
Altitude: 970 m		Latitude: 36.10 N		Longitude : 5.15 W		
Mois	Température °C	Humidité %	Vitesse du vent m/s	Insolation heurs	Radiation Mj/m²/j	ET₀ mm/jour
Janvier	5.6	76	3.9	6.3	10.0	1.21
Février	6.5	69	3.8	7.9	13.8	1.80
Mars	8.7	63	3.9	7.5	16.6	2.59
Avril	11.5	59	4.2	8.6	20.8	3.61
Mai	16.4	53	4.6	8.5	22.2	4.99
Juin	21.8	41	3.6	11.1	26.4	6.71
Juillet	24.4	35	3.8	11.9	27.3	7.69
Août	23.6	38	4.0	10.1	23.4	6.93
septembre	20.3	54	3.8	9.3	19.8	4.81
Octobre	14.8	62	3.2	7.2	14.1	2.82
Novembre	9.8	72	3.7	5.7	10.0	1.65
Décembre	6.3	77	4.2	4.0	7.4	1.15
Moyenne	14.1	58	3.9	8.2	17.6	3.83
Evapotranspiration de référence ET ₀ selon la méthode de Penman&Monteith, modifiée						

❖ Coefficients culturaux :

Le coefficient cultural K_c est la proportion entre l'évapotranspiration de la culture (ETR) et celle de l'évapotranspiration de référence ET_0 . Il varie essentiellement avec les caractéristiques propres de la culture, et seulement peu avec le climat. [2]

L'annexe N°3 représente les valeurs de K_c , pour diverses productions agricoles utilisant comme source le bulletin FAO d'irrigation et drainage n° 33, tableau 18.

B- Calcul de la pluie efficace P_e :

Pour tenir compte des pertes, le programme Cropwat 8.0, nous permettra de calculer la précipitation efficace, définie comme étant la fraction des précipitations contribuant effectivement à la satisfaction des besoins de l'évapotranspiration de la culture après déduction des pertes par ruissellement de surface, par percolation en profondeur, etc.

Pour évaluer les pluies efficaces, nous utiliseront couramment des méthodes expérimentales, cas de la méthode proposée et recommandée par le United States Department of Agriculture-Soil Conservation Service (U.S.D.A-S.C.S), basée sur les formules (10) et (11), adoptées pour notre projet.

$$P_{eff} = P_{P\%} (1 - (0,2 * P_{P\%} / 125)) \quad \text{pour } P_{P\%} < 250\text{mm} \quad (10)$$

$$P_{eff} = 125 + (0,1 * P_{P\%}) \quad \text{pour } P_{P\%} > 250\text{mm} \quad (11)$$

Avec :

P_{eff} : Pluie mensuelle efficace en (mm/mois).

$P_{P\%}$: Pluie mensuelle de probabilité de dépassement de 80%, en (mm/mois).

Les valeurs mensuelles d' ET_0 , $P_{80\%}$ et P_{eff} sont regroupées dans le tableau VIII-6.

Tableau VIII-6 : Précipitations efficaces dans la zone d'étude

Mois	ET0 (mm/mois)	P80% (mm/mois)	P efficace (mm/mois)
Janvier	36,3	36,79	34,62
Février	54	30,14	28,69
Mars	77,7	32,72	31,01
Avril	108,3	27,98	26,73
Mai	149,7	31,44	29,86
Juin	201,3	18,54	17,99
Juillet	230,7	8,13	8,024
Août	207,9	11,55	11,34
Septembre	144,3	26,06	24,97
Octobre	84,6	29,13	27,77
Novembre	49,5	31,5	29,91
Décembre	34,5	37,41	35,17
Totaux	1 378,8	321,39	306,1
Précipitation efficace selon méthode USDA-SCS			

Après avoir déterminé l'évapotranspiration de référence ET_0 et la pluie efficace on passe au calcul de l'évapotranspiration réelle de chaque culture, autrement dit les besoins nets en eau d'irrigation.

L'appréciation des besoins nets en eau des cultures, par le logiciel Cropwat 8.0, nécessite l'introduction des renseignements ci-après : [15]

*Durée des phases de croissance en (jour) : initiale, mi-saison, développement et récolte ;

*Coefficients culturaux K_c pour les phases : initiale, mi-saison, et de récolte doivent être donnés et ceux de la phase de développement, sont déduits par interpolation linéaire ;

*Profondeur d'enracinement (P) en (m) : la réserve facilement utilisable par la plante RFU, dépend directement de la profondeur d'enracinement, d'où deux valeurs sont requises ; celle de la phase initiale et celle de la phase plein développement, quant aux autres elles sont interpolées par le programme ;

*Tarissement admissible (p) du sol, exprimé en fractions d'humidité totales disponibles: C'est le niveau critique de l'humidité du sol à partir duquel le stress dû au manque d'eau se fait sentir, affectant l'évapotranspiration et la production de la plante ;

*Coefficients de réponse du rendement K_y : pour estimer les réductions de rendement dues au stress hydrique, nous devons connaître les différents coefficients de réponse pour chaque phase de croissance.

Le calcul des besoins en eau nets par : culture et modèle d'assolement est détaillé dans l'annexe N°4. Afin de rendre aisé la lecture et l'exploitation des résultats calculés, les besoins nets en eau d'irrigation des cultures envisageables pour le périmètre, sont reportés dans le tableau VIII-7.

Tableau VIII-7 : Récapitulatif des besoins nets en eau du périmètre

Désignat		Besoins nets en eau des cultures (mm)												
		Année	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août
Maraîch	S	34,5												
	Bn	16 180,65	114	246	161,25	0	0	34,25	323	1 180,65	1920,9	3997,95	5 118,3	3085,8
Céréales	S	45												
	Bn	15 507	0	156,8	369,6	107,8	0	0	19,8	860	3626	5 765,4	4 377,1	230
Fourrag	S	77												
	Bn	21 831,7	0	0	0	0	39,2	1 152,5	4828,1	7 204,5	7300,6	1 312,2	0	0
Arbori	S	20												
	Bn	11 695,2	1 128	443,1	47,7	0	0	0	268,2	762	1374,7	2 124	3 102	2409,5
Totaux	S	176,5												
	Bn	65 215	1242	845,9	578,6	107,8	39,2	1186,75	5439,1	10007,2	14222,2	13199,6	12597,4	5725,3

VIII.2.3.2. Calcul des doses de lessivage :

A- Définition :

Le lessivage est l'apport d'eau en supplément des besoins des cultures pour faire percoler en profondeur les sels cumulés dans la zone racinaire afin d'empêcher la salinisation des terres. [16]

Par suite d'irrigations répétées, les sels contenus dans l'eau d'irrigation peuvent s'accumuler dans le sol. Selon les directives de la F.A.O, l'équation définissant la conductivité électrique du sol EC_e en fonction de la conductivité électrique de l'eau d'irrigation EC_w , est donnée par l'expression (12):

$$EC_e = EC_w * X \quad (12)$$

Avec :

EC_e : Conductivité électrique du sol en *mmhos/cm* ;

EC_w : Conductivité électrique de l'eau d'irrigation en *mmhos/cm* ;

X : Facteur de concentration en %.

Le tableau VIII-8, montre la définition du facteur de concentration X en fonction de la fraction de lessivage LR :

Tableau VIII-8: Facteur de concentration en fonction de la fraction de lessivage

Fraction de lessivage <i>LR</i>	Facteur de concentration <i>X</i>
0,05	3,20
0,10	2,10
0,15	1,60
0,20	1,30
0,25	1,30
0,30	1,20
0,40	0,90
0,50	0,80
0,60	0,70
0,70	0,60
0,80	0,60

Source : Bulletin de la F.A.O. n°29.

L'hypothèse qui a considérée que les pertes à la parcelle résultant du choix d'une efficacité variant de **70 à 80%**, vont couvrir les fractions de lessivage, n'est pas totalement fondée, car ces pertes ne pourront couvrir qu'une partie de la fraction de lessivage.

Nous serions donc obligé d'admettre que les cultures envisagées subiront après plusieurs années, une chute de rendement de l'ordre de **10%**.

B- Moment et méthodes de lessivage des sols :

Dans les zones humides où les précipitations sont abondantes, le problème de lessivage ne se pose pas, car il se fait naturellement. Cependant dans les zones arides ou semi-arides, les doses de lessivage doivent être apportées comme doses d'irrigation.

Il est important de signaler qu'avec les systèmes d'irrigation à faible efficacité, les pertes d'eau par percolation peuvent souvent suffire à lessiver les sels du sol. Il existe deux formes de lessivage, selon la manière d'apporter les doses :

B.1- Lessivage d'entretien :

Dans ce mode, la dose de lessivage est apportée par fraction en même temps que les doses d'irrigation, c'est à dire qu'on ne laissera pas les sels s'accumuler dans le sol, ils seront progressivement lessivés.

Le système d'irrigation en place sert donc à l'application des doses de lessivage avec les doses d'irrigation.

La formule (13), la plus simple pour l'estimation de la fraction de lessivage d'entretien serait:

$$LR = \frac{D_w}{I_w} = \frac{C_i}{C_d} = \frac{CE_{iw}}{CE_{dw}} \quad (13)$$

Cependant l'expression (13), est jugée trop grossière, car elle découle de la supposition $\Delta S = 0$.

Ainsi, plusieurs auteurs ont travaillé sur la détermination de la fraction de lessivage par des formules empiriques, qui dépendent essentiellement ; de la salinité de l'eau d'irrigation, de la salinité de sol que l'on voudrait obtenir et de la tolérance des plantes aux sels.

En 1972 Mr Rhodes a présenté la formule (14), qui permet l'appréciation de la fraction de lessivage d'entretien d'une manière plus raisonnable :

$$LR = \frac{EC_w}{5EC_e - EC_w} \quad (14)$$

Suivant la quelle :

LR : Fraction minimal de lessivage d'entretien en%.

EC_w : Conductivité électrique de l'eau d'irrigation ($EC_w = 2,6 \text{ mmhos/cm}$).

EC_e : Conductivité électrique du sol en mmhos/cm provoquant une chute de rendement de 10% (voir annexe N°2).

Le tableau VIII-9, regroupe les fractions de lessivage d'entretien, évaluées pour les cultures adoptées par le plan cultural et pour une chute de rendement de 10%.

Tableau VIII-9 : Fractions de lessivage d'entretien

CULTURES	ECe (mmhos/cm) >10%	Fractions de lessivage LR
Maraîchage		
Tomate	3,5	0,17
Pomme de terre saison	2,5	0,26
Navet	3,5	0,17
Haricot vert	1,5	0,53
Ail	3,5	0,17
Cultures fourragères		
Sorgho-fourrager	5	0,12
Maïs	3	0,21
Orge en vert	7,5	0,07
Céréales		
Orge	10	0,05
Blé dur	7,5	0,07
Vesce avoine	4	0,15
Arboricultures		
Olivier	4	0,15
Figuier	4	0,15
Grenadier	4	0,15
Valeur moyenne		0,17

Une valeur de LR=0.17 pour la tomate par exemple veut dire qu'il faut apporter un volume d'eau de lessivage égale à 17% des besoins unitaires de cette culture : $B_L=0,17*ETR$. Ce volume sera apporté par fraction en même temps que les doses d'irrigation.

Remarque :

On suppose que LR est entièrement efficace c'est-à-dire l'eau percole complètement dans le sol mais en pratique l'hétérogénéité du sol engendre que l'eau passe par des chemins préférentielles (racines, fissures) sans avoir d'action de lessivage. On ait donc amené à considérer une efficacité de lessivage LE qui est fonction de la texture et la structure du sol, avec : [16]

LE= 30% Pour les sols fissurés ;

LE= 50 à 60% Texture moyenne ;

LE= 95 à 100% Sols sableux.

Donc les besoins brute de lessivage seront : $B_L= LR/LE$ (15)

Dans notre cas la texture grossière est dominante, par conséquence on prend **LE=100%**.

Les besoins en eau de lessivage, mensuels et annuels, sont représentés dans l'annexe N°4.

B.2- Lessivage initial :

Il consiste à apporter entre deux campagnes d'irrigation toute la dose de lessivage en une seule opération. Ainsi, les sels accumulés dans le sol lors de la campagne d'irrigation précédente, seront lessivés permettant ainsi au sol de prendre un seuil de salinité acceptable.

Le mode d'application de l'eau sur le sol utilisé à cet égard, est généralement un système d'irrigation de surface, plus précisément, l'irrigation par submersion.

L'appréciation des volumes d'eau de lessivage initial à appliquer sur le sol, est estimée par la formule de **Volubeev** :

$$H = -\alpha * \theta * D * \log \frac{(S - S_i)}{(S_0 - S)} \quad (16)$$

Avec :

H : La lame d'eau à appliquer pour satisfaire les besoins du lessivage initial en (m).

