

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

**ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DE L'HYDRAULIQUE
«ARBAOUI Abdellah »**

DEPARTEMENT GENIE DE L'EAU

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

Option : Conception Des Systèmes d'Irrigation et de Drainage

THEME :

**La réutilisation des eaux usées épurées de la nouvelle
station d'épuration de Ben Chougrane pour irriguer
des terres de la zone de Mouzaia**

Présenté par :

M^r : DERBAL BRAHIM

Promoteur:

M^r : RAISSI.OMAR

Devant le jury composé de :

Président : M^r T. KHETTAL

**Examineurs : M^{me} S. LEULMI
M^{me} L. S.BAHBOUH
M^{me} H. BOUCHAMA
M^r M. MESSAHEL**

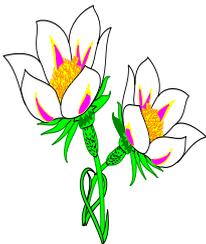
Octobre 2011



Remerciement

Au terme de cette étude, je tiens à exprimer mes vifs remerciements :

- * A mon promoteur M^r : RAISSI.OMAR pour ces conseils et ses consultations qui m'ont tout aidé a la réalisation de mon projet.*
- * A tout le corps enseignants et le personnel de l'ENSH qui ont contribuer de prés où de loin a ma formation.*
- * Aux membres de jury qui auront à juger et à apprécier ce travail.*
- * Je tiens aussi a remercier mes amis qui m'ont aidé pendant la réalisation de projet.*



DERBAL BRAHIM



∞ Dédicaces ∞

Je dédie ce modeste travail :

* *A ma mère qui m'a tant aidé et encourager.*

* *A tous mes frères et sœurs.*

* *A toute la famille : DERBAL.*

* *A tou(s) (tes) mes ami(s) (es).*

* *Toute ma promotion, en générale et tous les étudiants de l'option irrigation et drainage en particulier*



DERBAL BRAHIM

ملخص

في هذا المشروع قمنا بدراسة كيفية تزويد الأراضي الزراعية المكونة لمحيط موزاية 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.

Résumé

L'objectif de ce projet est la conception du réseau d'irrigation qui va alimenter en eaux usées traitées le périmètre de Mouzaia à partir de la station d'épuration .
Pour cela nous avons fait une étude générale sur les caractéristiques climatiques ainsi que les caractéristique des sols de la région.

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 Mouzaia from the station of purification .
For it we made a general survey on the climatic feature as well as the characteristic of the soils of the region.

**SOMMAIRE**

Page

Liste des tableaux

Lista des figures

Introduction générale**Chapitre I : Consediration générale surla réutilisation des eaux usées épurées**

- introduction.....	1
I.1-les motifs.....	1
I.2-les usages possibles.....	1
I.3- les applications des projets de REUE	1
I.4- la réutilisation des eaux usées épurées dans le monde	2
I.4.1- le continent américain.....	2
I.4.2- le bassin méditerranéen.....	3
I.4.3- le japon.....	4
I.4.4- l'Australie.....	4
I.4.5 - la réutilisation des eaux usées épurées en Algérie.....	5
I.4.5.1- Situation des stations d'épurations.....	5
I.4.5.2- Perspectives de réutilisation des EUE en agriculture	5
I.5-L'objectif de la réutilisation des eaux usées épurées	6
I.6- la marche de la réutilisation.....	7
I.7- réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation des terres	7
I.7.1 – l'intérêt.....	8
I.7.2 – les risques liés à la réutilisation agricole des eaux épurées	9
a) le risque microbiologique	9
b) les risques chimiques.....	10
c) le risque environnemental	11
– conclusion.....	12

Chapitre II :Origine et caractéristique des eaux usées

II.1 Généralités	13
II.1.1- les rejets domestiques	13
II.1.2- Eaux de ruissellement.....	14
II.1.3 -les rejets industriels.....	14
II.2- Composition des eaux usées.....	14
II.2.1-les virus.....	15
II.2.2-les bactéries.....	17
II.2.3- les protozoaires.....	17
II.2.4- les helminthes.....	18
II.2.5-les matières en suspension.....	20
II.2.6-les métaux lourds.....	20
II.2.7-les micro-polluants organiques	21
II.2.8-les substances nutritives	21
II.3-Evaluation de la pollution.....	22
II.3.1-Définition de la pollution.....	22
II.3.2-Origine de la pollution.....	22
II.3.3-Pollution des eaux usées.....	23
II.3.3.1-Pollution organique.....	23



II.3.3.2-Pollution microbiologique	23
II.3.3.3-Pollution minérale	23
II.3.3.4-Pollution toxique	23
II.3.4-Paramètres de la pollution	24
II.3.4.1-Paramètres physiques	24
a-température	24
b-la turbidité	24
c-la couleur	24
d-conductivité électrique	24
e-odeur	24
f-matières en suspension	24
g-matières volatiles en suspension	24
h-matières minérales	24
II.3.4.2-Paramètres chimiques	24
a-le PH	24
b-la demande biochimique en oxygène	25
c- la demande chimique en oxygène	25
d-les nutriments	25
II.3.5-le rapport DCO/DBO₅	25
II.3.6-mesure de la pollution	25
II.4-les normes de rejet	26
- conclusion	27

Chapitre III : Filières de traitements des eaux usées

- introduction	28
III.1-le relevage	28
III.2-les prétraitements	29
a) dégrillage	29
b) dessablage	30
c) déshuileur	30
III.3- le traitement primaire	31
III.4- le traitement secondaire	32
III.4.1- le procédé biologique	33
a) les procédés biologiques extensifs	33
b) les procédés biologiques intensifs	34
III.5- clarification et rejet des effluents	36
III.6- les traitements complémentaires	36
III.6.1- désinfection	36
a) La chloration	37
b) L'ozonation	37
c) Le rayonnement ultraviolet	37
III.7-Critère de choix de site de la STEP	38
III.8-Choix de procédés de traitement biologique	39
- conclusion	39



Chapitre IV : les données de base sur la nouvelle station de Benchougrane

IV.1 -situation géographique.....	40
IV.2-Rappel des données de base	40
IV.2.1-Procède de traitement	40
IV.2.2- Données de base.....	40
IV.3- Rappel des travaux et ouvrages a réalise.....	41
IV.4 - Dimensionnement des ouvrages de la station d'épuration	42
IV.4.1-Dimensionnement des ouvrages de prétraitements	42
a- amène des eaux	42
b- poste de relevage des eaux usées	42
c-dégrillage	42
d-dessableur - déshuileur	43
IV.4.2- Dimensionnement des ouvrages de traitement de l'eau	43
IV.4.2.1- Dimensionnement du bassin sélecteur d'homogénéisation	44
IV.4.2.2-Bassins d'Aération (1 ^{er} et 2 ^{ème} Etages).....	44
IV.4.2.3-Bassins de Décantation/Clarification	45
IV.4.3-Dimensionnement des Bassins de Désinfection	46
IV.4.4-Dimensionnement des Ouvrages de Traitement des Boues	47
IV.4.4.1- Dimensionnement du Digesteur Aérobie	47
IV.4.4.2-Dimensionnement des lits de séchage	48
IV.4.4.3-Pompes à boues et retour du Filtrat	48
-Conclusion	48

Chapitre V : étude théorique sur la qualité des eaux usées épurées

- Introduction.....	49
V.1-Qualité de l'eau d'irrigation.....	49
V.2- Norme de la qualité de l'eau d'irrigation.....	50
V.3- Classification des eaux pour l'irrigation	51
V.3.1- Classification mondiale (F.A.O).....	51
V.3.2-Classification Russe	52
V.3.3- Classification U.S.S.L	52
V.4- Risque et mesure de l'alcalinité	54
V.5-Qualité microbiologique des eaux usées traitées.....	55
V.6-Qualité de l'eau traitée et risque de colmatage physique et biologique du système d'irrigation localisée	57
V.7- Normes des paramètres physiques	58
V.8-Recommandation	59
-Conclusion	59

Chapitre VI : Présentation de périmètre à irriguer

- introduction.....	60
VI.1- Caractéristiques hydrologiques et géographiques de la région d'étude	60
VI.1.1- Climatologie	61
VI.1.1.1- la température	61
VI.1.1.2- les précipitations.....	63
VI.1.1.3- le Vent.....	64



VI.1.1.4- l'humidité relative de l'air	64
VI.1.1.5- Evaporation	64
VI.1.1.6- Insolation.....	65
VI.1.2-classification de climat.....	65
VI.1.2.1-Classification du climat selon l'indice de MARTONNE.....	65
VI.1.2.2-climogramme de GAUSSEN	66
VI.1.2.3- Classification du climat selon diagramme de Mr EMBERGER.....	67
VI.1.3- Aperçu hydrogéologique.....	68
VI.1.4- Hydrologie.....	69
VI.1.4.1- Détermination de l'année de calcul	69
VI.1.4.2- homogénéité de la série pluviométrique	69
VI.1.4.3-Choix du type de loi	71
VI.1.4.3.1- Ajustement à la loi normale (Gauss).....	71
VI.1.4.3.2-Ajustement à la loi log-Normale (GALTON).....	74
VI.1.4.3.3-Test de validité d'un ajustement	76
a)Test de validité de l'ajustement à la loi Normale	76
b)Test de validité de l'ajustement à la loi log-Normale	76
VI.1.5- étude des sols.....	77
VI.1.5.1- Etat physique du sol	77
a) Texture.....	77
b) Structure.....	78
c)La Perméabilité.....	78
VI.1.5.2-Type de sols rencontrés.....	79
VI.1.5.2.1- Classe des sols peu évolués	79
VI.1.5.2.2- Classe des sols carbonatés	80
VI.1.5.2.3- Classe des vertisols	80
VI.2-Impact des eaux résiduaires sur les milieux récepteurs.....	83
Conclusion.....	84

Chapitre VII : les besoins en eau d'irrigation des cultures

-Introduction.....	85
VII.1-Plan cultural	85
VII.1.1-Répartition des cultures	85
VII.2- Détermination des besoins en eau d'irrigation	87
VII.2.1- Définition	87
VII.2.2- Calcul des besoins en eau d'irrigation pour les cultures.....	87
VII.2.3-Evapotranspiration réelle ou de culture (ETR OU ETC).....	88
VII.2.4-Calcul de l'évapotranspiration potentielle ou de référence	89
VII.2.4.1- METHODE DE M ^R PENMAN&MOTHEIT MODIFIEE.....	89
VII.2.5-La pluie efficace.....	91
VII.2.6-Durée de chaque culture	93
VII.3- efficacité de l'irrigation.....	100
VII.4- Besoins nets en eau d'irrigation.....	100
-Conclusion.....	103

Chapitre VIII : le réseau d'aduction

-Introduction.....	104
--------------------	-----



VIII.1-Type d'adduction	104
VIII.2- Choix du tracé (condition technique)	104
VIII.3- Choix du type de tuyaux	105
VIII. 4- Conditions économique	105
VIII.5- Calcul du diamètre économique de la conduite de refoulement « D_{ec} »	107
a) Dimensionnement de la conduite	107
b)Méthode de calcul	107
VIII.6- Choix des pompes	110
VIII.6.1- Choix du nombre de pompe	110
VIII.6.2- Courbes caractéristiques des pompes	111
VIII.6.3- Point de fonctionnement	112
VIII.7-Calcul du diamètre avantageux pour la conduite gravitaire (réservoir vers tête de réseau)	116
VIII.7.1-Calcul des longueurs des diamètres normalisés	118
-Conclusion	119
Conclusion générale	



<u>Liste des tableaux</u>	<u>page</u>
<i>Tableau I.1 : Perspectives de traitement et de réutilisation des EE en irrigation</i>	<u>6</u>
<i>Tableau II.2 : Les virus dans les eaux usées</i>	<u>16</u>
<i>Tableau II.3 : Les bactéries pathogènes dans les eaux usées</i>	<u>17</u>
<i>Tableau II.4 : Les parasites pathogènes dans les eaux usées</i>	<u>18</u>
<i>Tableau II.5 : Facteurs environnementaux modifiant la survie des microorganismes</i>	<u>19</u>
<i>Tableau II.6: Temps de survie des pathogènes excrétés à 20–30 °C</i>	<u>20</u>
<i>Tableau II.7: Limites de concentration pour des métaux en eau usée traitée</i>	<u>21</u>
<i>Tableau II-8: Paramètres qui caractérisent la pollution</i>	<u>26</u>
<i>Tableau II-9: Les normes de rejet des eaux usées en vigueur en Algérie sont</i>	<u>27</u>
<i>Tableau III.1 : Avantages et inconvénients du traitement physico–chimique</i>	<u>33</u>
<i>Tableau III.2 : Avantages et inconvénients du procédé à boues activées</i>	<u>35</u>
<i>Tableau IV.1 : les données de base sur le dimensionnement</i>	<u>41</u>
<i>Tableau V.1 : norme de la qualité de l'eau d'irrigation</i>	<u>51</u>
<i>Tableau V.2 : tolérance des plantes aux sels (FAO 2005)</i>	<u>52</u>
<i>Tableau V.3 : Le risque du SAR dans l'eau d'irrigation</i>	<u>55</u>
<i>Tableau V.4 : Directives concernant la qualité microbiologique des eaux usées utilisées en irrigation (OMS, 1989)</i>	<u>56</u>
<i>Tableau V.5 : risque de colmatage du système d'irrigation localisée</i>	<u>57</u>
<i>Tableau V.6: valeurs fixées en concentrations désirables et maximales</i>	<u>58</u>
<i>Tableau V.5: Teneurs maximales d'éléments recommandées pour les eaux d'irrigation</i>	<u>58</u>
<i>Tableau VI.1 : températures moyennes mensuelles et annuelles de mozaia</i>	<u>62</u>
<i>Tableau VI.2 : série pluviométrique (station de mouzaia 1988–2007)</i>	<u>63</u>
<i>Tableau VI.3 : les précipitations moyennes mensuelles Période (1988-2007)</i>	<u>63</u>
<i>Tableau VI.4 : les moyennes mensuelles des vitesses de vent</i>	<u>64</u>
<i>Tableau VI.5 : l'humidité relative de l'air</i>	<u>64</u>
<i>Tableau VI.6 : évaporation moyennes mensuelles</i>	<u>64</u>
<i>Tableau VI.7 : insolation Moyenne mensuelle</i>	<u>65</u>



<i>Tableau VI.8: Classification du climat selon M' MARTONNE</i>	<u>66</u>
<i>Tableau VI.9 : Test de Wilcoxon pour la station de mouzaia (021132)</i>	<u>70</u>
<i>Tableau VI.10 : ajustement à la loi de gauss</i>	<u>72</u>
<i>Tableau VI.11 : ajustement à la loi de galton</i>	<u>74</u>
<i>Tableau VI.12 : Précipitations moyennes mensuelles</i>	<u>77</u>
<i>Tableau VI.13 : Précipitations moyennes mensuelles de l'année de calcul</i>	<u>77</u>
<i>Tableau VI-14: Différentes classes de perméabilité</i>	<u>78</u>
<i>Tableau VI-15 : nature du sol et sa valeur de K</i>	<u>79</u>
<i>Tableau VI.16 : Composition granulométrique des vertisols de la zone d'étude</i>	<u>81</u>
<i>Tableau VI.17 : Composition physico-chimique des vertisols</i>	<u>82</u>
<i>Tableau VII.1 : superficie des cultures</i>	<u>85</u>
<i>Tableau VII.2: surface occupée par les différentes cultures</i>	<u>87</u>
<i>Tableau VII.3 : Evapotranspiration de référence de la zone de projet selon Penman&Monteith</i>	<u>91</u>
<i>Tableau VII.4 : les pluies efficaces</i>	<u>92</u>
<i>Tableau. VII.5 : Calendrier cultural</i>	<u>93</u>
<i>Tableau VII.6: besoins en eau d'irrigation du blé dur</i>	<u>94</u>
<i>Tableau VII.7 : besoins en eau d'irrigation des agrumes</i>	<u>95</u>
<i>Tableau VII.8 : besoins en eau d'irrigation de la pomme de terre</i>	<u>96</u>
<i>Tableau VII.9 : besoins en eau d'irrigation du sorgho</i>	<u>96</u>
<i>Tableau VII.10 : besoins en eau d'irrigation de l'oignon sec</i>	<u>97</u>
<i>Tableau VII.11 : besoins en eau d'irrigation des vignes</i>	<u>98</u>
<i>Tableau VII.12 : besoins en eau d'irrigation du pommier</i>	<u>99</u>
<i>Tableau VII.13 : détermination des besoins en eau des cultures</i>	<u>101</u>
<i>Tableau VII.14 : Tableau récapitulatif des besoins totaux en eau</i>	<u>102</u>
<i>Tableau VII.15 : les besoins du mois de pointe</i>	<u>103</u>



<i>Tableau .VIII.1 : le volume de stockage nécessaire</i>	<u>106</u>
<i>Tableau VIII.2: Calcul de la HMT</i>	<u>109</u>
<i>Tableau VIII.3: Calcul des frais d'amortissement</i>	<u>109</u>
<i>Tableau VIII.4: Calcul des frais d'exploitation</i>	<u>110</u>
<i>Tableau VIII.6 : Caractéristiques des pompes en fonction de leur nombre</i>	<u>110</u>
<i>Tableau VIII.7 : Courbe caractéristique de la conduite de refoulement (SP-Réservoir)</i>	<u>113</u>
<i>Tableau VIII.8: Coefficient de correction en fonction de la puissance</i>	<u>115</u>
<i>Tableau VIII.9: Coefficients K', m, β pour différents types du tuyau</i>	<u>116</u>



<i>Liste des figures</i>	<i>page</i>
<i>Figure III.1 : les procédés de traitement dans une station d'épuration</i>	<u>28</u>
<i>Figure III.2 : Schéma d'un poste de relevage par Vis d'Archimède</i>	<u>29</u>
<i>Figure III.3 : Types de grilles</i>	<u>30</u>
<i>Figure III. 4 : Schéma d'un dessableur-déshuileur</i>	<u>30</u>
<i>Figure III.5 : Racleur des graisses</i>	<u>31</u>
<i>Figure III.6: Décanteur primaire et secondaire</i>	<u>32</u>
<i>Figure V.1 :Diagramme de classification des eaux d'irrigation d'après l'USSSL(1954)</i>	<u>54</u>
<i>Figure VI. 1:Localisation du Périmètre à irrigue</i>	<u>60</u>
<i>Figure VI.2 : Climogramme de GAUSSEN</i>	<u>66</u>
<i>Figure VI.3 :diagramme de Mr EMBERGER</i>	<u>67</u>
<i>Figure VI.3 :ajustement a la loi de GAUSS</i>	<u>73</u>
<i>Figure VI.3 :ajustement a la loi de GALTON</i>	<u>75</u>
<i>Figure VIII.1 : les courbes caractéristiques</i>	<u>112</u>
<i>Figure VIII.4 : Point de fonctionnement des pompes de la Station de pompage</i>	<u>114</u>

INTRODUCTION GENERALE

L'Algérie est connue par des conditions climatiques très défavorables dans une région (Maghreb) généralement considérée comme semi-aride à aride. Elle dépend entièrement pour son alimentation en eau des volumes des eaux de ruissellement des oueds dont on connaît les régimes capricieux et l'irrégularité des précipitations. En plus, il y a une utilisation anarchique des nappes et une croissance urbaine accélérée. Devant cette situation et pour satisfaire les besoins en eau dans différents secteurs, la réutilisation des eaux usées épurées pourrait constituer une alternative intéressante. Elle permet, entre autre, de soulager les milieux récepteurs, cours d'eau et limite l'impact environnemental des rejets urbains.

Si l'idée de réutilisation des eaux usées épurées est généralement admise comme étant une hypothèse sérieuse pour une augmentation substantielle des volumes disponibles pour satisfaire à des domaines divers comme l'irrigation, l'industrie..., elle demeure peu développée, essentiellement en raison des risques sanitaire qu'elle peut engendrer. D'autres considérations telles que la qualité des eaux, les perceptions culturelles et les contraintes économiques sont tant d'obstacles au développement de la réutilisation des eaux usées qu'il convient d'identifier avant d'étudier les possibilités de les surmonter.

En Algérie, l'eau est une donnée de plus en plus rare et de moins en moins renouvelable. Elle est l'objet d'une exploitation concurrentielle puisque aussi, bien l'agriculture, l'industrie et la ville, se disputent la disponibilité et réagissent par leur effet sur sa qualité. Les ressources en eau, déjà réduite, le seront davantage si certains d'entre-elles sont rendues inutilisables du fait de la pollution par les rejets des eaux usées domestiques et industrielles, ou par des produits chimiques utilisés dans l'agriculture.

Dans notre projet. on a fait une étude d'adduction des eaux traitées de la nouvelle station d'épuration de Benchougrane vers le périmètre d'irrigation de la zone de Mouzaia qui s'étend sur une superficie de 900 Ha , dont La capacité de la nouvelle station d'épuration satisfaire les besoins en eau de périmètre d'étude .

Introduction :

La réutilisation ou le recyclage des eaux usées est un moyen efficace de préserver les ressources en eaux naturelles. Par rapport aux filières classiques de traitement conçues pour rejeter dans le milieu naturel, la réutilisation des eaux usées nécessite un complément de traitement pour rendre la qualité de l'eau traitée compatible à l'usage que l'on veut en faire.

La définition stricte de la réutilisation exclut donc le recyclage. Il s'agit, dans ce cas d'une réutilisation interne des eaux dans un cycle de production dans le but du contrôle de pollution et de l'économie des ressources en eau. Le recyclage est en conséquence l'affaire de l'utilisation initiale. La réutilisation des eaux sert à des usagers nouveaux par rapport aux usagers initiaux. Le nouvel usage nécessite en général un traitement des eaux pour les ramener à une qualité satisfaisante et compatible avec l'usage envisagé.

I.1-Les 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.2-Les usages possibles :

Théoriquement, on peut utiliser les effluents des villes pour de nombreux usages :

- Irrigation / Agriculture.
- Recharge des aquifères.
- Industrie.
- Usages municipaux (lavage de chaussées, arrosage).
- Loisirs (baignades, navigation / plaisance, pêche).

I.3- Les applications des projets de REUE :

Les applications des projets de REUE sont multiples. Elles dépendent de nombreux facteurs que l'on peut regrouper en cinq classes :

- a) **Le contexte socio-économique** : le type d'activité industrielle, le nombre et la densité de l'habitat, l'importance de l'agriculture, la présence d'usines de production d'énergie, etc.

- b) **Le contexte écologique** : la quantité des ressources disponibles, la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines, la sensibilité du milieu récepteur à l'eutrophisation et aux autres pollutions, le contexte hydrogéographique, etc.
- c) **Le niveau de traitement des eaux** : A chaque niveau de traitement, on peut appliquer un usage différent.
- d) **La réglementation** : Elle limite les usages en fonction de la qualité de l'eau utilisée et donc de son niveau de traitement. Plus le niveau sanitaire est bon, plus les applications autorisées seront nombreuses.
- e) **L'acceptation par la population** : Ce dernier aspect n'est pas à négliger. L'idée de réutiliser des eaux usées peut avoir un impact psychologique négatif sur la population. [10]

I.4- La réutilisation des eaux usées épurées dans le monde :

La réutilisation des eaux usées épurées est une pratique très répandue dans les régions de monde affectées par des pénuries de ressources en eau, la réutilisation des eaux usées à des fins agricoles connaît une large expansion de part le monde. Pour bien fixer les idées nous donnerons à titre illustratif le cas de certaines régions

I.4.1- Le continent américain :

Aux Etats-Unis, 34 Etats disposent de réglementations ou de recommandations relatives à l'usage agricole des eaux usées ; Dans ce pays, les réglementations sont souvent très strictes. Par exemple, en Californie, la norme imposée pour l'irrigation par aspersion des cultures à consommation humaine et l'arrosage de zones où un contact corporel est possible avec la végétation (parcs, terrains de jeu, pelouses d'écoles...) était en 1993 de 2,2-2.5 coliformes totaux par 100 millilitres. Les grandes réussites de réutilisation des eaux usées traitées sont ceux de Bakersfield et Orange County en Californie et Manatee County en Floride. A Bakersfield, 64000 m³ par jour d'effluents primaires et secondaires issus de trois stations d'épuration sont utilisés pour l'irrigation de coton, de luzerne, de maïs, d'orge et de betteraves à sucre. A Orange County, 800 hectares d'espaces verts urbains sont arrosés et 400 hectares de terres agricoles sont irrigués. Enfin, à Manatee County, 79000 m³ par jour sont utilisés pour irriguer des terrains de golf et des parcs et 3000 hectares de cultures agricoles et de pépinières sont irrigués. [1]

Sur le continent américain, cette pratique est également réalisée dans plusieurs pays d'Amérique du Sud ainsi qu'au Mexique. Il faut souligner que seulement 6% des eaux usées brutes sont épurés. En 1996, les eaux usées brutes de Mexico étaient encore utilisées en irrigation agricole et notamment dans le cadre du plus grand plan d'irrigation du monde (irrigation de 85000 hectares de maïs, d'orge et de tomates). [2]

I.4.2- Le bassin méditerranéen :

La réutilisation agricole des eaux usées a toujours existé et est aujourd'hui une pratique largement répandue sur le pourtour sud de la Méditerranée, de l'Espagne à la Syrie. En effet, le bassin méditerranéen est une région où la pénurie en eau est particulièrement ressentie. C'est aussi l'une des régions où la réutilisation agricole des effluents urbains est la plus pratiquée. Cette réutilisation est parfois l'objet d'une politique nationale comme en Israël. Dans ce pays, environ 20% des eaux usées sont infiltrées et rechargent les nappes souterraines dans la région de Tel-Aviv. [2]

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

➤ En Tunisie :

La Tunisie a développé un programme de réutilisation des eaux usées épurées dès les années soixante. Dans ce pays, l'augmentation de la population et du niveau de vie ont accru à la fois les besoins en eau et les rejets d'eaux épurées dans le milieu naturel. Les politiques se sont donc trouvés face à une crise économique et écologique dans certaines régions. La première utilisation d'eaux épurées a eu lieu aux alentours de Tunis, pour irriguer 600 ha de citronniers. La nappe qui alimentait autrefois les circuits d'irrigation avait été surexploitée et commençait à être envahie par l'eau de mer. Il a donc fallu trouver une solution alternative. Puis, à partir des années quatre-vingt, une politique ambitieuse de réutilisation a été mise en place. En 1993,

6400 ha de terres agricoles étaient irriguées avec des eaux épurées, et ce chiffre devait atteindre 20 à 30 000 ha dans les années suivantes (Asano, 1998). Le traitement préconisé est le bassin de maturation, le plus adapté aux conditions techniques et économiques locales. Les restrictions d'utilisation ne concernent que les légumes destinés à être consommés crus ou cuits, selon la réglementation tunisienne établie en 1989 (Puil, 1998).[1]

➤ En Israël :

Israël mène aussi une politique de réutilisation à l'échelle nationale. Le projet de la région de Dan concerne 1,3 millions de personnes. Les eaux usées de Tel Aviv et des municipalités environnantes sont récupérées, traitées puis infiltrées par percolation dans une nappe phréatique. Le prélèvement pour l'irrigation se fait par pompage dans la nappe. La réutilisation des eaux usées épurées est donc indirecte. Le passage dans la nappe est à la fois un stockage et un moyen de

traitement.[1]

➤ **En Grèce :**

la ville d'Athènes a développé en 1996 une stratégie de réutilisation des eaux usées traitées. Parmi les réutilisations favorisées, l'irrigation des cultures est largement prédominante (71%). L'estimation de l'usage des eaux usées urbaines dans les industries est particulièrement basse par rapport aux niveaux de réutilisation dans les autres centres urbains industrialisés (5.2%). Ceci est localement dû à la dispersion géographique des industries fortement consommatrices d'eau.[1]

I.4.3- Le Japon :

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

La réutilisation des eaux usées dans les grandes villes est perçue par la population comme un élément important du cycle de l'eau et comme une ressource particulièrement utile dans l'environnement urbain. En effet, les eaux usées traitées peuvent être utilisées dans les situations d'urgence engendrées par des catastrophes telles que les tremblements de terre. [2]

I.4.4- L'Australie :

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

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

la canne à sucre alors que dans les zones arides, c'est l'irrigation des plantations d'arbres qui prédomine.

Ce n'est bien sûr pas une description exhaustive des cas de réutilisation dans le monde. On pourrait encore citer de nombreux exemples tels que la ville de Taif en Arabie Saoudite. Cette ville est équipée d'une station d'épuration traitant 70000 m³ d'eau par jour. C'est l'une des plus grandes stations au monde. [2]

I.4.5-La réutilisation des eaux usées épurées en Algérie :

Les ressources en eau en Algérie sont limitées, vulnérables et inégalement réparties. Pour une population de 38 millions d'habitants, les ressources renouvelables en eau sont de 550 m³/an par habitant. Cette moyenne est très faible comparée à la moyenne des pays du Moyen Orient et de l'Afrique du Nord qui est 1,250 m³ ou à la moyenne mondiale qui est de 7,500 m³. Le seuil de la rareté de l'eau est de 1000 m³/an/habitant, de ce fait, l'Algérie est un pays où l'eau est rare. Dans ces conditions déficitaires en ressources en eau, le secteur de l'agriculture est le plus gros demande en eau. [8]

I.4.5.1- Situation des stations d'épurations :

Au cours de ces dernières années, le Ministère des Ressources en Eau entrepris la mise en œuvre d'un important programme d'investissement concernant la réalisation et la réhabilitation de STEP.

Les STEP conçues, répondent aux critères imposés par le Ministère des Ressources en Eau et qui consistent à :

- Protéger les eaux des retenues existantes contre la pollution et l'eutrophisation
- Protéger le littoral et les zones de baignades.

➤ STEP à boues activées

Cent une (101) STEP seront en service avant 2010. Les capacités installées pour le traitement des eaux usées varient de 200 m³/j pour l'agglomération de H'Nancha (Souk Ahras), à 750 000 m³/j pour la STEP de Baraki (Alger) [11].

➤ Lagunage

Quatre-vingt treize (93) STEP de type lagunage dont 20 de type aéré seront en service avant 2010. Les capacités installées varient de 320 m³/j pour l'agglomération de l'Émir Abdel Kader (Ain Temouchent) à 42 000 m³/j pour la STEP de Ouargla[11].

I.4.5.2- Perspectives de réutilisation des EUE en agriculture :

Travaux :

Quatre projets totalisant une superficie de 3000 ha

- Périmètre de Hennaya à partir de la STEP de Tlemcen (wilaya de Tlemcen) sur une superficie de 912 ha.
- Périmètre de Dahmouni (wilaya de Tiaret) sur une superficie 1214 ha.
- Périmètre d'irrigation à partir de la STEP de la ville de Bordj Bou Arreridj sur une superficie de 350 ha.
- Périmètre d'irrigation à partir de la STEP de Hamma Bouziane à Constantine sur une superficie de 327 ha [11].

Étude :

Trois projets totalisant une superficie de 9000 ha.

- Périmètre d'irrigation de M'leta à partir de la STEP d'Oran sur une superficie de 8100ha.
- Aire d'irrigation à l'aval de la STEP de la ville de Médéa a sur une superficie de 255ha.
- Périmètre d'irrigation à partir de la STEP de la vallée d'oued Saïda sur une superficie 330 ha [11].

Tableau I.1 : Perspectives de traitement et de réutilisation des EE en irrigation.

	2010	2015	2020	2025	2030
Volume d'eau usée intercepté (hm ³ /an)	501	708	972	1.208	1.271
Volume d'eau usée épurée (hm ³ /an)	257	399	561	705	762
Surface à irriguer par les EUE sans stockage (ha)	21.773	34.485	48.279	59.876	64.431
Surface à irriguer par les EUE avec 100% de stockage (ha)	36.288	57.476	80.466	99.794	107.385

Source: [MRE]

I.5-L'objectif de la réutilisation des eaux usées épurées :

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 du milieu environnant. 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.

En fonction des exigences de qualité des consommateurs, deux grandes classes de réutilisation peuvent être définies :

- Les usages potables qui peuvent être directs, après un traitement poussé, ou indirects, après passage dans le milieu naturel.
- Les usages non potables dans les secteurs agricoles (irrigation), industriel et urbain

Au plan mondial, l'utilisation de cette technique par l'agriculture, l'industrie et les Usages domestiques couvre respectivement 70 %, 20 %, 10 % de leur demande en eau.[9]

I.6-La marche de la réutilisation:

Depuis 1980 la réutilisation des eaux usées connaît un développement très rapide. Actuellement, environ 2 % des eaux usées sont réutilisées 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 mondial, le volume des eaux réutilisées va tripler dans les dix années à venir et, dans certains pays comme la Chine, il sera multiplié par dix. La croissance annuelle de marché de la réutilisation, en volume est, estimée à environ 10 à 12 %. Soit 181 % de croissance dans les dix ans à venir 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.[3]

I.7-Réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation des terres :

La REU d'une collectivité à des fins agricoles consiste à récupérer les eaux d'égout après qu'elle est été traitée dans une station d'épuration, à les stocker et à les utiliser pour irriguer les cultures où bien arrosés les espaces verts.

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 y a 2000 ans en Grèce. La pratique est également très répandue en Chine depuis des siècles. Dès la fin du XIX^e siècle, les nombreuses grandes villes occidentales (Paris, Londres, Berlin...) utilisent les eaux 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 la région sèches.

Un grand nombre d'études, spécialement aux Etats-Unis, voient le jour dans les années 1950 aux sujets des traitements à réaliser avant la réutilisation, et plus particulièrement, sur la prévention des risques liés aux micro-organismes pathogènes.

Actuellement de nombreux pays réutilisent les eaux usées en agriculture : Etats-Unis (Californie), Israël, Maroc, Tunisie, Inde, Allemagne, Angleterre, Afrique du sud, Australie ... dans certains pays arides et semi arides, cette réutilisation est partie intégrante des ressources en eau. Dans les régions tempérées, elle permet essentiellement de diminuer la pollution des rivières et autres milieux récepteurs. [4]

La réutilisation de l'eau pour l'irrigation est une pratique normale dans le monde entier. Par exemple, depuis 1997, il y a en France un grand projet à Clermont-Ferrand, où plus de 10.000m³/jour d'eau usagée urbaine traitée sont réutilisés pour l'irrigation de 700 ha de maïs. En Italie, plus de 4000 ha de diverses récoltes sont irriguées avec de l'eau réutilisée. L'Espagne compte également plusieurs projets semblables.

Plusieurs études ont été réalisées sur l'irrigation de cultures par des eaux usées épurées. Ce Principe a été testé sur différentes cultures comme les agrumes, les cultures à haute valeur ajoutée sous serre, les cultures forestières, les fourrages et différents types de cultures légumières.

De manière globale, toutes ces études confirment le bien fondé de cette pratique qui Permet des résultats intéressants tant d'un point de vue agronomique qu'économique tout en garantissant, si l'irrigation est pratiquée de manière adéquate, une qualité sanitaire satisfaisante.

Les essais réalisés sur agrumes ont montré une efficacité de l'eau usée accrue par rapport à l'eau de puits, et a aussi démontré l'efficacité de l'irrigation souterraine par jarre qui, non seulement, permet d'obtenir les mêmes résultats, mais a également un impact favorable sur la protection de l'environnement et des cultures d'un point de vue sanitaire.

Les eaux usées et même les affluents issus du traitement secondaire sont riches en éléments minéraux nécessaires à la croissance des plantes (azote, phosphore, potassium). Des expériences ont montré à maintes reprises la productivité accrue des cultures ou des Arbres lorsqu'ils sont irrigués avec des eaux usées par comparaison avec de l'eau propre.

Ces éléments fertilisants sont une ressource extrêmement précieuse si on les compare aux coûts correspondants des engrais.

I.7.1-L'intérêt :

La réutilisation des eaux concernent trois secteurs économique importants : le tourisme, l'agriculture, les espaces verts et les forêts. En ce qui nous concerne, on se penchera sur la réutilisation des eaux usées épurées dans l'agriculture qui constitue un secteur prometteur. Elle doit être bénéfique pour la collectivité et l'état dans un contexte général intégrant l'intérêt de la production de l'environnement, en assure le cycle naturel de l'eau.

La réutilisation des eaux usées en agriculture a pour but la valorisation de l'eau et des éléments nutritifs qu'elles contiennent à condition qu'elles répondent aux exigences requises par les normes de qualité. De ce fait, la valeur fertilisante d'une eau polluée est basée sur l'association du risque en germes pathogènes de l'eau et de sa teneur en éléments nutritifs. Ainsi une économie de l'eau.

I.7.2-Les risques liés à la réutilisation agricole des eaux épurées :

Les risques liés à une REUE agricole sont :

- le risque microbiologique.
- le risque chimique.
- le risque environnemental.

a) Le risque microbiologique :

Dans le cas de l'agriculture, il est prouvé depuis longtemps que les micro-organismes pathogènes des animaux ne peuvent ni pénétrer ni survivre à l'intérieur des plantes (Murphy et Syverton, 1985, in Sheikh *et coll.*, 1999). Les micro-organismes se retrouvent donc à la surface des plantes et sur le sol. Les feuilles et la plante créent un environnement frais, humide (évaporation) et à l'abri du soleil. Il peut donc y avoir une contamination pendant la croissance des plantes ou la récolte. Les pathogènes survivent plus longtemps sur le sol que sur les plantes (Asano, 1998).

Des cas de contaminations fécales par l'intermédiaire de produits végétaux arrosés par des eaux usées **brutes** ont déjà été mis en évidence, même si cet exercice est difficile. Par exemple, Froese (1998) rapporte une étude faite par Herwaldt en 1997 dans laquelle une épidémie de cyclosporiose (*Cyclospora cayetanensis*) a été corrélée à une consommation de framboises importées. De la même manière, Devaux recense 4 études sur les risques posés par la consommation de végétaux irrigués par des eaux usées brutes. Des infections ont été observées chez les consommateurs : infections parasitaires (ascaris, trichocéphales) et par des bactéries à dose infectante élevée. Le risque est donc avéré et assez important dans le cas de la réutilisation d'eaux brutes. Il paraît donc indispensable d'utiliser des eaux traitées.

Le mode d'irrigation a une influence directe sur le risque : ainsi, l'irrigation souterraine ou gravitaire peut nuire à la qualité des eaux souterraines et de surface. Des contaminations directes peuvent avoir lieu lors de la maintenance du système d'irrigation. L'irrigation par aspersion crée des aérosols qui peuvent être contaminants.[1]

b) Les risques liés aux éléments traces :les risques chimiques

La seule voie de contamination vraiment préoccupante pour les éléments traces est la consommation de plantes cultivées, dans lesquelles ils s'accumulent. Les modes de réutilisation

autre que l'agriculture ne semblent pas dangereux et ceci pour deux raisons : premièrement, les quantités d'eau potentiellement ingérables par les utilisateurs sont extrêmement faibles (« boire la tasse » en natation par exemple) et deuxièmement les concentrations en micro-polluants sont infinitésimales dans les eaux épurées.. **Le danger réside donc dans la consommation de végétaux contaminés, et exceptionnellement dans une consommation d'eau directe.**

Dans le cas d'une réutilisation agricole, par contre, l'accumulation des micro-polluants dans les plantes peut sembler plus problématique. Mais certains de ces micro-polluants peuvent être intéressants en tant que facteurs de croissance des végétaux ; il faut donc trouver un équilibre entre le risque sanitaire et l'intérêt agronomique.[1]

Les métaux lourds :

On peut séparer les métaux lourds en quatre classes, selon qu'ils sont ou non indispensables au développement des végétaux, et selon qu'ils posent ou non des problèmes sanitaires.

Le manganèse (Mn) et le Fer (Fe) sont tous deux indispensables au bon développement des végétaux, et leur utilisation en agriculture ne pose pas de problème pour la santé. En effet, ils sont déjà naturellement présents en forte proportion dans les sols.

Les métaux suivants ne sont pas indispensables pour les végétaux, mais ne présentent pas non plus de danger pour l'utilisation agricole. En effet :

- le plomb (Pb) reste fixé au sol et par conséquent ne pénètre pas dans les plantes.

- le sélénium (Se), l'étain (Sn) et le mercure (Hg) sont présents à des teneurs trop faibles dans les eaux épurées pour poser des problèmes sanitaires.

- le chrome (Cr) est sous forme ionique (Cr^{3+}), qui est peu toxique et qui ne pénètre pas dans les végétaux ; cependant le seuil de phytotoxicité est atteint avant celui de zoo toxicité, c'est-à-dire que l'on va pouvoir détecter la contamination chez les plantes en premier et par là éviter de les donner à manger aux animaux.

- du molybdène (Mo), qui n'est pas phytotoxique, mais qui peut poser un problème sanitaire pour le bétail .

- du zinc (Zn) qui est peu toxique, mais qui s'accumule très facilement dans les tissus végétaux.[1]

Les micro-polluants organiques :

Le risque posé par les effets à long terme de ces produits, pour lesquels il n'existe souvent aucune étude, est encore inconnu. De même, l'apparition de nouvelles substances toxiques n'est pas à exclure. Cependant, l'existence de ce risque potentiel ne conduit pas à une interdiction de l'utilisation d'eaux épurées pour l'irrigation (car il faudrait alors également interdire l'utilisation

d'eaux superficielles et de certains produits phytosanitaires selon le même principe). Toutefois, il faut rester prudent, surtout vis-à-vis d'eaux épurées urbaines qui, dans certains cas particuliers, pourraient avoir des caractéristiques chimiques différentes et des concentrations en substances toxiques importantes.[1]

c) Protection des ressources en eau : le risque environnemental

Les eaux souterraines :

La contamination des eaux souterraines dépend de trois paramètres : le sol, les roches sous-jacentes et la nappe.

Deux caractéristiques sont essentielles pour les sols : la capacité de rétention et la capacité d'épuration. Les sols qui ont une bonne capacité de rétention sont les sols argilo-sableux, ceux ayant une mauvaise qualité sont les roches fissurées. Une bonne capacité de rétention assure une bonne assimilation par les plantes et un étalement de la pollution dans le temps. La capacité d'épuration est assurée par la fixation des substances polluantes (adsorption, précipitation), la transformation des molécules organiques par des micro-organismes et l'exportation par les végétaux.

Les réservoirs ayant une perméabilité d'interstices (gravier, sable) permettent une bonne épuration à l'inverse des sols avec une perméabilité de fissures (calcaire, dolomies, granit, etc.).

Les nappes libres sont les plus exposées à la contamination, non seulement parce qu'elles ne bénéficient pas d'une protection naturelle vers la surface, mais encore parce qu'elles sont en général peu profondes. Les nappes captives sont plus protégées mais peuvent être éventuellement contaminées par des forages ou une autre mise en communication avec la surface ou un autre aquifère pollué.[1]

Conclusion :

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.

II.1-Généralités:

Les eaux usées sont des eaux altères par des activités humains à la suite d'un usage domestique (lessive, cuisine, salle de bain, eaux de vanne,...etc.), industriel, agricole ou autre

Elles sont considérées comme polluées et doivent être traitées.

Les eaux qui résultent de ces usages, sont des usées ou résiduaires.

Les eaux usées, il est nécessaire d'évacué dans des bonnes condition afin de protégé l'environnement pour cela dans beaucoup de pays les eaux usées sont collectées et acheminées par un réseau d'égout (aussi appelle réseau d'assainissement) soit jusqu'à une station de traitement, soit jusqu'à un site autonome de traitement. (propre à l'usage) (fosse septique)

Les eaux usées telles que définies dans l'introduction ont trois origines possibles :

- domestiques.
- industrielles.
- de ruissellement.

II.1.1-Les rejets domestiques :

Les eaux usées d'origine domestique sont issues de l'utilisation de l'eau (potable dans la majorité des cas) par les particuliers pour satisfaire tous les usages ménagers. Lorsque les habitations sont en zone d'assainissement collectif, les eaux domestiques se retrouvent dans les égouts. On distingue généralement deux « types » d'eaux usées domestiques qui arrivent toutes deux dans le réseau d'assainissement :

- les eaux vannes, qui correspondent aux eaux de toilettes ;
- les eaux grises qui correspondent à tous les autres usages : lave-linge, lave-vaisselle, douche/bain, etc.

La composition des eaux usées d'origine domestique peut être extrêmement variable, et dépend de trois facteurs :

- la composition originelle de l'eau potable, qui elle-même dépend de la composition de l'eau utilisée pour produire l'eau potable, de la qualité du traitement de cette eau, des normes sanitaires du pays concerné, de la nature des canalisations, etc.
- les diverses utilisations par les particuliers qui peuvent apporter un nombre quasi infini de polluants : tous les produits d'entretien, lessives mais aussi, solvants, peintures, mercure de thermomètre, colle, etc.

On distingue :

- Les réseaux unitaires : un seul collecteur assure le transport des eaux usées et des eaux pluviales. La qualité et le volume des eaux qui arrivent alors à la station d'épuration sont très

variables. Pour éviter qu'un débit supérieur à sa capacité n'arrive à la station d'épuration, des ouvrages de déviation (réservoirs et déversoirs d'orage) sont répartis sur le réseau.

- Les réseaux séparatifs : deux réseaux sont mis en place, l'un pour collecter les eaux usées, l'autre pour les eaux de ruissellement. En principe, seules les eaux usées arrivent à la station d'épuration pour traitement, c'est-à-dire que les eaux de pluie ne sont pas traitées et rejetées directement. La station ne doit donc théoriquement recevoir qu'un effluent brut de qualité relativement régulière et de débit relativement bien déterminé. [1]

II.1.2-les eaux de ruissellement :

Les eaux de pluie qui ruissellent sur les surfaces imperméabilisées, en général en zone urbaine, sont collectées par un réseau qui peut-être le même que celui qui collecte les eaux usées, ou non.

Les eaux de pluie peuvent être récupérées avant d'atteindre le réseau ou le milieu naturel pour être utilisées à des fins diverses : il s'agit d'une utilisation des eaux de pluie (UEP).

L' UEP est, au même titre que la REUE, une forme de recyclage de l'eau. Elle ne sera pas abordée plus avant dans cette étude. [1]

II.1.3-Les rejets industriels :

Tous les rejets résultant d'une utilisation de l'eau autre que domestique sont qualifiés de rejets industriels. Cette définition concerne les rejets des usines, mais aussi les rejets d'activités artisanales ou commerciales : blanchisserie, restaurant, laboratoire d'analyses médicales, etc.

Les rejets industriels peuvent donc suivre trois voies d'assainissement :

- soient ils sont directement rejetés dans le réseau domestique.
- soient ils sont prétraités puis rejetés dans le réseau domestique.
- soit ils sont entièrement traités sur place et rejetés dans le milieu naturel. Ce dernier cas ne nous intéresse pas dans le cadre de la réutilisation des eaux usées épurées.

Dans le cas d'un rejet dans le réseau domestique, avec ou sans prétraitement, les effluents industriels peuvent fortement modifier la composition des eaux usées. Cette modification est très étroitement liée à l'activité industrielle concernée et peut prendre des formes innombrables.

[1]

II.2-Composition des eaux usées :

La composition des eaux usées est extrêmement variable en fonction de leur origine (industrielle, domestique, etc.). Elles peuvent contenir de nombreuses substances, sous forme solide ou dissoute, ainsi que de nombreux micro-organismes. En fonction de leurs caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et du danger sanitaire qu'elles représentent,

ces substances peuvent être classées en quatre groupes : les micro-organismes, les matières en suspension, les éléments traces minéraux ou organiques, et les substances nutritives.

Dans cette partie, nous traiterons de manière plus détaillée :

- les **micro-organismes** car ils constituent le principal danger sanitaire pour la réutilisation des eaux usées épurées .
- les **éléments traces** dont les effets sanitaires à long terme sont moins connus, notamment leur implication potentielle dans la survenue de cancers.

Pour chacune des substances présentes dans les eaux usées, nous allons considérer les modalités de la contamination chez l'homme. Les trois voies de contamination que l'on retrouve classiquement sont :

-la contamination par ingestion: c'est la plus commune. D'une part, il y a l'ingestion directe, lorsqu'il y a consommation d'eau. Celle-ci peut être volontaire lors de la consommation d'eau potable, ou involontaire, par exemple « boire la tasse » en natation. D'autre part, il y a l'ingestion indirecte, par exemple quand les eaux épurées sont utilisées pour irriguer des cultures dont les produits sont ensuite consommés ;

-la contamination par inhalation : elle est moins importante et n'est pas possible pour tous les polluants. Elle se produit lors de la formation d'aérosols, dans le cas de l'irrigation par aspersion ou de l'utilisation d'un karcher ;

-la contamination par voie cutanée: un simple contact peut entraîner une contamination, souvent grâce à des microcoupures sur la peau. Seule la bactérie *Leptospira* est vraiment concernée par ce mode de transmission.

Quatre « familles » de micro-organismes

Les micro-organismes comprennent, par ordre croissant de taille : les **virus**, les **bactéries**, les **protozoaires** et les **helminthes**. Ils proviennent dans leur immense majorité des matières fécales ; on distingue alors la flore entérique (*i.e.* intestinale) normale et les micro-organismes pathogènes. On ne parlera ici que de ces derniers. Ils ont des effets divers sur la santé : ils sont la cause d'infections bénignes (gastro-entérite par exemple) comme de maladies mortelles (choléra). Le pouvoir pathogène des micro-organismes (ou pathogénicité) dépend de plusieurs facteurs qui sont décrits dans le dernier paragraphe.[1]

II.2.1-Les virus :

Ce sont des organismes infectieux de très petite taille (10 à 350 nm) qui se reproduisent en infectant un organisme hôte. Les virus ne sont pas naturellement présents dans l'intestin, contrairement aux bactéries. Ils sont présents soit intentionnellement (après une vaccination contre la poliomyélite, par exemple), soit chez un individu infecté accidentellement. L'infection se produit par l'ingestion dans la majorité des cas, sauf pour le Coronavirus où elle

peut aussi avoir lieu par inhalation. Dans le tableau 2 sont recensés la plupart des virus que l'on peut trouver dans les eaux usées, avec les symptômes de la maladie qui leur est associée, éventuellement le nombre moyen de virus que l'on trouve dans un litre d'eau usée et la voie de contamination principale.[1]

Tableau II.2: Les virus dans les eaux usées

Agent pathogène	Symptômes, maladie	Nombre pour 1l d'eau	Voies de contamination principales
Virus de l'hépatite A	Hépatite A		Ingestion
Virus de l'hépatite E	Hépatite E		Ingestion
Rotavirus	Vomissement, diarrhée	400 à 85	Ingestion
Virus de Norwalk	Vomissement, diarrhée		Ingestion
Adénovirus	Maladie respiratoire, conjonctivite, vomissement, diarrhée		Ingestion
Astrovirus	Vomissement, diarrhée		Ingestion
Calicivirus	Vomissement, diarrhée		Ingestion
Coronavirus	Vomissement, diarrhée		Ingestion / inhalation
Réovirus	Affection respiratoire bénigne et diarrhée		Ingestion
Entérovirus :			
Poliovirus	Paralyse, méningite, fièvre	182 à 492 000	Ingestion
Coxsackie A	Méningite, fièvre, pharyngite, maladie		Ingestion
Coxsackie B	Myocardite, anomalie congénitale du coeur (si contamination pendant la grossesse), éruption cutanée, fièvre, méningite, maladie		Ingestion
Echovirus	Méningite, encéphalite, maladie respiratoire, rash, diarrhée, fièvre		Ingestion

Tableau II.2(suite)

Entérovirus 68-71	Méningite, encéphalite, maladie respiratoire, conjonctivite		Ingestion
-------------------	---	--	-----------

Source : norme de la Santé du Canada

II.2.2 Les bactéries:

Les bactéries sont des organismes unicellulaires simples et sans noyau. Leur taille est comprise entre 0,1 et 10 µm. La quantité moyenne de bactéries dans les fèces est d'environ 10^{12} bactéries/g (Asano, 1998). La majorité de ces bactéries ne sont pas pathogènes. Cependant, chez un hôte infecté, le nombre de bactéries pathogènes peut être très important. Les bactéries entériques sont adaptées aux conditions de vie dans l'intestin, c'est-à-dire une grande quantité de matière carbonée et de nutriments, et une température relativement élevée (37°C). Leur temps de survie dans le milieu extérieur, où les conditions sont totalement différentes, est donc limité. Par ailleurs, les bactéries pathogènes vont se trouver en compétition avec les bactéries indigènes, ce qui limitera leur développement.

Les eaux usées contiennent en moyenne 10^7 à 10^8 bactéries/l. La concentration en bactéries pathogènes est de l'ordre de 10^4 /l (Faby, 1997). [1]

Tableau II.3: Les bactéries pathogènes dans les eaux usées

Agent pathogène	Symptômes, maladie	Nombre pour l/l	Voies de contamination
<i>Salmonella</i>	Typhoïde, paratyphoïde, salmonellose	23 à 80 000	Ingestion
<i>Shigella</i>	Dysenterie bacillaire	10 à 10 000	Ingestion
<i>E. coli</i>	Gastro-		Ingestion
<i>Yersinia</i>	Gastro-		Ingestion
<i>Campylobact</i>	Gastro-	37 000	Ingestion
<i>Vibrio</i>	Choléra	100 à 100 000	Ingestion
<i>Leptospira</i>	Leptospirose		Cutanée/Inhalation/Ingestio
<i>Legionella</i>	Légionellose		Inhalation
<i>Mycobacteriu</i>	Tuberculose		Inhalation

Source : norme de la Santé du Canada

II.2.3-Les protozoaires :

Les **protozoaires** sont des organismes unicellulaires munis d'un noyau, plus complexes et plus gros que les bactéries. La plupart des protozoaires pathogènes sont des organismes **parasites**, c'est-à-dire qu'ils se développent aux dépens de leur hôte. Certains protozoaires

adoptent au cours de leur cycle de vie une forme de résistance, appelée **kyste**. Cette forme peut résister généralement aux procédés de traitements des eaux usées. On peut citer parmi ceux-ci *Entamoeba histolytica*, responsable de la dysenterie amibienne.[1]

II.2.4-Les helminthes :

Les **helminthes** sont des vers multicellulaires. Tout comme les protozoaires, ce sont majoritairement des organismes **parasites**. Les **œufs d'helminthes** sont très résistants et peuvent notamment survivre plusieurs semaines voire plusieurs mois sur les sols ou les plantes cultivées. La concentration en œufs d'helminthes dans les eaux usées est de l'ordre de 10 à 10³ œufs/l(Faby,1997)

Le tableau 4 regroupe les principaux protozoaires et helminthes que l'on trouve dans les eaux usées, avec les pathologies qui leur sont associées, éventuellement le nombre moyen de parasites que l'on trouve dans un litre d'eau usée et la voie de contamination principale du pathogène.[1]

Tableau II.4: Les parasites pathogènes dans les eaux usées

Organisme	Symptômes, maladie	Nombre pour 1l d'eau usée	Voies de contamination principales
Protozoaires			
<i>Entamoeba</i>	Dysenterie	4	Ingestion
<i>Giardia lamblia</i>	Diarrhée, malabsorption	125 à 100 000	Ingestion
<i>Balantidium coli</i>	Diarrhée bénigne, ulcère du colon	28-52	Ingestion
<i>Cryptosporidium</i>	Diarrhée	3 à 122	Ingestion
<i>Toxoplasma gondii</i>	Toxoplasmose : ganglions, faible fièvre		Inhalation / Ingestion
<i>Cyclospora</i>	Diarrhée, légère fièvre, perte de poids		Ingestion
<i>Microsporidium</i>	Diarrhée		Ingestion
Helminthes			
<i>Ascaris</i>	Ascariadiase : diarrhée, troubles nerveux	5 à 111	Ingestion
<i>Ancylostoma</i>	Anémie	6 à 188	Ingestion/ Cutanée
<i>Necator</i>	Anémie		Cutanée

Tableau II.4(suite)

<i>Tænia</i>	Diarrhée, douleurs		Ingestion de viande mal
<i>Trichuris</i>	Diarrhée, douleur Abdominale	10 à 41	Ingestion
<i>Toxocora</i>	Fièvre, douleur		Ingestion
<i>Strongyloides</i>	Diarrhée, douleur abdominale, nausée		Cutanée
<i>Hymenolepis</i>	Nervosité, troubles digestifs, anorexie		Ingestion

Source : norme de la Santé du Canada

Tableau II.5: Facteurs environnementaux modifiant la survie des microorganismes

Facteur	Diminution de la survie
Température	Quand elle augmente
Eau	Quand l'humidité diminue
pH	Aux pH extrêmes (>12 ou < à 3)
Ensoleillement	Quand la luminosité augmente
Oxygène	Effet variable selon le type respiratoire des bactéries ; effet négatif sur les Virus
Matière organique (nutriments)	Quand la quantité de nutriments diminue
Organismes vivants	Quand l'activité biologique augmente. L'activité biologique du milieu (présence d'organisme saprophytes tels que certains champignons) diminue la résistance des organismes par compétition pour les nutriments et sans doute par prédation.

Source : OIE 1997

Tableau II.6: Temps de survie des pathogènes excrétés à 20–30 °C.

Les Micri-organismes	Temps de survie en jours			
	Dans les matières de vidange et les boues	Dans les eaux claires et les eaux usées	Sur le sol	Sur les plantes
Virus Entérovirus	< 100 (< 20)	< 120 (< 50)	< 100	< 60 (<15)
Bactéries Coliformes fécaux Salmonella	< 90 (<50) < 60 (< 30)	< 60 (<30) < 60 (< 30)	< 70 (< 20) < 70 (< 20)	< 30 (<15) < 30 (<15)
Protozoaires	< 30 (<15)	< 30 (<15)	< 20	< 10 (< 2)
Helminthes	Plusieurs mois	Plusieurs mois	Plusieurs mois	< 60 (<30)

Source :OIE(1997)

II.2.5-Les matières en suspension (MES) :

Ce sont des matières biodégradables pour la plupart. Les micro-organismes sont le plus souvent adsorbés à leur surface et sont ainsi « transportés » par les MES. Elles donnent également à l'eau une apparence trouble, un mauvais goût et une mauvaise odeur. Cependant, elles peuvent avoir un intérêt pour l'irrigation des cultures. [1]

II.2.6-Les métaux lourds :

Les métaux lourds que l'on trouve dans les eaux usées urbaines sont extrêmement nombreux ; les plus abondants (de l'ordre de quelques µg/l) sont le fer, le zinc, le cuivre et le plomb. Les autres métaux (manganèse, aluminium, chrome, arsenic, sélénium, mercure, cadmium, molybdène, nickel, etc.) sont présents à l'état de traces. Leur origine est multiple : ils proviennent « des produits consommés au sens large par la population, de la corrosion des matériaux des réseaux de distribution d'eau et d'assainissement, des eaux pluviales dans le cas de réseau unitaire, des activités de service (santé, automobile) et éventuellement de rejets industriels ».

Les éléments cités dans la littérature comme étant les plus dangereux sont le plomb (Pb), l'arsenic (As), le mercure (Hg), le cadmium (Cd) et le nickel (Ni).

Parmi les éléments traces se trouvant dans les eaux usées, certains, dits **oligo-éléments**, sont indispensables à la croissance des plantes. Citons entre autres le manganèse, le fer, le cuivre, le molybdène ou encore le zinc. Ils peuvent trouver un intérêt en cas de réutilisation agricole. [1]

Tableau II.7: Limites de concentration pour des métaux en eau usée traitée

Métal	Concentration (mg/l)	Métal	Concentration (mg/l)
Aluminium (Al)	5.0	Lead (Pb)	5.0
Arsenic (As)	0.1	Lithium (Li)	2.5
Beryllium (Be)	0.1	Manganese (Mn)	0.2
Boron (B)	0.75	Molybdenum (Mo)	0.01
Cadmium (Cd)	0.01	Nickel (Ni)	0.2
Chromium III (Cr)	0.1	Selenium (Se)	0.02
Cobalt (Co)	0.05	Vanadium (V)	2.0
Copper (Cu)	0.2	Zinc (Zn)	0.005
Iron (Fe)	5.0		

Source :OMS

II.2.7-Les micro-polluants organiques :

Les micro-polluants d'origine organique sont extrêmement **nombreux** et **variés**, ce qui rend difficile l'appréciation de leur dangerosité. Ils proviennent de l'utilisation domestique de détergents, pesticides, solvants, et également des eaux pluviales : eaux de ruissellement sur les terres agricoles, sur le réseau routier, etc. Ils peuvent aussi provenir de rejets industriels quand ceux-ci sont déversés dans les égouts ou même des traitements de désinfections des effluents par le chlore (haloformes). La concentration totale moyenne des micro-polluants d'origine organique dans les eaux usées est de 1 à 10 µg/l. [1]

II.2.8-Les substances nutritives : potassium, phosphates et nitrates :

Leur présence dans les eaux usées peut avoir un impact négatif sur la **santé humaine** et la qualité des **eaux superficielles** et dans une moindre mesure un impact bénéfique sur les **cultures** dans le cas d'une réutilisation agricole.

Le **potassium** est présent dans les effluents secondaires à hauteur de 10 à 30 mg/l. Il peut donc couvrir une partie des besoins des plantes.

Les **phosphates** sont présents dans les effluents secondaires à hauteur de 6 à 15 mg/l. Cette quantité est en général trop faible pour modifier le rendement, et en cas d'excès, les phosphates se fixent dans le sol. Ils peuvent alors être entraînés par l'érosion et participer au phénomène d'eutrophisation.

Les **nitrate**s, qui permettent de fournir de l'azote à la plante, sont les plus problématiques. En effet, apportés en excès, ils peuvent avoir plusieurs impacts négatifs :

- sur les cultures : ils entraînent des retards de maturation, une altération de la qualité, etc.
- sur le milieu naturel: les nitrates sont les principaux responsables de l'eutrophisation des milieux aquatiques ;
- sur la santé humaine : les nitrates peuvent être à l'origine de la formation de nitrites et de nitrosamines, responsables de deux phénomènes potentiellement pathologiques : la méthémoglobinémie et un risque de cancer. Les nitrites sont de puissants oxydants qui ont la capacité de transformer l'hémoglobine en méthémoglobine, rendant le sang incapable de transporter l'oxygène jusqu'aux tissus. Les nourrissons de moins de 6 mois représentent une population à risque. [1]

Conclusion :

Compte-tenu des éléments présents dans les eaux usées, 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. D'un point de vue sanitaire, la quantité de contaminants qui parvient dans l'environnement se nomme la charge excrétée. Sa composition dépend de la population à l'origine de la production des eaux usées, et notamment de la proportion d'individus infectés et des conditions d'hygiène. Elle peut être considérablement réduite par un traitement adéquat. Ce dernier est donc impératif dans le cas d'une REUE.

II.3- Evaluation de la pollution:

II.3.1- Définition de la pollution :

La pollution est toute substance physique, chimique ou biologique rejetée dans une eau naturelle qui perturbe l'équilibre de cette eau, induit d'importantes nuisances (mauvaise odeur, fermentations, inconforts divers, risques sanitaires) et qui se répercute, à court ou à long terme, sur notre organisme à travers la chaîne alimentaire de laquelle nous dépendons.

II.3.2-Origine de la pollution :

La pollution de l'eau est une altération qui rend son utilisation dangereuse et perturbe l'écosystème aquatique. Elle peut concerner les eaux superficielles (rivières, plans d'eau) et les eaux souterraines.

Elle a pour origines principales :

- l'activité humaine.
- les industries.
- l'agriculture.

- les décharges de déchets domestiques et industriels.