D : La profondeur d'enracinement en (m).

S : La salinité moyenne à atteindre après lessivage (ECe en mmhos/cm).

S_i : La salinité de l'eau d'irrigation en (ECw en mmhos/cm).

S_0 : La salinité moyenne avant lessivage en (mmhos/cm)

θ : L'humidité de sol en %.

α : Coefficient dépendant de la texture du sol :

-Sablo-limoneux à limono sableux : $\alpha = 0,5$ à $0,6$.

-Argilo-sablo-limoneux : $\alpha = 0,4$ à $0,5$.

-Argile : $\alpha = 0,2$ à $0,3$.

Le lessivage initial est préconisé sur les sols hydromorphe et vertisols, ainsi que sur certains sols situés à proximité de la mer et présentant une salinité supérieure à 2mmhos/cm.

VIII.2.3.3. Calcul des besoins bruts en eau d'irrigation GIWR:

Les besoins bruts du périmètre, dépendent de l'efficacité de l'irrigation, c'est à dire des pertes d'eau qui se produisent à partir du point du captage, jusqu'à la satisfaction des besoins du rapport plante/sol.

A- Notion d'efficacité :

L'efficacité d'un réseau d'irrigation est définie par le rapport entre le besoin d'eau strictement nécessaire à la culture et le volume d'eau à introduire dans ce réseau.

La différence entre les deux volumes indique les pertes, qui évidemment devront être les plus limitées, afin d'éviter le gaspillage plus particulièrement, si les ressources en eau s'avéraient rares. [17]

La formule communément employée pour l'estimation de l'efficience d'un réseau d'irrigation, est donnée par l'expression (17) :

$$E_i = E_t * E_a \quad (17)$$

Avec :

E_i : Efficience d'irrigation en %.

E_t : Efficience de transport en %.

E_a : Efficience d'application de l'eau (Agronomique) en %.

Certains auteurs font une distinction ultérieure, tel que la formule (18) :

$$E_a = E_d * E_u \quad (18)$$

Dans la quelle :

E_d : Efficience de type de distribution en %.

E_u : Efficience de l'uniformité de la distribution en %.

La thématique développée ci-après se base sur la formule (19) :

$$E_i = E_t * E_d * E_u \quad (19)$$

Avec :

▪ **Efficience de transport E_t :**

C'est le rapport de la quantité distribuée en tête de la parcelle (borne ou prise) et la quantité prélevée en tête du réseau. Elle peut avoir une incidence plus au moins forte en fonction des caractéristiques de l'adduction.

-Si l'adduction est par canaux : $E_t=0.75$

-Si l'adduction est par conduites : $E_t=0.95$

▪ **Efficience de distribution E_d :**

C'est le rapport entre les besoins de la plante et le volume d'eau délivré en tête de parcelle. L'efficience de la distribution de l'eau à la parcelle, varie très sensiblement en fonction des modalités de la desserte adoptée, qui peuvent se grouper en cinq grandes catégories :

*Irrigation : par submersion, par ruissellement, par aspersion, localisée et souterraine.

▪ **Efficience de l'uniformité E_u :**

Elle est indépendamment liée à la méthode de distribution adoptée. C'est la livraison égale, par une quantité d'eau optimale en tout point de la superficie irriguée, ce qui se produit très rarement. Pour assurer une bonne répartition, il faudra apporter un volume supérieur, dont l'excédent par rapport à la quantité nécessaire, se traduit par une perte.

L'évaluation exacte des pertes (efficacité d'un réseau d'irrigation) est très difficile et même presque impossible, suite des multiples variables qui interviennent dans ces conditions.

En se basant sur le tableau suivant, il est possible d'estimer en moyenne, les degrés d'efficacité, en relation avec le mode d'irrigation et le système de transport-distribution :

Tableau VIII-10 : Valeurs indicatives pour les efficacités en irrigation. [2]

Systèmes	Efficacités %
► <u>Modes d'irrigation</u>	
• Surface, traditionnelle	
- bassins	45-75
- planches	40-70
- raies	40-70
• Aspersions	
- couverture intégrale	65-85
- rampe mobile	65-80
- tuyau flexible	60-80
- canon avec enrouleur	55-70
- rampe pivotante (pivot)	65-85
• Micro-irrigation	
- goutte à goutte, ≥ 3 goutteurs par plante	85-95
- goutte à goutte, < 3 goutteurs par plante	80-90
- diffuseurs et micro-asperseurs	85-95
- gaine	70-90
► <u>Systèmes de transport</u>	
• Conduites sous pression	95-100
• Canaux revêtus	60-90
• Canaux non revêtus	55-85
► <u>Systèmes de distribution</u>	
• Conduites sous pression	95-100
• Conduites basse pression	90-100
• Canaux, débits > 50 l/s	80-96
• Canaux, débits " 50 l/s	60-90

Sources principales : Keller et Bliesner, 1990 ; Wolters, 1992 ; Keller, 1992.

Le choix de tel mode d'irrigation des cultures préconisées est justifié dans le chapitre suivant. Le transport d'eau s'effectue par des conduites sous pression ($E_t=100\%$).

On aura alors les valeurs d'efficacité suivantes :

*Céréales, Fourrages : $E_i \approx 60\%$ (irrigation par planches, distribution par des canaux) ;

*Cultures Maraîchers : $E_i \approx 85\%$ (micro-irrigation "gaines", distribution par conduites

sous pression) ;

*Arboricultures : $E_i \approx 85\%$ (micro-irrigation "goutteurs en ligne", distribution par Conduites sous pression).

B- Calcul des pertes par percolation :

Au niveau de la parcelle, on considère trois (03) types de pertes suivantes :

- pertes par ruissèlement (causées par la topographie) ;
- pertes par évaporation (cas d'irrigation de surface principalement) ;
- pertes par percolation profonde (participation au lessivage).

Ces dernières (pertes par percolation) sont les plus importantes (surtout si l'irrigation se fait par gravité), ils vont couvrir totalement ou partiellement les besoins de lessivage du sol. Pour celà, les doses de lessivage calculées avant (annexe N° 4), seront minimisées en fonction de la quantité d'eau perdue par percolation, qui va jouer le rôle de lessivage.

Le tableau suivant donne une estimation des pertes et les doses de lessivage à apportées.

Tableau VIII-11 : Estimation des pertes au niveau du périmètre

cultures	B_{nets} (mm)	E_i %	I_d (mm)	P_{percol} (mm)	$B_L(\text{calculé})$ (mm)	$B_L(\text{apporté})$ (mm)
Céréales, fourrages	1626.50	60%	2710.83	813.25	209.96	0
Maraîchages	1888.70	85%	2222	222.20	434.86	212.66
Arboricultures	1666.70	85%	1960.82	196.08	250	53.92

$$I_d : \text{volume d'eau délivré (brut), avec : } I_d = B_{nets} / E_i \quad (20)$$

$$B_L : \text{besoins de lessivage } B_L(\text{apporté}) = B_L(\text{calculé}) - P_{percol} \quad (21)$$

$$P_{percol} : \text{pertes par percolation } P_{percol} = B_{bruts} * \%(\text{moy de percol}) \quad (22)$$

Le % moyen de percolation dépend de la méthode d'irrigation ainsi la texture du sol. Pour une texture légère avec les modes d'irrigation choisis on aura les valeurs suivantes (source : Drainage design factors) :

- Irrigation par planche (céréales, fourrages) : $P_{percol} = 30\%$;
- Irrigation localisée (maraîchages, arboricultures) : $P_{percol} = 10\%$

Il reste enfin à calculer les besoins bruts en eau **GIWR**, tel que :

$$GIWR = IWR / E_i \quad (23)$$

Sachant que :

GIWR : besoins bruts en eau d'irrigation (global irrigation water requirements)

IWR : besoins nets (avec lessivage) en eau d'irrigation

Les besoins bruts **GIWR** du périmètre, suivant les modèles d'assolement, sont regroupés dans l'annexe N°5. Afin de rendre aisé la lecture et l'exploitation des résultats calculés, les besoins en eau d'irrigation et de lessivage des cultures envisageables pour le périmètre, sont reportés dans le tableau VIII-12.

Tableau VIII-12 : Récapitulatif des besoins en eau d'irrigation du périmètre de B.B.A

Culture	Surface en ha	Besoins nets mm	Besoins nets m ³ /ha	Besoins nets Totaux m ³	Efficienc e %	Besoins bruts m ³ /ha	Besoins bruts Totaux m ³
Pomme de.T	12	825,84	8258,43	99101,16	0,85	9715,80	116589,6
Tomate	7,5	790,27	7902,71	59270,325	0,85	9297,30	69729,75
Haricot vert	5	178,13	1781,26	8906,3	0,85	2095,60	10478
Navet	7,5	72,59	725,90	5444,25	0,85	854,00	6405
Ail	2,5	202,64	2026,40	5066	0,85	2384,00	5960
Sorgho.F	20	483,60	4836,00	96720	0,6	8060,00	161200
Maïs	11	472,80	4728,00	52008	0,6	7880,00	86680
Orge en vert	14	45,30	453,00	6342	0,6	755,00	10570
Blé dur	54	334,00	3340,02	183701,1	0,6	5566,70	300601,8
Orge	19	175,50	1755,00	33345	0,6	2925,00	55575
Vesce avoine	4	115,30	1153,02	4612,08	0,6	1921,70	7686,8
Oliviers	9	694,38	6943,82	62494,38	0,85	8169,20	73522,8
Figuers	5	378,44	3784,37	18921,85	0,85	4452,20	22261
Grenadiers	6	639,63	6396,25	38377,5	0,85	7525,00	45150
TOTAUX	176,5	5 408,42	54084,20	674 309,945	-----	71601,50	972 409,75

En se basant sur le plan cultural envisagé, les besoins bruts en eau du périmètre sont estimés à **0,972 hm³**.

Les besoins en eau bruts annuels en m³, pour les trois assolements envisagés dans le périmètre sont résumés comme suit :

ASSOLEMENTS	EFFICIENC E	BESOINS (m3/ha)		BESOINS BRUTS TOTAUX (m3)
		NETS	BRUTS	
A	0,71	23 708	33 360,30	284 420,25
B	0,68	16 540	24 472,60	272 194,20
C	0,70	36 328	51 937,30	418 915,80
Moyenne		25 525,33	36 590,07	TOT= 0,975 hm³

Conclusion :

L'hypothèse de prévoir trois assolements est basée sur l'étude agro-socioéconomique de la région de Bordj Bou-Argeridj et les besoins bruts en eau, issus de cette proposition, sont de l'ordre de **0,975 hm³**,

Les besoins bruts en eau d'irrigation suivant le plan cultural, amplifié des besoins de lessivage d'entretien du périmètre de Bordj Bou-Argeridj sont respectivement de l'ordre : **0,872hm³ et 0,10hm³**.

En définitive, il faudra prévoir une disponibilité annuelle brute d'environ **1 hm³** d'eau d'irrigation, qui permettra aux agriculteurs de permuter et de diversifier leur plan de cultures, tout en garantissant leur besoins en eau d'irrigation, avec une marge de sécurité satisfaisante. Ce volume est largement couvert par la station d'épuration de B.B.Argeridj qui produit annuellement un volume de **10,95 hm³**.

Chapitre IX : Réseau de distribution collectif d'irrigation sous pression

Introduction :

Le réseau d'irrigation est l'ensemble d'organes, d'ouvrages et d'appareils qui assurent le transport, la répartition et la distribution des eaux d'irrigation à chaque exploitation et à chaque parcelle sans oublier par ailleurs les organes qui doivent éventuellement évacuer les eaux en excès. La fonction du réseau d'irrigation, s'éloigne des concepts de service social et public (AEP et assainissement), et demeure principalement agro-économique, il s'agit principalement d'un facteur de production dans l'ensemble de ceux qui sont mis à la disposition de l'exploitation agricole. [19]

Le réseau collectif de distribution d'eau, est essentiellement constitué par des canalisations enterrées, livrant l'eau sous pression aux différents exploitants, par l'intermédiaire des bornes (prises) d'arrosages.

En tant que tel le réseau d'irrigation devra répondre à des objectifs de rentabilité qui seront poursuivis par l'optimisation des investissements et des charges d'exploitation.

C'est dans ce contexte, que notre attention dans ce chapitre s'est accentuée à la mise au point de la méthodologie d'optimisation du réseau de distribution d'irrigation sous pression, présentée ci-après.