II.3.3-Pollution des eaux usées :

La pollution se manifeste généralement sous quatre formes principales :

- D'origine organique.
- D'origine microbiologique.
- D'origine minérale
- D'origine toxique (minérale et organique).

A chacune de ces formes de pollutions correspond nécessairement une modification du milieu récepteur qui se traduit indirectement et à plus ou moins long terme, par des conséquences néfastes sur l'individu.

II.3.3.1-Pollution organique :

La pollution organique constitue souvent la fraction la plus importante d'autant plus que dans son acceptation la plus large, cette forme de pollution peut être considérée comme résultant de diverses activités (urbaines, industrielles, artisanales et rurales) chaque activité rejette des composés spécifiques biodégradables ou pas.

On distingue pour les eaux usées urbaines les matières organiques banales (protides, lipides, glucides), les détergents (anioniques, cationiques, non ioniques), les huiles et goudrons.

II.3.3.2-Pollution microbiologique :

Cette pollution est due à la présence d'une multitude d'organismes vivants dans les eaux usées apportés par les excréments d'origines humaine ou animale.

Ces bactéries jouent le rôle de témoins de pollution.

La pollution microbiologique devient très dangereuse lorsque les eaux usées sont rejetées dans un milieu récepteur pouvant provoquer des maladies dangereuses pour l'individu.

II.3.3.3-Pollution minérale :

Il s'agit principalement d'effluents industriels contenant des substances minérales tels que : Les sels, les nitrates, les chlorures, les phosphates, les ions métalliques, le plomb, le mercure, le chrome, le cuivre, le zinc et le chlore.

Ces substances suscités :

- Peuvent causer des problèmes sur l'organisme de l'individu.
- Perturbent l'activité bactérienne en station d'épuration.
- Affectant sérieusement les cultures.

II.3.3.4-Pollution toxique :

La toxicité présente dans les eaux usées peut être organique ou minérale, les substances organiques toxiques sont entre autres les pesticides, les hydrocarbures et les produits organiques de synthèse industriels (aldéhydes, phénols, produits azotes ...etc.).

Les substances minérales toxiques sont : les sels à fortes concentration, les ions métalliques rejetés par les effluents industriels.

II.3.4- Paramètres de la pollution :

II.3.4.1- Paramètres physiques :

a) température :

Elle varie avec l'altitude, et la saison, elle modifie le profil en oxygène dissous du milieu récepteur ; une eau d'égout ne se solidifie pas. [12]

b) la turbidité :

Elle donne une première indication sur la teneur en matières colloïdales d'origine minérale ou organique.

c) la couleur :

Elle est normalement grisâtre, cela est due à la présence de matières organiques dissoutes ou colloïdales, donc une coloration marquée. [12]

d) conductivité électrique :

Due à l'augmentation des sels dissous et elle varie en fonction de la température. [12]

e) odeur :

L'eau d'égout fraîche a une odeur fade qui n'est pas désagréable; une odeur caractérisée indique une eau qui commence à fermenter par stagnation soit dans le réseau d'égout ou avant le rejet (en particulier lorsque l'aération du rejet est mauvaise). [12]

f) matières en suspension (MES) :

C'est une fraction non dissoute de la pollution. Elles contiennent des matières organiques et minérales. Elles sont déterminées aux laboratoires soit par centrifugation, soit par infiltration. Les matières recueillies sont séchées à 105°C et pesées, ce qui fixe la teneur en MES. [12]

g) matières volatiles en suspension (MVS) :

Elles représentent la partie des MES qui disparaît au cours d'une combustion[12]

h) Matières minérales :

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

II.3.4.2-Paramètres chimiques :

a) Le PH :

le pH mesure la concentration des ions H⁺ dans l'eau. Il caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimiques. La valeur du pH influe la croissance des micro-organismes présents dans l'eau, la plupart des bactéries par exemple peuvent croître dans une gamme de pH comprise entre 5 et 9, l'optimum étant situé entre 6,5 et 8,5. Des valeurs inférieures à 5 ou supérieures à 9 affectent la survie des microorganismes aquatiques selon l'OMS. [12]

b) la demande biochimique en oxygène : (DBO)

C'est un paramètre global qui exprime la quantité d'oxygène qu'une biomasse épuratrice consommera pour décomposer les matières organiques contenues dans l'effluent. Elle est donc représentative de la somme des matières organique biodégradables. Elle est généralement mesurée en 5 jours (DBO5).

c) la demande chimique en oxygène (DCO) :

Elle représente la quantité de matières oxydables par voie chimique Ainsi la DBO et la DCO sont deux moyens d'apprécier la teneur en matières organiques oxydables.

La dégradation de celle-ci dans le milieu naturel s'accompagne d'une consommation d'oxygène et peut entraîner un abaissement excessif de la concentration d'oxygène.

d) Les nutriments (Azote, phosphore) :

Le phosphore est présent dans les eaux usées sous forme de sels minéraux (ortho et poly phosphates) provenant surtout des poudres à lessives, et sous forme organique provenant des matières fécales.

II.3.5-Le rapport DCO/DBO₅ :

Il est utilisé comme index de biodégradabilité des eaux usées (quel type de traitement nécessaire pour épurer cette eau usée)

Si $DCO/DBO_5 \leq 2$: Le traitement se fait biologiquement.

Si $2 < DCO/DBO_5 < 3$: Le traitement biologique avec adaptation de souches.

Si $DCO/DBO_5 > 3$: Traitement physico-chimique, l'eau est pratiquement non traitable par voie biologique. [6]

II.3.6-mesure de la pollution :

Un certain nombre de paramètres sont utilisés pour caractériser la pollution des eaux qui sont :

Tableau II-8: Paramètres qui caractérisent la pollution

Paramètres	Unités	Signification
MES	mg/l	Matières en suspension : c'est la pollution non dissoute, la plus facile à éliminer
DBO ₅	mgO ₂ /l	Demande biochimique en oxygène en 5 jours : C'est la quantité d'oxygène consommée en 5 jours par les micro-organismes- la valeur obtenue représente environ 80% de la pollution biodégradable totale.
DCO	mg O ₂ /l	Demande chimique en oxygène : elle représente la quantité d'oxygène qu'il faut fournir par des réactifs chimiques puissants pour oxyder les matières contenues dans l'effluent.
M.A	mg/l	Matières azotés : elles quantifient la teneur en azote présent dans les eaux usées sous diverses formes (organiques, ammoniacal, nitrate, nitrite).
M.P	mg/l	Matières phosphatées : elles représentent la quantité d phosphore total contenue dans les effluents.
M.I	Equitox	Matières inhibitrices : elles servent à définir le degré de toxicité d'un effluent industriel (test Daphnies).
EqH	90 g/j de MES. 57g/j de MO. 15g/j de M.A. 4g/j de M.P.	Equivalent habitant : unité conventionnelle de mesure de la pollution moyenne rejetée par habitant et par jour. La même notion et la même définition sont utilisées pour caractériser la pollution industrielle.
Débit	m ³ /heure. m ³ /jour.	L'utilisation de l'eau par les abonnés n'est pas régulière au cours de la journée. Les équipements devront être prévus pour faire face aux pointes de débit résultant de ce fait. le débit de pointe peut dépasser 3 fois le débit horaire moyen journalier.

II.4-Les normes de rejet :

Dans le cadre de la protection de l'environnement et la santé publique, l'organisation mondiale de la santé (OMS) fixe des niveaux de rejet selon la destination de l'eau épurée.

Tableau II.9: Les normes de rejet des eaux usées en vigueur en Algérie sont :

Paramètres	valeurs	unités
DBO ₅	30 – 40	mg/l
DCO	90 – 120	mg/l
MES	30	mg/l
PH	5,5 – 8,5	
Azote total	50	mg/l
Huiles et graisses	20	mg/l
Température	30	°C
Phosphates	2	mg/l
Détergents	1	mg/l

Source : MRE

Conclusion :

Les eaux usées urbaines et industrielles, séparées ou mélangées, contiennent de nombreuses matières qui représentent selon leur composition un danger pour les milieux récepteurs. Elles sont dues à la présence d'éléments polluants contenus dans l'eau sous forme dissoute ou particulaire.

Introduction :

Les stations d'épurations jouent un rôle important pour l'environnement et la conservation de notre planète. En effet, les activités domestiques et industrielles ont de graves répercussions sur la préservation de l'eau. La pollution de cette denrée précieuse peut se présenter sous différentes formes : chimique, thermique, bactériologique... Il faudrait pour remédier à ce problème, construire davantage de stations d'épuration qui vont limiter la pollution et permettre une économie de l'eau.

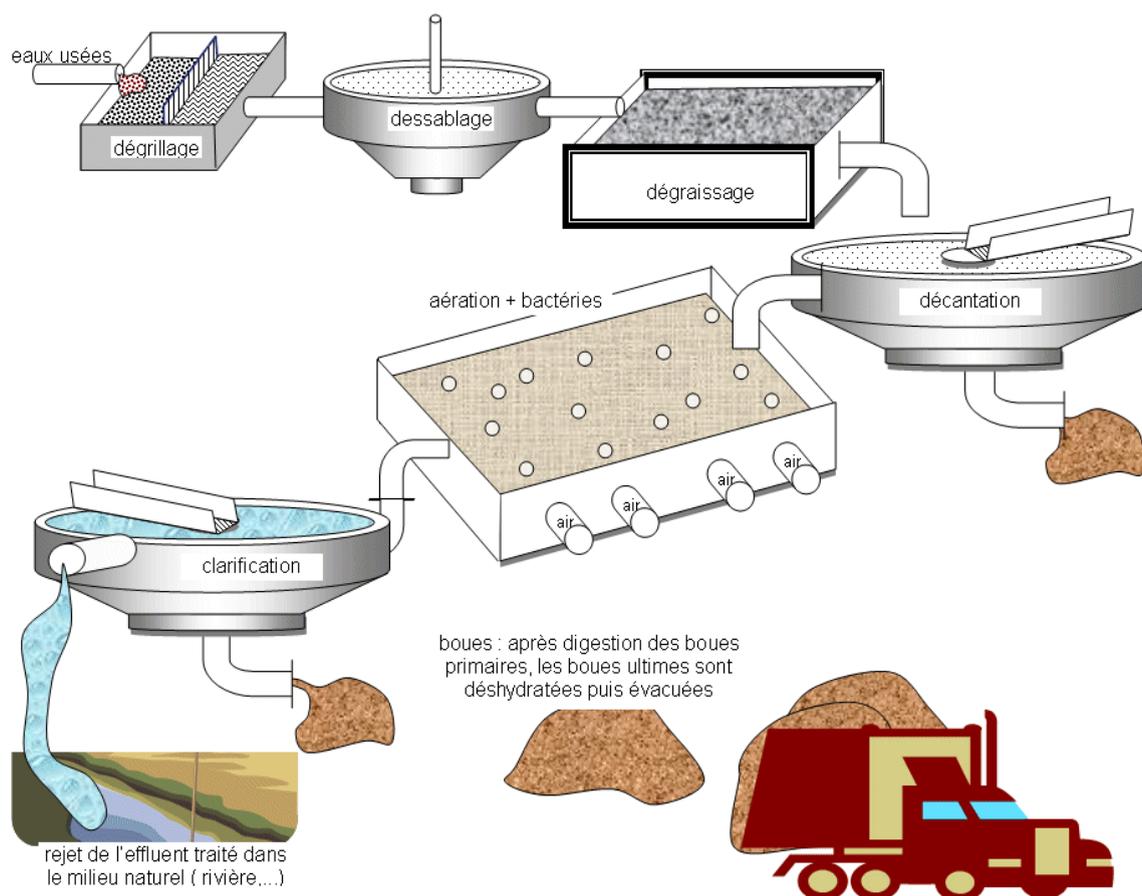


Figure III.1 : les procédés de traitement dans une station d'épuration

III.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. [6]

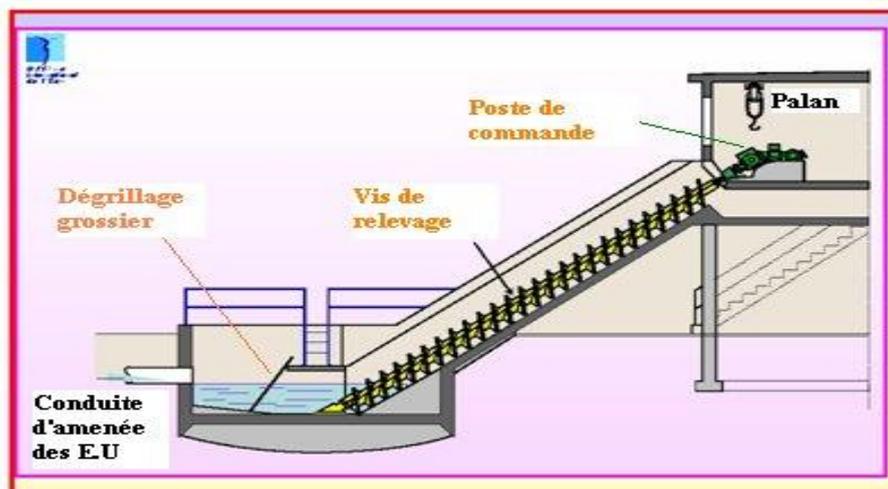


Figure III.2 : Schéma d'un poste de relevage par Vis d'Archimède

III.2-Les prétraitements :

Il a pour objectif d'éliminer les éléments les plus grossiers qui génèrent le traitement ultérieurs et pourraient endommager. Les équipements, il s'agit des déchets volumineux (dégrillage), des sables et graviers (dessablage) et des graisses (dégraissage déshuilage).

a- Dégrillage :

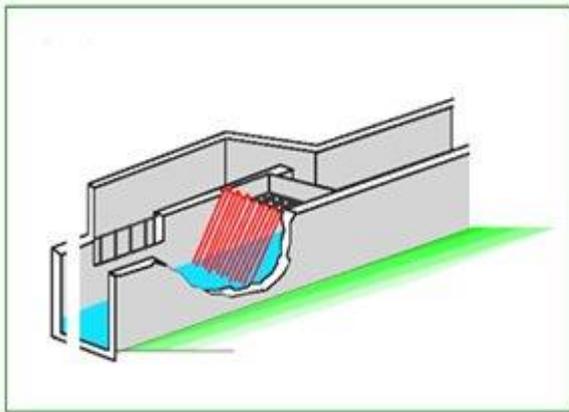
il s'agit de séparer les eaux brutes des matières plus volumineuses en faisant passer l'effluent à travers des barreaux dont l'espacement est déterminé en fonction des déchets.

à la sortie, l'effluent passe au tamisage qui utilise des grilles dont l'espacement est plus réduit.

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



Dégrilleur manuel



Grille mécanique

Figure III. 3 : Types de grilles

b- Dessablage :

L'élimination de sable présent dans l'effluent brute est indispensable si on veut protéger les pompes contre la corrosion et le colmatage des canalisations par sédimentation. Le dessablage désorasse des eaux usées, des sables. L'eau va s'écouler à une vitesse réduite pour permettre au sable de se déposer à l'intérieur de l'ouvrage, ensuite il sera pompé.[6]

c-Le déshuileur :

Consiste à éliminer la présence de graisse dans les eaux usées qui pourraient éliminer l'efficacité.

L'injection d'air au fond de l'ouvrage permet la remontée des gras, ensuite ils seront raclés à la surface, pour les éliminer par la suite.

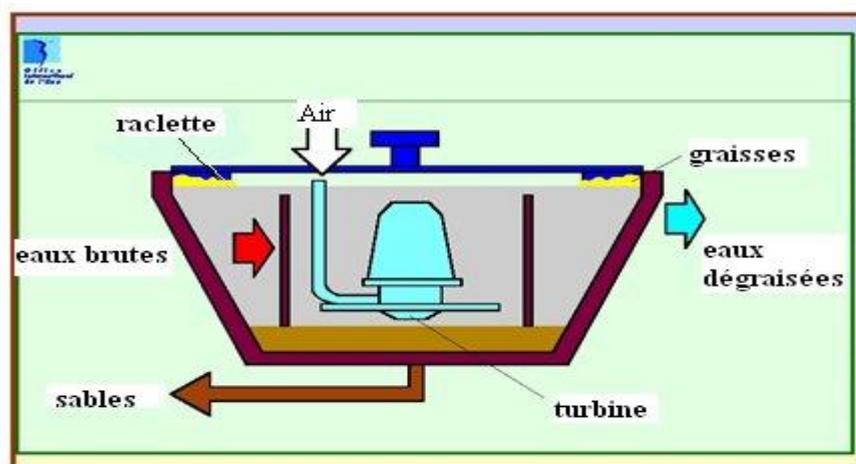


Figure III. 4 : Schéma d'un dessableur-déshuileur



Figure III.5 : Racleur des graisses

III.3-Le traitement primaire :

Il fait appel au traitement physique (décantation) et physicochimique tel que : coagulation-floculation.

Ces traitements éliminent 50 à 60% des matières en suspension.

La décantation primaire classique consiste en une séparation des éléments liquides et les éléments solides sous l'effet de la pesanteur.

Les matières solides se déposent au fond d'un ouvrage appelé « décanteur » pour former les boues primaires. Ces dernières sont récupérées au moyen d'un système de raclage.

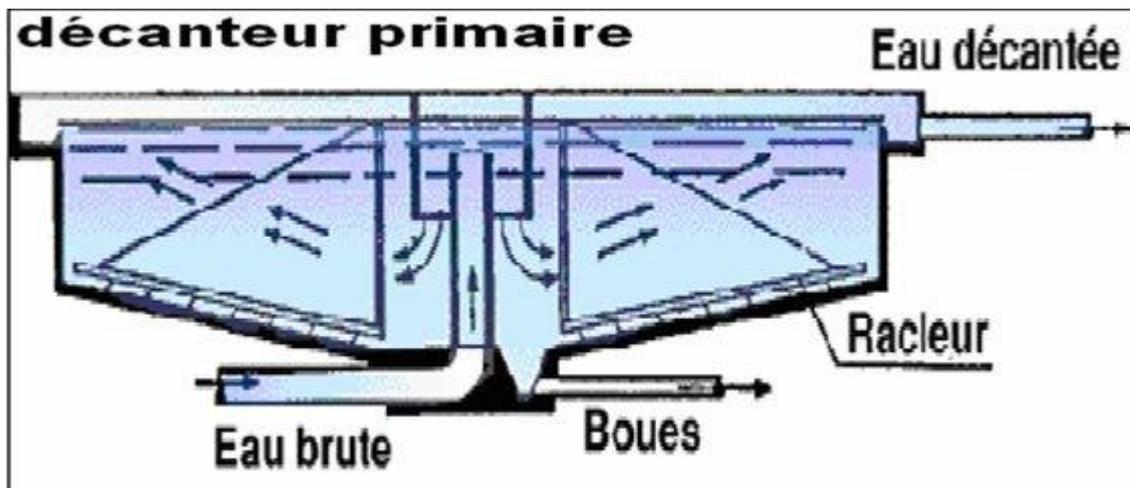
Ce traitement élimine 50 à 55% des matières en suspension et réduit d'environ 30% de la DBO et la DCO.

L'utilisation d'un décanteur lamellaire permet d'accroître le rendement de la décantation.

Ce type d'ouvrage comporte des lamelles parallèles inclinées, ce qui multiplie la surface de décantation et accélère donc le processus de dépôt des particules.

Une décantation lamellaire permet d'éliminer plus de 70% des matières en suspension et diminue de plus de 40% de la DBO et la DCO.

La décantation est encore plus performante lorsqu'elle s'accompagne d'une floculation préalable. La coagulation floculation permet d'éliminer jusqu'à 90% des matières en suspension et 75% de la DBO.[5]



DECANTEUR SECONDAIRE RACLE

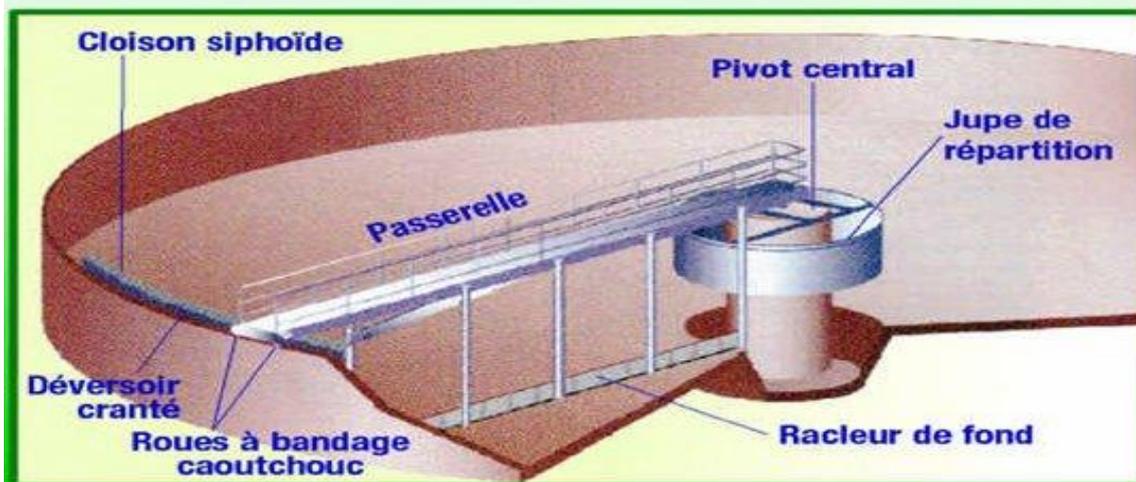


Figure III.6: Décanteur primaire et secondaire

III.4-Les traitements secondaires :

Les traitements secondaires sont des traitements physico-chimiques qui traitent les matières colloïdales ou émulsionnées et également les matières en suspension décantables par précipitation simultanée.

Dans la grande 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-chimique.

• **Filtration :**

La filtration a pour but essentiel la clarification finale d'une eau en les faisant passer à travers un milieu poreux constitué d'un matériau granulaire.

Il existe plusieurs techniques de filtration :

- Filtre à tambour ;
 - Filtre à sable ;
 - Ultrafiltration ;
 - Nanofiltration.
- L'osmose inverse

Le tableau qui suit donne les principaux avantages et inconvénients de traitement physico-chimique .

Tableau III.1 : Avantages et inconvénients du traitement physico-chimique [13]

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Réponse immédiate aux variations de charge - Capacité des installations, meilleure intégration au site - Bonne élimination de la pollution toxique - Déphosphoration simultanée 	<ul style="list-style-type: none"> - Plus grande quantité de boues produites - Le coût élevé occasionné par les réactifs - Rendement d'épuration inférieur à l'épuration biologique - Risque de coloration (sels de fer sur eaux septiques)

III.4.1-Le procédé biologique :

Ces traitements sont indispensables pour extraire des eaux usées les polluants dissous, essentiellement les matières organiques.

Ils utilisent l'action de micro-organismes capables d'absorber ces matières.

La sélection naturelle des espèces et leur concentration dans un bassin permet d'accélérer et de contrôler un phénomène qui se produit communément en milieu naturel.

Dans le cas des eaux usées urbaines, on favorise le développement de bactéries aérobies, c'est-à-dire, qui utilisent l'oxygène pour se développer. [7]

a-Les procédés biologiques extensifs : le lagunage naturel

Les lagunes sont constituées de plans d'eau peu profonds, en général au nombre de

trois. L'apport d'oxygène naturel, par échange avec l'atmosphère ou par photosynthèse des algues de surface, peut être complété exceptionnellement par des aérateurs pour stimuler l'activité biologique et diminuer les surfaces.

Les bassins de traitement des eaux brutes éliminent essentiellement les polluants carbonés. Les bassins suivants, dits d'affinage (eau déjà traitée), peuvent en outre permettre l'élimination des contaminants biologiques par l'action du rayonnement solaire.

[5]

Les avenages :

- faible coûts d'exploitation.
- excellente élimination de la pollution microbiologique.
- contribue au développement de la forme et flore locales.
- bonne intégration dans l'environnement.
- raccordement électrique inutile.

Les inconvénients :

- grande emprise foncière.
- contrainte possible pour imperméabiliser le sol.
- ne convient pas pour une pollution chimique. [6]

b-Les procédés biologiques intensifs :

ils regroupent toute une série de technique ayant en commun le recours à des cultures bactériennes qui consomment les matières polluantes.

Il existe deux grandes catégories de procédés biologiques artificiels :

Les procédés biologiques à cultures libres : les "boues activées"

Dans ces procédés, les bactéries se développent dans des bassins alimentés d'une part en eaux usées à traiter et d'autre part en oxygène par des apports d'air. Les bactéries, en suspension dans l'eau des bassins, sont donc en contact permanent avec les matières polluantes dont elles se nourrissent et avec l'oxygène nécessaire à leur assimilation.

Les principes de fonctionnement diffèrent suivant que l'objectif est de traiter le carbone ou le carbone et l'azote et/ou le phosphore : en pratique, il s'agit de permettre la sélection des espèces de bactéries capables soit de transformer le carbone en CO_2 , soit de transformer l'azote en nitrates puis les nitrates en azote gaz (N_2), soit de stocker le phosphore.

Dans tous les cas, la séparation de l'eau traitée et de la masse des bactéries (que l'on appelle « boues ») se fait dans un ouvrage spécifique appelé "clarificateur".

Pour conserver un stock constant et suffisant de bactéries dans le bassin de boues activées, une grande partie des boues extraites du clarificateur est renvoyée dans le bassin.

Une petite partie de ces boues, correspondant à l'augmentation du stock pendant une période

donnée, est évacuée du circuit des bassins d'aération et dirigée vers les unités de traitement des boues : cette fraction des boues constitue les « boues en excès ». [5]

Tableau III.2 : Avantages et inconvénients du procédé à boues activées [14]

Avantages	Inconvénients
<p>Le procédé à boues activées permet de :</p> <ul style="list-style-type: none"> - réduire le temps de séjour de la pollution ainsi que les surfaces du terrain utilisé - Il offre l'avantage d'une recirculation de la culture bactérienne ce qui conduit à un enrichissement du bassin par les micro-organismes épurateurs. 	<ul style="list-style-type: none"> - Les installations à boues activées sont très coûteuses en raison de l'équipement qu'elles comportent (ouvrages en béton, ouvrages métalliques, appareillages électromécaniques...). - L'exploitation de ce type de station exige un personnel qualifié et une vigilance permanente, le bon rendement repose sur le bon fonctionnement des aérateurs.

Les procédés biologiques à cultures fixées : les biofiltres et les lits bactériens

La technique des lits bactériens consiste à faire ruisseler les eaux à traiter sur un support solide où se développe une culture de micro-organismes épurateurs, le "film biologique" ou "biofilm". Les eaux usées traversent le réacteur et, au contact du film biologique, les matières organiques se dégradent. Un clarificateur doit être placé en aval du lit bactérien pour éliminer les boues résultant des matières organiques dégradées. Un décanteur est également placé en amont du lit pour éviter les colmatages.

Le principe de ces procédés consiste à faire percoler l'eau à traiter à travers un matériau sur lequel se développent les bactéries qui constituent alors un biofilm sur ce support.

Le type de matériau varie suivant les procédés :

- les lits bactériens utilisent des galets ou des supports alvéolaires,
- les biofiltres utilisent des matériaux de plus petite taille : des argiles cuites, des schistes, du polystyrène, des graviers ou des sables.

Les biofiltres permettent généralement des traitements plus intensifs et plus poussés que les lits bactériens classiques, plus rustiques dans leur conception et dans leur exploitation.

Les procédés membranaires :

Les procédés membranaires combinent des procédés biologiques et physiques. Un traitement par boues activées est suivi d'une filtration au travers de membranes organiques ou céramiques. Ces membranes très fines constituent une barrière physique qui retient les micro-organismes et les particules. Les bactéries ne franchissent pas la membrane, mais restent dans le réacteur, c'est-à-dire le bassin à boues activées où se déroule la réaction biologique de dégradation des matières organiques. Ce type de traitement a l'avantage de nécessiter des installations de dimension réduite (suppression du clarificateur) et d'offrir un très haut niveau d'épuration. Mais il reste peu utilisé, car les coûts de fonctionnement en sont très élevés.[5]

III.5-Clarification et rejet des effluents :

À l'issue des traitements, une ultime décantation permet de séparer l'eau épurée et les boues ou résidus secondaires issus de la dégradation des matières organiques. Cette décantation est opérée dans des bassins spéciaux, les clarificateurs. L'eau épurée peut alors être rejetée dans le milieu naturel.

Les boues récupérées en fond d'ouvrage sont pour partie renvoyées vers le bassin d'aération pour y maintenir la concentration voulue en micro-organismes épuratoires et, pour partie, extraites et envoyées sur la ligne de traitement des boues.[5]

III.6-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. [8]

III.6.1- Désinfection :

A l'issue des procédés décrits précédemment, les eaux sont normalement rejetées dans le milieu naturel. Dans le cadre d'une réutilisation des eaux usées épurées, les eaux usées nécessitent des traitements supplémentaires, essentiellement pour éliminer les microorganismes qui pourraient poser des problèmes sanitaires.

Actuellement, il existe de nombreuses techniques de désinfection visant à améliorer la qualité bactériologique des rejets afin de protéger les milieux récepteurs sensibles comme notamment les zones de baignades et conchylicoles. [9]

a. La chloration :

Cette technique est actuellement la plus employée pour la désinfection des eaux usées. Elle s'opère par injection de chlore (gazeux Cl_2 ou hypochlorite de sodium $NaOCl$) ou de bioxyde de chlore ClO_2 sur une eau préalablement épurée et clarifiée.

Le chlore, dont les effets bactéricides, germicides et algicides sont reconnus; permet une élimination à 99,9% des germes pathogènes. Cependant il est inefficace sur les virus et protozoaires ou pour des pH supérieurs à 7,5 et difficile à stocker lorsqu'il se trouve à l'état gazeux. De plus son utilisation engendre la formation de chlore résiduel et de chloramines, en présence d'ammoniac, inefficaces en désinfection et toxiques pour le milieu récepteur suscitant la mise en place de traitements spécifiques supplémentaires (déchloration et nitrification poussée).

Le bioxyde de chlore beaucoup moins réactif permet d'éviter la formation de chloramines et haloformes tout en présentant une efficacité désinfectante supérieure (notamment sur les virus) en un temps de contact beaucoup plus court. Cependant l'instabilité de ce composé impose sa production sur le lieu d'utilisation rendant sa mise en oeuvre délicate et onéreuse. [9]

b. L'ozonation :

L'ozone O_3 , oxydant puissant, est un désinfectant particulièrement efficace qui permet d'éliminer les bactéries, certains virus, protozoaires et les traces de médicaments dans les eaux usées. Il est généré in situ par décharge électrique sur de l'oxygène pur ou contenu dans l'air.

Ce procédé est généralement utilisé après une épuration biologique des effluents par boues activées permettant de réduire la matière organique sur laquelle l'ozone réagit fortement pour former des aldéhydes et cétones toxiques pour le milieu marin, le rendant moins efficace.

Malgré son efficacité remarquable, l'ozonation est un procédé peu utilisé puisqu'il nécessite des apports importants de réactif chers à l'achat et les concentrations élevées en découlant peuvent engendrer des problèmes de toxicité même si ce traitement offre peu de rémanence. [9]

c. Le rayonnement ultraviolet :

Les ultraviolets sont de plus en plus utilisés pour la désinfection des eaux usées urbaines

et industrielles notamment dans les zones côtières. Leur pouvoir bactéricide, virucide et germicide les rendent particulièrement efficaces et attractifs d'autant plus qu'ils n'entraînent pas l'apparition de sous-produits de désinfection toxique pour le milieu naturel contribuant à la sauvegarde des zones aquatiques sensibles.

Ce procédé présente néanmoins quelques inconvénients non négligeables nécessite de mettre en place en amont de son installation un système d'élimination des MES (filtration, charbon actif...) inhibant ce traitement, un vieillissement plus ou moins rapide des lampes ou un coût relativement élevé. Malgré cela cette technique simple est en plein essor. [9]

III.7-Critère de choix de site de la STEP :

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:

1. Réseau de la collecte existant :

Pour optimiser économiquement le projet d'épuration, il est important d'éviter le relevage des eaux usées afin de réduire les investissements supplémentaires relatifs à l'installation de pompage et les frais de fonctionnement.

2. Caractéristique du site :

- Hauteur de la nappe phréatique.
- Pente.

Ces caractéristiques conditionnent le choix des techniques de construction lors de la réalisation du projet (stabilité des berges latérales des bassins) avoir une pente générale convenable pour assurer un écoulement normale entre différents bassins. Il est souhaitable que le site d'implantation de la station présente un profil permettant de limiter les travaux du terrassement et de génie civil, il faut tenir en compte aussi de la nature du sol.

3. Protection du site contre les inondations :

C'est un critère auquel il faut donner beaucoup d'intérêt, afin d'éviter son envasement au cours d'une éventuelle inondation.

4. Choix d'un milieu récepteur pour les eaux épurées :

Même si une réutilisation des eaux usées traitées est effectivement possible, cette solution ne permet pas une réutilisation totale des eaux traitées pendant toute l'année. De ce fait, il faut que soit l'exutoire acceptera une dilution conforme aux normes, soit procéder à une épuration complémentaire, si la nature du sol et la profondeur de la nappe l'exige, en vu de garantir la préservation de l'environnement et la qualité du milieu récepteur.

Le niveau d'acceptabilité du milieu conditionnera le choix du procédé d'épuration à retenir. [15]

III.8-Choix de procédés de traitement biologique :

La liste des critères qui devraient intervenir dans le choix de la filière de traitement (eau et boue) est

- le niveau de traitement requis (rendement, concentration)
- la capacité d'installation
- la destination des boues
- la surface au sol disponible
- la variation saisonnière de la charge polluante
- les contraintes environnementales
- le coût d'investissement
- le coût d'exploitation
- la qualité du terrain (lagune notamment)
- la fiabilité de la filière (sensibilité du milieu et traitement tertiaire spécifique)

Conclusion :

Les stations d'épurations permettent donc délimiter la pollution de l'eau. En effet, à cause de la surpopulation urbaine, l'auto- épuration naturelle n'est pas suffisante à l'élimination des nombreux détritiques polluants. Il est donc indispensable de mettre en place des stations d'épuration qui vont, grâce à la succession de plusieurs traitements éliminer progressivement la quasi-totalité de la pollution.

Les stations d'épuration permettent également une économie d'eau, grâce à la réutilisation de celle-ci. Cependant ce procédé n'est que très peu pratiqué en raison d'un fort coût de mise en place.

IV.1-Situation géographique:

Le site de la station d'épuration se trouve en pleine Mitidja, à environ un kilomètre au sud-est du village social agricole de Benchougrane (Daira de Mouzaia, Wilaya de Blida) et à moins d'un kilomètre de la rive gauche de l'Oued Chiffa, à une altitude d'environ 50 m.

IV.2- Rappel des données de base :**IV.2.1-Procède de traitement :**

Les ouvrages de traitement des filières Eaux et Boues seront les suivant :

- Poste de relevage des eaux usées
- Dégrillage
- Dessablage - Déshuilage

Le système d'épuration à oxydation alternée se compose de quatre (4) trains constitués chacun d'un ouvrage rectangulaire semi-enseveli compartimenté comprenant les bassins suivants :

- Bassin sélecteur d'homogénéisation
- Bassin d'Aération 1^{er} Etage (Nitrification)
- Bassin d'Aération 2eme Etage (Dénitrification)
- Bassin Clarificateur (recyclage des boues)
- Digestion aérobie des boues
- Lits de Séchage
- Pompage des Boues et retour du Filtrat

Les effluents des quatre (4) trains seront dirigés vers un bassin unique de désinfection à l'Ozone.

IV.2.2-Données de Base :

Le dimensionnement de la station d'épuration des eaux usées de BENCHOUGRANE se fera sur la base des données indiquées dans le tableau ci – dessous :

Tableau IV.1 : les données de base sur le dimensionnement

Désignation des données de base du projet	Horizon 2015	Horizon 2030
Type de réseau d'assainissement	Unitaire	Unitaire
Population raccordée en équivalent habitant	170 158	241 731
Charge Hydraulique		
Débit moyen horaire de rejet (m ³ /h)	863	1363
Coefficient de pointe par temps sec	1,51	1,78
Débit de pointe par temps sec (m ³ /h)	1303	2426
Coefficient de pointe par temps de pluie (Cpl)	3	3
Débit de pointe par temps de pluie (m ³ /h)	2589	4089
Charges polluantes (DBO, DCO, NH4, MES)		
Concentration de l'effluent en DBO5 (mg/l)	394	401
Concentration de l'effluent en DCO (mg/l)	589	602
Concentration de l'effluent en NH4 (mg/l)	74	75
Concentration de l'effluent en MES(mg/l)	368	376
Alcalinité Totale en tant que CaCO3 (mg/l)	368	368
Ph	7,5	7,5

Source : ONA(Blida)

IV.3- Rappel des travaux et ouvrages a réaliser :

Les eaux usées épurées seront rejetées dans un tributaire de l'oued Chiffa, et les travaux comprennent :

- La construction de la station de relevage
- Le collecteur de refoulement qui va de la station de relevage vers l'ouvrage d'entrée de la STEP
- La construction de l'ouvrage de prétraitement
- La construction des quatre (04) trains de traitement prévu pour l'horizon 2015
- La construction du bassin de désinfection
- La construction des lits de séchage
- La réalisation de la conduite de rejet
- La mise en place des conduites et ouvrages de communication entre le prétraitement et le reste des ouvrages
- La réalisation de la voie d'accès à la STEP
- La réalisation des ouvrages et bâtiments annexes

IV.4- Dimensionnement des ouvrages de la station d'épuration :

IV.4.1- Dimensionnement des ouvrages de prétraitements :

a- amène des eaux :

Les eaux brutes sont acheminées vers les ouvrages de la station par un collecteur principal et relevées à l'entrée de la station.

b- poste de relevage des eaux usées :

L'ouvrage d'entrée du poste de relevage est équipé d'une grille à nettoyage manuel protégeant l'installation contre l'arrivée intempestive des matières grossières pouvant occasionner des colmatages ou bien même engendrer des difficultés pour le traitement.

Les refus de la grille sont remontés manuellement à l'aide d'un râteau depuis le radier de l'ouvrage d'entrées du poste de relevage jusqu'à un conteneur à détritrus.

- Nombre de pompes : 04 (dont 1 de secours).
- Débit unitaire : 750 m³/h
- HMT = 12,00 m estime

c-dégrillage :

Dans le but de soulager la STEP du point de vue biologique et du point de vue protection mécanique des ouvrages, il est utile de prévoir un dégrillage à l'entrée.

Nous prévoyons deux sortes de dégrillage, un dégrillage grossier qui éliminera les éléments de dimensions importantes et un dégrillage fin prévu pour les éléments plus petit.

Dégrilleur grossier:

On préconise une grille grossière mécanique droite avec :

e : espacement entre deux barreaux	e = 0,05 m
d : Largeur de barreau	d = 0,02 m
n : pourcentage d'encrassement	n = 0,5
hmax.: hauteur d'eau maximale sur une grille	hmax. = 2m
V : Vitesse d'écoulement de l'effluent à travers la grille	V = 1m/s
l : Largeur de la grille	l = 1,75m

Dégrilleur fin :

On préconise une grille fine droite avec :

e : espacement entre deux barreaux	e = 0,006 m
d : Largeur de barreau	d = 0,008 m
n : pourcentage d'encrassement	n = 0,5
hmax.: hauteur d'eau maximale sur une grille	hmax. = 2m
V : Vitesse d'écoulement de l'effluent à travers la grille	V=1m/s

l : Largeur de la grille

l = 1,75m

d-dessableur - déshuileur :

Le dessablage consiste à extraire les graviers, sables et autres particules minérales plus au moins fines. On cible par ces opérations toutes les particules ayant un diamètre supérieur à 200 μm .

Le déshuilage a pour but de séparer les huiles libres qui pourrait perturber l'exploitation des ouvrages en aval.

Pour des raisons économique et aussi pour le rapprochement entre le principe de fonctionnement du dessableur rectangulaire aéré et un séparateur de graisse par flottation, nous optons pour un ouvrage unique qui sera un dessableur - déshuileur aéré du type longitudinal.

Les huiles sont récupérer en surface par raclage est dirigées vers un piège à graisses, le sable décante au fond de l'ouvrage est aspire par un « air lift » alimenté par un sur presseur d'air embarque et évacué vers une benne.

Pour le dimensionnement de l'ouvrage nous admettons les hypothèses suivantes :

Une charge superficielle de 50 m/h (pour dimensionner le dessableur)

Une vitesse ascensionnelle de 18 m/h (pour dimensionner le déshuileur)

On retiendra le volume le plus important.

Nombre :	02
Surface total (m^2)	90
Largeur/unité (m) :	02
Longueur (m) :	25
Hauteur de l'eau (m) :	02

IV.4.2- Dimensionnement des ouvrages de traitement de l'eau :

Le système d'épuration biologique des eaux usées par oxydation alternée est composé d'un bassin compartimenté défini comme étant un train, constitué des bassins suivants :

1. Bassin Sélecteur d'homogénéisation
2. Bassin d'Aération 1^{er} Etage (Nitrification)
3. Bassin d'Aération 2^{eme} Etage (Dénitrification)
4. Bassin Clarificateur (recyclage des boues)

En plus d'un bassin adjacent pour la digestion aérobie des boues chaque train traite 5000 m^3/j (plus ou moins 10%). Pour les besoins du projet, nous préconisons 4 trains agencés en parallèle de manière à épurer toutes les eaux usées projetées à l'horizon 2015 dans une

première étape représentant notre étude.. Deux trains supplémentaires seront rajoutés à l'horizon 2030.

Le dimensionnement des ouvrages qui composent chacun des 4 trains sera comme suit :

IV.4.2.1- Dimensionnement du bassin sélecteur d'homogénéisation :

Cet ouvrage est conçu pour homogénéiser le mélange d'eau usée dessablée et déshuilée avec la biomasse recyclée du fond du bassin clarificateur. Ce bassin rectangulaire étroit offre un temps de séjour avoisinant 1 heure pour le débit d'eau usée nominal.

Ce débit étant égal à $216 \text{ m}^3/\text{h}$ ($863/4$), le bassin contiendra un volume d'eau égal ou légèrement $> 215 \text{ m}^3$

Avec pour dimensions: $L=16,8 \text{ m}$, $l=3,0\text{m}$, $H= 5,50\text{m}$

Et un niveau d'eau de $4,90 \text{ m}$, le volume d'eau normal du Bassin Sélecteur sera de :

$16,8 \times 3 \times 4,9 = 247 \text{ m}^3$, soit un temps de séjour de $60 \times 247/216 = 69$ minutes

Au bout du bassin, la liqueur mixte ainsi homogénéisée sera scindée en deux débits égaux et dirigés vers les deux bassins d'Aération de 1^{er} étage par le biais de deux déversoirs rectangulaires munis chacun d'une vanne murale d'isolement.

IV.4.2.2-Bassins d'Aération (1^{er} et 2^{ème} Etages) :

Pour la Station d'épuration conçue pour effectuer une dénitrification poussée (élimination de l'ammoniaque et de l'azote total pour l'irrigation et la protection des nappes aquifères) le critère de dimensionnement des bassins d'aération limite la masse organique journalière (DBO/jour) à moins de $6,8 \text{ kg}$ par $27,7 \text{ m}^3$ de volume aéré soit $0.25 \text{ Kg}/\text{m}^3$ de volume aérée.

Avec une charge organique projetée de 2071 kg de DBO_5/jour et par Train, le volume aéré doit être de :

$$(2071/6,8) \times 27,7 = 8436 \text{ m}^3$$

Ces ouvrages rectangulaires sont arrangés en deux (2) circuits de deux (2) étages chacun avec des temps de séjour par étage à peu près égaux et autour de 20 hr , soit :

$$\text{Volume total requis} = 8436 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume par Circuit d'Aération} = 8436 / 2 = 4218 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume d'eau dans le 1^{er} Etage} : 2247 \text{ m}^3 = (24,40 \text{ m} \times 18,80\text{m} \times 4,90 \text{ m d'eau})$$

$$\text{Volume d'eau dans 2^{ème} Etage} : 2104 \text{ m}^3 = (24,40 \text{ m} \times 17,60\text{m} \times 4,90 \text{ m d'eau})$$

$$\text{Volume Total Installé /Circuit} : 4351 \text{ m}^3$$

Les temps de séjours sont ainsi :

$$\text{Pour les Bassins du 1^{er} Etage d'Aération} : 2247 \text{ m}^3 / 108 \text{ m}^3/\text{h} = 20,8 \text{ h}$$

$$\text{Pour les Bassins du 2^{ème} Etage d'Aération} : 2104 \text{ m}^3 / 108 \text{ m}^3/\text{h} = 19,5 \text{ h}$$

◆ **Nombre de bassins de 1^{er} Etage par Train: 2**

Forme :	Rectangulaire
Dimensions :	24,40 m x 18,80 m = 458.72 m ² chacun
Profondeur :	5,50 m
Niveau d'eau :	4,90 m
Temps de séjour nominal :	20,8 h

Les bassins d'aération du 1^{er} étage sont continuellement aérés à l'aide de 2 grilles de diffuseurs d'air à grosses bulles qui amènent l'oxygène nécessaire à la réduction de la DBO et à la transformation de l'Azote Ammoniacal en Nitrates.

◆ **Nombre de bassins de 2^{ème} Etage par Train: 2**

Forme :	Rectangulaire
Dimensions :	24,40 m x 17,60 m = 429,44 m ² chacun
Profondeur :	5,50 m
Niveau d'Eau :	4,90 m
Temps de séjour nominal :	19,5 h

Le bassin d'aération du 2^{ème} étage est aéré toutes les deux heures pendant deux heures à l'aide de 2 grilles de diffuseurs d'air à grosses bulles arrimées au sol. L'alternance est assurée par une vanne de contrôle pneumatique.

Pendant la période d'arrêt de l'aération, la biomasse se dépose et sa partie inférieure devient anoxique, ce qui permet aux Nitrobactéries de transformer les nitrates en Azote qui est relâché dans l'atmosphère.

Les deux bassins communiquent par le biais de déversoirs alimentant un canal de distribution

IV.4.2.3-Bassins de Décantation/Clarification :

Ces ouvrages rectangulaires doivent fournir un taux de déversement superficiel assez conservateur pour assurer une très bonne séparation solide- liquide et permettre à l'effluent de contenir moins de 25 mg/l de matière en suspension entraînée. Le taux de déversement est généralement choisi entre 15 et 18 m³/jour/m². Nous avons choisi un taux de 16 m³/jour/m².

La surface de Clarification minimum nécessaire pour un débit nominal de 5178 m³/j est égale à $5178 / 16 = 323 \text{ m}^2$. En utilisant des modules de clarifications de 44 m² nous devons en installer au moins $323 / 44 = 7,34$ soit 8 modules repartis sur deux (2) bassins clarificateurs de $44 \times 4 = 176 \text{ m}^2$ de superficie chacun.

Pour des raisons de configuration sur le terrain, chaque bassin clarificateur est situé entre un bassin du 1^{er} étage et un bassin du 2^{ème} étage, avec un mur mitoyen de 24,40 m de long avec chacun.

Cela nous laisse une largeur de : 176 m^2 par $24,40 \text{ m} = 7,20 \text{ m}$ minimum.

La profondeur d'eau reste identique a celle du bassin d'aération de 2^{ème} étage qui alimente le Clarificateur, c'est-à-dire 4,90 m.

Nombre de Bassins Clarificateurs par Train: 2

Forme :	Rectangulaire
Dimensions :	$24,40\text{m} \times 7,32 \text{ m} = 178,6 \text{ m}^2$ par bassin
Profondeur :	5,50 m
Niveau d'Eau :	4,90 m

Le fond de ces bassins en béton arme contient des formes pyramidales qui servent à diriger les boues décantées vers les capots d'évacuation hydraulique des boues. Ces boues aspirées par air lift sont déversées dans un canal en acier inoxydable situe sous la passerelle du Module de Clarification et recyclées vers le bassin Sélecteur.

L'équipement de chaque Clarificateur est constitué d'éléments en forme de capots perforés en fibre de verre renforcée, de conduites d'amenée des eaux et d'évacuation des boues en PVC, de conduites de soutirage des effluents épures et d'un système de contrôle du débit sortant en acier inoxydable ainsi que de passerelles de maintenance avec garde-fous en Aluminium.

Une vanne pneumatique (DN 50) a double détente actionnera l'admission minute d'air comprime pour l'aspiration des boues par effet air lift.

IV.4.3-Dimensionnement des Bassins de Désinfection :

Ce bassin en béton arme reçoit les effluents épures en provenance des bassins Clarificateurs et les met en contact avec de l'Ozone dissout qui est introduit sous forme gazeuse au fond du bassin par le biais d'un système de quatre double diffuseurs coulissants a fine bulles fabriques en céramique.

Le temps de contact nominal doit être d'au moins 60 minutes ce qui demande un volume réactionnel de $(216 \text{ m}^3/\text{hr}) \times 60 / 60 = 216 \text{ m}^3$.

Le volume installe est actuellement de $25,3\text{m} \times 3\text{m} \times 4,9\text{m} = 372 \text{ m}^3$

Nombre de bassins de Désinfection par Train : 1

Forme :	Longitudinale
Dimensions :	3 m x 25,3 = 75,9 m ²
Profondeur :	5,5 m
Niveau d'Eau :	4,9 m
Temps de Séjour nominal :	1,72 heures

La quantité d'Ozone dissout nécessaire à la désinfection est réglée par un débitmètre et vanne réglable installés sur la ligne de production d'ozone située dans le bâtiment des surpresseurs.

L'eau épurée ainsi désinfectée se déverse dans le puit d'aspiration d'éventuelles pompes d'alimentation d'un futur bassin de stockage des eaux épurées en vue de leur utilisation dans l'irrigation des cultures. Le trop plein est évacué par voie gravitaire vers le lit d'Oued avoisinant.

IV.4.4- Dimensionnement des Ouvrages de Traitement des Boues :

Les boues sont soutirées par une pompe à boue immergée à partir de la fosse à boues mitoyenne au Bassin Sélecteur et déversées dans un digesteur aérobie ou elles sont stabilisées avant d'être évacuées vers des lits de séchage avoisinants.

IV.4.4.1- Dimensionnement du Digesteur Aérobie :

Cet ouvrage en béton armé est conçu pour contenir entre 10 et 15 % du débit quotidien nominal d'eaux usées :

$$15\% \times 5178 \text{ m}^3/\text{jour} = 777 \text{ m}^3$$

$$10\% \times 5178 \text{ m}^3/\text{jour} = 518 \text{ m}^3$$

Avec une profondeur d'eau de 5,20 m cela nous donne une surface nécessaire par bassin de 99 à 149 m².

Nombre de bassins Digesteurs par Train : 1

Forme :	Rectangulaire
Dimensions :	16,80m x 8,00 m = 134,40 m ²
Profondeur :	5,50 m
Niveau d'Eau :	5,20 m
Volume de Digestion :	699 m ³
Volume soutire des Digesteurs :	30 m ³ /jour
Age moyen des boues :	23 jours
Volume d'air de Stabilisation :	302 m ³ /h

Volume d'air d'agitation : 1.209 m³/h

Chaque bassin sera muni d'une grilles de diffuseurs d'air a grosses bulles arrimes au sol. Ces équipements seront fabriques en acier inoxydable ou en PVC. Une vanne pneumatique contrôlera le rythme d'amenée et d'arrêt d'air. La fréquence et la durée de l'aspiration des boues à partir de la fosse à boues du bassin Sélecteur sera contrôlée par une minuterie pré programmée mais ajustable sur site.

Un caniveau d'accumulation des boues sera installé au fond de chaque bassin sur la paroi opposée à l'arrivée des boues. Le déversoir de retour du surnageant sera équipé d'une plaque réglable pour l'ajustement du niveau d'eau dans les digesteurs.

IV.4.4.2-Dimensionnement des lits de séchage :

Trois (3) lits de séchage par train (soit un total de 12 a l'horizon 2015) avec un temps de séchage des boues de 20 jours.

Nombre de Lits :	12 pour 2015 (18 pour 2030)
Dimensions :	30m x 12,5 m chacun
Couche Gravier :	15-30 mm de 20 cm de hauteur
Couche Sable ;	0,5-2 mm de 15 cm de hauteur

Chaque lit aura un système de drainage enseveli et puisard de récupération du filtrat pour pompage vers le Digesteur d'origine des boues. La pompe de drainage sera capable de retourner 30 m³/h vers le Digesteur d'origine et sera actionnée par signaux des sondes de niveau des puisards.

IV.4.4.3-Pompes à boues et retour du Filtrat :

Les boues stabilisées seront évacuées vers les lits de séchage par le biais d'une pompe à boues installée prêt du Digesteur, capable d'un débit 30 m³/h. La durée et la fréquence de son utilisation seront dictées par les besoins du Procédé en termes d'ages des boues et ratio F/M.

Une pompe de drainage retournera le filtrat des lits de séchage vers le Digesteur d'origine des boues. Elle sera activée par niveau d'eau dans le puisard.

Conclusion :

L'étude faite au niveau de ce chapitre nous a permis de connaître les dimensions des ouvrages de la station (station de relevage, Dégrillage grossier, dégrillage fin, dessablage déshuilage....) et les équipements utilisés.

Introduction :

La qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation est un paramètre essentiel pour le rendement des cultures, le maintien de la productivité du sol et la protection de l'environnement. Ainsi, les propriétés physiques et chimiques du sol, telles que sa structure (stabilité des agrégats) et sa perméabilité, sont très sensibles au type d'ions potentiellement échangeables présents dans les eaux d'irrigation.

Lorsqu'on veut réaliser un aménagement hydro-agricole il faut que l'eau exploitée pour l'irrigation réponde à certaines conditions qui garantissent le bon développement des plantes, et permet d'éviter les impacts négatifs sur la santé publique, l'environnement et le système d'irrigation.

V.1-Qualité de l'eau d'irrigation :

La qualité de l'eau d'irrigation dépend des facteurs suivants :

- La concentration totale en sels dissous.
- Le rapport de Sodium par rapport aux autres cations.
- La présence de Bore et d'autres éléments toxiques.

La qualité de l'eau d'irrigation peut être mieux déterminée par une analyse chimique en laboratoire.

Les facteurs les plus importants pour déterminer la qualité requise de l'eau dans l'agriculture sont les suivants:

- Le PH.
- Risque de Salinité.
- Risque de Sodium (Degré d'Adsorption du Sodium ou SAR).
- Carbonate et bicarbonates en relation avec les teneurs en Ca et Mg.
- Autres traces d'éléments.
- Anions toxiques.
- Aliments.
- Chlore libre.

La valeur agricole d'une eau résiduaire est basée sur l'association de la valeur de l'eau et la teneur en éléments nutritifs fondamentaux : azote, potasse et acide phosphorique, en composées organiques du carbone ne renfermant pas d'azote (intervenant en partie pour former l'humus), en substances nutritives d'accompagnement (oligo-éléments) et en substances actives ainsi qu'en calcium.

Il n'est pas possible d'évaluer avec certitude « la valeur agricole » d'une eau résiduaire sur la base d'une analyse chimique, par exemple, la détermination des éléments nutritifs de base. Car les valeurs effectives des facteurs de croissance représentés par ces substances dépendent des uns

des autres, d'après la « loi d'action », de manière telle que qu'une variation de l'un des facteurs influe sur la valeur d'action des autres facteurs. En général, l'addition d'azote augmente la valeur d'assimilation des autres substances nutritives assimilables présentes dans le sol.

V.2-Normes de la qualité de l'eau d'irrigation :

La réutilisation des eaux pour l'irrigation n'est possible que si les eaux usées sont traitées selon certaines normes de qualité. La définition de normes et d'une réglementation spécifique est indispensable pour toute politique de mise en œuvre d'une réutilisation durable. Ces normes devront préciser la qualité physico-chimique et micro biologique des eaux épurées afin de garantir la protection de la santé humaine et la préservation de l'environnement.

L'étude de la qualité de l'eau d'irrigation pour :

- protéger le consommateur et produit agricole.
- protéger les ressources en eau superficielle et souterraine.
- protéger le matériel d'irrigation et enfin maintenir le rendement optimal (acceptable).

Les qualités d'une eau, en vue de son utilisation à des fins d'irrigation, sont examinées en fonction des critères suivants :

- Salinité.
- L'alcalinité.
- Toxicité.
- Incidence sur les propriétés physique des sols.
- Exigences particulières de certaines cultures.

On examine habituellement les éléments suivants :

➤ **la salinité totale** (exprimée en terme de conductivité électrique ou en terme de sels dissouts).

• Définition de la salinité de l'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.

La salinité de l'eau influence directement sur la salinité de la solution de sol et les réactions des plantes.

➤ **L'alcalinité :**

Certains constituants affectent la perméabilité des sols rendant difficiles les façons culturales et les modalités d'application de l'eau. la mauvaise aération affecte directement la croissance. La réduction de perméabilité est généralement associée à une eau relativement peu salée mais ayant une forte teneur en sodium par rapport à la teneur en calcium et magnésium.

➤ **Toxicité :**

Certains ions ont un effet spécifique de toxicité. On cite généralement : le bore, le chlore et le sodium.

➤ **la teneur en les principaux ions :** sodium, calcium, magnésium, chlorures, sulfates et bicarbonates.

Une teneur importante en bicarbonate peut aboutir à des dépôt sur les fruits et les feuilles lors de l'aspersion.

➤ **éventuellement la teneur en certains éléments** (teneur en bore ou en nitrates, pH, potassium, fer ou ammoniac).

Une teneur trop élevée en nitrates peut aboutir à une croissance végétative excessive et à une maturation retardée. [16]

Tableau V.1: norme de la qualité de l'eau d'irrigation

Parametres	Concentration maximale
Bicarbonate (HCO_3^-)	30-50mg/l
Bore (B)	0,2-0,5mg/l
Calcium(ca)	40-120mg/l
Chlore(cl)	0-100mg/l
Magnésium(Mg)	6-25mg/l
pH	5-7
Potassium(k)	0,5-5mg/l
SAR	< 9
Sodium(Na)	0-30mg/l
Sulfate(SO_4^-)	24-240mg/l
CE(salinite)	< 1-1,5ds/m

V.3- classification des eaux pour l'irrigation :

V.3.1- Classification mondiale (F.A.O):

Pour CE égal ou compris entre :

1g/l	bonne pour l'irrigation
1g/l-3g/l	faiblement salée
3g/l-5g/l	moyennement salée

5g/l-10g/l	fortement salée
>10 g/l	extrêmement salée

Tableau V.2: tolérance des plantes aux sels (FAO 2005)

CE(ds /m)	Sels(g/l)	effet
< 2 ,0		négligeable
2,2-4,0	< 1,5	Quelque dégât sur les cultures sensibles
4,0-8,0	1,5-3,5	Dégât sérieux sur la plupart des cultures
8,0-15,0	3,5-6,5	Seules les cultures tolérantes qui résistent
>15,0	>6,5	Peu de cultures survivent

V.3.2-Classification Russe :

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

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

V.3.3-Classification U.S.S.L:

La classification est basée sur deux paramètres C.E à 25°C et S.A.R.(Voir la figureV.1)

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

- C1 : C.E<0,250 mmhos/cm (<0.2g/l): l'eau à faible salinité, elle ne posera aucun problème sur la plus part des sols et des cultures.
- C2 : 0,250<C.E<0,75 mmhos/cm (0.2-0.5g/l): l'eau à salinité moyenne
- C3 : 0,750<C.E<2,250 mmhos/cm (0.5-1.5g/l): l'eau à forte salinité, et dit inutilisable sur un sol faiblement drainé, elle n'est autorisée que sur un sol bien drainée et sur des cultures tolérantes.
- C4 : 2,250 < C.E < 5.00mmhos/cm (1.5-33g/l): l'eau à très forte salinité et inutilisable pour les conditions normales ; elle n'est autorisée que si on pratique un lessivage intense et sur des cultures très tolérantes.
- C5 : C.E > 5.0 mmhos/cm (> 3g/l): l'eau est inutilisable sauf sur sable drainé et pour les palmiers et dattiers.

Pour coefficient d'adsorption du sodium S.A.R

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

$$S.A.R = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

Avec : Na^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} en meq / l

Elle distingue quatre classes:

- S1 - $S.A.R < 10$:L'eau contenant une faible quantité de sodium, peut être utilisée pour l'irrigation de presque tous les sols sans qu'il y ait à craindre que des difficultés ne surgissent du point de vue alcalinisation.
- S2 - $10 < S.A.R < 18$: Les eaux contenant une quantité moyenne de sodium, peuvent présenter quelques difficultés dans les sols à texture fine, à moins qu'il n'y ait du gypse dans le sol .ces eaux peuvent être utilisées sur des sols à texture grossière ou sur des sols organiques qui absorbent bien l'eau.
- S3 - $18 < S.A.R < 26$:Les eaux contenant une quantité de sel élevée, peuvent provoquer des difficultés dans la plupart des sols et ne peuvent être employées qu'avec des précautions spéciales : bon drainage, lessivage important et addition de matières organiques .S'il y a une forte quantité de gypse dans le sol, il peut ne pas surgir de difficultés pendant quelques temps. S'il n'y a pas de gypse, il faut ajouter un amendement chimique exerçant le même effet.
- S4 - $S.A.R > 26$:Les eaux contenant une quantité très élevée de sodium, sont généralement impropres à l'irrigation, sauf pour un degré de salinité moyen ou faible, lorsque l'usage de gypse ou amendements analogues permettent l'utilisation.