IX.1. Mode de fonctionnement de réseau :

Les réseaux d'irrigation peuvent fonctionner en deux modes de distribution différents qui sont:

- a) **Mode de distribution d'eau à la demande:** cette technique de distribution est très souple car elle laisse le choix à l'irrigant d'utiliser sa propre borne (prise) d'irrigation en temps opportun. C'est le mode le plus couramment retenu, néanmoins, très complexe, car les appels de débits sont totalement aléatoires et nous conduit à l'élaboration d'un réseau de dimension plus important.
- b) **Mode de distribution au tour d'arrosage:** C'est un mode de distribution spécifique et très rigide dans le sens où les agriculteurs n'ont le droit d'irriguer que pendant un tour d'eau, dont la durée est proportionnelle à la superficie à irriguer. L'inconvénient de ce mode, est le respect de tour d'arrosage, qui peut engendrer des conflits entre les agriculteurs. Ce problème, nous mène à concevoir un organisme de contrôle, de régulation et de partage équitable de l'eau.

Dans notre cas, entre la souplesse d'une distribution à la demande et la rigidité d'une distribution au tour d'arrosage, une solution intermédiaire peut cependant être envisagée : la modalité de distribution appelée « distribution à la demande restreinte-continue », basée sur les principes suivants :

- La prise ne peut être utilisée librement qu'à l'intérieur de certains horaires ;
- Le débit affecté à chaque prise est fonction de la superficie de l'îlot desservi, pour chaque îlot l'irrigation peut être pratiquée à la demande pendant une journée sur deux avec une durée moyenne d'arrosage de 18 heures par journée d'irrigation effective.

IX.2. Description et schéma d'aménagement du réseau de distribution:

Le principe de la variante d'adduction retenue pour l'aménagement hydro-agricole du périmètre de Bordj Bou-Argeridj, schématisée par la figure N°IX-1, est la conduite des eaux usées épurées de la station d'épuration, jusqu'à la station de pompage située à **140m** en aval, à une cote de **892mNGA**. A la sortie de la station de pompage, la conduite d'adduction de longueur **550m** se dirige parallèlement à la STEP pour traverser ensuite la route (RN°45) et aller rejoindre le réservoir implanté à la cote **922mNGA**.

La topographie particulièrement favorable permet de mettre en charge le réseau, à partir d'un réservoir de stockage prévu à la cote **922mNGA** peu éloigné à environ **550m** de la station de pompage, avec une dénivelée de l'ordre de **30m** par rapport à cette dernière. Il sera d'ailleurs intéressant d'augmenter le volume de la réserve, de manière à écrêter les pointes du réseau. La station et la conduite de refoulement peuvent alors être équipées pour un débit voisin du débit fictif continu nécessaire au réseau.

Le système de régulation au moyen d'un réservoir à la tête du réseau dans lequel on repérera les variations de niveaux, est le plus économique sous l'angle exploitation et présente les deux avantages suivants :

- Bon rendement des groupes.
- Plage d'emploi des groupes bien répartis.

Le fonctionnement des pompes est asservi aux niveaux dans le réservoir (démarrage au niveau bas-arrêt au niveau haut), le contrôle de niveau peut se faire dans le réservoir par flotteurs, la transmission de l'ordre de mise en marche ou d'arrêt d'un moteur peut se faire par une ligne pilote électrique sous tension de sécurité de 220 volts.

Ci-dessous un schéma descriptif de la variante d'adduction retenue pour le périmètre.

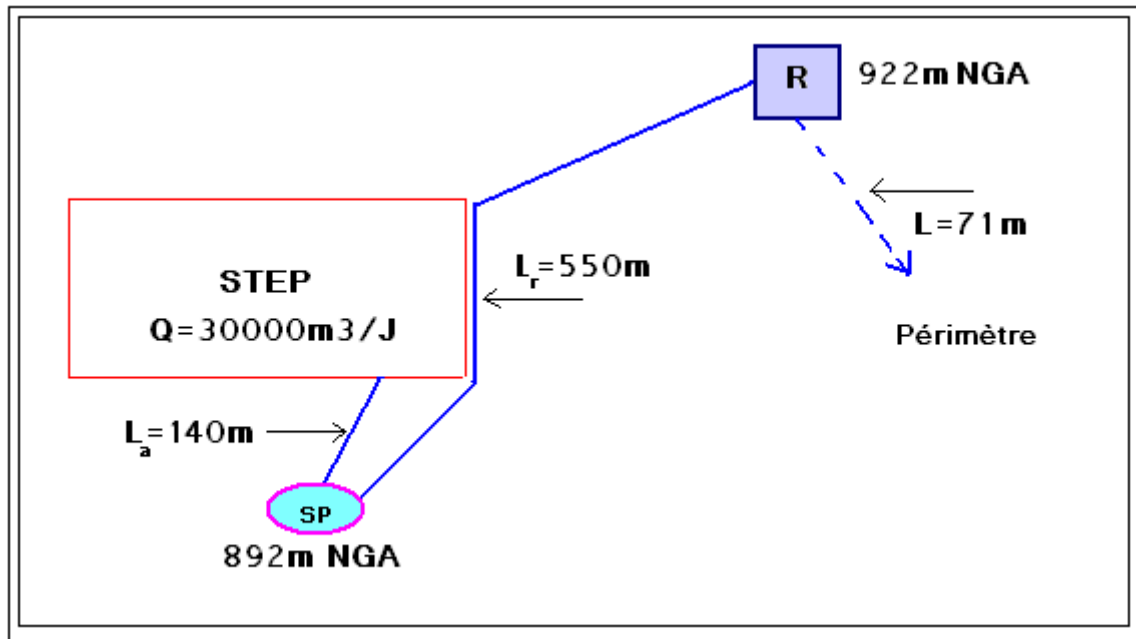


FIG IX-1 : Schéma de la variante d'adduction retenue pour le périmètre de B.B. Arreridj

IX.3. Plan de bornage :

Les conditions d'accès à la prise d'irrigation par les irrigants, sont matérialisées sur le plan de bornage, appelé plan d'implantation des différentes bornes du réseau.

Ce dernier, est le résultat d'un compromis entre l'intérêt des utilisateurs qui souhaiteraient disposer d'une borne, idéalement situé par rapport à leur îlot d'exploitation et celui, du concepteur qui cherche à en limiter le nombre, de manière à diminuer le coût du réseau collectif.

Afin d'éviter les pertes de charge trop considérables dans le matériel mobile, le rayon d'action de chaque prise est souvent limité à environ **200m** pour les petits îlots, à **500m** pour les grands îlots..

Afin de desservir plusieurs îlots à partir de la même borne, cette dernière doit être implantée à la limite des petites exploitations. Cependant, pour les grandes exploitations, la borne sera implantée de préférence au centre de la zone à desservir et ne comportera alors qu'une seule prise.

On trouvera dans la figure IX-2, le plan de bornage pour le périmètre, établis selon les recommandations citées ci-dessus.

- **Ilots d'irrigation :**

L'îlot d'irrigation est par définition la plus petite entité hydraulique desservie par une borne d'irrigation. Pour éviter tout conflit entre agriculteurs, les limites des îlots d'irrigation sont

celles des : exploitations ou des parcelles ou à défaut les limites facilement matérialisées sur terrain.

Le projet est conçu pour que chaque exploitation lui est affectée au moins une borne d'irrigation et d'une pression suffisante, pour la pratique de goutte à goutte et le gravitaire.

La superficie à équiper (150,47ha) est découpée en **15** îlots d'irrigation, leur surface moyenne pour le périmètre étant **10,03** ha.

IX.4. Tracé et structure du réseau de distribution :

Une fois que le plan de bornage est établi, nous procéderons à la liaison, le plus économiquement possible, des différentes bornes et l'origine du réseau (réservoir de stockage). Le tracé escompté est un réseau ramifié (ou palmé) qui conduit à un coût d'investissement optimum.

Le tracé économique est un problème complexe qui ne se résume pas à un problème de plus court chemin pour desservir différents points à partir d'une station de pompage. En effet, cela pourrait être vrai si toutes les canalisations avaient le même diamètre. Mais il n'en est rien, puisque d'une manière générale, les réseaux comportent une ossature principale autour de laquelle se distribuent des canalisations de petites diamètres. En toute rigueur, le tracé du réseau devrait consister en plusieurs allers et retours entre le calcul économique des diamètres et le calcul des chemins les plus courtes (Bernard Brémond). [2]

La détermination du tracé est pragmatique, si l'on s'impose de suivre les limites des parcelles, les chemins, les routes et pistes ainsi que les points les plus élevés du périmètre pour faciliter l'utilisation de la ressource en mode gravitaire.

Le réseau d'irrigation sous pression est caractérisé par un système de canalisation PVC à joint alimentant l'ensemble des bornes d'irrigation sur lesquelles viennent se greffer les installations d'irrigation localisée (rampes et portes rampes), le bassin de relevage ou les rigoles de distribution, selon la pression assurée. Etant donné la forme très allongée du périmètre, la distribution est envisagée à partir d'une seule conduite principale.

Plan de bornage

IX.5. Pression demandée aux bornes d'irrigation :

L'analyse des charges en amont des bornes d'irrigation visent à qualifier les performances des réseaux d'irrigation projetés d'une part et identifier les bornes pour lesquelles l'équipement de la prise par un limiteur (ou régulateur) de pression n'est pas envisagé.

Les classes de charges retenues sont :

- ✚ Catégorie 1 / charge Inférieure à **20 m** : l'irrigation par gravité ;
- ✚ Catégorie 2 / charge comprise entre **20** et **55 m** : l'irrigation par gravité et localisée.

Pour minimiser les pertes de charge au niveau de la borne, les bornes de la catégorie 1 ne seront pas équipées de limiteur de débit et de réducteur (stabilisateur) de pression ;

Pour la catégorie 2, la pose du régulateur-stabilisateur de pression n'est pas retenue si la charge statique est inférieure à **55 m**.

On rappelle que le mode d'irrigation choisi est celui du goutte à goutte pour les cultures maraîchères et arboricultures et le gravitaire (par planche) pour les céréalières et fourragères.

❖ Critères de choix du mode d'irrigation :

Le choix du système d'irrigation dépendra de la qualité de l'eau (essentiellement sa salinité), des cultures à irriguer, de l'investissement possible et du type de sol. L'utilisation d'eaux usées implique des préoccupations supplémentaires par rapport à une eau conventionnelle.

- L'écartement de l'aspersion comme un mode d'irrigation pour le périmètre est suite des raisons suivantes :

- la salinité trop élevée de l'eau épurée de l'ordre $CE=2,6$ ds/m limite l'utilisation de l'aspersion (risque de brûlure du feuillage, ou dépôt inesthétiques sur les fruits) ;
- possibilité réduite pour l'arrosage avec des eaux résiduaires (formation d'aérosols et dispersion de germes dans l'atmosphère) ;
- la convenance pour manipuler l'eau saumâtre sans perte significatif de rendement est très faible à faible (la plupart des récoltes souffrent d'un faible rendement).

- Le choix de l'irrigation localisée des maraîchères et arboricultures est justifier par :

- excellente efficacité d'arrosage, excellent rendement des cultures et gain de surface ;
- bonne adaptation à l'utilisation des eaux salées (capacité de maintenir un potentiel élevé de l'eau dans le sol et de réduire au minimum l'effet de la salinité) ;
- la technique la mieux adapté à l'apport des eaux usées : pas de mouillage du feuillage, absence de contact direct avec le fruit ce qui limite les risques sanitaires ;
- très faible besoins de main-d'œuvre.

- L'adaptation du mode gravitaire par planche aux céréales et fourrages à cause de :
 - bonne adaptation à l'épandage des eaux usées ;
 - possibilité d'utilisation d'eaux salées (en pratiquant le lessivage du sol) ;
 - les végétaux ne sont pas mouillés, ce qui est favorable sur le plan phytosanitaire ;
 - coût d'investissement relativement faible et besoins en énergie faibles ou nuls ;
 - absence de la nappe phréatique au niveau du périmètre ce qui élimine le danger de pollution des eaux souterraines.

IX.6. Dimensionnement du réseau de distribution :

Lors de l'élaboration de notre réseau, nous avons pris comme principe de dimensionnement « la loi de débit », car dans un réseau de distribution à la demande, les débits sont répartis en fonction des caractéristiques de la parcelle à desservir, et de telle sorte qu'ils puissent être exploités par l'irrigant au moment opportun.

IX.6.1. Calcul des débits à transiter par le réseau collectif :

IX.6.1.1. Débits spécifiques :

Le but est de définir les débits nécessaires que le système d'irrigation doit véhiculer pour répondre à la demande en eau des cultures.