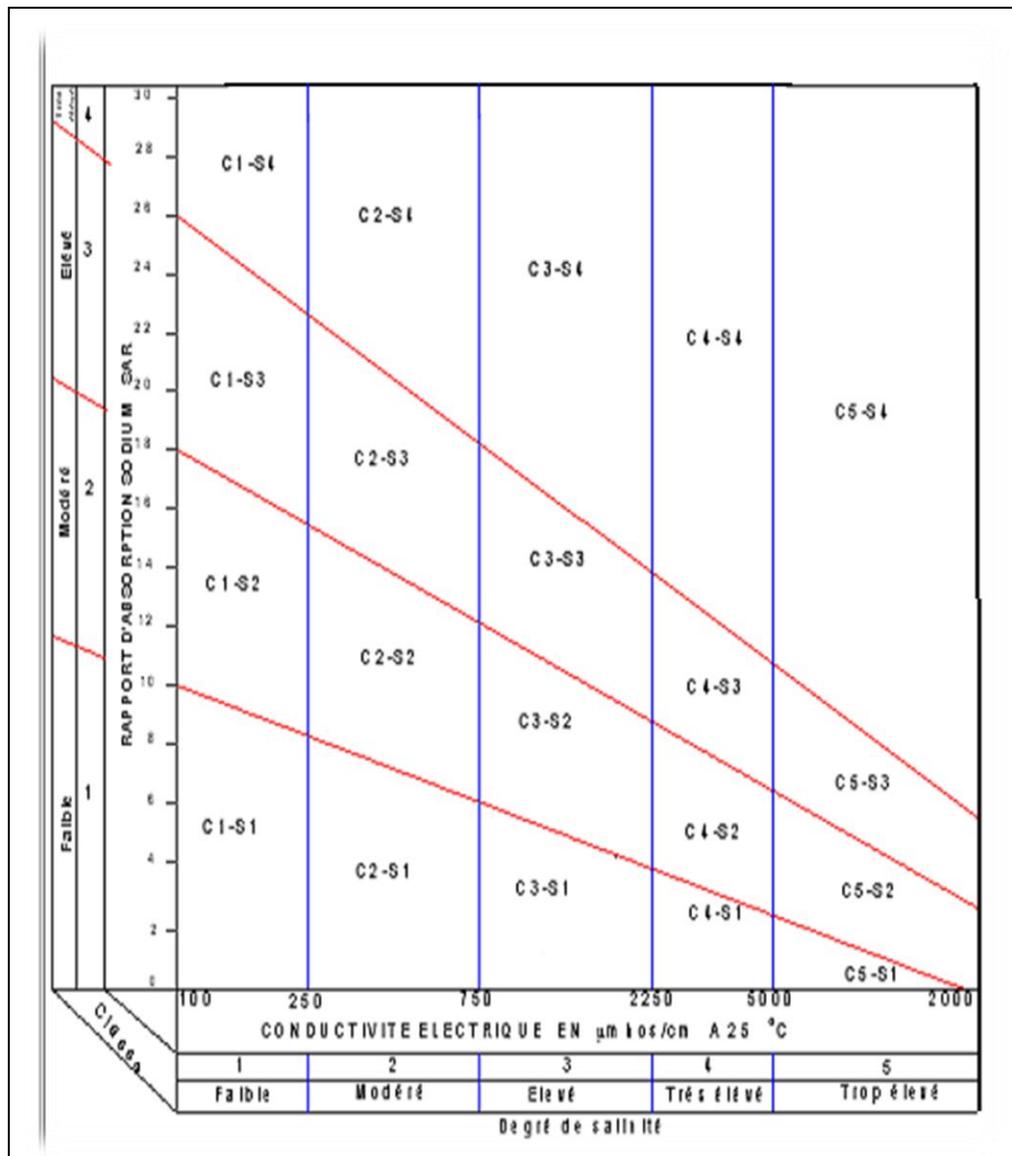


Figure V.1 : Diagramme de classification des eaux d'irrigation d'après l'USSL(1954)

V.4- risque et mesure de l'alcalinité:

L'alcalinité :

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

Le SAR est défini par l'équation suivante :

Avec :

$$\text{S.A.R} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}}{2}}} \quad (1)$$

Na⁺: Sodium

Ca⁺⁺: Calcium

Mg⁺⁺: Magnésium

Tableau V.3: Le risque du SAR dans l'eau d'irrigation

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

La valeur du SAR_{aju} (SAR ajusté) peut être calculée pour l'eau contenant de forte teneur en carbonate et bicarbonate. Par exemple, quand l'eau d'irrigation contient de la chaux libre (sol calcaire). De forte teneur en carbonate et bicarbonate dans l'eau peut causer la précipitation du calcium et du magnésium et augmenter la concentration relative en sodium (augmentant l'indice SAR).

La quantité de sodium peut être aussi indiquée par le Carbonate Sodium Résiduel (RSC). Une classification des eaux d'irrigation est basée sur le calcul du carbonate de calcium résiduel (R.S.C.) par la formule suivante:

$$\text{R.S.C} = (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \quad (2)$$

La qualité de l'eau d'irrigation est liée à la valeur de R.S.C. :

R.S.C > 2.5 L'eau d'irrigation n'est pas utilisable.

1.25 > **R.S.C** < 2.5 L'eau d'irrigation est marginale.

R.S.C < 1.25 L'eau d'irrigation est utilisable.

V.5-Qualité microbiologique des eaux usées traitées :

Les recommandations de l'organisation mondiale de la santé (OMS) relatives à la RUE en agriculture, distinguent trois catégories d'eau, A, B, C, sur la base de critère microbiologique (tableau V-6), les deux micro-organismes de référence considérés dans les directives de l'OMS sont les coliformes fécaux et les nématodes intestinaux. Ce choix est ajusté 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 états –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 des helminthes intestinaux, avec une moyenne < 1oeuf par litre d'eau.

Une élimination importante des bactéries pathogènes, avec une valeur moyenne inférieure à 1000 coliformes par 100ml

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

Dans les pays où n'existent pas des 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 supplémentaires de protection de la santé (OMS, 1989).

Tableau V.4 : Directives concernant la qualité microbiologique des eaux usées utilisées en irrigation (OMS, 1989)

Catégories	Conditions de réalisation	Groupes exposés	Nématodes intestinaux (nbre d'oeufs / 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

Tableau V.4(suite)

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.

V.6-Qualité de l'eau traitée et risque de colmatage physique et biologique du système d'irrigation localisée :

Tableau V.5 : risque de colmatage du système d'irrigation localisée

Problème potentiel	Unités	Degré de restriction de l'usage		
		Aucun	Faible à modéré	Sévère
Colmatage Physique				
MES	mg/l	< 50	50-100	> 100
Colmatage Chimique				
pH		< 7.0	7.0 -8.0	> 8.0
Solides dissous	mg/l	< 500	500-2000	> 2000
Manganèse	mg/l	< 0.1	0.1 -1.5	> 1.5
Fer	mg/l	< 0.1	0.1 -1.5	> 1.5
Sulfure d'hydrogène	mg/l	< 0.5	0.5 -2.0	> 2.0
Colmatage Biologique				
Populations bactériennes	nombre/ml	< 10000	10 000 -50 000	> 50000

V.7- Normes des paramètres physiques :

L'eau traitée devra avoir les caractéristiques suivantes à la sortie de la station (voir tableau V.6) :

Les échantillons moyens doivent respecter les valeurs fixées suivantes :

Tableau V.6: valeurs fixées en concentrations désirables et maximales

Paramètres	Concentrations	
	Désirables	Maximales
DB05	10 mg/l	30 mg/l
DCO	40 mg/l	100 mg/l
MES (à 105°)	20 mg/l	30 mg/l
NH4	02 mg/l	05 mg/l
nitrate	02 mg/l	08 mg/l

Tableau V.7 : Teneurs maximales d'éléments recommandées pour les eaux d'irrigation

Composition ionique (mg/l)		Eléments nutritifs (mg/l)		Oligo-éléments (mg/l)	
Ca ⁺⁺ -----	400	NO ₃ ⁺ -----	02-08	Fe ⁺⁺ -----	05
Mg ⁺⁺ -----	60	-NH ₄ ⁺ -----	05	Mn -----	0,2
Na ⁺ -----	220	-	02	Cr -----	0,1
Hco ₃ ⁻ -----	610	PO ₄ -----	02	Zn -----	02
Cl ⁻ -----	265	K -----		Pb -----	05
SO ₄ ⁻ -----	560	-		Cd -----	0,01
CO ₃ ⁻ -----	03			Cu -----	0,2

La qualité de l'eau après traitement devrait être conforme à la norme citée dans les tableaux V.6 et V.7, et par conséquent, l'eau épurée est apte pour être utilisée en irrigation sous réserve de faire un contrôle strict des paramètres bactériologiques avant son envoi vers le réseau d'irrigation.

V.8-Recommandation :

La qualité de l'eau doit être contrôlée, périodiquement, par l'administration chargée de l'exploitation de la station. Des analyses doivent être effectuées à la sortie de la station et les concentrations obtenues comparées aux normes en vigueur. De même, d'autres mesures de contrôle doivent être effectuées dans le bassin de stockage par les responsables concernées.

Les analyses vont portées essentiellement sur la bactériologie pour détecter la présence, du point de vue quantitatif et qualitatif, de germes pathogènes. D'autre part, ces eaux usées épurées présentent des quantités importantes en éléments cationiques comme le calcium, le potassium et le magnésium qui sont indispensables à la réserve nutritive du sol mais il faut contrôler la quantité présente en sodium et bicarbonate dans ces eaux pour éviter des apports trop importants dans ces milieux pour ne pas aggraver la salinité et l'alcalinité du sol.

Une rotation de l'utilisation de ces eaux au niveau parcellaire pour éviter le colmatage du sol.

Conclusion :

La qualité de l'eau est très importante en irrigation puisqu'elle participe au développement de la plante. Dans ce chapitre nous avons vu différents types de classification de l'eau qui diffèrent d'un lieu à un autre et de ces auteurs, c'est pour dire que la classification n'est pas universelle.

Introduction :

Ce chapitre fera l'objet d'une présentation globale du site d'étude, du point de vue situation géographique et conditions climatiques.

L'étude détaillée des principaux facteurs climatiques, vont nous permettre de déterminer le type de climat caractérisant la zone d'étude.

La connaissance et l'analyse des différents facteurs climatiques du périmètre sont indispensable dans le cadre d'une conception d'un réseau d'irrigation, puisqu'elles sont à la base de divers calculs, tels que : le calcul des besoins en eau des cultures nécessaire dans le dimensionnement.

VI.1- Caractéristiques hydrologiques et géographiques de la région d'étude (périmètre a irrigue) :

La région d'étude est délimitée par:

- Au nord par la ville d'Attatba.
- A l'ouest, par l'Oued Bou Roumi.
- Au sud ; respectivement par trois villes : El- Affroun, Mouzaia et Cheffa.
- A l'est, par l'Oued Cheffa.

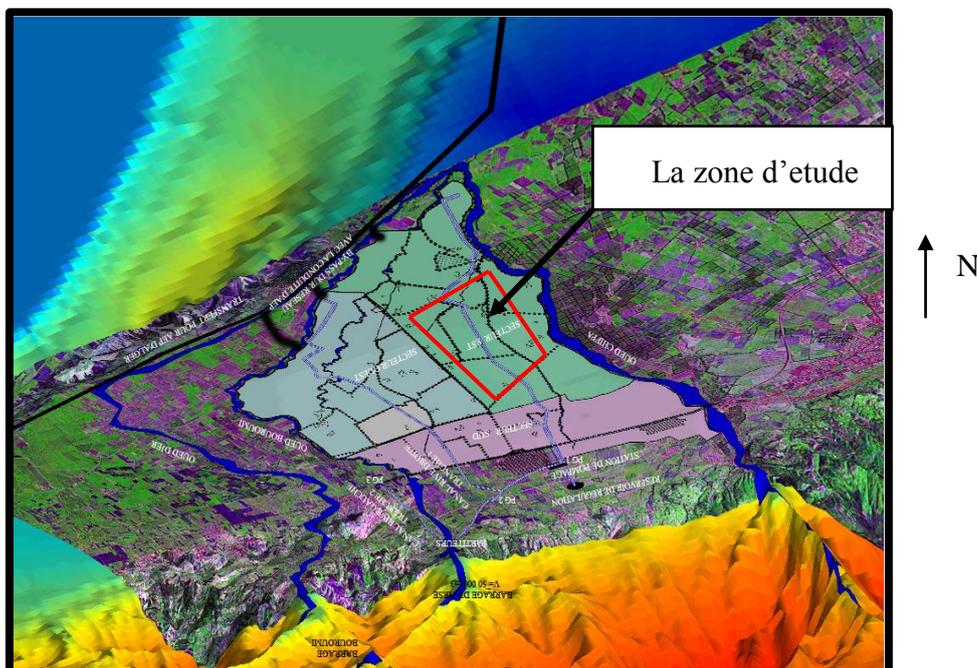


Figure VI. 1 : Localisation du Périmètre à irriguer

Les différents paramètres étudiés indiquent que la zone d'étude est assez homogène sur le plan climatique, elle est du type méditerranéen à deux saisons : une saison froide et humide, située généralement entre septembre et mai et une saison chaude et sèche qui va de juin à août.

Seule la pluviométrie présente une certaine hétérogénéité dans sa répartition spatiale. Les phénomènes secondaires : grêle et sirocco sont plus brefs dans le temps.

La géomorphologie fait apparaître des phénomènes de subsidence depuis le quaternaire moyen et même ancien. Le relief à des configurations planes ou légèrement ondulées dans la partie amont de la zone d'étude. Les formations sédimentaires les plus dominantes ont donné naissance à différents types de sols.

VI.1.1- 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 météorologique 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.

L'étude climatologique est basée sur l'analyse des principaux indices. L'estimation des différentes caractéristiques climatiques (température, vitesse du vent, humidité et évaporation...), relative à la zone d'étude est faite sur la base des données relevées à la station climatologique du **Mouzaia(021132)** (X = 500,3Km ; Y =351,2 Km et Z = 150 m), qui se situe assez proche de la région d'étude avec une altitude similaire pouvant ainsi remplir l'analogie.

Les données ont été collectées auprès des services de l'ANRH de Soumaa (Direction Régionale Centre) sur la période 1988 – 2007

VI.1.1.1-la température :

Les résultats des mesures élaborés dans la station de mouzaia sont donnés sur le tableau La plaine de la Mitidja ouest ont un climat de type **Méditerranéen**. c'est un climat qui caractérise par des étés chauds et secs, aux hivers assez froids , tempéré et pluvieux, un printemps assez long et un automne très bref.

Tableau VI.1 : températures moyennes mensuelles et annuelles de Mozaia (°c)

(Période : 1988-2007)

T°(c)	S	O	N	D	J	F	M	A	M	JUI	JUIL	A	T° moyen annuel
Min	15.0	14.0	7.0	5.0	4.0	6.0	4.0	7.0	10.0	15.0	16.0	17.0	10.0
Max	36.0	40.0	27.0	21.0	22.0	26.0	25.0	25.0	41.0	34.0	40.0	44.0	31.8
Moy	25.5	27.0	17.0	13.0	13.0	16.0	14.5	16.0	25.5	24.5	28.0	30.5	20.9

Source : ANRH(Blida)

Station de **Mouzaia** :

Latitude : 33° 10' 27.2'' Nord

Longitude : 2° 39' 18.03 Est

Altitude : 150 m

La moyenne annuelle des températures s'élève à **20.9°c**, mais on observe un écart très important entre la saison d'hiver et la saison d'été.

VI.1.1.2-les précipitations :

La pluviométrie est un régime variable et irrégulier suivant les mois et les années

Tableau VI.2 série pluviométrique (station de mouzaia1988–2007):

Paramètres	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	Aout
1988	0	0	26,4	176,6	40,9	9,6	99,1	89	32,8	13,6	0	0
1989	29,2	7,5	49,5	21,5	64,2	0	53,7	40,5	54,2	5,2	26,7	0
1990	4,6	25	64,6	93,6	55,2	65,5	106,8	22,5	43,3	0	0	3,3
1991	35,4	80,5	36,5	13,5	171,8	51,3	46,9	50,9	32,7	1,7	16,5	4,8
1992	2	49,1	87,4	57,9	18,9	76,6	8	59	43	0	0,9	13,5
1993	22,2	32	50,7	31,6	103,5	12	1	55	9	0	0	0
1994	93	85	30,5	74	198	39,5	123,5	12,5	0	2,5	0	21
1995	59	63,3	46	41,5	59,5	145,8	24	205,3	27,7	3,5	4,7	0,7
1996	38,5	48,2	4,5	25,7	28,4	44,7	10,5	103,5	10,1	1,7	0,5	20,9
1997	17,8	29	105,1	65	15,7	54,4	28,2	48	61,7	2,6	0	0
1998	25,5	34,7	92,5	68,6	92,8	87,5	33,5	5,5	2	8	0	4
1999	19	6,8	95	167,4	12	2,3	20,6	36,3	55,7	1	0	0
2000	7,3	46,4	119,8	23,7	128,2	39,2	0	148,8	42,2	0	0	0
2001	31,7	32,4	73,3	50,5	50	29,2	49,6	24,6	29,7	0	4,7	17,8
2002	12,8	31,7	123,5	43,8	142,5	143,5	9,8	83	31,9	0	0	0
2003	2,9	25	83	106,1	58,7	45,5	60,9	51,9	103,7	6,3	2,2	4,8
2004	5,4	34,3	88,4	93,7	81,2	122	62,5	34,1	1,4	0	0	0
2005	10,9	50,5	74,2	118,5	126,6	71	18,4	23	118,8	0	0	0,2
2006	94,5	3,7	47,4	173	6,2	49,6	119,6	59,2	29,6	2,5	2	0,5
2007	38,1	89,5	92	58,3	20,8	11,5	62,3	17,5	55,6	9,4	3,8	4,8

Source : ANRH(Blida).

Tableau VI .3 :les précipitations moyennes mensuelles. Période (1988-2007)

Mois	Sept	Oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	Mai	juin	juil	aout	Pmoy annuel(mm)
P(mm)	27,5	38,7	69,5	75,2	73,8	55,0	46,9	58,5	39,3	2,9	3,1	4,8	495,3

Après l'analyse des ces données on remarque la majeure partie des précipitations étant concentrés sur la période de "Novembre -Avril".

Les pluies en Juin ; Juillet et Août sont négligeables.

VI.1.1.3-le vent :

Il s'agit d'un facteur important aussi bien sur un plan agronomique que de point de vue de l'aménagiste puisque il constitue un élément déterminant dans le choix de type d'irrigation (aspersion ou gravitaire) aussi que dans l'élaboration du système de protection des périmètres (réseau de brise-vents).

Les vitesses moyennes mensuelles sont représentées dans le tableau VI-4

Tableau VI.4 : les moyennes mensuelles des vitesses de vent

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	JUI	JUL	A
Vent moy (m/s)	5,9	7,9	2,1	2,8	8,9	0,5	7,7	2,1	3,6	7,7	4,1	3,9

Source : ANRH(Blida).

VI.1.1.4-l'humidité relative de l'air :

Il s'agit d'un élément important du cycle hydrologique contrôlant entre autre l'évaporation du sol et de couverture végétale. Les résultats sont représentés dans le tableau VI.5.

Tableau VI.5 : l'humidité relative de l'air

Mios	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	juin	juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc
Humidité relative moy(%)	76,2	76,2	72,9	70,9	70,3	66,6	63,0	70,2	68,6	70,0	73,2	79,4

Source : INSID(Alger)

L'analyse du tableau VI.5 ,montre une bonne homogénéité sur cette zone ainsi que l'importance des variations d'amplitude liées aux phénomènes thermiques aussi bien d'un point de vue mensuel .

VI.1.1.5- Evaporation :

Les résultats des mesures sont représentés dans le tableau VI.6.

Tableau VI.6 : évaporation moyennes mensuelles

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Hauteur (mm)	114	95,1	72,0	60,0	56,6	55,3	71,2	83,9	97,7	131,5	151,9	148,7

Source :ANRH(Blida)

VI.1.1.6-insolations :

Le nombre d'heures d'ensoleillement dans la région est élevé, Ce paramètre climatique est observé à la station météorologique de mouzaia et illustré par le tableau VI.7.

Tableau VI.7: insolation moyenne mensuelle

mois	Jan	fév	mar	avr	mai	juin	juil	aout	sept	oct	nov	déc
Moy(heures)	304,1	307,8	360	386	428,6	433,5	447,5	425,5	379	357,7	313,9	303
heure/jours	10,1	9,9	12,0	12,5	13,8	14,9	14,4	14,2	12,2	11,9	10,1	9,8

Source : INSID(Alger)

Ce phénomène est très important dans tout les mois, il dépasse **9 heures/jour**.

VI.1.2-classification du climat :**VI.1.2.1-Classification du climat selon l'indice de MARTONNE :**

L'indice d'aridité de MARTONNE, est un paramètre qui permet la classification du climat, afin de nous renseigner sur l'indisponibilité de l'irrigation par rapport au climat (voir tableau VI-8).

L'indice d'aridité est donné par l'expression (3)

$$I_A = \frac{P}{T + 10} \quad (3)$$

Avec :

I_A : Indice de MARTONNE

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

T : Température moyenne annuelle en (°C)

Tableau VI.8: Classification du climat selon M' MARTONNE

Valeur de l'indice	Type de climat	irrigation
I<5	Hyper-aride	Indispensable
5<I<10	Aride	Indispensable
10<I<20	Semi-aride	Souvent Indispensable
20<I<30	Sub-humide	Parfois utile
30<I<60	Humide	Inutile
I>60	Hyper-humide	Inutile

Pour :

$$P=495,3\text{mm/an}$$

$$T= 20,9^{\circ}\text{c}$$

On aura :

$$I = \frac{495,3}{20,9 + 10} = 16,03$$

$$I_A \approx 16$$

Selon l'indice d'aridité calculé, on constate d'après la classification ci-dessus que la région est soumise à un régime de climat **semi aride** par conséquent, **l'irrigation est utile**

VI.1.2.2-climogramme de GAUSSEN :

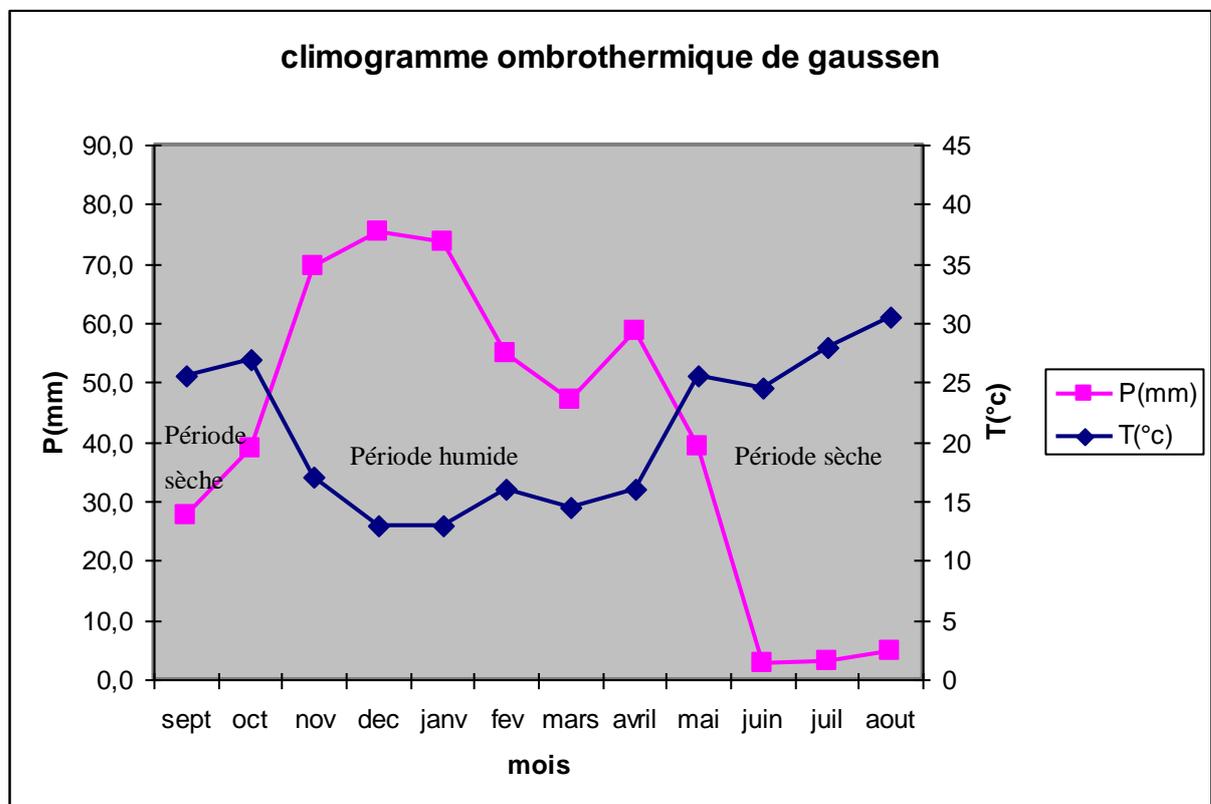


figure.VI.2 : Climogramme de GAUSSEN

D'après ce climogramme on remarque que la période sèche s'étend de mai jusqu'au octobre (6 mois) ce qui confirme que le climat de cette zone est semi aride et pendant cette période l'irrigation est indispensable. Et la période humide s'étend de mois novembre jusqu'à mois d'avril, pendant cette période l'irrigation peut être une nécessité si on enregistre un déficit en eau

VI.1.2.3- Classification du climat selon diagramme de Mr EMBERGER :

La technique est fondée sur un diagramme dressé par Mr EMBERGER (figure VI-3) qui nous renseigne sur le climat, ainsi que le type d'Hiver dominants d'une région.

Pour cela, nous avons calculé, par l'expression (4), le quotient de Mr EMBERGER, que nous avons projeté sur le Diagramme Bioclimatique.

$$Q = \frac{1000 \times P}{\left(\frac{M + m}{2}\right)(M - m)} \quad (4)$$

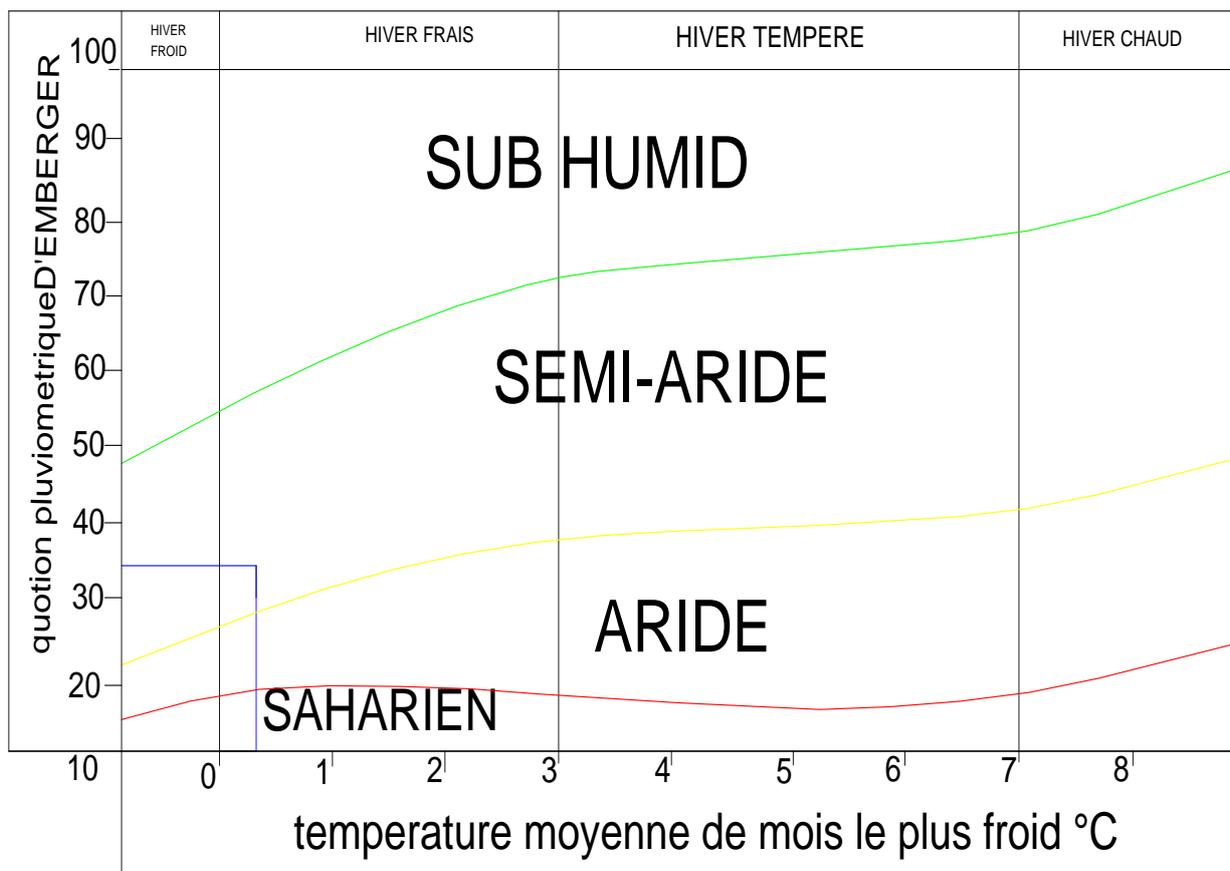


Figure VI.3 : diagramme d'emberger

Tel que :

Q : coefficient pluviométrique d'Emberger.

P : Précipitation moyenne annuelle de la région en (mm)

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

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

Pour :

$$P = 495.3 \text{ mm}$$

$$M = 44^\circ \text{C}$$

$$m = 4^\circ \text{C}$$

On aura :

$$Q = \frac{2 * 1000 * 495.3}{(44 + 273)^2 - (4 + 273)^2} \approx 42 \text{ mm}$$

D'après le diagramme bioclimatique d'Emberger (fig VI.3) les valeurs obtenues de Q correspondent à un climat **semi aride**

Ces renseignements complètent celles obtenus précédemment par la méthode de MARTONNE, et qui sont d'une importance majeure.

VI.1.3- Aperçu hydrogéologique :

La plaine de la Mitidja renferme deux grandes nappes importantes à savoir :

- La nappe des alluvions du quaternaire.
- La nappe des grès de l'Astien.

La nappe alluviale du quaternaire : Elle est constituée, essentiellement, d'alluvions, de sable et de graviers avec des limons et des intercalations d'argiles. L'épaisseur moyenne de la couche alluvionnaire est de 150m. Le niveau piézométrique était à 52m en novembre 2000. Cet aquifère est très sollicité pour l'alimentation d'eau potable, par les eaux de pluie et par infiltration des eaux de ruissellement des oueds, là où la nappe est libre. La nappe de la Mitidja se trouve dans un état de surexploitation ces deux dernières années. Ceci est la conséquence de faibles apports et puits d'exploitation.

La zone localisée entre El-Affroun Mouzaia, chiffa et Attatba est caractérisée par un alluvionnement argileux, de forte épaisseur. Seulement, la réalisation de forage a montré, en parallèle, la présence de couche de graviers purs et de graviers argileux.

Cette nappe est polluée par les nitrates dont l'origine est agricole par l'utilisation d'engrais azoté, de fumure et de résidus de récoltes. Aussi, l'irrigation par ces eaux, contribue à l'apport de différents éléments toxiques, entre autres, les nitrates. L'infiltration est relativement faible du à la nature du matériau.

VI.1.4-Hydrologie:**VI.1.4.1- Détermination de l'année de calcul :**

La détermination de l'année de calcul à pour but de connaître la quantité de pluie qui peut être utilisée par la plante. Elle est une fraction de la pluie efficace (pluie de probabilité 80%), (de l'année de calcul de P80%).

Pour trouver la pluviométrie moyenne mensuelle de probabilité 80% on utilise la loi suivante :

$$P_{\text{moy}80\% \text{ de chaque mois}} = P_{\text{moy de chaque mois}} \cdot \frac{P_{\text{théorique (80\%) annuelle}}}{P_{\text{théorique (50\%) annuelle}}} \quad (5)$$

VI.1.4.2- homogénéité de la série pluviométrique :

Pour vérifier l'homogénéité de la série pluviométrique on procède au Test de *Wilcoxon*.

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

* On divise la série complète des pluies moyennes annuelles de référence en deux sous-séries : x et y tel que : N2 et N1 représentant respectivement les tailles de ces deux sous-séries, considérant généralement N2 supérieure à N1.

* 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 elle-appartient

* Mr *Wilcoxon* a montré que la série est homogène avec une probabilité de 95%, si la relation ci-dessous est vérifiée :

$$W_{MIN} < W_y < W_{MAX}$$

Avec : $W_y = |Rang|_y$

W_y : Somme des rangs de sous-série x.

$$\text{Et : } W_{\min} = \frac{(N_1 + N_2 + 1)N_1 - 1}{2} - u_{1-\frac{\alpha}{2}} \left(\frac{(N_1 N_2)(N_1 + N_2 + 1)}{12} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

$$W_{\max} = (N_1 + N_2 + 1)N_1 - W_{\min} \quad (7)$$

Le tableau suivant détaille le résultat du Test d'homogénéité pour la station de mouzaia (021132).