Le débit spécifique ou débit fictif continu représente le débit qui devra être véhiculé par le système d'irrigation pour satisfaire les besoins en eau des cultures durant le mois de pointe pendant un nombre fixe d'heures par jour et pour une surface d'un hectare. Ce débit est donné par la relation suivante :

$$q = \frac{B}{T * t * K * 3.6} \quad (\text{l/s/ha}) \quad (1)$$

Avec :

B : besoins mensuels nets en eau des cultures (m³/ha) ;

T : durée de l'irrigation en jours (T = 31 jours) ;

t : durée de l'irrigation en heures par jour (t = 24h) ;

K : Coefficient correcteur du débit $\approx 0,75$ (car l'irrigation ne se fait pas en 24h/24h).

Le calcul de ces débits spécifiques est regroupé dans l'annexe N°6. Les débits de pointe des modèles adoptés, sont regroupés dans le tableau IX-1.

Remarque : Pour le calcul des débits de pointe des modèles :

- Si $q < 1,5 \text{ l/s/ha}$: la valeur de débit spécifique est acceptable ;

- Si $q > 1,5 \text{ l/s/ha}$: on prend la valeur du débit spécifique de la culture la plus exigeante du modèle dans le mois de pointe.

Tableau IX-1 : Débits de pointe des modèles adoptés

Modèles	S (ha)	Mois de pointe	Débit de pointe (l/s/ha)
A	50.00	Juillet	1
B	40.00	Juillet	1,29
C	60.00	Juillet	1,17
Débit moyen des modèles (l/s/ha)			1,15

Le débit de pointe du modèle le plus exigeant (modèle B) est de l'ordre $q = 1.29 \text{ l/s/ha}$, correspondant au mois de juillet. Celui-ci est le débit pris en considération pour le calcul hydraulique des canalisations. Le débit de pointe moyen des modèles pris en considération lors du dimensionnement des ouvrages annexes, est de l'ordre de **1,15** (l/s/ha).

IX.6.1.2. Loi de débit : [16]

Dans le cadre d'une irrigation à la demande, le débit affecté à chaque prise, sera fonction des caractéristiques de la parcelle à desservir, dont l'importance a été déterminée par l'étude préalable de besoins, de façon à laisser une liberté à l'irrigant, quant à l'organisation de ses arrosages. Les paramètres de la loi de débit sont définis, ci-après :

- * la conception des modèles ;
- * l'évaluation des besoins en eau du périmètre ;
- * l'analyse de la trame technique et hydraulique ;
- * la définition des tailles des îlots d'irrigation.

Conformément à la figure N°IX-3, la loi des débits est donnée sous la forme suivante :

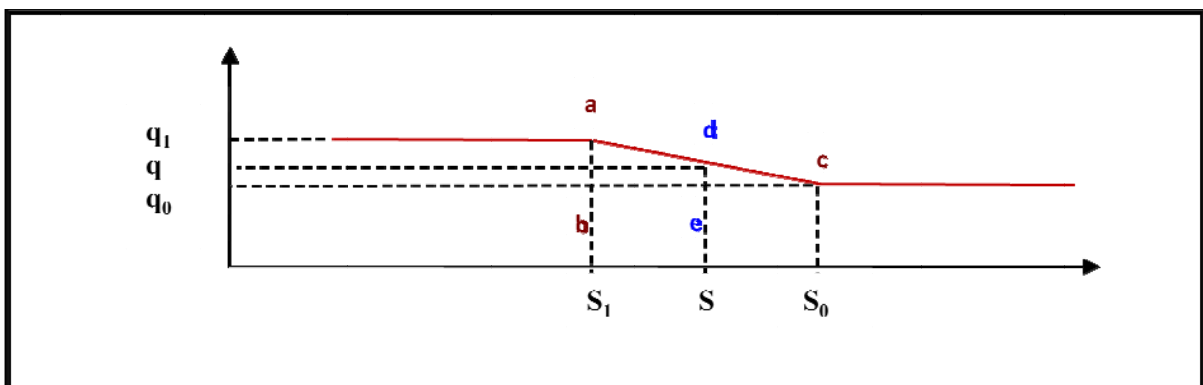


Fig IX-3 : Représentation graphique de la loi de débit.

$$\begin{aligned} \checkmark \text{ Pour } S \leq S_1 : \quad & \text{On a : } q = q_1 ; \\ \checkmark \text{ Pour } S_1 < S \leq S_0 : \end{aligned} \quad (2)$$

En appliquant la théorie des triangles semblables [abc et dec], on aura :

$$\begin{aligned} \frac{(q_1 - q_0)}{(q - q_0)} &= \frac{(S_0 - S_1)}{(S_0 - S)} \\ \text{D'où : } q &= q_0 + (q_1 - q_0) * \frac{(S_0 - S)}{(S_0 - S_1)} ; \end{aligned} \quad (3)$$

$$\checkmark \text{ Pour } S > S_0 : \quad \text{On a : } q = q_0 \quad (4)$$

Dans les quelles :

q_1 : Débit caractéristique du modèle le plus exigeant ;

q_0 : Débit caractéristique moyen des modèles (débit du mois de pointe) ;

q : Débit caractéristique effectué à chaque borne ;

S_1 : Surface occupée par le modèle le plus exigeant sur la plus longue branche,

S : Surface de chaque îlot ;

S_0 : Surface occupée par les modèles dont le débit caractéristique est supérieur au débit moyen des modèles q_0 .

En se basant sur le tracé du réseau et le découpage du périmètre en îlots on pourra définir les surfaces S_1 et S_0 :

- La plus longue branche selon la configuration du réseau d'irrigation est la branche « G » de longueur de **553,7m** avec une superficie de **S = 48 ha**.

- Pour le seuil de surface S_1 , on détermine les modèles occupant la superficie desservie par cette branche « G », on dénombre :

Tableau IX-2 : Modèles constituant la branche « G »

Type	Superficie (ha)
B	7.2831
B	10.3968
A	12.3123
A	10.9218
B	7.0717

Pour cette répartition, le seuil S_1 est égal à l'occupation du modèle le plus exigeant B dans la branche la plus longue on obtient : **$S_1 = 24,75$ ha**

- Pour la surface qui aura un débit caractéristique supérieur au débit moyen des modèles on aura : $S_0 = 100,66$ ha comme le montre le tableau suivant :

Tableau IX-3 : Détermination des seuils de surface S_0 et S_1

N° d'îlot	Type	Surface (ha)	Désignation	$S_1 = \sum S_{1i}$ (ha)	$S_0 = S_1 + \sum S_{0i}$
1	A	7.8506	—	24,75	100.66
2	A	7.8234	—		
3	C	8.9149	S_0		
4	C	8.9252	S_0		
5	B	7.3945	S_0		
6	B	7.3100	S_0		
7	B	7.2831	S_1		
8	B	10.3968	S_1		
9	A	12.3123	—		
10	A	10.9218	—		
11	B	7.0717	S_1		
12	A	11.0714	—		
13	C	14.4564	S_0		
14	C	14.4030	S_0		
15	C	14.5103	S_0		
$q_0 = 1,15$ l/s/ha $q_1 = 1,29$ l/s/ha					

En appliquant la loi des débits présentée ci-dessus on obtiendra les résultats suivants :

- * $S \leq 24,75$ ha On a: $q = 1,29$ (l/s/ha).
- * $24,75 < S \leq 100,66$ ha On a: $q = 1,15 + (1,29 - 1,15) * \frac{(100,66 - S)}{(100,66 - 24,75)}$ (l/s/ha).
- * $S > 100,66$ ha On a: $q = 1,15$ (l/s/ha).

IX.6.1.3. Débits caractéristiques :

Le calcul des débits caractéristiques permet de définir le débit maximum que le système de dessert aura à fournir pour l'irrigation de chaque parcelle, déterminé en multipliant le débit spécifique de pointe par la surface agricole utile, voir formule (5) :

$$Q = q * S \quad (5)$$

Q : Débit caractéristique en (l/s).

q : Débit spécifique de pointe d'îlots (l/s/ha).

S : Surface de l'îlot (ha).

Le calcul des débits spécifiques (q) et débits caractéristiques (Q) à effectuer pour chaque borne est regroupé dans le tableau IX-4.

Tableau IX-4 : Récapitulatif des débits au niveau des bornes

Branch	N° Borne	Surface (ha)	Débit spécifique (q) l/s/ha	Débit caractéristique (Q) l/s
A	1	7.8506	1,29	10,13
B	2	8.9149	1,29	11,50
C	3	7.8234	1,29	10,09
D	4	7.2831	1,29	9,40
E	5	8.9252	1,29	11,51
F	6	7.3945	1,29	9,54
G	7	7.3100	1,29	9,43
	8	10.3968	1,29	13,41
	9	12.3123	1,29	15,88
	10	10.9218	1,29	14,09
	11	7.0717	1,29	9,12
H	12	14.4564	1,29	18,65
I	13	11.0714	1,29	14,28
J	14	14.4030	1,29	18,58
	15	14.5103	1,29	18,72
Super totale (ha)		150,47	Moy=1,29 l/s/ha	Moy=12,96 l/s

IX.6.2. Choix du type de réseau :

Selon les contraintes techniques et économiques, on distingue trois (03) types de réseau d'irrigation :

-Réseaux à ciel ouvert : l'eau est transportée par des canaux à ciel ouvert généralement trapézoïdaux ;

-Réseaux fermés : l'eau est distribuée sous pression par des conduites formant un ensemble ramifié généralement enterrées. Ce type de réseau est pratiqué dans les cas d'irrigation sous pression ;

-Réseaux mixtes : c'est la combinaison des deux systèmes cités ci haut, le plus souvent l'eau est amené jusqu'au périmètre à l'aide de canaux à ciel ouvert, puis elle est distribuée par conduite sous pression.

Le choix du type de réseaux dépend en grande partie du mode d'irrigation choisi et aussi dépend de mode d'adduction adopté.

Notre choix sera porté donc sur le réseau fermé sous pression, celui-ci présente beaucoup d'avantages tel que :

- ✚ Distribution rationnelle de l'eau ;
- ✚ Perte d'eau négligeable ;
- ✚ Bon coefficient d'utilisation des terres irriguées ;
- ✚ Réduction des risques sanitaires et dispersion des odeurs dans l'atmosphère lors du transport de l'effluent.

IX.6.3. Optimisation des canalisations :

Ayant ainsi déterminé, les débits de pointe à transmettre pour chaque tronçon, nous procéderons ensuite à la détermination des diamètres.

La méthode d'optimisation du réseau de distribution adoptée dans le cadre de notre projet, est celle de M^r Labye, qui tient compte des conditions suivantes :

IX.6.3.1. La vitesse admissible:

La fixation d'un seuil minimum de vitesse admissible dans les conduites, ne correspond pas véritablement à un impératif technique et n'a pour objectif, que l'introduction d'un seuil raisonnable de diamètre maximum envisagé, pour transiter un débit donné. Ceci nous permettra d'accélérer le calcul d'optimisation. Par contre, la fixation d'un seuil maximum de vitesse tolérée correspond à un compromis entre :

*La recherche d'économie sur le coût d'investissement ($V \propto D^2$) ;

*Les risques entraînés par les coups de béliers éventuels et le coût de la protection anti-bélier qui en résulterait. Voir tableau IX-5

Tableau IX-5 : Seuils des vitesses admissibles en fonction des diamètres

Diamètre (mm)	Seuils des vitesses admissibles (m/s)	
	Vitesse minimum	Vitesse maximum
100	0,20	1,80
125	0,25	1,85
150	0,25	1,95
200	0,35	2,00
250	0,40	
300	0,40	
350	0,40	
400	0,50	
500	0,50	
600	0,50	
700	0,50	
800	0,50	
900	0,50	
1000	0,50	
1100	0,50	
1250	0,50	
1500	0,50	
2000	0,50	

La vitesse admissible des écoulements d'eau à l'intérieur des conduites doit varier dans une plage allant de **0.5 à 2,00 m/s**, ces valeurs ne sont en réalité pas impératives, mais elles sont fortement recommandées, car des vitesses faibles ($v < 0.5 \text{ m/s}$) peuvent favoriser la formation de dépôts dans les conduites, alors que des vitesses plus importantes ($v > 2 \text{ m/s}$) peuvent engendrer des difficultés d'exploitation.

IX.6.3.2. Diamètres :

Après avoir fixé les vitesses d'écoulement, le diamètre sera choisi de façon à ce que les pertes de charges dans le tronçon de dessert doivent avoir une valeur qui permettra d'assurer une pression suffisante pour le bon fonctionnement des équipements d'irrigation prévus.

Le calcul hydraulique a pour but de dimensionner les conduites en déterminant leurs diamètres tout en respectant les vitesses minimales admissibles et en minimisant les pertes de charge.

Du point de vue économique, la conduite de refoulement et la station de pompage, sont étroitement liés. En effet, plus le diamètre est petit, pour un même débit à relever, plus la perte de charge sera grande, plus le moteur d'entraînement devra être puissant (plus d'énergie) ;

Quant aux conduites de distribution, les diamètres seront majorés pour avoir des pertes de charge minimales afin de permettre une distribution gravitaire à partir du réservoir de stockage projeté à la tête de réseau.

IX.6.3.3. La perte de charge unitaire :

Les pertes de charges générales, dépendent des éléments suivants :

La longueur de la canalisation, la viscosité du liquide, le diamètre intérieur, le débit et la rugosité de la canalisation (ex : PVC $\epsilon = 0,1$).

Parmi les nombreuses formules d'évaluation des pertes de charges linéaires unitaires dans les canalisations, notre choix est porté sur la loi de Lechapt et Calmon, définie par l'expression :

$$J = \frac{L * Q^M * C}{D^N} \quad (6)$$

Avec :

J : Pertes de charge unitaire en (mm/ml) ;

Q : Débit en m^3/s ;

D : Diamètre (m) ;

L, M et N : Constantes dépendantes de la rugosité absolue K des canalisations ;

C : Coefficient de majoration tenant compte des pertes de charges singulières (10%).

Pour les valeurs les plus couramment adoptées concernant la rugosité absolue K , les constantes de la formule sont les suivantes :

K (mm)	L	M	N
0,1	1,20	1,89	5,01
0,5	1,4	1,96	5,19
1	1,601	1,975	5,25

Donc la perte de charge unitaire serais dans le cas de :

- Conduites en béton précontraint: $J = 1.54 * Q^{1.96} * D^{-5.19}$

- Conduites PVC: $J = 1.32 * Q^{1.89} * D^{-5.01}$

IX.6.3.4. Matériaux des canalisations :

Le choix du matériau des conduites est fonction des contraintes d'utilisation (principalement la pression) et de leur disposition sur le marché national.

Pour l'irrigation, on utilise généralement les conduites en PVC pour les petits et moyens diamètres (<500mm), et les conduites en béton pour les grands diamètres ($\geq 500\text{mm}$) quant aux conduites en acier, elles sont peu utilisées du fait qu'elles sont difficiles à entretenir (protection contre la corrosion).

Le dimensionnement du réseau de distribution est fait à l'aide du logiciel Epanet 2.0-FR, les résultats sont représentées dans l'annexe N°7.

IX.7. Ouvrages annexes :

IX.7.1. Le réservoir de stockage et de régulation :

L'on a adopté la régulation par niveaux étagés, grâce à la mise en place, entre la station de pompage et le réseau de distribution, d'un réservoir de 5000m³, semi enterré, placé à une cote de l'ordre de 922m dominant le périmètre en assurant les débits demandés par le réseau d'irrigation.

Ce réservoir pourra commander chaque groupe de pompage par deux niveaux détachés par flotteurs, ou électrodes, le niveau haut commande le déclenchement, le niveau bas l'enclenchement, la régulation de la station de pompage se fait par une détection double de la cote du plan d'eau dans la bêche d'aspiration et dans le réservoir.

Le bassin de stabilisation, en béton armé doit être profond au minimum 5m, pour limiter les pertes par évaporation, et la surface occupée la partie supérieure de la masse est aérobie, la partie inférieure est anaérobie, une partie de l'azote est éliminée, soit par stripping de l'azote ammoniacal, soit par nitrification et dénitrification, une fraction du phosphore entre dans le réservoir se trouve accumulé dans les sédiments.

Les bactéries se trouvent accumulées, dans la tranche d'eau supérieure sous l'effet de la lumière et du PH élevée.

IX.7.2. La station de pompage :

La station de pompage est un bâtiment en génie civile qui abrite, et protège les groupes motopompes, et les appareillages électriques contre les intempéries.

✓ Dimensionnement :

Dans le cas général, le bâtiment abritera l'ensemble des installations (ponts roulants, groupes, appareillages électriques); la superficie couverte pourra être déterminée par l'encombrement des différents groupes suivant leurs types, leurs puissances, leurs dispositions sont prises par les catalogues des constructeurs.

✓ Eclairage :

La superficie des fenêtres, ou ouverture devra valoir au moins le (1/7) de la superficie couverte.

✓ Ventilation :

La salle des pompes est projetée de manière à ce que toute la chaleur produite par les moteurs est évacuée à l'extérieur. La différence de température admissible entre l'air à l'intérieur et l'extérieure ne doit pas dépasser.

- 5° présence permanente du personnel.
- 10° présence accidentelle du personnel.

✓ Appareils de levage :

Ils sont choisis en fonction du poids des pompes, et des moteurs (éléments fournis par les constructeurs).

- $P < 0.5t$: trépied mobile.
- $0.5t < p < 2t$: monorail
- $P > 2t$: pont roulant

La superstructure devra être adaptée au dispositif de levage choisi, elle devra être notamment calculée en tenant compte des charges qui lui seront transmises lors de la manutention des groupes.

✓ Le choix des pompes :

Selon le débit maximum à refouler, vers le réservoir, à moyen terme la station de pompage sera équipé de 4 pompes centrifuges principales fonctionnant en parallèle, aux quelles est adjointe une pompe de réserve pendant le mois de pointe, les 4 pompes seront appelées à

refouler vers le réservoir un débit de 347l/s, soit pour chaque groupe un débit de :
 $Q_p = 347/4 = 87\text{l/s}$ soit $313\text{m}^3/\text{h}$.

La hauteur manométrique totale est donnée par la relation suivante :

HMT : hauteur manométrique totale de la pompe (m)

$H^{\text{maq}}_{\text{eba}}$: la cote d'eau minimale dans la bache d'aspiration (892)

H_p : perte de charge dans la conduite de refoulement (hypothèse haute = 7.10 m)

$$\mathbf{HMT = 40\ m}$$

La pompe choisie devra satisfaire les conditions suivantes :

- assurer : Q et HMT
- posséder : h_{max}
- encombrements, poids, faibles
- capacité d'aspiration forte
- vitesse de rotation importante
- répandre à la construction la plus économique du bâtiment
- exploitation simple
- être fabriqué en série

✓ La puissance de la pompe :

La puissance absorbée est le travail par unité de temps fournie à la pompe ou au groupe , elle s'exprime en kilowatts (kW), et donné par la relation :

$$P_p = 9.81. Q.H / n$$

P_p : puissance absorbée (kW)

Q : débit de la pompe (m^3/s) ($0.087\ \text{m}^3/\text{s}$) ($0.087\ \text{m}^3/\text{s}$)

H : hauteur manométrique total (40 m)

n : rendement de la pompe (73 %)

$$\mathbf{P_p = 47\ KW}$$

✓ La bache d'aspiration :

La bache d'aspiration est un bassin rectangulaire, enterré en armé, d'une capacité globale de l'ordre de 1000 mètre cube d'eau .Les fonctions multiples de l'ouvrage,(réception décantation, régulation, et pompage),nécessitent l'installation des organes suivants :

- Canalisation d'amenée
- Dispositif de trop plein
- Grillage et filtre pour la vidange
- Dispositif de régulation à deux étages par flotteurs, détecteurs de niveaux, pour

l'ensemble des groupes de pompe (enclenchement et déclenchement), afin d'écartier le risque de cavitation des pompes.

IX.7.3. Equipements de contrôle du réseau :

- **Ventouse et vannes vidanges :** partout dans le réseau, on prévoit aux points hauts des ventouses pour chasser l'air et éviter ainsi la stagnation de l'eau dans ces endroits la, et aux points bas des vannes de vidange de la conduite.

- **Vanne de sectionnement :** les vannes de sectionnement sont utilisées dans le réseau d'irrigation pour isoler les appareils placés en dérivation sur le réseau sur lesquelles il sera possible d'intervenir pour réparation ou réalisation d'un piquage

Assurer une rotation entre les deux secteurs, en cas ou la STEP ne produit plus le débit nécessaire au périmètre soit (270 l/s)

- **Dispositif anti-bélier :** Etant donné que le réservoir de stockage, est intercale entre la station de pompage et le réseau, les coups de bélier provoques à disjonction ne concernant que la conduite de refoulement.

Les conduites de refoulement doivent toujours être étudiées du point de vue protection contre les coups de bélier.

- **Borne d'irrigation :**

La borne d'irrigation est un appareil de puisage de l'eau sur le réseau collectif ; elle doit assurer normalement les fonctions suivantes :

- Le vannage : il se peut dans le corps principal de la borne, il permet l'arrêt ou la mise en service de la borne.

- Le comptage : chaque borne est équipée d'un compteur d'eau proportionnel de type vitesse monté en dérivation sur la tubulure de prise ou d'un compteur à passage direct.

C'est sur la base des volumes d'eau effectivement utilisés que sera fixé le prix de payer par l'agriculteur.

IX.8. Ouvrages connexes :

IX.8.1. Pistes agricoles :

Les pistes d'exploitation seront prévues à l'intérieur du périmètre à partir de route nationale reliant BORDJ BOU ARRERIDJ à M'SILA, ce réseau sera à double fonction, assurer l'accessibilité aux différents exploitations agricoles d'une part et facilitant l'intervention pour la maintenance, l'entretien et l'exploitation du réseau d'irrigation et plus particulièrement le réservoir, le robinet vannes les ventouses et les vannes-vidange. La longueur totale du réseau est de l'ordre de 6,5 km.

IX.8.2. Les brises vents :

L'implantation des haies semi-perméables perpendiculaire au sens du vent dominant (nord-est), devra périmètre le passage de l'air en le ralentissant grandement, on estime qu'une distance égale à 15 à 20 fois la hauteur de la haie est alors protégée ce qui peut facilement représenter 60 à 100 mètres.

L'effet brise vent d'un réseau dense de haies s'accompagne aussi d'une influence certaines sur le climat général d'une région

- En réduisant la vitesse des vents dans les masses d'air supérieures
- Limiter l'érosion éolienne
- Réduire les dégâts sur les cultures par atténuation des effets de verse
- Réduire l'évaporation de 25 % à 30 %
- Augmenter de 1 à 2 °C les températures diurnes et nocturnes pour accroître la Précocité.
- Conserver les sols en pente

Deux espèces parmi plusieurs qui rependent aux mieux aux conditions climatiques et édaphiques :

1. CUPRESUS SEMPERVIRENS : arbre résineux pouvant atteindre 30 à 45m, longévité, en plantation serrée il constitue un excellent brise vent, à croissance très rapide, résiste au froid (-20°C), indifférent au sol et très rustique.

2 .BIOTA ORIENTALIS (arbre de vie) :

Se présente sous une formation bouissante, ou en cône étroit, dépasse rarement 12 m, tige divisée des la base, à croissance lente, résistant au froid (-12°C), indifférent au sol, résistant à la chaleur, et aux sols très calcaires.

Longueur totale des brises vents**11 ,6 km / s**

Nombre de plants.....**11600 ...Plants**

Conclusion :

La variante d'adduction retenue pour l'aménagement hydro-agricole du périmètre de Bordj Bou-Argeridj, est la conduite des eaux usées épurées de la station d'épuration, jusqu'au réservoir de stockage implanté à la côte **922mNGA** par l'intermédiaire de la station de pompage située à **140m** en aval de la STEP.

Le modèle que nous avons proposé pour schématiser le phénomène d'appel des débits dans une telle desserte est basé sur la loi des débits, dans laquelle, les débits affectés à chaque prise sont proportionnels aux caractéristiques des îlots desservis.

Le principe de cette loi est simple, mais la difficulté réside dans la définition des caractéristiques des îlots desservis et la configuration des modèles d'assolements prévus, dont elle est fonction.

Le réseau est gravitaire, sous pression et la desserte se fait à la demande. La longueur totale du réseau de desserte est voisine **5 Km** comprenant tout diamètres confondus (de **90 à 400 mm**) en PVC, équipé de bornes d'irrigation dont la pression est voisine de **2 bars**, marge garantissant la charge demandée au niveau des bornes.

Conclusion générale

En conclusion générale ; la répartition culturelle, l'occupation du sol, ainsi que la production végétale et animale de la situation de référence, sont très liées aux conditions climatiques de la région.

Le déficit hydrique important marqué pendant la saison à forte demande en eau des cultures, a imposé la valorisation des eaux usées épurées de la STEP de B.B.Arreridj en irrigation, cela a bien répondu les attentes des agricultures dans le domaine de l'irrigation, cependant la qualité de l'eau épurée, en particulier le degré de salinité qui est de classe très forte, peut poser des problèmes sérieux liés aux sols et aux cultures et exige une gestion de ce phénomène (salinisation).