Tableau VI.9 : Test de Wilcoxon pour la station de mouzaia (021132)

Rang	Série d'origine P (mm)	Série x (mm)	Série y (mm)	TRI (mm)	x union y
1	488	488	416,1	681	X
2	352,2	352,2	555,6	679,5	X
3	484,4	484,4	393,5	622,5	Y
4	542,5	542,5	622,5	612,1	Y
5	416,3	416,3	551,0	587,8	Y
6	317	317	523	555,6	Y
7	679,5	679,5	612,1	551,0	Y
8	681	681	587,8	542,5	X
9	337,2	337,2	463,6	523	Y
10	427,5	427,5		488	X
11	454,6	454,6		484,4	X
12	416,1			463,6	Y
13	555,6			454,6	X
14	393,5			427,5	X
15	622,5			416,3	X
16	551,0			416,1	Y
17	523			393,5	Y
18	612,1			352,2	X
19	587,8			337,2	X
20	463,6			317	X

N1	N2	Wmin	Wy	Wmax
9	11	68,2	79	120,8

$$68,2 < W_y < 120,8$$

La condition de Mr Wilcoxon est vérifiée, donc la série des précipitations moyennes annuelles de la station de **Mouzaia est homogène.**

VI.1.4.3-Choix du type de loi :

Ces critères de choix sont liés à un ajustement graphique d'abord et ensuite à un teste de dispersion. L'allure des points sur du papier à probabilité é permet à prime abord d'accepter ou de rejeter la loi (toute sinusite, mauvaise courbure ou cassure de pente est considérée comme un mauvais ajustement).

On essaie toujours d'ajuster une loi normale à un échantillon ou de se ramener à une loi normale par changement de variable.

Généralement la loi de probabilité ajustable à l'échantillon est d'autant plus près à la normalité que la variable concerne une longue échelle de temps et que le coefficient de variation soit inférieur à 0,5.

VI.1.4.3.1- Ajustement à la loi normal (Gauss) :

Dans cette méthode la procédure consiste à :

Classer les valeurs des précipitations annuelles par ordre décroissant.

Calculer les fréquences empiriques des valeurs observées par la formule :

$$F(x) = \frac{n - 0,5}{N} \quad (8)$$

Avec :

n : numéro d'ordre

N : nombre d'années observées

On doit calculer :

La moyenne arithmétique : $\bar{X} = \sum \frac{X_i}{n}$ (9)

L'Ecart type : $\delta = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$ Pour $n \geq 30$ (10)

La variable réduite de gauss : $U = \frac{X - \bar{X}}{\delta} \dots$ (11)

Le coefficient de variation : $Cv = \frac{\delta}{\bar{X}}$ (12)

Pour les calculs on a utilisé le logiciel hydrolab. (Disponible à L'ENSH), les résultats obtenus sont représentés dans la figure et le tableau suivants :

Tableau VI.10 : ajustement à la loi de gauss

Taille

n= 20

Moyenne= 495,27

Ecarttype= 108,61

I.C. à
(en%)=95

UGauss= 1,9604

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre	Fréquence expérimentale	Variable Réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne Supérieure
488	317	1	0,025	-1,96	317	282,36	169,71	349,76
352,2	337,16	2	0,075	-1,44	337,16	338,9	247,12	397,44
484,4	352,2	3	0,125	-1,15	352,2	370,33	289,15	424,94
542,55	393,5	4	0,175	-0,935	393,5	393,78	319,86	446,12
416,34	416,1	5	0,225	-0,755	416,1	413,26	344,83	464,25
317	416,34	6	0,275	-0,597	416,34	430,39	366,32	480,67
679,5	427,5	7	0,325	-0,453	427,5	446,04	385,5	496,11
681	454,6	8	0,375	-0,318	454,6	460,72	403,06	511,03
337,16	463,62	9	0,425	-0,189	463,62	474,77	419,46	525,73
427,5	484,4	10	0,475	-0,063	484,4	488,48	435,04	540,48
454,6	488	11	0,525	0,063	488	502,07	450,07	555,51
416,1	523	12	0,575	0,189	523	515,77	464,82	571,09
555,6	542,55	13	0,625	0,318	542,55	529,83	479,52	587,49
393,5	551,02	14	0,675	0,453	551,02	544,51	494,43	605,05
622,5	555,6	15	0,725	0,597	555,6	560,16	509,88	624,23
551,02	587,8	16	0,775	0,755	587,8	577,29	526,3	645,72
523	612,1	17	0,825	0,935	612,1	596,77	544,43	670,68
612,1	622,5	18	0,875	1,15	622,5	620,22	565,6	701,39
587,8	679,5	19	0,925	1,44	679,5	651,65	593,1	743,43
463,62	681	20	0,975	1,96	681	708,18	640,79	820,84

Fréquence	U.Gauss	Val.théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,2	-0,841	403,89	332,89	455,46	403,89	0,2	1,3
0,5	0	495,27	442,61	547,94	495,27	0,5	2
0,8	0,841	586,66	535,09	657,66	586,66	0,8	5

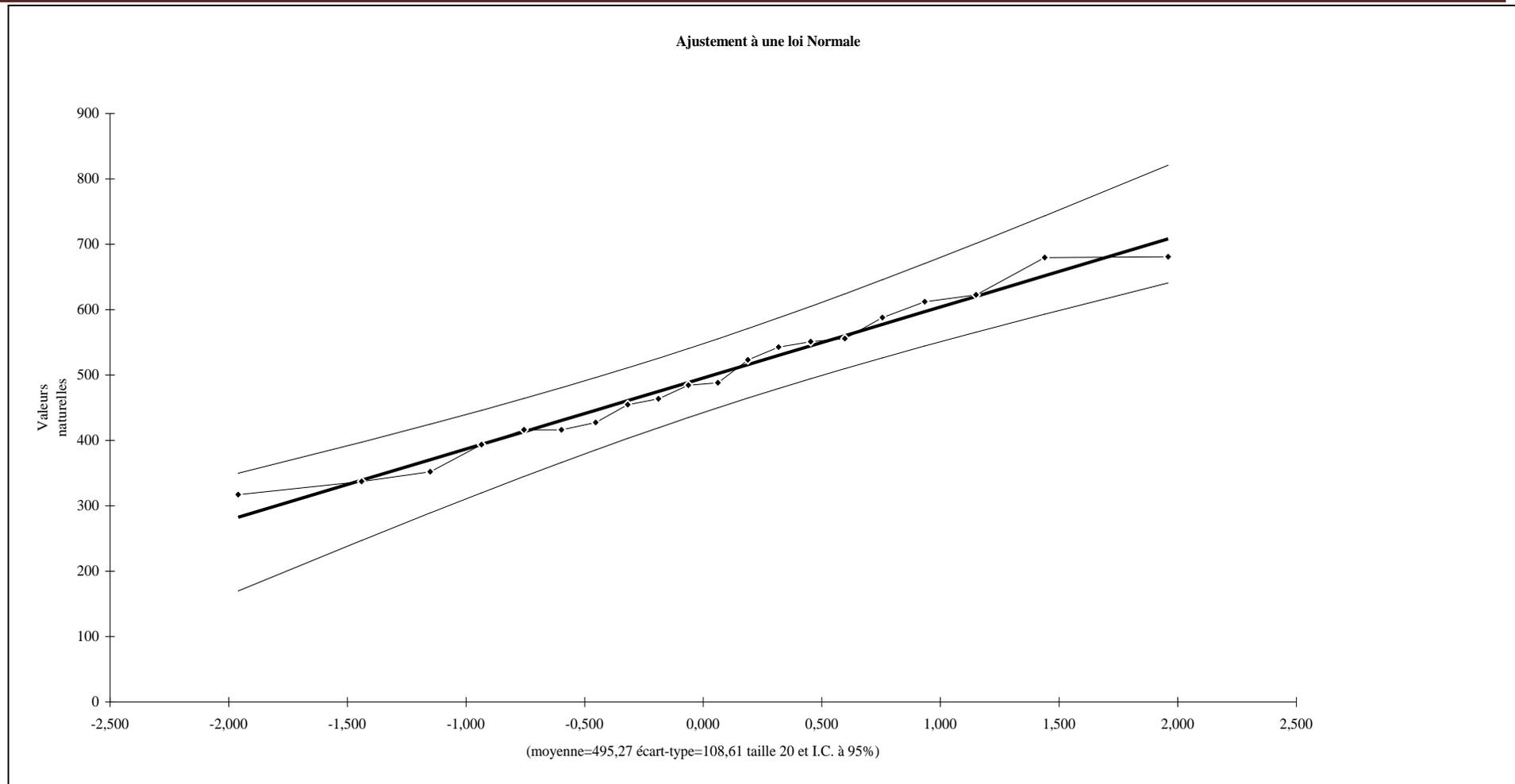


Figure VI.4 : ajustement à la loi de GAUSS

VI.1.4.3.2-Ajustement à la loi log-Normale (GALTON):

Les résultats de l’ajustement de la série des pluies moyennes annuelles de la station de mouzaia à la loi log-Normale sont regroupés dans le tableau et la figure suivants

Tableau VI.11 : ajustement à la loi de Galton

Taille n=20 Moy.log(x-xo)= 2,68460079 log(x- xo)= 0,09778857
 Avec: X₀=0

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre	Fréquence	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne Supérieure
488	317	1	0,025	-1,960	317	311,10	272,10	342,49
352,2	337,2	2	0,075	-1,440	337,16	349,79	313,38	379,74
484,4	352,2	3	0,125	-1,150	352,2	373,34	338,54	402,68
542,5	393,5	4	0,175	-0,935	393,5	391,94	358,32	421,05
416,3	416,1	5	0,225	-0,755	416,1	408,09	375,37	437,24
317	416,3	6	0,275	-0,597	416,34	422,85	390,80	452,28
679,5	427,5	7	0,325	-0,453	427,5	436,79	405,21	466,73
681	454,6	8	0,375	-0,318	454,6	450,28	418,98	480,96
337,2	463,6	9	0,425	-0,189	463,62	463,60	432,38	495,27
427,5	484,4	10	0,475	-0,063	484,4	476,96	445,62	509,89
454,6	488	11	0,525	0,063	488	490,59	458,91	525,09
416,1	523	12	0,575	0,189	523	504,73	472,46	541,17
555,6	542,5	13	0,625	0,318	542,55	519,66	486,51	558,48
393,5	551,0	14	0,675	0,453	551,02	535,71	501,35	577,46
622,5	555,6	15	0,725	0,597	555,6	553,38	517,36	598,76
551,0	587,8	16	0,775	0,755	587,8	573,39	535,15	623,37
523	612,1	17	0,825	0,935	612,1	597,01	555,73	653,03
612,1	622,5	18	0,875	1,150	622,5	626,76	581,09	691,19
587,8	679,5	19	0,925	1,440	679,5	668,95	616,20	746,68
463,6	681	20	0,975	1,960	681	752,15	683,22	859,95

Fréquence	U de Gauss	Valeur théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,2	0,841	400,24	367,10	429,34	400,24	0,200	1,3
0,5	0,000	483,73	452,25	517,40	483,73	0,500	2,0
0,8	0,841	584,64	545,01	637,41	584,64	0,800	5,0

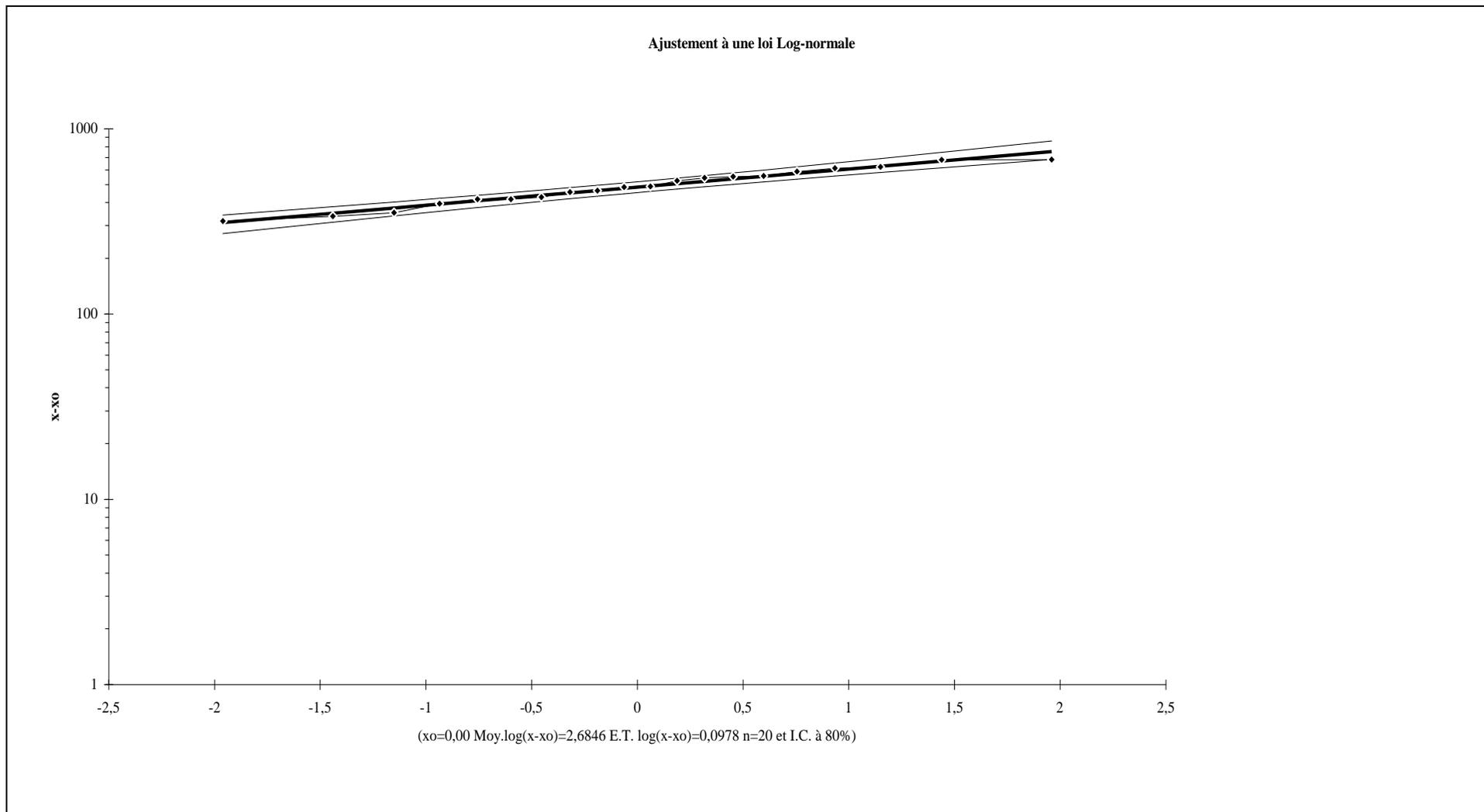


Figure VI.5 : ajustement à la loi de GALTON

VI.1.4.3.3-Test de validité d'un ajustement :

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. Il convient par conséquent de comparer l'adéquation de ces lois afin d'adopter le meilleur ajustement. L'un des tests le plus employé, est le test du Khi carré « χ^2 »

a) Test de validité de l'ajustement à la loi Normale :

Test de validité de Khi carrée pour l'ajustement à la loi Normale est fait par le logiciel *HYFRAN*.

- On calcule $\chi^2_{\text{calculé}}$
- On calcule le nombre de degré de liberté γ .
- On détermine $\chi^2_{\text{théorique}}$ sur la table de Pearson III

Avec :

$$\chi^2_{\text{théorique}} = g(\gamma, \alpha)$$

la loi adéquate pour une erreur $\alpha=0,05$ si et seulement si : $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{théorique}}$

Station de mouzaia

Test d'adéquation : Loi Normale

Résultats

Khi carré = 2.2

p-value p = 0.5319

Degrés de liberté : $\gamma = 3$

Nombre des classes : 6

- D'après la table de Pearson du χ^2 :

$$\chi^2_{\text{théorique}} = 7.815$$

$\chi^2_{\text{calculé}} = 2.2 < \chi^2_{\text{théorique}} = 7.815$ donc l'ajustement est à considérer.

b) Test de validité de l'ajustement à la loi log-Normale :

Station de mouzaia

Test d'adéquation : Loi log-Normale

Résultats

Khi carré = 1.00

p-value p = 0.8013

Degrés de liberté : $\gamma = 3$

Nombre des classes : 6

➤ D'après la table de Pearson du χ^2 :

$$\chi^2_{\text{théorique}}=7.815$$

$$\chi^2_{\text{calculé}}=1.0 < \chi^2_{\text{théorique}}=7.815 \quad \text{donc l'ajustement est à considérer.}$$

Donc on prend l'ajustement de la loi normal (loi de GAUSS) car la plus simple.

La probabilité pour laquelle on assure l'irrigation est donnée souvent pour la fréquence 80 %.

Tableau VI.12 : Précipitations moyennes mensuelles

mois	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	Avril	mai	juin	juil	aout
P(mm)	27,5	38,7	69,5	75,2	73,8	55,0	46,9	58,5	39,3	2,9	3,1	4,8

L'année de calcul est calculée par la formule suivante :

$$P_{\text{mensuelle } 80\%} = P_{\text{moy mensuelle}} * \frac{P_{80\%}}{P_{50\%}} \quad (13)$$

Donc le tableau de l'année de calcul est représenté dans le tableau suivant :

Tableau VI.13 : Précipitations moyennes mensuelles de l'année de calcul

Mois	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	année
$P_{\text{moy } 80\%}$	61,07	45,51	38,81	48,41	32,52	2,40	2,57	3,97	22,75	32,02	57,51	62,22	409,78

VI.1.5- étude des sols :

VI.1.5.1- Etat physique du sol

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

a) Texture :

La texture du sol caractérise la nature, la taille et la distribution des particules solides qui la constituent. qualitativement, elle peut s'apprécier par le "toucher" du matériau sol, qui peut

être grossier et rugueux, en fin et moelleux. On parle aussi des "terres lourdes" ou des "terres légères" selon qu'elles sont plus ou moins difficiles à travailler, quantitativement, elle s'exprime par l'analyse granulométrique qui décrit les proportions relatives des diverses tailles des particules solides.

Les résultats de cette analyse permettent de classer un sol en utilisant, soit le triangle textural équilatéral de l'U.S (conservation soit service).(voir Annexe-1)

La détermination de la texture sert à :

- Réserve en eau du sol.
- Infiltration de l'eau.
- Choix du système d'irrigation.
- Pilotage de l'irrigation.

b) Structure :

La structure du sol caractérise la façon dont sont associées les particules élémentaires solides en agrégats. C'est de la structure du sol que découlent directement des propriétés telles que la porosité qui est le rapport du volume des vides du sol et volume total exprimé en %, la cohésion, l'ameublissement. La structure se prête moins facilement que la texture à des analyses quantitatives.

c) La Perméabilité :

La perméabilité c'est la faculté qu'à un sol à laisser circuler l'eau plus ou moins facilement ou définie par sa vitesse d'infiltration qui est la quantité maximale d'eau qui peut traverser le sol dans un temps donné; on exprime en général en mm/h.

On peut définir en fonction de la valeur de K exprimée suivant diverses unités différentes classes de perméabilité

Tableau VI.14 : différents classes de perméabilité

Type du sol	Vitesse d'infiltration k			
	cm/s	mm/h	m/s	m/j
Sols imperméables	10^{-5}	0.36	10^{-7}	0.00864
Sols peu perméables	10^{-4}	3.6	10^{-6}	0.0864
Sols moyennement perméables	10^{-3}	36	10^{-5}	0.864
Sols perméables	10^{-2}	360	10^{-4}	8.64
Sols très perméables	$>10^{-2}$	>360	$>10^{-4}$	>8.64

On peut classer la nature de sol suivant la valeur de perméabilité.

Tableau VI.15 : nature du sol et sa valeur de K

Nature de sol	K(mm/h)
Très argileux	□1.2
Argileux	1.2 à 1.5
Limoneux	5 à 20

VI.1.5.2-Type de sols rencontrés:

Les sols de la zone d'étude (El-Affroun-Mouzaia- Cheffa et Attatba)sont variés. Plusieurs types de sols se sont développés sur des matériaux géologiques, essentiellement des alluvions anciennes et récentes. Les classes de sols rencontrés sont les suivantes :

- Sols peu évolués,
- Sols calcimagnésiques,
- Vertisols.

VI.1.5.2.1- Classe des sols peu évolués :

➤ Modal :

Dans la zone d'étude, les sols peu évolués sont les plus représentatifs, ils s'étendent sur de grandes superficies. Ils sont localisés en grande partie sur les terrasses, le long des oueds, formés de matériaux alluvionnaires et colluvionnaires. D'autre part, ils se caractérisent par des textures allant de argilo-limoneuse à argileuse.

Leurs teneurs en matière organique sont faibles et le pH est faiblement acide (lessivage). Sur le plan de la fertilité chimique, on peut avancer que ces sols sont faiblement à moyennement pourvus en phosphore et potassium. Il est à signaler, que les processus

pédogénétiques apparaissent dans ces sols comme l'hydromorphie et le vertisme lié à la texture fine et au relief relativement plat. L'hydromorphie est due surtout aux conditions de drainage défectueux. Alors que le vertisme se manifeste surtout dans les sols à texture argileuse et son extension est limitée à des parcelles.

➤ Hydromorphe :

Ils se différencient des sols peu évolués modaux par le caractère hydromorphe.

Ils se caractérisent par des textures, généralement, fines à très fines.

➤ **Vertique :**

Ces sols se répartissent sur de faibles superficies et se trouvent associés le plus souvent au caractère hydromorphe. Ils sont profonds et ont une texture limono-argileuse à argileuse. La structure est de type massive dans les deux premiers horizons et en profondeur, elle est polyédrique anguleuse. .

VI.1.5.2.2- Classe des sols carbonatés :

Ils occupent de faibles superficies par rapport aux autres classes. La matière est fortement liée aux éléments minéraux et forme avec eux un complexe stable qui est saturé principalement en calcium et en magnésium (Ca^{++} et Mg^{++}). Le pH est supérieur à 7. La structure est généralement grumeleuse à polyédrique fine dans l'horizon supérieur et polyédrique moyenne à fine dans les horizons inférieurs. En profondeur, nous relevons une accumulation relative des carbonates et d'argile ainsi qu'une altération de minéraux primaires. Ces sols sont représentés par un seul sous-groupe : modal

Sols bruns calcaire modaux :

Ils sont développés sur des alluvions anciennes et récentes (limono-argileuse calcaires).

VI.1.5.2.3- Classe des vertisols :

Cette catégorie de sols couvre une superficie assez importante dans la région d'étude. Les traits morphologiques et analytiques de ces sols sont les suivantes :

- Présence d'un horizon compact, structure grossière, horizon d'accumulation des carbonates en profondeur.

Les vertisols sont souvent calcaires, le plus souvent ce sont des sols à texture fine à très fine.avec prédominance d'argile.

Tableau VI.16 : Composition granulométrique des vertisols de la zone d'étude

Profil (cm)	Argile %	Limon fin %	Limon grossier %	Sable fin %	Sable grossier %
Horizon 1 0-25	59	22	7	5	2
Horizon 2 25-65	60	22	7	4	2
Horizon 3 65-110	59	24	8	4	1

Source : ANRH(Blida)

La composition des vertisols est presque homogène tout au long du profil. Elle est caractérisée par un taux élevé de particules fines dans l'ensemble du profil. Tandis que le sous-groupe halomorphe, les particules ont tendance à s'accumuler en profondeur.

Tableau VI.17 : Composition physico-chimique des vertisols- modal de la zone d'étude

Profil	Complexe absorbant (meq/100g)				pH	CE (mmhos/cm)	CaCO ₃ total	CaCO ₃ actif	MO (%)	C (%)	N (%)	C/N	K ₂ O	P ₂ O ₅ total	SAR
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺											
Horizon 1 0-25	56	3	0,92	0,61	7,8	0,73	6,4	-	1,47	8,7	1,12	8	3,02	1,17	0,17
Horizon 2 20-65	56	4	0,59	0,29	7,8	0,54	7,6	-	1,27	7,5	1,03	7	2,56	0,27	0,11
Horizon 3 65-110	57	5	0,59	0,26	7,8	0,38	7,0	-	1,24	7,3	0,9	8	2,45	0,94	0,11

Source : ANRH(Blida)

Les sols se caractérisent au pH légèrement alcalin de 7,8 dans tous le profil. Par ailleurs, on relève des taux relativement faibles pour le potassium et le phosphore. Ce qui nécessite des apports en ces éléments pour améliorer la fertilité des sols. Ceci se traduit une minéralisation rapide de la M.O.

La salinité de ces sols est très faible ,et aussi l'alcalinité (n'est pas alcalin)

VI.2-Impact des eaux résiduaires sur les milieux récepteurs :

Les effets des eaux usées sur les milieux récepteurs peuvent être classés en fonction de la nature des agents qui les provoquent :

- physiques (température, turbidité...).
- chimiques (PH, substances nutritives, phosphore, nitrate...).
- biologiques (micro-organisme).

L'irrigation des sols par ces eaux usées épurée peut avoir des incidences sur les propriétés physiques des sols en raison des apports de matières dissoutes ou en suspension et de micro-organismes. L'une des conséquences les plus néfastes de l'irrigation par ces eaux sur les propriétés physiques du sol est l'apparition du phénomène qui diminue la perméabilité et peut engendrer à terme des conditions anaérobies , Le colmatage chimique est généralement du au phénomène de défloculation des argiles provoqué par la présence des ions Na^+ , tandis que le colmatage biologique est causé par l'accumulation diverse de matières organiques, de colloïdes minéraux et surtout de micro-organismes provoquant ainsi la destruction de la structure du sol.

Une caractérisation très fine des types de sol au niveau parcellaire de la région Attatba-El-Affroun-Mouzaia-Chiffa permet d'évaluer l'aptitude de ces sols à recevoir les effluents domestiques et de prévoir tout changement dans l'équilibre interne du sol. Car l'évolution du milieu naturel sera conditionnée par cet équilibre qui, une fois rompu, influencera les propriétés chimiques et physiques comme le blocage de certains éléments nutritifs, le colmatage du matériau qui diminue la circulation de l'eau en profondeur car le sol n'est pas constitué seulement d'un horizon mais de l'ensemble des horizons jusqu'à la roche mère.

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 eau du périmètre.

- Les différents paramètres que nous venons d'étudier indiquent que la zone d'étude n'est pas assez homogène sur le plan climatique. La pluviométrie présente une certaine hétérogénéité dans le temps et l'espace. Le type de climat est semi aride donc l'irrigation est utile.

D'après l'analyse statistique des données hydrologiques, le périmètre est caractérisé par une pluie moyenne annuelle est de 409.78mm, la pluie de 80% est de l'ordre de 586.7mm, la pluie de 20% est de l'ordre de 403.89mm.

Les études pédologiques des sols au périmètre de cette zone ont permis de délimiter et de classer les sols en fonction de leurs aptitudes aux différentes cultures à irriguer.

Introduction :

Le présent chapitre, a pour but 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.

Le calcul des besoins en eau d'irrigation est essentiel pour l'exploitation optimale d'un système d'irrigation. Il permet de prévoir la quantité d'eau à distribuer aux usagers et permet aussi de planifier l'utilisation des ressources hydriques. Les quantités d'eau nécessaire à l'irrigation doivent satisfaire divers types de besoins au niveau des champs.

Les besoins en eau des cultures, peuvent être définis comme dose apportée à la plante dans des moments propices, afin de mettre celles-ci dans les meilleures conditions d'humidité requises, pour obtenir son rendement maximal.

VII.1-Plan cultural :

Les cultures pratiquées au niveau des exploitations enquêtées sont généralement l'arboriculture telle que les agrumes et les pommiers et les vignes, les cultures maraîchères, les céréales et les cultures fourragères.

L'arboricultures, qui a la plus grande valeur ajoutée, elles occupent de 43% de la superficie totale travaillée dans les exploitations enquêtées. Par contre les céréales occupent que 36%.

Si l'on observe les cultures irriguées, nous constatons que les exploitations irrigués que nous avons enquêtées la majorité des cultures sauf les céréales et les fourrages qui sont pluviales.

VII.1.1-Répartition des cultures :***Tableau VII.1 : superficie des cultures***

Surface irriguée (ha)				
Arboricultures	maraichage	céréales	Fourragers	Total
387	112	328	73	900

Afin de quantifier les besoins en eau des cultures, on doit étudier l'évolution de la répartition culturale de la situation existante et celle projetée dans le périmètre. Ce passage permettra

l'augmentation des superficies occupées par les cultures rémunératrices, tels que : l'arboriculture en plein champ, ainsi que les céréales, et les cultures maraichères.

L'enquête agro-socio-économique qui a pour objectif l'identification de la situation actuelle. Elle a été effectuée sur la base d'un échantillon d'exploitation représentatif choisi à partir d'une analyse des exploitations de l'aire d'étude.

L'enquête agro-économique a concerné un échantillon d'exploitations couvrant une superficie totale de **900ha**.

Les conditions édapho-climatiques de la région ont favorisé depuis longtemps le développement de l'arboriculture.

- **Grandes cultures :**

L'arboriculture, contrairement à beaucoup d'autres cultures, résistent mieux aux aléas climatiques. Ce serait l'une des causes qui en font une spécialité des plaines de la Mitidja ouest.

L'agrumiculture vient en première position. La superficie est d'ordre **194 ha** soit **50 %** de la surface des arboricultures. Le pommier vient en deuxième position, elle occupe une superficie de **109ha** soit **28%** et par quantité moins que ce précédent, on a les vignes (**84ha**).

- **La céréaliculture :**

La superficie cultivée en céréales, elle occupe **36 %** de la surface totale enquêtée et cultivée. Les agriculteurs pratiquent le plus souvent la culture de blé dur, soit environ **328ha** de la surface emblavée.

- **maraichages:**

Les cultures maraichères représentent seulement **12%** de la superficie totale, soit environ **112ha**. Les cultures pratiquées sont celles de saison, la mise en place de ces cultures se font à partir de mi mars à avril pour être récolter à partir de mois juillet à août.

La pomme de terre de saison est une culture stratégique, En ce qui concerne d'autres cultures maraichères pratiquées telle que l'oignon sec.

- **cultures fourragères :**

Les cultures fourragères s'étendent sur une superficie de **73 ha**, elle est composée essentiellement de sorgho.

Tableau VII.2: surface occupée par les différentes cultures.

Cultures	surface(ha)
Céréales	
Blé	328
Cultures maraichères	
pomme de terre	76
Oignon sec	36
Fourrages	
Sorgho	73
Arboriculture	
Agrumes	194
Pommier	109
Vigne	84

VII.2- Détermination des besoins en eau d'irrigation :

VII.2.1- Définition :

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).

VII.2.2- Calcul des besoins en eau d'irrigation pour les cultures :

Les besoins théoriques mensuels sont déterminés par le bilan hydrique

$$B = (P_{\text{eff}} + \text{RFU}) - \text{ETP} \quad (14)$$

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

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

RFU : réserve facilement utilisable .

$$\text{RFU} = Y (H_{\text{cc}} - H_{\text{pf}}).\text{Da.Z} \quad (15)$$

Y : degré de tarissement.

Da : densité apparente.

Z : profondeur d'enracinement.

Hcc : humidité à la capacité au champ

Hpf : humidité au point de flétrissement

Pef : pluie efficace

$P_{\text{eff}} = A \cdot \text{pluie}$; ou $A = 0,8$ à $0,9$ (pour notre cas on va prendre $A = 0,8$)

L'irrigation est fait lorsque $B < 0$.

Pour notre travail on utilisons le logiciel cropwat 8.0

La pièce de base pour la quantification des besoins en eau du périmètre est le calendrier des cultures, établi par des agronomes. Il présente les différentes cultures occupant le sol à chaque instant de l'année. On prend soin d'indiquer le taux de surface couvert par chaque culture sur la base des enquêtes menées par les brigades concernées. L'évaluation des besoins en eau du périmètre est basée sur la détermination des besoins de chaque culture retenue dans le calendrier agronomique. Pour cela on définit :

VII.2.3-Evapotranspiration réelle ou de culture (ETR OU ETC) :

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 ci-dessous :

$$ET_{\text{CULTURE}} = K_C * ET_0 \quad (16)$$

Avec :

K_C : Représente le coefficient culturale, dépendant du type de la culture et de son stade de développement, et des conditions climatiques qui y règnent.