Le remède à ce problème est le choix approprié des cultures et du mode d'irrigation avec apport de doses supplémentaires aux besoins des cultures pour lessiver les sels accumulés dans le sol. Les modes d'irrigation localisée et irrigation de surface sont appropriés pour une eau de qualité médiocre (saline), en plus engendrent le moins de risques sanitaires.

Sur la base du plan cultural projeté et des modèles d'assolements définis, les besoins en eau calculés sont de l'ordre de **1 Hm³**, ce volume est largement couvert par la production annuelle de la STEP, ce qui permet de diversifier et d'intensifier les spéculations agricoles.

La desserte du périmètre de B.B.Arreridj sera assurée par un réseau de distribution sous pression, constitué de conduites enterrées en PVC dont le diamètre est compris entre (**90 et 400 mm**), équipé de bornes d'irrigation dont la majorité ont une pression voisine de **2 bars**, ce qui permettra le bon fonctionnement des techniques d'irrigation adoptés.

Un bassin de stockage est prévu en tête de réseau dont le but sera de mettre le réseau de distribution en charge, de compenser les variations journalières des débits d'eau usées traitées et aussi de permettre la réduction du temps des irrigations pendant les périodes de grandes chaleurs.

Afin d'éviter tout problème qui puisse porter atteinte à la santé publique nous recommandons de faire une surveillance minutieuse de la qualité des eaux usées épurées avant qu'elles ne soient injectées dans le réseau d'irrigation.

Bibliographie

- [1] **Asano, T. 1991.** Planification et mise en œuvre des projets de réutilisation de l'eau. Wat. Sci. Tech. 24 (9), 1-10
- [2] **TIERCELIN J.R –Alain Vidal-** Traité d'irrigation, 2^e édition
- [3] **Gijzen, H. 2000.** Traitement des eaux usées et potentiels de réutilisation à moindre coût. Une approche de production plus propre à la gestion des eaux usées). IHE, Delft.
- [4] **Bontoux L.** Municipal wastewater, public health and environment. Institute for Prospective Technological Report, octobre 1997, 18, 6 pages.
- [5] **CSHPF (1991).** Recommandations sanitaires concernant l'utilisation des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation des cultures et des espaces verts, 40 p.
- [6] **Agence de l'eau Seine-Normandie (AESN), Direction régionale de l'environnement d'Île de France.** District hydrographique Seine-Normandie – Éléments préparatoire à l'état des lieux au titre de la directive cadre européenne sur l'eau – Document interbassin Île-de-France. Document de travail, janvier 2002, 90 pages.
- [7] **BIRD-OMS-IRCWD** Rapport d'Engelberg Juin 1985
- [8] **Abdel-kader Gaid.,** épuration biologique des eaux usées, tome 1, éditions OPU 1984
- [9] **Office International de l'Eau.** Caractérisation des eaux usées
DFE/CNFME/L:\utilisat\JP\F07\DOCPDA~1\Caractérisation des EU.doc\05/04/2005
- [10] **Office International de l'Eau** Mai 1997. **Jean-Antoine FABY**
Direction de la Documentation et des Données avec l'appui technique de **François BRISSAUD.** Université de Montpellier
- [11] **Monchy,H,** 1978 “Mémento d'assainissement” Ed. EYROLLES, Paris
- [12] **BOUTIN,B et MERCIER,PN,** 1984“Traitement des eaux usées »
- [13] **FAO, 2003 :** L'irrigation avec des eaux usées traitées, manuel d'utilisation
- [14] **TOUABIA.B,** Manuel pratique d'hydrologie, Mars 2004
- [15] **Pierre-Emile Van Laere,** 2003 Mémento de l'irrigation-Manuel réalisé par ISF avec le soutien de la Direction générale de la Coopération internationale (DGCI), Belgique.

[16] **BAHBOUH .L**, 2008/2009 : Cours d'irrigation et drainage, ENSH 5^{ème} année

[17] **TEMZL.D**, 2003 : Projection d'un réseau d'irrigation sous pression et étude comparative entre l'irrigation par aspersion et l'irrigation localisée dans la vallée du Bas Isser Algérois (W-Boumerdes)-Thèse D'ingénieur D'état en Hydraulique Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique (Algérie).

[18] **Office nationale d'assainissement (ONA)**, unité de Bordj Bou-Argeridj

[19] **CLEMNT.R et GALAND.A**, irrigation par aspersion et réseaux collectifs de distribution sous pression

ANNEXES

ANNEXE N°1 : Pluies moyennes mensuelles et annuelles observées au niveau de la station pluviométrique de B.B.Arreridj durant la période (1981-2001).

ANNEXE N°2 : Seuils de rendement des cultures fonction de Ece.

ANNEXE N°3 : Coefficients culturaux (Kc) pour diverses productions agricoles.

**ANNEXE N°4 : *Besoins nets en eau d'irrigation des cultures.
*Besoins en eau de lessivage.**

ANNEXE N°5 : Besoins bruts en eau d'irrigation GIWR

Annexe N°6 : Débits spécifiques des modèles en (l/s/ha)

Annexe N°7 : Dimensionnement du réseau de distribution d'irrigation sous pression du périmètre de B.B.A

Annexe N°8 : Carte pédologique du périmètre de Bordj Bou-Arreridj

Annexe N°1 : Pluies moyennes mensuelles et annuelles (mm) observées au niveau de la station pluviométrique de B.B.Arreridj durant la période (1981-2001)

Années	S	O	N	D	J	V	M	A	M	J	J	A	P_{moy}
1981	20,4	28,3	1,1	34,6	94,9	19	34,6	37,7	9,5	21,8	1,2	0,2	303,7
1982	58,4	89,6	54,7	35,3	15,8	74,1	75,4	29,9	73,4	8,4	12,8	34,6	561,5
1983	13,1	16,3	20,4	30	25	2,9	7,2	27	17,7	20	0,3	27,1	207,8
1984	29,7	33,1	40	12,1	147	65,5	40	85,1	20	13,2	5,8	14	505,6
1985	32,7	53,5	22,7	45	65,8	33	81	30,1	31,5	21,1	3,7	3,3	424,5
1986	26,5	11,1	15,1	45,1	42,1	131,6	46	39	57,3	65,6	9,3	15,8	432,3
1987	24,55	64,7	68,2	73,7	6,9	11	16,9	1,1	23,2	1,7	1,5	27,3	320,1
1988	46,6	32,2	21	16	59,8	12	25,9	55,4	105,5	0	2,6	51,1	428,3
1989	38,5	20,7	60,3	64,8	32,3	37,7	17	56,1	63,6	5,2	5	2,4	403,1
1990	25,8	32,4	31,9	24,2	24,4	53	31,5	122,1	9,7	31,1	2,5	7,8	398,4
1991	16,4	31,5	35,4	72,5	50,9	40	40,1	55,8	10,4	8,4	19,8	20,2	401,1
1992	100,8	79,9	25,7	67,6	32,3	22,8	64,3	49,6	35	3	22	2	505,0
1993	59,4	29,9	26,2	86,4	15,2	4,7	16,1	14,6	47,1	12,6	3,5	4	319,1
1994	7,1	36,4	7,4	48	60,2	36,5	14,5	20	52,7	0	0	5,6	288,5
1995	15,2	35	35	119,9	70	70	32,4	15,2	21,6	17,8	1,4	3,5	437,2
1996	39,1	42,5	29	58,7	12,5	65,6	94,9	55,8	21,9	11,7	9,1	2,1	442,9
1997	44	20,8	27,8	38,5	47	28,5	25,2	19	23,2	1,9	19,8	8,4	304,2
1998	113,3	19,8	108	54,1	67,3	19,2	25,3	13,7	8,1	18,3	4,7	16,2	468
1999	9,2	8,9	54,1	25	45,2	35,8	20,7	119,2	43,1	10,8	5,8	21,3	398,0
2000	15,7	8,4	24,6	87	91,5	24,6	26,8	44	6,7	12,1	0	10,4	351,8
2001	20,8	0,4	9,4	100,2	36,9	36,9	30,7	41,1	21,1	41,3	1,8	1,8	342,5
P_{moy mens}	31,78	35,52	38,41	45,62	44,87	36,75	39,90	34,12	38,34	22,61	9,92	14,09	391,98

Source : ANRH (Alger)

Annexe N°2 : Seuils de rendement des cultures fonction de ECe

Classification	Cultures	Seuils de rendement en fonction de ECe (mmhos/cm)			
		0%	10%	25%	50%
Sensibles	HARICOT (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	< 1	1,5	2,5	3,5
	CAROTTE (<i>Daucus carota</i>)	< 1	1,5	3	4,5
	OIGNON (<i>Allium cepa</i>)	< 1	2	3	4,5
	PECHER (<i>prunus persica</i>)	< 1,5	2	3	4
	POIVRON (<i>Capsicum annuum</i>)	< 1,5	2	3,5	5
Moyennement sensibles	POMME DE.T (<i>Solanum tuberosum</i>)	< 1,5	2,5	4	6
	MAIS (<i>Zea mays</i>)	< 2	3	5	8,5
	VIGNE (<i>Vitis sp</i>)	< 1,5	2,5	4	6,5
	TOMATE (<i>Lycopersicon</i>)	< 2,5	3,5	5	7,5
	CONCOMBRE (<i>Cucummis stauvus</i>)	< 2,5	3,5	4,5	7,5
	NAVET (<i>Turnip</i>)	< 2	3,5	5,5	9
Tolérant	GRENADIER (<i>Punica granatum</i>)	< 2,5	4	5,5	8,5
	FIGUIER (<i>Ficus carica</i>)	< 2,5	4	5,5	8,5
	OLIVIER (<i>Olea europaea</i>)	< 2,5	4	5,5	8,5
	VESCE/AVOINE (<i>Avena sativa</i>)	< 3	4	5,5	7,5
	SUDAN GRASS (<i>sorghom sudanese</i>)	< 3	5	8,5	14,5
Très tolérant	ORGE EN VERT (<i>Barley green</i>)	< 6	7,5	9,5	13
	BLE (<i>Triticum aestivum</i>)	< 6	7,5	9,5	13
	ORGE (<i>Hordeum vulgare</i>)	< 8	10	13	18

Source : Extrait du tableau n°05 du bulletin n°29 F.A.O.

Annexe N°3: Coefficients culturaux (Kc) pour diverses productions agricoles

Culture	Stades de développement de la culture				
	Initial	Croissance	Mi-saison	Arrière-saison	Récolte
Haricot vert	0.4-0.5	0.65-0.75	0.95-1.05	0.9-0.95	0.85-0.9
Sorgho	0.3-0.4	0.7-0.75	1.0-1.15	0.75-0.8	0.5-0.55
Tomate	0.4-0.5	0.7-0.8	1.05-1.25	0.8-0.95	0.6-0.65
Blé dur	0.3-0.4	0.7-0.8	1.05-1.2	0.65-0.75	0.2-0.25
Pomme de terre	0.4-0.5	0.7-0.8	1.05-1.2	0.85-0.95	0.7-0.75
Navet	0.3-0.4	0.7-0.8	1.0-1.1	0.85-0.95	0.75-0.85
Ail	0.35-0.45	0.6-0.7	0.9-1.00	0.7-0.8	0.6-0.7
Maïs grain	0.3-0.5	0.7-0.85	1.05-1.2	0.8-0.95	0.55-0.6
Orge en vert	0.3-0.4	0.7-0.8	1.05-1.2	0.65-0.75	0.2-0.25
Avoine	0.2-0.3	0.65-0.75	1-1.15	0.6-0.7	0.2-0.25
Olivier	0.3-0.4	0.5-0.6	0.65-0.7	0.7	0.7

Premier chiffre : avec forte humidité (HRmin > 70%) et vent faible (U < 5m/s).
 Second chiffre : avec faible humidité (HRmin < 20%) et vent fort (U > 5m/s).

Source : Bulletin FAO d'irrigation et drainage n°33, tableau 18.

Annexe N°4 : Besoins nets en eau d'irrigation des cultures

Besoins nets en eau Bn (Selon le calendrier cultural) : Mensuels et annuels (mm)

CULTURES MARAICHERES

DESIGNATION		BESOINS NETS EN EAU DES CULTURES (mm)												
		Année	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août
POMME DE TERRE SAISON	Surface	12												
	B. Unitaire	736.7								25.7	88.2	206.6	262.4	153.9
	B.NET	8 840.4								308,4	1058,4	2479,2	3148,8	1846,8
TOMATE	Surface	7.5												
	B. Unitaire	756.6								34,7	91,7	202,5	262,6	165,2
	B.NET	5 674.5								260,25	687,75	1518,75	1969,5	1239
HARICOT VERT	Surface	5												
	B. Unitaire	131.9						0	43,4	88,4				
	B.NET	659.5						0	217	442				
NAVET	Surface	7.5												
	B. Unitaire	69.5	15,2	32,8	21,5									
	B.NET	521.25	114	246	161,25									
AIL	Surface	2.5												
	B. Unitaire	194				0	0	13,7	42,4	68	69,9			
	B.NET	485				0	0	34,25	106	170	174,75			
TOTAUX	Surface	34.5												
	B.NET	16 180,65	114	246	161,25	0	0	34,25	323	1 180,65	1 920,9	3 997,95	5 118,3	3 085,8

CULTURES FOURRAGERES

DESIGNATION		BESOINS NETS EN EAU DES CULTURES (mm)												
		Année	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août
SORGHO-FOURRAGER	Surface	20												
	B. Unitaire	483.6							10	95,5	180,8	185,8	11,5	
	B.NET	9 672							200	1910	3616	3716	230	
ORGE EN VERT	Surface	14												
	B. Unitaire	45.3		11,2	26,4	7,7	0							
	B.NET	634.2		156,8	369,6	107,8	0							
MAÏS	Surface	11												
	B. Unitaire	472.8						1.8	60	156	195.4	60.1		
	B.NET	5 200.8						19,8	660	1716	2149,4	661,1		
TOTAUX	Surface	45												
	B.NET	15 507	0	156,8	369,6	107,8	0	0	19,8	860	3626	5 765,4	4 377,1	230

CULTURES CEREAALLIERES

DESIGNATION		BESOINS NETS EN EAU DES CULTURES (mm)											
		Année	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil
ORGE	Surface	19											
	B. Unitaire	175.5			0	0	0	16,1	62,7	77,1	19,6		
	B.NET	3 334.5			0	0	0	305,9	1191,3	1464,9	372,4		
BLE DUR	Surface	54											
	B. Unitaire	334			0	0	0	13.5	63.4	104.6	128.3	24.3	
	B.NET	18 036			0	0	0	729	3423,6	5648,4	6928,2	1312,2	
VESCE AVOINE	Surface	4											
	B. Unitaire	115.3			0	0	9.8	29.4	53.3	22.8			
	B.NET	461.2			0	0	39,2	117,6	213,2	91,2			
TOTAUX	Surface	77											
	B.NET	21 831.7	0	0	0	0	39,2	1 152,5	4 828,1	7 204,5	7 300,6	1 312,2	0

ARBORICULTURES

DESIGNATION		BESOINS NETS EN EAU DES CULTURES (mm)												
		Année	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août
FIGUIER	Surface	5												
	B. Unitaire	368.4							18	32.1	38.9	61.5	146.7	71.2
	B.NET	1 842							90	160,5	194,5	307,5	733,5	356
GRENADIER	Surface	6												
	B. Unitaire	622.5	73,4	21.2					3	30.8	78.2	121.1	157.9	136.9
	B.NET	3 735	440,4	127,2					18	184,8	469,2	726,6	947,4	821,4
OLIVIER	Surface	9												
	B. Unitaire	675.8	76,4	35,1	5,3				17,8	46,3	79	121,1	157,9	136,9
	B.NET	6 082.2	687,6	315,9	47,7				160,2	416,7	711	1089,9	1421,1	1232,1
TOTAUX	Surface	20												
	B.NET	11 695.2	1 128	443,1	47,7	0	0	0	268,2	762	1 374,7	2 124	3 102	2 409,5

RECAPITULATIF DES BESOINS NETS EN EAU DU PERIMETRE

DESIGNATION		BESOINS NETS EN EAU DES CULTURES (mm)												
		Année	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août
MARAICHAGES	Surface	34.5												
	B.NET	16 180,65	114	246	161,25	0	0	34,25	323	1 180,65	1 920,9	3 997,95	5 118,3	3 085,8
FOURRAGERES	Surface	45												
	B.NET	15 507	0	156,8	369,6	107,8	0	0	19,8	860	3626	5 765,4	4 377,1	230
CEREALES	Surface	77												
	B.NET	21 831,7	0	0	0	0	39,2	1 152,5	4 828,1	7 204,5	7 300,6	1 312,2	0	0
ARBORICULTURES	Surface	20												
	B.NET	11 695,2	1 128	443,1	47,7	0	0	0	268,2	762	1 374,7	2 124	3 102	2 409,5
TOTAUX	Surface	176,5												
	B.NET	65 215	1 242,00	845,90	578,55	107,80	39,20	1 186,75	5 439,1	10 007,2	14 222,2	13 199,6	12 597,4	5 725,3

Besoins nets en eau Bn en m³/ha (Selon les modèles d'assolement)

Assolement A

CULTURES MOIS	BESOINS MENSUELS (mm/mois)								TOTAUX (mm)	TOTAUX (m ³ /ha)
	TOMATE 10%	NAVET 5%	AIL 5%	MAÏS 10%	ORGE 20%	BLE DUR 40%	FIGUIER 10%			
Septembre		15,2							15.2	152
Octobre		32,8							32.8	328
Novembre		21,5			0	0			21.5	215
Décembre			0		0	0			0	0
Janvier			0		0	0			0	0
Février			13,7		16,1	13.5			43.3	433
Mars			42,4	1.8	62,7	63.4	18		188.3	1883
Avril	34,7		68	60	77,1	104.6	32.1		376.5	3765
Mai	91,7		69,9	156	19,6	128.3	38.9		504.4	5044
Juin	202,5			195.4		24.3	61.5		483.7	4837
Juillet	262,6			60.1			146.7		469.4	4694
Août	165,2						71.2		236.4	2364
TOTAUX (mm)	756.6	69.5	194	472.8	175.5	334	368.4		2370.8	23708

Assolement B

	BESOINS MENSUELS (mm/mois)						
CULTURES MOIS	SORGHO- FOURRAGER 20%	ORGE EN VERT 15%	BLE DUR 40%	VESCE AVOINE 10%	OLIVIER 15%	TOTAUX (mm)	TOTAUX (m3/ha)
Septembre					76,4	76,4	764
Octobre		11,2			35,1	46,3	463
Novembre		26,4	0	0	5,3	31,7	317
Décembre		7,7	0	0		7,7	77
Janvier		0	0	9.8		9,8	98
Février			13.5	29.4		42,9	429
Mars			63.4	53.3	17,8	134,5	1345
Avril	10		104.6	22.8	46,3	183,7	1837
Mai	95,5		128.3		79	302,8	3028
Juin	180,8		24.3		121,1	326,2	3262
Juillet	185,8				157,9	343,7	3437
Août	11,5				136,9	148,4	1484
TOTAUX (mm)	483.6	45.3	334	115.3	675.8	1654	16540

Assolement C

		BESOINS MENSUELS (mm/mois)								
CULTURES MOIS	POMME.T SAISON 15%	HARICOT VERT 5%	SORGHO- FOURRAGER 10%	MAIS 10%	ORGE 15%	BLE DUR 30%	GRENADIER 10%	OLIVIER 5%	TOTAUX (mm)	TOTAUX (m3/ha)
Septembre							73.4	76,4	149,8	1498
Octobre							21.2	35,1	56,3	563
Novembre					0	0		5,3	5,3	53
Décembre					0	0			0	0
Janvier					0	0			0	0
Février		0			16,1	13.5			29,6	296
Mars		43,4		1.8	62,7	63.4	3	17,8	192,1	1921
Avril	25.7	88,4	10	60	77,1	104.6	30.8	46,3	442,9	4429
Mai	88.2		95,5	156	19,6	128.3	78.2	79	644,8	6448
Juin	206.6		180,8	195.4		24.3	121.1	121,1	849,3	8493
Juillet	262.4		185,8	60.1			157.9	157,9	824,1	8241
Août	153.9		11,5				136.9	136,9	439,2	4392
TOTAUX (mm)	736.7	131.9	483.6	472.8	175.5	334	622.5	675.8	3632,8	36328

Besoins en eau de lessivage B_L : Mensuels et annuels (mm)

DESIGNATION	BESOINS DE LESSIVAGE (mm)													
	Année	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	
MARAICHAGE														
POMME DE.T	B. Unitaire	191,54							6,68	22,93	53,72	68,22	40,01	
TOMATE		128,62							5,90	15,60	34,43	44,64	28,08	
HARICOT VERT		69,90						0	23,00	46,85				
NAVET		11,82	2,58	5,57	3,65									
AIL		32,98				0	0	2,33	7,20	11,56	11,88			
FOURRAGERS														
SORGHO-FOURRAGER	B. Unitaire	58,03							1,20	11,46	21,70	22,30	1,38	
MAÏS		99,29						0,38	12,60	32,76	41,03	12,62		
ORGE EN VERT		03,17		0,78	1,85	0,54	0							
CEREALES														
ORGE	B. Unitaire	8,78			0	0	0	0,81	3,14	3,86	0,98			
BLE DUR		23,38			0	0	0	0,95	4,44	7,32	8,98	1,70		
VESCE AVOINE		17,30			0	0	1,47	4,41	8,00	3,42				
ARBORICULTURES														
OLIVIER	B. Unitaire	101,37	11,46	5,27	0,80				2,67	6,95	11,85	18,17	23,69	20,54
FIGUIER		55,26							2,7	4,82	5,84	9,23	22,00	10,68
GRENADIER		93,38	11,01	3,18					0,45	4,62	11,73	18,17	23,69	20,54
TOTAUX (mm)		894,82	25,05	14,80	6,30	0,54	1,47	8,50	51,98	115,78	134,01	198,15	217,16	121,23

Annexe N°5 : Besoins bruts en eau d'irrigation GIWR

Besoins bruts en eau GIWR en m³/ha (Selon les modèles d'assolement)

Assolement A

CULTURES MOIS	BESOINS MENSUELS BRUTS (mm/mois)								
	TOMATE 10%	NAVET 10%	AIL 5%	MAÏS 10%	ORGE 20%	BLE DUR 40%	FIGUIER 5%	TOTAUX (mm)	TOTAUX (m ³ /ha)
Septembre		18.67						18.67	186.70
Octobre		40.30						40.30	403,00
Novembre		26.41			0	0		26.41	264.10
Décembre			0		0	0		0	0
Janvier			0		0	0		0	0
Février			16.84		26.83	22.5		66.17	661.70
Mars			52.09	3	104.50	105.67	21.67	287.02	2870.20
Avril	42.62		83.56	100	128.50	174.33	38.80	567.83	5678.30
Mai	112.69		85.90	260	32.67	213.83	47.02	752.11	7521.10
Juin	248.85			325.67		40.5	74.34	689.36	6893.60
Juillet	322.69			100.17			177.33	600.19	6001.90
Août	202.99						86.06	289.06	2890.60
TOTAUX (mm)	929.73	85.40	238.40	788,00	292.50	556.67	445.22	3336.03	33360.30

Assolement B

CULTURES MOIS	BESOINS MENSUELS BRUTS (mm/mois)						
	SORGHO- FOURRAGER 20%	ORGE EN VERT 15%	BLE DUR 40%	VESCE AVOINE 10%	OLIVIER 15%	TOTAUX (mm)	TOTAUX (m3/ha)
Septembre					92,35	92,35	923,50
Octobre		18,67			42,43	61,1	611,00
Novembre		44,00	0	0	6,41	50,41	504,10
Décembre		12,83	0	0		12,83	128,30
Janvier		0,00	0	16,33		16,33	163,30
Février			22,5	49,00		71,5	715,00
Mars			105,67	88,83	21,52	216,02	2160,20
Avril	16,67		174,33		55,97	246,97	2469,70
Mai	159,17		213,83		95,50	468,5	4685,00
Juin	301,33		40,5		146,39	488,22	4882,20
Juillet	309,67				190,88	500,55	5005,50
Août	19,17				165,49	184,66	1846,60
TOTAUX (mm)	806,00	75,50	556,67	192,17	816,92	2447,26	24472,60

Assolement C

CULTURES MOIS	BESOINS MENSUELS BRUTS (mm/mois)									
	POMME.T SAISON 15%	HARICOT VERT 10%	SORGHO- FOURRAGER 10%	MAÏS 5%	ORGE 15%	BLE DUR 30%	GRENADIER 10%	OLIVIER 5%	TOTAUX (mm)	TOTAUX (m3/ha)
Septembre							88,73	92,35	181,08	1810,80
Octobre							25,63	42,43	68,06	680,60
Novembre					0	0		6,41	6,41	64,10
Décembre					0	0			0	0
Janvier					0	0			0	0
Février		0			26,83	22,5			49,33	493,30
Mars		68,95		3	104,50	105,67	3,63	21,52	307,27	3072,70
Avril	33,89	140,45	16,67	100	128,50	174,33	37,23	55,97	687,04	6870,40
Mai	116,32		159,17	260	32,67	213,83	94,53	95,50	972,02	9720,20
Juin	272,47		301,33	325,67		40,5	146,40	146,39	1232,76	12327,60
Juillet	346,06		309,67	100,17			190,88	190,88	1137,66	11376,60
Août	202,96		19,17				165,49	165,49	553,11	5531,10
TOTAUX (mm)	971,58	209,56	806,00	788,00	292,50	556,67	752,50	816,92	5193,73	51937,30