Dans notre projet, nous nous intéressons surtout à L'évapotranspiration de référence " ET_0 ", car nous voudrions atteindre à tout prix, des rendements agricoles élevés et stables. Pour mieux rationaliser

la ressource, nous calculeront l'évapotranspiration de culture " ET_{culture} ", après avoir déterminé les coefficients culturaux " K_C ".

VII.2.4-Calcul de l'évapotranspiration potentielle ou de référence :

C'est l'évapotranspiration d'une culture bien fournie en eau où le sol est à sa capacité de retentions, autrement dit c'est la limite maximale de l'évapotranspiration.

Donc pour mieux prédire l'évapotranspiration, on a introduit une valeur de référence que l'on définit comme étant le taux d' l'évapotranspiration d'une surface du *gazon* vert, ayant une hauteur uniforme de 8 à 15 cm, poussant activement, ombrant complètement le sol et ne manquant pas d'eau.

Les recherches actuelles sur les besoins en eau des cultures agricoles ne sont plus menées dans le seul but d'obtenir des données précises sur chaque plante, mais surtout elles sont s'orientés vers l'établissement de formules universelles. Elles permettent de calculer rationnellement ces besoins, dans n'importe qu'elle région.

Pour cela, il existe plusieurs méthodes d'évaluation de l'évapotranspiration de référence, les plus utilisées, sont :

- Méthodes des stations expérimentales.
- Méthodes directes de l'évaporation.
- Méthodes des lysimètres.
- Méthodes empiriques.

En ce qui concerne notre projet, le calcul des besoins en eau des cultures est effectué à l'aide du logiciel appelé ; **CROPWAT** version **8**, qui permet au passage, l'évaluation de l'évapotranspiration de référence, selon la méthode empirique la plus appropriée de M^f Penman&Monteith modifiée.

VII.2.4.1- METHODE DE M^R PENMAN&MOTHEIT MODIFIEE

En Angleterre, précisément en **1948**, M^f Penman&Motheit a proposé une étude théorique de l'évapotranspiration en reliant inséparablement l'énergie solaire incidente. Cette formule est limitée ou bien incomplète, du fait que cette dernière ne prenne pas en considération l'effet de quelques paramètres météorologiques.

Les expériences ont montrés que la formule telle qu'elle est, s'applique mieux dans les régions humides, non loin de l'océan et essentiellement recouverte de végétation, que dans les zones arides ou semi-arides de faible humidité.

Pour cela, nous adaptons la nouvelle formule de M^r Penman&Montheit modifiée, qui prenne en compte l'effet du paramètre vent, ainsi que les corrections supplémentaires qui tiennent compte des conditions météorologiques diurnes et nocturnes.

L'expérience a montrée que l'expression obtenue, prédirait de près, l'évapotranspiration de référence, non seulement dans des régions humides et fraîches comme en Angleterre, mais aussi dans des zones très chaude et semi-aride. La formule de M^r Penman&Montheit, modifiée, se présentant comme suite :

$$ET_0 = C * [W * Rn + (1 - W) * F(u) * (ea - ed)] \quad (17)$$

Où :

ET_0 : Représente l'évapotranspiration de référence, exprimées en mm/jour.

W : Facteur de pondération rendant compte de l'effet de rayonnement à différente température et altitude.

Rn : Rayonnement net en évaporation équivalente, exprimé en mm/jour.

$F(u)$: Fonction liée au vent.

ea : Tension de vapeur saturante à la température moyenne de l'air, en millibars.

ed : Tension de vapeur réelle moyenne de l'air, exprimée en millibars.

La différence $(ea - ed)$ constitue le facteur de correction, afin de compenser les conditions météorologiques diurnes et nocturnes.

Le calcul de l'évapotranspiration de référence est réalisé à l'aide d'un logiciel appelé **CROPWAT 8,0** fondé sur la méthode de M^r Penman&Montheit, modifiée et recommandée par la consultation des experts de la **FAO** tenue à Rome en Mai **1990**.

Le logiciel Cropwat 8.0 a été utilisé, pour cela nous avons eu besoin de données climatiques suivantes sur une période de vingt ans de la station météorologique de mouzaia :

- les coordonnées géographiques de la station météorologique
- températures moyennes mensuelles (°C),
- précipitation moyenne mensuelle (mm),
- humidité relative moyenne mensuelle (%),
- vitesse moyenne mensuelle du vent (km/jours),
- durée d'insolation moyenne mensuelle (heure/j).

Le logiciel calcule automatiquement :

- ET_0 Penman, estimée à partir des données climatiques,
- pluie efficace déterminée par:

$$\text{Pluie efficace} = 0,8 * \text{pluie moyenne mensuelle}$$

L'entrée des données relatives à chaque culture et la date de semis.

Les résultats sortis ont été transférés (tableaux des besoins en eau et de calendrier d'irrigation) de Cropwat vers Logiciel Excel, pour permettre le calcul du bilan.

Tableau VII.3: Evapotranspiration de référence de la zone de projet selon Penman&Monteith

Mois	Temp Moy (°C)	Humidité (%)	Vent (km/jour)	Insolation (heures)	Ray. (MJ/m²/jour)	ETo mm/mois
Janvier	13	76	769	10,1	18,2	75,49
Février	16	76	43	9,9	22,7	70,63
Mars	14,5	73	665	12,0	26,2	113,19
Avril	16	71	181	12,5	29,1	122,07
Mai	25,5	70	311	13,8	27,8	181,27
Juin	24,5	67	665	14,9	27,8	199,28
Juillet	28	63	354	14,4	24,8	202,98
Août	30,5	70	337	14,2	23,3	194,99
Septembre	25,5	69	510	12,2	21,4	166,41
Octobre	27	70	682	11,9	18	174,29
Novembre	17	73	181	10,1	17,1	74,53
Décembre	13	79	242	9,8	16	52
Moyenne	20,9	71	412	12,2	22,7	135,59

VII.2.5-La pluie efficace :

La pluie efficace, Peff, représente la fraction des précipitations qui est effectivement utilisée par la culture après déduction des pertes par ruissellement de surface et par percolation profonde. Le choix de la méthode appropriée pour le calcul des précipitations efficaces demande une réflexion sérieuse. Différentes méthodes ont ainsi été développées, chacune prenant en compte le climat de la région où doivent s'effectuer les mesures.

Tableau VII.4 : les pluies efficaces

Mois	Pluie (mm)	Pluie eff.(mm)
Janvier	61,1	48,9
Février	45,5	36,4
Mars	38,8	31,0
Avril	48,4	38,7
Mai	32,5	26,0
Juin	2,4	1,9
Juillet	2,6	2,1
Août	4,0	3,2
Septembre	22,8	18,2
Octobre	32,0	25,6
Novembre	57,5	46,0
Décembre	62,2	49,8
Total	409,8	327,8

VII.2.6-Durée de chaque culture :

Le calendrier cultural général est présenté comme suite :

Tableau. VII.5 : Calendrier cultural

Cultures		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
arboricultures	Agrumes	●											●
	Pommier		●	●									
	vignes								●	●			
marichages	pomme de terre	●			●								
	oignon sec			●					●				
Céréales	Blé dur						●			●			
forrageres	sorgho							●				●	

Les résultats de calcul pour les différentes cultures sont :

Tableau VII.6 : besoins en eau d'irrigation du blé dur.

Mois	Décade	Phase	Kc	ETc (mm/jour)	ETc (mm/dec)	Pluie eff. (mm/dec)	Bes. Irr. (mm/dec)
Oct	1	Init	0,3	1,76	1,8	1	1,8
Oct	2	Init	0,3	1,81	18,1	11,4	6,7
Oct	3	Init	0,3	1,45	16	14,9	1,1
Nov	1	Crois	0,3	1,01	10,1	19,5	0
Nov	2	Crois	0,35	0,75	7,5	23,1	0
Nov	3	Crois	0,41	0,82	8,2	23,3	0
Déc	1	Crois	0,47	0,88	8,8	23,4	0
Déc	2	Crois	0,53	0,83	8,3	24,1	0
Déc	3	Crois	0,59	1,1	12,1	23,8	0
Jan	1	Crois	0,66	1,43	14,3	24	0
Jan	2	Crois	0,72	1,74	17,4	24,1	0
Jan	3	Crois	0,78	1,92	21,1	21,9	0
Fév	1	Crois	0,84	2,05	20,5	19,1	1,4
Fév	2	Crois	0,9	2,19	21,9	16,9	5
Fév	3	Crois	0,96	2,72	21,7	16,2	5,5
Mar	1	Crois	1,01	3,32	33,2	15,1	18,1
Mar	2	Crois	1,07	3,92	39,2	14	25,2
Mar	3	Mi-sais	1,13	4,3	47,3	15,5	31,8
Avr	1	Mi-sais	1,15	4,44	44,4	18,2	26,3
Avr	2	Mi-sais	1,15	4,56	45,6	19,8	25,8
Avr	3	Mi-sais	1,15	5,28	52,8	17,4	35,5
Mai	1	Arr-sais	1,13	6,02	60,2	14,9	45,3
Mai	2	Arr-sais	0,89	5,32	53,2	13,2	40,1
Mai	3	Arr-sais	0,58	3,58	39,4	9,1	30,3
Jui	1	Arr-sais	0,33	2,07	12,4	1,6	11,1
total					635,7	425,3	310,9

Mois	oct	nov	Déc	jan	fév	mars	avr	mai	Juin
ETc(mm/mois)	35,9	25,8	29,2	52,8	64,1	119,7	142,8	152,8	12,4
Besoins Irr(mm/mois)	9,6	0	0	0	11,9	75,1	87,6	115,7	11,1

Tableau VII.7: besoins en eau d'irrigation des agrumes.

Mois	Décade	Phase	Kc	ETc (mm/jour)	ETc (mm/dec)	Pluie eff. (mm/dec)	Bes. Irr. (mm/dec)
Jan	1	Init	0.70	1.53	15.3	24.0	0.0
Jan	2	Init	0.70	1.70	17.0	24.1	0.0
Jan	3	Init	0.70	1.73	19.0	21.9	0.0
Fév	1	Init	0.70	1.70	17.0	19.1	0.0
Fév	2	Init	0.70	1.70	17.0	16.9	0.0
Fév	3	Init	0.70	1.98	15.9	16.2	0.0
Mar	1	Crois	0.69	2.27	22.7	15.1	7.6
Mar	2	Crois	0.68	2.47	24.7	14.0	10.7
Mar	3	Crois	0.66	2.50	27.5	15.5	12.0
Avr	1	Crois	0.64	2.49	24.9	18.2	6.7
Avr	2	Crois	0.63	2.49	24.9	19.8	5.1
Avr	3	Crois	0.61	2.81	28.1	17.4	10.7
Mai	1	Crois	0.60	3.17	31.7	14.9	16.7
Mai	2	Crois	0.58	3.45	34.5	13.2	21.3
Mai	3	Mi-sais	0.56	3.48	38.2	9.1	29.2
Jui	1	Mi-sais	0.56	3.55	35.5	2.6	32.9
Jui	2	Mi-sais	0.56	3.69	36.9	0.0	36.9
Jui	3	Mi-sais	0.56	3.68	36.8	0.2	36.6
Jui	1	Mi-sais	0.56	3.66	36.6	0.9	35.7
Jui	2	Mi-sais	0.56	3.64	36.4	0.9	35.5
Jui	3	Mi-sais	0.56	3.59	39.5	1.1	38.4
Aoû	1	Mi-sais	0.56	3.55	35.5	0.7	34.7
Aoû	2	Mi-sais	0.56	3.50	35.0	0.6	34.4
Aoû	3	Mi-sais	0.56	3.36	37.0	3.3	33.7
Sep	1	Mi-sais	0.56	3.22	32.2	6.6	25.6
Sep	2	Mi-sais	0.56	3.09	30.9	9.2	21.7
Sep	3	Arr-sais	0.56	3.11	31.1	10.2	20.9
Oct	1	Arr-sais	0.56	3.30	33.0	10.5	22.5
Oct	2	Arr-sais	0.56	3.39	33.9	11.4	22.5
Oct	3	Arr-sais	0.56	2.72	29.9	14.9	15.0
Nov	1	Arr-sais	0.56	1.87	18.7	19.5	0.0
Nov	2	Arr-sais	0.56	1.23	12.3	23.1	0.0
Nov	3	Arr-sais	0.56	1.13	11.3	23.3	0.0
Déc	1	Arr-sais	0.56	1.06	10.6	23.4	0.0
Déc	2	Arr-sais	0.56	0.89	8.9	24.1	0.0
Déc	3	Arr-sais	0.56	1.05	11.5	23.8	0.0
total					951.6	469.7	566.8

mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Auot	sept	Oct	Nov	déc
ETc(mm/mois)	51,3	49,9	74,9	77,9	104,4	109,2	112,5	107,5	94,2	96,8	42,3	31
Besoins Irr(mm/mois)	0	0	30,3	22,5	67,2	106,4	109,6	102,8	68,2	60	0	0

Tableau VII.8 : besoins en eau d'irrigation de la pomme de terre.

Mois	Décade	Phase	Kc	ETc (mm/jour)	ETc (mm/dec)	Pluie eff. (mm/dec)	Bes. Irr. (mm/dec)
Jan	2	Init	0.50	1.22	2.4	4.8	2.4
Jan	3	Init	0.50	1.23	13.6	21.9	0.0
Fév	1	Init	0.50	1.21	12.1	19.1	0.0
Fév	2	Crois	0.57	1.38	13.8	16.9	0.0
Fév	3	Crois	0.74	2.09	16.7	16.2	0.5
Mar	1	Crois	0.91	2.97	29.7	15.1	14.6
Mar	2	Mi-sais	1.06	3.86	38.6	14.0	24.6
Mar	3	Mi-sais	1.07	4.05	44.6	15.5	29.1
Avr	1	Mi-sais	1.07	4.13	41.3	18.2	23.1
Avr	2	Mi-sais	1.07	4.24	42.4	19.8	22.6
Avr	3	Arr-sais	1.06	4.89	48.9	17.4	31.6
Mai	1	Arr-sais	0.96	5.13	51.3	14.9	36.4
Mai	2	Arr-sais	0.83	4.91	49.1	13.2	35.9
Mai	3	Arr-sais	0.70	4.33	34.6	6.6	25.5
total					439.1	213.6	246.3

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai
ETc(mm/mois)	16	42,6	112,9	132,6	135
Besoins Irr(mm/mois)	2,4	0,5	68,3	77,3	97,8

Tableau VII.9 : besoins en eau d'irrigation du sorgho.

Mois	Décade	Phase	Kc	ETc (mm/jour)	ETc (mm/dec)	Pluie eff. (mm/dec)	Bes. Irr. (mm/dec)
Jui	1	Init	0.30	1.97	19.7	0.9	18.8
Jui	2	Init	0.30	1.96	19.6	0.9	18.7
Jui	3	Crois	0.41	2.65	29.1	1.1	28.0
Aoû	1	Crois	0.60	3.84	38.4	0.7	37.7
Aoû	2	Crois	0.79	4.94	49.4	0.6	48.8
Aoû	3	Mi-sais	0.93	5.63	61.9	3.3	58.6

Tableau IIV.9(suite)

Sep	1	Mi-sais	0.94	5.46	54.6	6.6	47.9
Sep	2	Mi-sais	0.94	5.22	52.2	9.2	43.0
Sep	3	Mi-sais	0.94	5.25	52.5	10.2	42.3
Oct	1	Arr-sais	0.91	5.31	53.1	10.5	42.6
Oct	2	Arr-sais	0.78	4.69	46.9	11.4	35.5
Oct	3	Arr-sais	0.64	3.11	34.2	14.9	19.3
Nov	1	Arr-sais	0.56	1.85	3.7	3.9	3.7
total					515.4	74.4	444.9

Mois	Juil	Aout	Sept	Oct	nov
ETc(mm/mois)	68,4	149,7	159,3	134,2	3,7
Besoins Irr(mm/mois)	65,5	145,1	133,2	97,4	3,7

Tableau VII.10 : besoins en eau d'irrigation de l'oignon sec.

Mois	Décade	Phase	Kc	ETc (mm/jour)	ETc (mm/dec)	Pluie eff. (mm/dec)	Bes. Irr. (mm/dec)
Avr	3	Init	0,70	3,22	16,1	8,7	7,4
Mai	1	Init	0,70	3,72	37,2	14,9	22,3
Mai	2	Crois	0,72	4,26	42,6	13,2	29,4
Mai	3	Crois	0,82	5,05	55,6	9,1	46,5
Jui	1	Crois	0,93	5,93	59,3	2,6	56,7
Jui	2	Mi-sais	1,01	6,73	67,3	0	67,3
Jui	3	Mi-sais	1,02	6,74	67,4	0,2	67,2
Jui	1	Mi-sais	1,02	6,71	67,1	0,9	66,2
Jui	2	Arr-sais	1,00	6,55	65,5	0,9	64,6
Jui	3	Arr-sais	0,92	5,94	53,4	0,9	52,3
total					531,6	51,5	479,9

Mois	Avr	Mai	Juin	juil
ETc(mm/mois)	16,1	135,4	194	186
Besoins Irr(mm/mois)	7,4	98,2	191,2	183.1

Tableau VII.11 : besoins en eau d'irrigation des vignes.

Mois	Décade	Phase	Kc	ETc (mm/jour)	ETc (mm/dec)	Pluie eff. (mm/dec)	Bes. Irr. (mm/dec)
Sep	1	Init	0.30	1.74	17.4	6.6	10.7
Sep	2	Init	0.30	1.66	16.6	9.2	7.4
Sep	3	Init	0.30	1.67	16.7	10.2	6.5
Oct	1	Init	0.30	1.76	17.6	10.5	7.1
Oct	2	Init	0.30	1.81	18.1	11.4	6.7
Oct	3	Init	0.30	1.45	16.0	14.9	1.1
Nov	1	Init	0.30	1.00	10.0	19.5	0.0
Nov	2	Init	0.30	0.66	6.6	23.1	0.0
Nov	3	Init	0.30	0.60	6.0	23.3	0.0
Déc	1	Init	0.30	0.56	5.6	23.4	0.0
Déc	2	Init	0.30	0.47	4.7	24.1	0.0
Déc	3	Init	0.30	0.56	6.1	23.8	0.0
Jan	1	Init	0.30	0.65	6.5	24.0	0.0
Jan	2	Init	0.30	0.73	7.3	24.1	0.0
Jan	3	Crois	0.31	0.75	8.3	21.9	0.0
Fév	1	Crois	0.38	0.92	9.2	19.1	0.0
Fév	2	Crois	0.47	1.14	11.4	16.9	0.0
Fév	3	Crois	0.55	1.56	12.5	16.2	0.0
Mar	1	Crois	0.64	2.08	20.8	15.1	5.7
Mar	2	Mi-sais	0.73	2.65	26.5	14.0	12.5
Mar	3	Mi-sais	0.76	2.88	31.7	15.5	16.2
Avr	1	Mi-sais	0.76	2.93	29.3	18.2	11.2
Avr	2	Mi-sais	0.76	3.01	30.1	19.8	10.3
Avr	3	Mi-sais	0.76	3.49	34.9	17.4	17.5
Mai	1	Mi-sais	0.76	4.04	40.4	14.9	25.5
Mai	2	Mi-sais	0.76	4.51	45.1	13.2	32.0
Mai	3	Mi-sais	0.76	4.69	51.6	9.1	42.5
Jui	1	Mi-sais	0.76	4.84	48.4	2.6	45.8
Jui	2	Mi-sais	0.76	5.04	50.4	0.0	50.4
Jui	3	Mi-sais	0.76	5.02	50.2	0.2	50.0
Jui	1	Mi-sais	0.76	4.99	49.9	0.9	49.0
Jui	2	Mi-sais	0.76	4.97	49.7	0.9	48.8
Jui	3	Arr-sais	0.72	4.62	50.9	1.1	49.7
Aoû	1	Arr-sais	0.61	3.86	38.6	0.7	37.8
Aoû	2	Arr-sais	0.50	3.14	31.4	0.6	30.8
Aoû	3	Arr-sais	0.39	2.34	25.8	3.3	22.4
total					902.4	469.7	597.6

mois	Sept	Oct	Nov	déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Auot
ETc(mm/mois)	50,7	51,7	22,6	16,4	22,1	33,1	79	94,3	137,1	149	150,5	95,8
Besoins Irr(mm/mois)	24,6	14,9	0	0	0	0	34,4	39	100	146,2	147,5	91

Tableau VII.12 : besoins en eau d'irrigation du pommier.

Mois	Décade	Phase	Kc	ETc (mm/jour)	ETc (mm/dec)	Pluie eff. (mm/dec)	Bes. Irr. (mm/dec)
Mar	1	Init	0,7	2,29	22,9	15,1	7,8
Mar	2	Init	0,7	2,56	25,6	14	11,6
Mar	3	Init	0,7	2,65	29,2	15,5	13,7
Avr	1	Init	0,7	2,7	27	18,2	8,9
Avr	2	Init	0,7	2,78	27,8	19,8	8
Avr	3	Init	0,7	3,22	32,2	17,4	14,8
Mai	1	Init	0,7	3,72	37,2	14,9	22,3
Mai	2	Init	0,7	4,16	41,6	13,2	28,5
Mai	3	Init	0,7	4,33	47,6	9,1	38,5
Jui	1	Init	0,7	4,46	44,6	2,6	42
Jui	2	Init	0,7	4,65	46,5	0	46,5
Jui	3	Init	0,7	4,63	46,3	0,2	46,1
Jui	1	Init	0,7	4,61	46,1	0,9	45,1
Jui	2	Init	0,7	4,58	45,8	0,9	44,9
Jui	3	Crois	0,7	4,52	49,7	1,1	48,6
Aoû	1	Crois	0,7	4,43	44,3	0,7	43,6
Aoû	2	Crois	0,69	4,34	43,4	0,6	42,8
Aoû	3	Crois	0,68	4,13	45,5	3,3	42,1
Sep	1	Crois	0,68	3,93	39,3	6,6	32,7
Sep	2	Crois	0,67	3,73	37,3	9,2	28,1
Sep	3	Crois	0,67	3,72	37,2	10,2	27
Oct	1	Crois	0,66	3,88	38,8	10,5	28,3
Oct	2	Crois	0,66	3,95	39,5	11,4	28,1
Oct	3	Mi-sais	0,65	3,15	34,7	14,9	19,7
Nov	1	Mi-sais	0,65	2,16	21,6	19,5	2,2
Nov	2	Mi-sais	0,65	1,42	14,2	23,1	0
Nov	3	Mi-sais	0,65	1,31	13,1	23,3	0
Déc	1	Mi-sais	0,65	1,22	12,2	23,4	0
Déc	2	Mi-sais	0,65	1,03	10,3	24,1	0
Déc	3	Mi-sais	0,65	1,21	13,3	23,8	0
Jan	1	Mi-sais	0,65	1,42	14,2	24	0

Tableau VII.12 (suite)

Jan	2	Mi-sais	0,65	1,58	15,8	24,1	0
Jan	3	Arr-sais	0,68	1,68	18,5	21,9	0
Fév	1	Arr-sais	0,7	1,7	17	19,1	0
Fév	2	Arr-sais	0,7	1,7	17	16,9	0
Fév	3	Arr-sais	0,7	1,98	15,9	16,2	0
total					1113,1	469,7	721,8

mois	Mars	Avr	Mai	Juin	Juillet	Aout	sept	Oct	Nov	Déc	Jan	fév
ETc(mm/mois)	77,7	87	126	137,4	141,4	133	114	113	48,9	35,8	48,5	49,9
Besoins Irr(mm/mois)	33,1	31,7	89,3	134,6	138,6	129	87,8	76,1	2,2	0	0	0

VII.3-EFFICIENCE DE L'IRRIGATION :

L'efficacité 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 le réseau d'irrigation.

La différence entre les deux volumes indique les pertes.

La formule utilisée pour l'estimation de l'efficacité d'un réseau d'irrigation est donnée par l'expression suivante:

$$E_i = E_t \cdot E_d \cdot E_u \quad (18)$$

Avec: E_i : Efficacité d'irrigation en (%)

E_e : Efficacité de transport (%)

E_d : Efficacité de type de distribution en (%)

E_u : Efficacité de l'uniformité de la distribution.(%)

L'évaluation exacte des pertes est très difficile et même presque impossible, suite des multiples variables qui interviennent.

On considère une efficacité globale, produit entre les trois efficacités décrites ci-dessus égalé à **0.75**

VII.4- Besoins nets en eau d'irrigation:

L'évaluation des besoins nets en eau des cultures se fait par le logiciel CROPWAT 8.0

Les résultats de calcul sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau VII.12: détermination des besoins en eau des cultures

Désignation	Besoins mensuel (mm/mois)												année (mm)
	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juillet	Aout	
Blé dur		9.6	0	0	0	11.9	75.1	87.6	115.7	11.1			310.9
sorgho	133.2	97.4	3.7								65.5	145.1	444.9
Pomme de terre					2.4	0.5	68.3	77.3	97.8				246.3
Oignon sec								7.4	98.2	191.2	183.1		479.9
agrumes	68.2	60	0	0	0	0	30.3	22.5	67.2	106.4	109.6	102.8	566.8
Pommier	87.8	76.1	2.2	0	0	0	33.1	31.7	89.3	134.6	138.6	128.5	721.8
Vignes	24.6	14.9	0	0	0	0	34.4	39	100	146.2	147.5	91	597.6
Total(mm)	313.8	258	5.9	0	2.4	12.4	241.2	265.5	568.2	589.5	644.3	467.4	3368.2
Total(m³/ha)	3138	2580	59	0	24	124	2412	2655	5682	5895	6443	4674	33682

Les besoins en eau d'irrigation des cultures envisageables pour le périmètre qui sera irriguer à partir de la station d'épuration de Benchougrane sont reportés dans le tableau suivante :

Tableau VII.13: Tableau récapitulatif des besoins totaux en eau.

CULTURES	Superficie en (ha)	Besoins en eau net (mm)	Besoins en eau net (m³ / ha)	Efficiencce (%)	Besoins bruts totaux (m³/ha)	Besoins bruts totaux (m³)
Blé	328	310.9	3109	0.75	4145.3	1359658.4
pomme de terre	76	246.3	2463	0.75	3284	249584
Oignon sec	36	479.9	4799	0.75	6398.7	230353.2
Sorgho fourrager	73	444.9	4449	0.75	5932	433036
Agrumes	194	566.8	5668	0.75	7557.3	1466116.2
Vignes	84	597.6	5976	0.75	7968	669312
Pommier	109	721.8	7218	0.75	9624	1049016
					Total	5457075.8

Donc le volume annuel total nécessaire de ce périmètre est de 5.46 hm³

Pour le mois de pointe :

Tableau VII.14 : les besoins du mois de pointe

Superficie en (ha)	Besoins en eau de mois du pointe net(m3/ha)	Efficiencce (%)	Besoins bruts de mois du pointe (m3/ha)
900	6443	0.75	8590.67

VII.5-Définition de la ressource en eau :

On estime le débit d'eau traité par la station d'épuration qui est égale à 80% de débit moyenne des eaux usées c'est-à-dire le débit de sorte par la STEP égale à 80% au débit qui entre dans la STEP, donc :

Le débit moyenne des eaux usées = $20715 \text{ m}^3/\text{j} = 863,125 \text{ m}^3/\text{h}$.

Le débit de sorte par la STEP = $0,8 * 863,125 = 690,5 \text{ m}^3/\text{h}$

$$Q_{\text{Sorte}} = 0.19 \text{ m}^3/\text{s}$$

D'où ce débit est destiné pour l'irrigation du périmètre d'étude.

Les normes de rejet après traitements sont :

- * DBO₅ < 30mg/l
- * MES < 30mg/l
- * DCO < 120mg/l

Conclusion :

En définitive, il faudra prévoir une disponibilité annuelle brute d'environ **6 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.

Introduction :

Le réseau d'adduction est constitué essentiellement par une conduite enterrée qui alimente le réservoir, soit gravitairement ou par refoulement à partir d'une source d'eau (barrage, cours d'eau, forage, ...),

VIII.1-Type d'adduction :

D'après leur fonctionnement, on distingue trois types d'adduction :

- Adduction gravitaire.
- Adduction par refoulement.
- Adduction mixte.

➤ Adduction gravitaire :

Dans une adduction gravitaire, le point de captage se situe à une altitude supérieure à celle du réservoir de desserte de l'agglomération et l'écoulement peut être à surface libre, c'est-à-dire sans pression, grâce à la pente, ordinairement uniforme sur tout le parcours ou en charge, c'est-à-dire sous pression.

➤ Adduction par refoulement :

Dans une adduction par refoulement, le point à alimenté se trouve à une altitude supérieure à celle du captage donc l'écoulement est en charge par pompage.

➤ Adduction mixte :

C'est une adduction où la conduite par refoulement se transforme en conduite gravitaire ou l'inverse. Le relais entre les deux types de conduite est assuré par un réservoir appelé réservoir tampon.

Remarque : Dans notre étude. On est appelé à choisir une adduction par refoulement .

VIII.2- Choix du tracé (condition technique) :

Pour le choix du tracé de la conduite de refoulement sera tenu compte de certain impératif que l'on s'efforcera dans la mesure du possible de respecter.

- Il est important de chercher un profil en long aussi régulier que possible pour éliminer les contres pentes.
- Dans le but d'économie du projet, le tracé doit être le plus court possible.
- Éviter le phénomène de cavitation qui peut engendrer les éclatements et vibrations de la canalisation au cours de la phase de surpression.
- Éviter les forêts, bois et zones marécageuses
- Éviter autant que possible la traversée des obstacles (routes, voies ferrées, canaux, oueds,...)

VIII.3- Choix du type de tuyaux :

Le choix est établi sur des critères d'ordre technique à savoir le diamètre, la pression de service, condition de pose et sur des critères d'ordre économique qui englobent le prix de la fourniture et le transport.

Dans notre étude nous avons choisi des conduites en acier, qui sont plus économique que celle en fonte, vu les avantages qu'elles présentent :

- Ils sont disponibles sur le marché.
- Peuvent supporter des pressions importantes (3 à 20 bars).
- Économique sur le transport.
- Leur continuité et leur souplesse permettent d'opérer la mise en force de fouille de tronçon de grande longueur préalablement assemblée au dessous du sol dans les meilleures conditions d'exécution et de contrôle.
- Par leur élasticité s'adaptent aux reliefs plus au moins accidentés.
- Le seul inconvénient c'est le risque de la corrosion qui nécessite un revêtement intérieur.

VIII. 4- Conditions économique :

Du point de vue économique, la conduite de refoulement et de la station de pompage sont dépendantes c'est à dire que :

- Plus le diamètre de la conduite est petit pour un même débit à relever plus la perte de charge sera grande d'où l'énergie dépensée sera importante.
- Les frais d'exploitation de la station de pompage sont décroissants quand le diamètre augmente, par suite la diminution des pertes de charge.

Description de schéma d'adduction :

Le principe d'adduction de cette variante consiste à projeter une station de pompage à la côte 49,00 m NGA dans la STEP de Ben Chougrane pour refouler les besoins en eau d'irrigation dans un réservoir de stockage projeté à la côte 75 m NGA et de là, desservir gravitairement toutes les exploitations du future périmètre.