Annexe N°6 : Débits spécifiques des modèles en (l/s/ha)

Modèle A

CULTURES MOIS	Débits spécifiques en (l/s/ha)							Débit spécifique moyen (l/s/ha)
	TOMATE	NAVET	AIL	MAÏS	ORGE	BLE DUR	FIGUIER	
Septembre		0,09						0,09
Octobre		0,20						0,20
Novembre		0,13			0	0,00		0,04
Décembre			0		0	0,00		0,00
Janvier			0		0	0,00		0,00
Février			0,08		0,13	0,11		0,11
Mars			0,26	0,01	0,52	0,53	0,11	0,29
Avril	0,21		0,42	0,50	0,64	0,87	0,19	0,47
Mai	0,56		0,43	1,29	0,16	1,06	0,23	0,62
Juin	1,24			1,62		0,20	0,37	0,86
Juillet	1,61			0,50			0,88	1,00
Août	1,01						0,43	0,72

Modèle B

	Débits spécifiques en (l/s/ha)					
CULTURES MOIS	SORGHO- FOURRAGER	ORGE EN VERT	BLE DUR	VESCE AVOINE	OLIVIER	Débit spécifique moyen (l/s/ha)
Septembre					0,48	0,48
Octobre		0,10			0,22	0,16
Novembre		0,23	0	0	0,03	0,06
Décembre		0,07	0	0		0,02
Janvier		0	0	0,08		0,03
Février			0,12	0,25		0,18
Mars			0,54	0,46	0,11	0,37
Avril	0,09		0,90		0,29	0,42
Mai	0,82		1,10		0,49	0,80
Juin	1,55		0,21		0,75	0,84
Juillet	1,59				0,98	1,29
Août	0,10				0,85	0,47

Modèle C

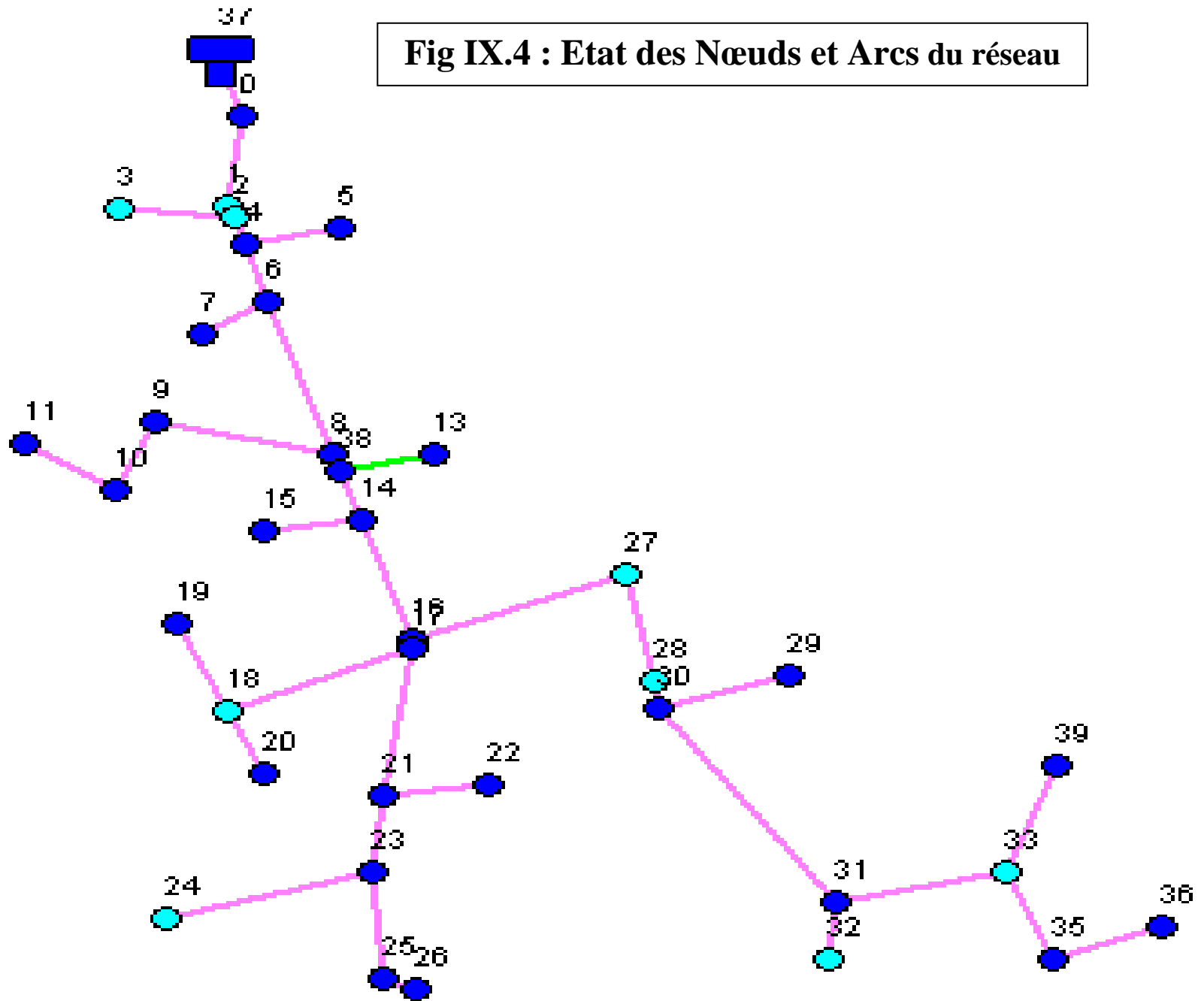
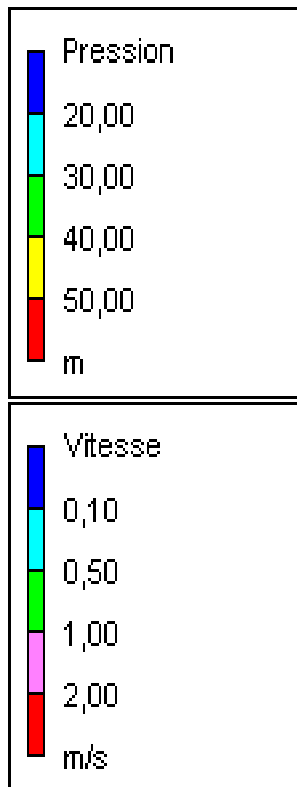
CULTURES MOIS	Débits spécifiques en (l/s/ha)								Débit spécifique moyen (l/s/ha)
	POMME.T SAISON	HARICOT VERT	SORGHO- FOURRAGER	MAÏS	ORGE	BLE DUR	GRENADIER	OLIVIER	
Septembre							0,46	0,48	0,47
Octobre							0,13	0,22	0,18
Novembre					0	0		0,03	0,01
Décembre					0	0			0,00
Janvier					0	0			0,00
Février		0			0,14	0,12			0,08
Mars		0,35		0,02	0,54	0,54	0,02	0,11	0,26
Avril	0,17	0,72	0,09	0,51	0,66	0,90	0,19	0,29	0,44
Mai	0,60		0,82	1,34	0,17	1,10	0,49	0,49	0,71
Juin	1,40		1,55	1,68		0,21	0,75	0,75	1,06
Juillet	1,78		1,59	0,52			0,98	0,98	1,17
Août	1,04		0,10				0,85	0,85	0,71

Annexe N°7 : Dimensionnement du réseau de distribution sous pression du périmètre de B.B.A

État des Nœuds du Réseau

N° Nœud	Altitude (m)	Débit Q (l/s)	Charge (m)	Pression (m)	N° Nœud	Altitude (m)	Débit Q (l/s)	Charge (m)	Pression (m)
1	904	0	924,94	20,94	21	900	0	915,95	15,95
2	904	0	924,85	20,85	22	898,924	13,41	913,66	14,74
3	900,039	10,13	920,77	20,73	23	897,387	0	914,83	17,44
4	908,7	0	924,67	15,97	24	887,894	15,88	908,3	20,41
5	908	11,5	923,05	15,05	25	894	0	910,68	16,68
6	916	0	924,33	8,33	26	894	9,12	909,57	15,57
7	907,785	10,09	923,29	15,51	27	898,5	0	919,2	20,7
8	909,797	0	923,5	13,71	28	897,441	0	918	20,56
9	898,754	0	917,82	19,06	29	897	18,65	914,76	17,76
10	897,482	0	914,79	17,3	30	897,963	0	917,71	19,74
11	893,101	9,4	911,35	18,24	31	894,394	0	913,24	18,85
13	907,3	11,51	922,39	15,09	32	890,614	14,28	911,4	20,79
14	910,498	0	922,56	12,06	33	888,145	0	909,11	20,97
15	924	9,54	921,43	-2,57	35	886,645	0	906,37	19,72
16	905	0	921,1	16,1	36	892,131	18,72	903,72	11,59
17	904	0	920,86	16,86	37 (R)	922	—	924	2
18	892	0	918,91	26,91	38	910	0	923,22	13,22
19	896,967	9,43	914,97	18	39	892,5	18,58	905,9	13,4
20	899,123	14,09	916,65	17,53	0	912,093	0	925,59	13,49

Fig IX.4 : Etat des Nœuds et Arcs du réseau



Dimensionnement de la conduite maîtresse, branches et sous branches

	Tronçon	Longueur (m)	Débit Q (l/s)	Diamètre normalisé (mm)	Matériau	Rugosité	Vitesse (m/s)	Perte de charge unitaire (m/ml)
Conduite maîtresse CM	1	86,43	194,33	400	PVC	0,1	1,55	0,00479
	2	134,52	194,33	400			1,55	0,00479
	3	19,42	194,33	400			1,55	0,00479
	4	41,89	184,2	400			1,47	0,00432
	5	88,93	172,7	400			1,37	0,00382
	6	242,17	162,61	400			1,29	0,0034
	10	27,86	153,21	315			1,97	0,0102
	27	75,62	141,7	315			1,82	0,00876
	11	190,63	132,16	315			1,7	0,00766
	12	260,01	70,23	250			1,43	0,00731
	13	164,24	70,23	250			1,43	0,00731
	14	39,73	70,23	250			1,43	0,00731
	15	356,35	51,58	200			1,64	0,01253
	16	197,87	37,3	160			1,86	0,02088
	17	141,35	18,72	125			1,53	0,01941
	18	136,33	18,72	125			1,53	0,01941

		Tronçon	Longueur (m)	Débit Q (l/s)	Diamètre normalisé (mm)	Matériau	Rugosité	Vitesse (m/s)	Perte de charge unitaire (m/ml)
Branches	A	29	128,47	10,13	90	PVC	0,1	1,59	0,03174
	B	30	110,65	11,5	110			1,21	0,01458
	C	31	91,29	10,09	110			1,06	0,01135
	D	7	206,88	9,4	90			1,48	0,02748
		8	110,39	9,4	90			1,48	0,02748
		9	125,17	9,4	90			1,48	0,02748
	E	28	108	11,51	125			0,94	0,00674
	F	32	110,4	9,54	110			1,00	0,0102
	G	19	226,80	23,52	160			1,17	0,00859
		20	142,58	9,43	90			1,48	0,02765
		21	104,81	14,09	110			1,48	0,02153
		22	13,45	61,93	200			1,97	0,01785
		23	115,58	25	160			1,24	0,00965
		24	160,31	9,12	90			1,43	0,02593
		25	42,76	9,12	90			1,43	0,02593
		26	240,73	15,88	110			1,67	0,02712
		33	116,64	13,41	110			1,41	0,01958
	37	222,23	38,41	160	1,91			0,0221	

Branches	H	34	153,08	18,65	125	PVC	0,1	1,52	0,01927
	I	35	83,28	14,28	110			1,5	0,0221
	J	36	167,98	18,58	125			1,51	0,01913

Récapitulatif des conduites et estimation du coût

Diamètre conduite d'adduction	Longueur m	Pourcentage %	Matériaux des conduites d'adduction	Prix unitaires DA/ml TTC	Fourniture DA
400	613	12,30	PVC PN10	6429.25	3941130
315	294	5,90		3630.20	1067278
250	464	9,31		2003.68	929707
200	370	7,42		1070.40	396048
160	762.50	15,29		895.37	682719,
125	707	14,18		623,40	440743
110	858	17,21		472.89	405739
90	917	18,39		300	275100
Total	4985.50	100%			