Tableau .VIII.1 : le volume de stockage nécessaire

Mois	Sep	oct	nov	Déc	jan	fév	mars	Avr	mai	juin	juil	août
Besoin du périmètre (m3)	376560	309600	7080	0	2880	14880	289440	318600	681840	707400	773160	560880
Volume produit (m3)	492480	508896	492480	508896	508896	476064	508896	492480	508896	492480	508896	508896
Déficit/surplus (m3)	115920	199296	485400	508896	506016	461184	219456	173880	-172944	-214920	-264264	-519840
Bilan cumulé (m3)	115920	315216	800616	1309512	1815528	2276712	2496168	2670048	2497104	2282184	2017920	1965984
Cumul de stockage (m3)	0	0	0	0	0	0	0	0	-172944	-2149	-264264	-519840

D'après les résultats qui donnent dans le tableau VIII.1 on trouve le volume de stockage nécessaire est égale de 264264m³ pour satisfaire les besoins de périmètre de la zone de Mouzaia (900ha)

VIII.5- Calcul du diamètre économique de la conduite de refoulement « D_{ec} » :**a) Dimensionnement de la conduite :**

L'étude du dimensionnement consiste à déterminer le diamètre optimal en se basant sur les frais d'exploitation et les frais d'amortissement de la conduite qui augmente avec l'augmentation du diamètre.

b) Méthode de calcul :

Dans la pratique le diamètre optimal est déterminé par rapport à une fourchette de vitesse à respecter, ce diamètre est déterminé approximativement par les formules de BONIN et BRESSE, ces formules sont données comme suit :

$$\text{La formule de BONIN : } D = \sqrt{Q} \quad (19)$$

$$\text{La formule de BRESSE : } D = 1,5 \sqrt{Q} \quad (20)$$

Avec :

D : Diamètre de la conduite en mètre.

Q : Débit véhiculé en m^3/s .

Remarque : La formule de BRESSE n'est pas valable que pour les petits projets (longueur de conduite ≤ 1 Km).

• Hauteur manométrique totale :

La hauteur manométrique totale sera calculée de la manière suivante :

$$H_{mt} = H_g + \sum \Delta h \quad (21)$$

H_g : Différence de niveau entre le plan d'aspiration et le plan de refoulement (m)

$\sum \Delta h$: Somme des pertes de charge linéaires et singulières (m).

Dans le cas des adductions, les pertes de charge singulières sont estimées à **15%** des pertes de charge linéaires.

$$\sum \Delta h = 1,15 * \Delta h_p^{lin} \quad (22)$$

Δh_p^{lin} : Pertes de charge linéaires (m).

$$\Delta h_p^{lin} = \frac{8 * \lambda * L * Q^2}{\pi^2 * g * D^{5,3}} \quad (\text{Formule de Darcy-Weisbakh}) \quad (23)$$

g : Accélération de la pesanteur (m/s^2) ;

Q : Débit à refouler (m^3/s) ;

L : longueur géométrique de la conduite (m) ;

λ : Coefficient de frottement qui est en fonction de la rugosité de la paroi interne de la conduite et du régime d'écoulement.

$$\text{Avec : } \lambda = (1,14 - 0,86 \text{Ln} \frac{\varepsilon}{D})^{-2} \quad (\text{Formule de Nikuradzé}) \quad (24)$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 * \text{Log} \left(\frac{\varepsilon}{3,7 * D} + \frac{2,51}{R_e * \sqrt{\lambda}} \right) \quad (\text{Formule Colebrook}) \quad (25)$$

R_e : Nombre de Reynolds ;

$$R_e = \frac{V * D}{\nu} \quad (26)$$

V : vitesse d'écoulement dans la conduite (m/s) ;

D : diamètre de la conduite (m) ;

ν : viscosité cinématique de l'eau (m²/s).

ε : Rugosité absolue de la conduite ;

- **Puissance de pompage :**

$$P = \frac{g * Hmt * Q}{\eta} \quad (27)$$

P : puissance absorbée par la pompe (Kw) ;

g : Accélération de la pesanteur (m/s²) ;

Hmt : Hauteur manométrique totale (m) ;

Q : Débit à refouler (m³/s) ;

η : rendement de la station de pompage (70 %).

- **Energie consommée par le pompage :**

L'énergie consommée par la station de pompage le long d'une année est le produit de la puissance de pompage et d'heures de pompage par année.

$$E = P * t * 365 \quad (28)$$

E : énergie consommée pendant une année (Kwh) ;

P : puissance de pompage (Kw) ;

t : temps de pompage par jour (h).

- **Dépense annuelle de l'énergie**

Les dépenses annuelles de l'énergie sont le produit du prix unitaire du Kwh et de l'énergie consommée par année.

$$K = \delta * E \quad (29)$$

K : Dépenses annuelles d'énergie (DA) ;

E : Energie consommée par année (Kw) ;

δ : prix unitaire d'un Kw H imposé par la SONELGAZ ($\delta=5.71\text{DA}$)

- **Amortissement annuel :**

Les frais d'amortissement sont en fonction de la durée d'amortissement de la conduite et du taux d'annuité. Il est déterminé par la relation suivante :

$$A = \frac{i}{(1+i)^n - 1} + i \quad (30)$$

A : Frais d'amortissement (DA) ;

i : Taux d'annuité ; i = 8 % ;

n : Durée de l'amortissement de la conduite, n =20 ans.

Application numérique : Q=0.19m³/s

L=7911m

Hg=26 m

$$D_{ec} = \sqrt{Q} = \sqrt{0.19} = 0.436\text{m}$$

Tableau VIII.2: Calcul de la HMT

Diamètre (mm)	Vitesse (m/s)	λ	Longueur(m)	p,d,c total	Hg	HMT(m)
0,30	2,69	0,03	7911,00	376,47	26,00	402,47
0,40	1,51	0,03	7911,00	81,75	26,00	107,75
0,45	1,20	0,03	7911,00	43,79	26,00	69,79
0,50	0,97	0,03	7911,00	25,07	26,00	51,07

Tableau VIII.3: Calcul des frais d'amortissement

Diamètre en (mm)	Prix de ml (DA)	L (m)	Famort (DA)
300	9029	7911	7278394,67
400	10519	7911	8479932,776
450	12205	7911	9838424,569
500	16573	7911	13359684,95

Tableau VIII.4: Calcul des frais d'exploitation

Diamètre(mm)	Puissance(kw)	Energie(kwh)	F exploi(DA)
300	914,84	6678352,77	38133394,31
400	244,92	1787879,98	10208794,71
450	158,64	1158088,84	6612687,28
500	116,08	847408,80	4838704,27

Tableau VIII.5: le Bilan

diametre(mm)	Fexplo (DA)	Famort (DA)	bilan
300	38133394,31	7278394,67	45411788,98
400	10208794,71	8479932,776	18688727,48
450	6612687,284	9838424,569	16451111,85
500	4838704,272	13359684,95	18198389,23

VIII.6- Choix des pompes :

Les hauteurs manométriques en fonctions de débits sont données les graphes (courbes caractéristiques) de divers groupes centrifuges, ces caractéristiques permettent de choisir les types des pompes en évitant le phénomène de cavitation.

Un grand intérêt est porté à une pompe pouvant fonctionner dans une zone à rendement maximal, ce qui entraîne réduction de l'énergie à fournir

Les critères de choix du type de pompe sont :

- Assurer le débit appelé Q_{app} et la hauteur HMT .
- Meilleur rendement.
- Vérifier la condition de non cavitation.
- Encombrement et poids les plus faibles.
- Vitesse de rotation la plus élevée.
- Puissance absorbée minimale.
- Etre fabriquée en série.

On opte pour les pompes Italie (pompes à hautes pressions) de marque CAPRARI qui sont fabriquées en série.

VIII.6.1- Choix du nombre de pompe:

Le choix du nombre de pompe repose sur les critères suivants :

- Recherche de l'investissement minimal par limitation du nombre de pompe de groupe sans perdre de point de vue la sécurité de fonctionnement.
- Assure la hauteur et le débit calculer.
- Assurer le rendement maximal de pompe.
- Présenter le minimum d'encombrement.
- La disponibilité, surtout sur le marché national.

Refoulement : Station de pompage - Réservoir

On note le nombre, le type et les caractéristiques des pompes dans le tableau VIII. 5

Tableau VIII.6 : Caractéristiques des pompes en fonction de leur nombre

N	Q (m ³ /h)	HMT (m)	Type de pompe	η (%)	Vitesse (tr/min)	N ^{bre} d'étage	P _{abs} (Kw)	(NPSH) r (m)
1	684	69.79	-	-	-	-	-	-
2	342	69.79	MEC-AZRBH2/125	80. 3	2900	1	185	4.62

3	228	69.79	MEC-A3/100	80. 4	2920	1	166	1.93
4	171	69.79	MEC-A3/80	79	2920	1	167	1.5
5	136.8	69.79	MEC-A3/80	78. 8	2920	1	171	1.54

A partir du tableau (VIII.5), on déduit que la variante numéro trois(03) est la meilleure du point de vue rendement, puissance absorbée et nombre de pompes en parallèle.

Remarque :

On opte pour les pompes Italie (pompes à hautes pressions) de marque CAPRARI qui sont fabriquées en série.

Conclusion:

On opte pour un nombre de pompe de trois (03) en plus d'une (01) pompe de secours. Ces quatre pompes sont identiques de type **MEC-A3/100**.

VIII.6.2- Courbes caractéristiques des pompes :

Pour chaque pompe et pour une vitesse de rotation et un diamètre de la roue donnés, on distingue les courbes caractéristiques suivantes :

* [H-Q] * [P_{abs} - Q] * [η_p - Q] * [(NPSH)_r - Q]

Les courbes caractéristiques de la pompe **MEC-A3/100** Sont représentées dans la figure VIII.1

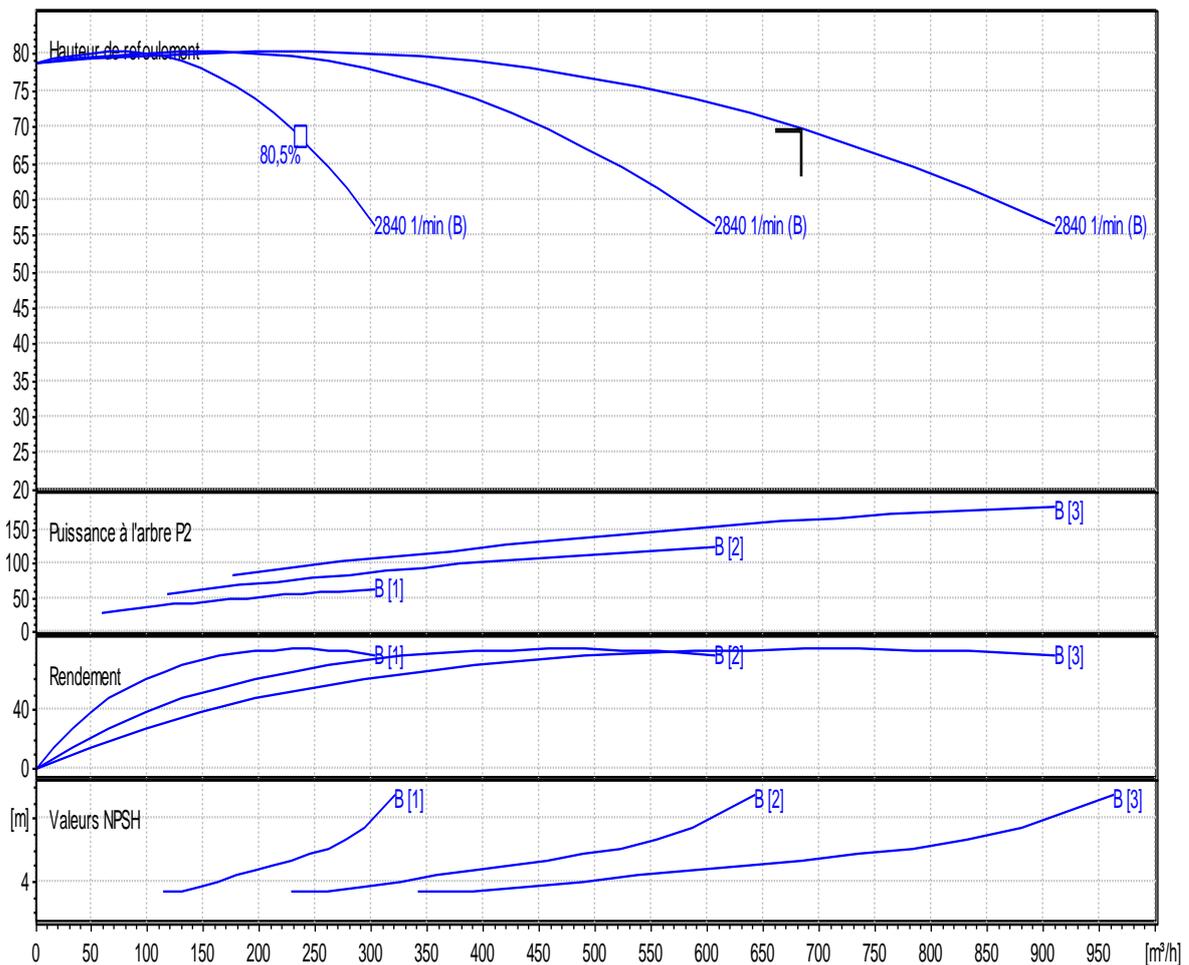


Figure VIII.1 : les courbes caractéristiques

VIII.6.3- Point de fonctionnement:

Portant les courbes caractéristiques de la pompe $H=f(Q)$; de la conduite $H_c=f(Q)$ sur le même graphe (H-Q).

Le point d'intersection de ces deux courbes est le point de fonctionnement du système. C'est-à-dire la pompe va pouvoir refouler un débit Q à une hauteur H lorsque ce point se trouve sur la plage du rendement maximal.

La pompe fonctionne alors dans les conditions optimales. Cette condition dans la plupart des cas n'est pas généralement satisfaite, c'est pourquoi on sera contraint d'introduire des modifications dans le fonctionnement ou dans le dimensionnement de la pompe. Afin de l'adapter à des conditions de marche données. A cet effet, plusieurs solutions sont à envisager :

- Modification de la vitesse de rotation.
- Modification du temps de pompage.
- Rognage, la réduction du diamètre de la roue, pour réduire la hauteur et le débit d'une pompe donnée.

Courbe caractéristique de la conduite :

La courbe caractéristique de la conduite est une parabole dont l'équation est la suivante :

$$H_c = H_g + \Delta h_t \quad (31)$$

Avec :

H_g : hauteur géométrique (m) ;

Δh_t : Perte de charge totale occasionnée par la conduite (m) ;

$$\Delta h_t = 1,15 * \Delta h_p^{lin} \quad (32)$$

Avec :

Δh_p^{lin} : Perte de charge linéaire (m) ;

$$\Delta h_p^{lin} = \frac{8 * \lambda * L_{ref} * Q^2}{\pi^2 * g * D_{ec}^{5,3}} \quad (33)$$

λ : Coefficient de frottement qui est en fonction de la rugosité de la paroi interne de la conduite et du régime d'écoulement $k_s=2$ mm pour $D=450$ mm.

L_{ref} : longueur de la conduite de refoulement (m) ;

Q : débit refoulé par la pompe (m^3/s) ;

D_{ec} : diamètre économique de la conduite de refoulement (m) ;

g : accélération de la pesanteur (m/s^2).

Tableau VIII.7 : Courbe caractéristique de la conduite de refoulement (SP-Réservoir)

Q (m^3/h)	3Q (m^3/h)	H _g (m)	L _{ref} (m)	D _{ec} (mm)	λ	Δh_p^{lin} (m)	Δh_t (m)	H _c (m)
0	0	26	7911	0,45	0,029	0	0	26
0,027	0,081	26	7911	0,45	0,029	6,739984	7,750982	33,75098
0,056	0,168	26	7911	0,45	0,029	28,99395	33,34304	59,34304
0,083	0,249	26	7911	0,45	0,029	63,69239	73,24625	99,24625
0,111	0,333	26	7911	0,45	0,029	113,9141	131,0012	157,0012
0,139	0,417	26	7911	0,45	0,029	178,6327	205,4276	231,4276
0,167	0,501	26	7911	0,45	0,029	257,8483	296,5256	322,5256
0,194	0,582	26	7911	0,45	0,029	347,9644	400,159	426,159
0,222	0,666	26	7911	0,45	0,029	455,6562	524,0046	550,0046

La courbe caractéristique de la conduite de refoulement et le point de fonctionnement de la pompe sont donnés sur la figure (VIII.4).

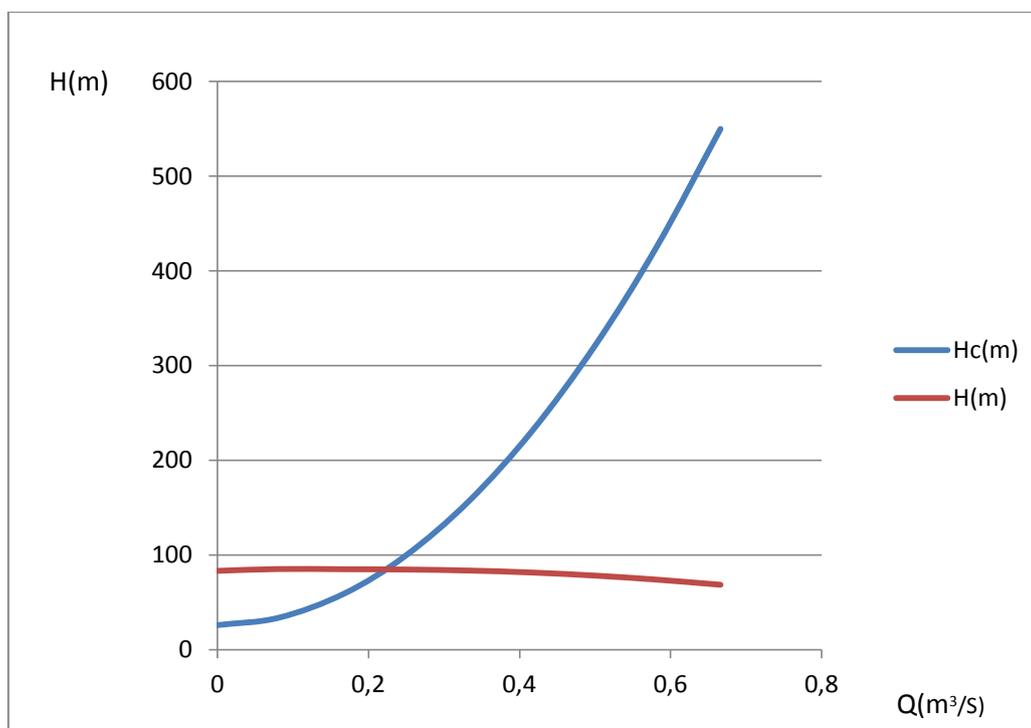


Figure VIII.4 : Point de fonctionnement des pompes de la Station de pompage

D'après la figure VIII.4 on tire le point d'intersection qui représente le point de fonctionnement et caractérise par :

$$\begin{cases} Q_{pf} = 0.249 \text{ m}^3 / \text{s} > Q_{app} = 0.190 \text{ m}^3 / \text{s} \\ H_{pf} = 84.7 \text{ m} > H_{app} = 69.79 \text{ m} \end{cases}$$

Conclusion :

Le débit et la hauteur manométrique de point de fonctionnement sont supérieurs au débit et la hauteur manométrique demandés, une adaptation des pompes aux conditions de fonctionnement s'impose.

Dans ce cas là, il faut faire un réglage soit :

➤ **Réglage qualitatif** : c'est la réduction de la vitesse de rotation de la pompe si elle est variable c'est à dire qu'on a un moteur à vitesse variable.

➤ **Réglage quantitatif** : appelé aussi vannage, c'est la fermeture partielle du robinet vanne de refoulement.

Choix du moteur électrique

Ce choix dépend de plusieurs critères tel que :

- un nombre de pompe minimale.

- meilleur rendement.
- Puissance absorbée minimale.
- $(NPSH_r)$ minimale.

Choix du moteur électrique :

$$N_m = N_p \pm 200 \text{ (tr/mn)} \quad (34)$$

Où:

N_m : vitesse de rotation du moteur (tr/mn)

N_p : vitesse de rotation de la pompe (tr/mn)

$$N_m = 2920 + 200 = 3120 \text{ tr/min}$$

$N_m = 3120 \text{ tr/min}$.

• **Puissance fournie par le moteur :**

La puissance qui devra être fournie par le moteur est calculée par la formule suivante :

$$P_m = \frac{\varpi * Q_{app} * HMT * K}{\eta_p * \eta_{acc} * \eta_m} \quad (35)$$

Où :

P_m : puissance du moteur (watt) .

ϖ : poids volumique de l'eau, $\varpi = 9810 \text{ N/m}^3$.

Q_{app} : débit refoulé par une pompe.

HMT : hauteur manométrique totale minimum.

η_p : rendement de la pompe.

η_{acc} : rendement de l'accouplement, $\eta_{acc} = 0,93$

η_m : rendement du moteur, $\eta_m = (92-95) \%$

On prend : $\eta_m = 92 \%$.

K : coefficient correcteur, il fonction de la puissance de la pompe.

Tableau VIII.8: Coefficient de correction en fonction de la puissance

P_{abs} (Kw)	1-2	2-10	10-50	50-100	100-200	> 200
K	2	2 -1,3	1,3 - 1,2	1,2 - 1,1	1,1 - 1,05	1,05

$$P_m = \frac{9810 * 0.19 * 69.79 * 1.1}{0.7 * 0.93 * 0.92}$$

$$P_m = 238.91 \text{ kw}$$

VIII.7-Calcul du diamètre avantageux pour la conduite gravitaire (réservoir vers tête de réseau):

La formule la plus utilisée pour le calcul de la perte de charge pour un écoulement dans une conduite est celle de Darcy-Weisbakh :

$$\Delta H_t = \frac{K' * L_e * Q^\beta}{D_{av}^m} \quad (36)$$

ΔH_t : Perte de charge totale (m);

K' : Coefficient de frottement ;

L_e : Longueur équivalente de la conduite (m) ;

$$L_e = L_g + L_{e_e} \quad (37)$$

L_g : Longueur géométrique de la conduite (m) ;

L_{e_e} : Longueur équivalente des pertes de charge singulière (m) ;

Dans le cas des adductions, les pertes de charge singulières sont estimées à **10%** des pertes de charge linéaires.

$$\Delta H_t = 1,15 * \Delta H_p^{lin} \Rightarrow L_e = 1,15 * L_g \quad (38)$$

ΔH_t : Perte de charge totale (m) ;

Δh_p^{lin} : Perte de charge linéaire (m).

Q : Débit véhiculé par la conduite (m³/s) ;

D_{av} : Diamètre avantageux calculé de la conduite (m) ;

β : Exposant tenant compte du régime d'écoulement ;

m : Exposant tenant compte du type du matériau.

Selon le type de matériau les coefficients **K'**, **m** et **β** sont donnés dans le tableau VIII.8

Tableau VIII.9: Coefficients K', m, β pour différents types du tuyau :

Tuyau	K'	M	β
Acier et fonte	0,00179 - 0,001735	5,1 - 5,3	1,9 - 2
Amiante-ciment	0,00118	4,89	1,85
Plastique	0,001052	4,772	2

On déduit alors le diamètre calculé de la conduite gravitaire :

$$D_{av} = \sqrt[m]{\frac{K' * L_e * Q^\beta}{\Delta H_t}} \quad (39)$$

Dans notre cas, on prend : **K'= 0,00179 ; $\beta = 2$; m = 5, 3**

Q=?

Calcul des débits à transité par le réseau collectif :

Les conditions de la desserte envisagée préalablement fixées : plan de bornage, pression à délivrer, modalité d'utilisation des prises et le tracé du réseau, les débits à transiter par chaque tronçon doivent être définis ensuite.

Débit spécifique :

Le débit spécifique 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 :

$$qs = \frac{B_m}{T * t * 3,6 * K} \text{ en } (l / s / ha). \quad (40)$$

Tels que :

B_m : Besoins mensuels maximum net en m^3/Ha .

T : Temps d'irrigation par jour $\approx 20h / j$.

t : Durée d'irrigation en jours = 31 jours.

K : Coefficient d'efficience globale du système d'irrigation $\approx 0,75$.

Calcul du débit spécifique:

-le mois de pointe est juillet.

-Les besoins de pointe sont de $6443 \text{ m}^3/\text{ha}$

$$qs = \frac{6443}{20 * 31 * 3,6 * 0,75} = 3,85 \text{ l / s / ha}$$

$qs=3,85 \text{ l/s/ha}$ est supérieur à $1,5 \text{ l/s/ha}$, donc on calcule le débit spécifique de la culture la plus exigeante.

La culture la plus exigeante est oignon sec.

Le débit spécifique $qs = \frac{1831}{20 * 31 * 3,6 * 0,75} = 1,09 \text{ l / s / ha}$ est inférieur à $1,5 \text{ l/s/ha}$ donc le choix

reste valable.

Donc le débit de la conduite gravitaire sera égale : $Q=1,09*900=981 \text{ l/s}$

$$\Delta H = C_{\text{réservoir}} - C_{\text{tête de réseau}} \quad (41)$$

$$\Delta H = 75 - 71,8 = 3,2 \text{ m}$$

$$L = 807 \text{ m}$$

$$L_e = L_g + L_{e_e}$$

$$\text{Avec : } L_e = 1,15 * L_g$$

$$L_e = 1.15 \cdot 807 = 928 \text{ m}$$

· Calcul des diamètres avantageux des tronçons de l'adduction gravitaire :

$$D_{av} = \sqrt[5.3]{\frac{0.00179 \cdot 928 \cdot (0.981)^2}{3.2}} = 0.877 \text{ m} = 877 \text{ mm}$$

$$800 < D_{av} < 900 \text{ mm}$$

On voit que le diamètre : (800 < D < 900) mm. Alors si on calcul les vitesses d'écoulement pour chaque diamètre :

$$DN = 800 \text{ m}$$

$$V = \frac{4 \cdot Q}{3,14 \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 0,981}{3,14 \cdot (0,8)^2} = 1,9 \text{ m/s}$$

$$DN = 900 \text{ m}$$

$$V = \frac{4 \cdot Q}{3,14 \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 0,981}{3,14 \cdot (0,9)^2} = 1,5 \text{ m/s}$$

Remarque :

Les deux diamètres donnent des vitesses admissibles.

VIII.7.1 Calcul des longueurs des diamètres normalisés :

$$\Delta H = \frac{k' \cdot Q^\beta \cdot L_{800}}{D_{800}^m} + \frac{k' \cdot Q^\beta \cdot L_{900}}{D_{900}^m} \quad (42)$$

$$\Delta H = \frac{0,00179 \cdot (0,981)^2 \cdot X}{(0,8)^{5.3}} + \frac{0,00179 \cdot (0,981)^2 \cdot (L - X)}{(0,9)^{5.3}} = 3.2 \text{ m}$$

$$\frac{X}{(0,8)^{5.3}} + \frac{(L - X)}{(0,9)^{5.3}} = 1857.62$$

$$\frac{X}{(0,8)^{5.3}} - \frac{X}{(0,9)^{5.3}} = 1857.62 - \frac{928}{(0,9)^{5.3}}$$

$$\left(\frac{1}{(0,8)^{5.3}} - \frac{1}{(0,9)^{5.3}} \right) \cdot X = 235.57$$

$$1.75X = 235.57 \quad \Rightarrow X = 134.61 \text{ m}$$

$$L_{800} = 134.61 \text{ m}$$

$$L - X = 928 - 134.61 = 793.39 \text{ m}$$

$$L_{900} = 793.39 \text{ m}$$

Conclusion :

L'étude techno-économique de l'adduction nous a permis de récapituler comme suit :
L'adduction sera composée d'une partie de refoulement de 7911m de longueur et un diamètre 450mm qui refoule un débit de $0.19 \text{ m}^3/\text{s}$ et une hauteur maximum de vers le réservoir de stockage et d'une partie gravitaire de 928mm de longueur et deux diamètre qui varie de 800 à 900mm qui satisfaire les besoins du périmètre de la zone d'étude.

Conclusion générale

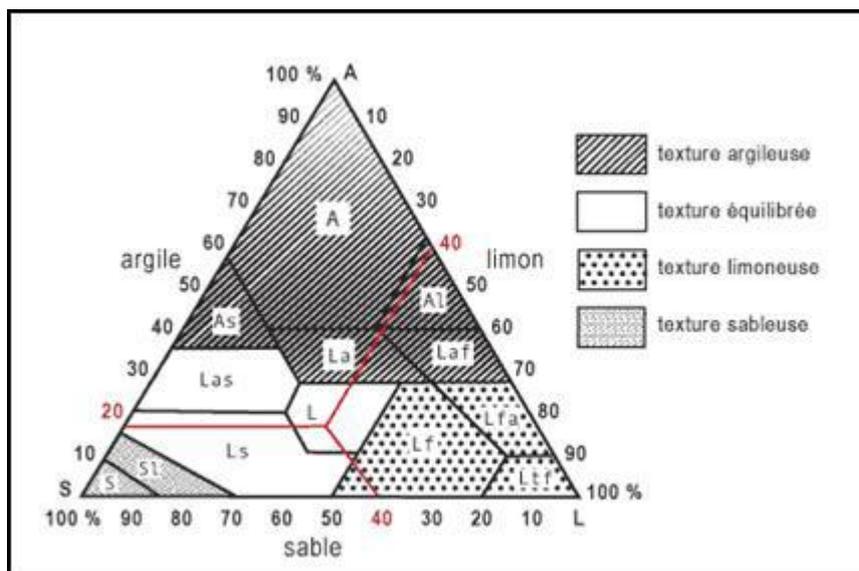
Dans le cadre de l'adduction de la nouvelle station de Ben Chougrane au périmètre d'irrigation, nous avons obtenue les résultats sur les débits satisfaisants a fin d'irriguer une superficie de 900ha dans la zone de Mouzaia.

Il a été recommandé de suivre de près la qualité des eaux afin d'éviter toute pollution pouvant atteindre la nappe souterraine.

Nous avons choisi les cultures les plus fréquemment rencontrées dans la zone d'étude.

Cette station d'épuration aura un rôle important dans le domaine d'irrigation.

- [1] Baumont S. et al. Réutilisation des eaux usées épurées: risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. E.N.S.A.T.
- [2] Berne F et Jean Cordommier ., traitement des eaux, édition Technip,1991 .
- [3] Abdel-kader Gaid., épuration biologique des eaux usées, tome1, 1984, éditions OPU.
- [4] traité d'irrigation Jean-Robert Tiercelen. Alain Vidal 2^{ème} édition.
- [5] les cours de 5^{ème} année de la reutilisation des eaux usées epurées M^r KOLAI 2010/2011.
- [6] les cours d'epuration de 4^{ème} année de M^{me} ZARHOUNI 2009/2010.
- [7] Abd el Kader Gaid, épuration biologique des eaux usées, tome 1 édition.
- [8] Boutin, B et MERCIER, PN, 1984 « traitement des eaux ».
- [9] différents filières de traitement des eaux université IBN ZOHR.
- [10] Cyril Gomella ; Henri Guerrée Les eaux usées dans les agglomérations urbaines ou rurales Ed : Eyrolles , 1982
- [11] M.R.E.2007 - Etude réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles ou autres sur tout le territoire national. Mission 4: Norme de réutilisation des eaux usées épurées D.A.P.E.
- [12]JEAN PAUL .BEADRY « chimie des eaux» le griffon d'argil 1992.
- [13] Boutin,B et Mercier,PN, 1984 « Traitement des eaux usées ».
- [14] Gaid,A , 1984 “Epuration biologique des eaux usées urbaines Tome I Ed. OPU Alger
- [15] Lahbib Eddeguesse: Diagnostique, Mise à Niveau et Réutilisation des Eaux Usées de la Station d'épuration O.Said.
- [16] les cours d'irrigation de 5^{ème} année de M^{me} BAHBOUH 2010/2011.



Classes texturales

A : argileux
As : argilo-sableux

Al : argilo-limoneux

La : limono-argileux

Laf : limono-argileux fins

Las : Limono-argileux sableux

L : limoneux

Ls : limono-sableux

Lfa :limoneux fins argileux

Lf : limoneux fins

Ltf :limoneux très fins

Sl : sablo-limoneux

S : sableux