

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE- ARBAOUI Abdellah -

DEPARTEMENT GENIE DE L'EAU

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

**Option : Conception des Systèmes d'Irrigation et Drainage**

**THEME :**

**CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA QUALITE DES  
EAUX DE LA LAGUNE EN VUE DE L'IRRIGATION  
D'UN PERIMETRE COMMUNE EL ATTEUF  
(W. GHARDAÏA)**

**Présenté par :**

**M<sup>elle</sup> AMARA Zineb**

**DEVANT LES MEMBRES DU JURY**

<b>Nom et prénom</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
<b>M<sup>r</sup> M. MESSAHEL</b>	<b>Professeur</b>	<b>Président</b>
<b>M<sup>me</sup> L.BAHBOUH</b>	<b>M A.A</b>	<b>Examinatrice</b>
<b>M<sup>me</sup> H. BOUCHAMA</b>	<b>M A.A</b>	<b>Examinatrice</b>
<b>M<sup>me</sup> S. HARKAT</b>	<b>M A.B</b>	<b>Examinatrice</b>
<b>M<sup>r</sup> A. AYAD</b>	<b>M A.A</b>	<b>Examineur</b>
<b>M<sup>r</sup> O. RAISSI</b>	<b>Ingénieur en Chef</b>	<b>Promoteur</b>

**Septembre 2012**

---

## ملخص:

الهدف من هذه المذكرة هو تصميم نظام ري لتزويد الأراضي الزراعية لمنطقة كاف الدخان بالمياه المستعملة المعالجة انطلاقا من محطة تصفية المياه.

لهذا قمنا بإجراء دراسة للخصائص المختلفة للمشروع من حيث الظروف المناخية للمنطقة ونوعية المياه المعالجة واحتياجات المحاصيل التي مكنتنا من تحقيق هذا النظام.

## Résumé :

L'objectif de ce mémoire est la conception d'un réseau d'irrigation afin d'alimenter en eau usée épurée, en provenance d'une lagune, un périmètre au niveau de la région KAF EL DOUKHAN, Commune d'EL ATTEUF.

Pour cela nous avons procédé à une étude des différentes caractéristiques du projet en matière de conditions climatiques de la région, de la qualité des eaux épurées et des besoins des cultures qui nous ont permis de réaliser notre réseau.

## Abstract:

The objective of this dissertation is the design of an irrigation system to supply the agricultural fields with purified waste water from the cleansing station in the region Kaf El Doukhan (El Atteuf).

For this reason we conducted a study of the different characteristics of the project in terms of climatic conditions of the region, the quality of treated water and crop needs that we have achieved in our network.

---

# Dédicaces

*Je dédie ce travail à  
mes très chers parents,  
mon frère Mohamed & ma sœur Amina  
mon mari Tarik,  
mes très chers grands-parents,  
toute ma famille  
et toutes mes amies (M'barka, Ghania, Nawel,  
Sara, Alia, Hadjer, Rawa,  
Cherifa, Soumia, Linda, Taous, Yasmine, ...).*

*AMARA Zineb*

# Remerciements

*Je tiens à remercier tout d'abord DIEU le tout puissant qui m'a donné, durant toutes ces années, la santé, le courage et la foi pour arriver à ce jour.*

*Je tiens à exprimer ma très grande gratitude et ma profonde affection à mes chers parents pour leurs encouragements, leur patience et leur grand soutien, durant toutes ces années d'études.*

*Le travail présenté dans ce mémoire a été mené à l'Ecole National Supérieur d'Hydraulique. Il a été proposé et dirigé par monsieur O. RAISSI à qui je témoigne gratitude et respect pour son dévouement à transmettre le savoir et à la confiance qu'il m'a donnée au long de ce parcours.*

*Je remercie très chaleureusement les membres du jury pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'être rapporteurs de mon mémoire.*

*Je remercie l'ensemble de nos enseignants du primaire à l'université.*

*Je tiens à remercier toute personne qui m'a aidé de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.*

---

<b>INTRODUCTION GENERALE.....</b>	<b>1</b>	
<b>CHAPITRE I. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE</b>		
1	Introduction .....	2
2	Situation géographique.....	2
3	Climatologie.....	4
3.1	La Température.....	4
3.2	Le vent.....	5
3.3	Précipitation.....	7
3.4	Nébulosité.....	7
3.5	Humidité relative de l'air.....	8
3.6	Evaporation.....	9
3.7	Insolation.....	10
3.8	Classification du climat selon les indices climatiques.....	10
3.8.1	Indice d'aridité de MARTONNE.....	11
3.8.2	Indice (quotient) pluviométrique d'EMBERGER.....	11
3.8.3	Indice (diagramme ombrothermique) de GAUSSEN.....	13
4	Géologie.....	14
5	Hydrologie.....	15
5.1	Détermination de l'année de calcul.....	16
5.2	Homogénéité de la série pluviométrique.....	16
5.3	Choix du type de loi.....	18
5.3.1	Ajustement à la loi Log-normale (GALTON).....	18
6	Hydrogéologie.....	20
6.1	Nappe phréatique.....	20
6.2	Nappe du continental intercalaire.....	21
7	Conclusion.....	21
<b>CHAPITRE II. CARACTERISTIQUES ET DIFFERENTES TECHNIQUES D'EPURATION DES EAUX USEES</b>		
1	Introduction.....	22
2	Eaux Usées (EU).....	22
2.1	Nature et origine.....	22
2.2	Caractérisation des risques des eaux usées selon leur composition.....	24
2.2.1	Risques à court terme.....	24
2.2.1.1	Les bactéries.....	24
2.2.1.2	Les virus.....	25
2.2.1.3	Les levures et champignons.....	25
2.2.1.4	Les helminthes.....	25
2.2.1.5	Les protozoaires.....	25
2.2.2	Risques à moyen terme.....	25
2.2.3	Risques à long terme.....	26
2.2.3.1	Eléments indésirables.....	26
2.2.3.2	Eléments toxiques.....	26
2.3	Paramètres et mesure de la pollution.....	27
2.3.1	Paramètres de la pollution.....	27
2.3.2	Mesure de la pollution.....	29
2.3.2.1	Prise d'échantillons.....	29

---

2.3.2.2	Mesure de débits.....	29
2.3.2.3	Mesure de pollution.....	29
2.3.2.4	Notion d'équivalent habitant.....	30
3	Les différentes techniques de l'épuration des eaux usées.....	30
3.1	Les techniques intensives classiques.....	30
3.1.1	Lit bactérien.....	30
3.1.2	Disques biologiques.....	31
3.1.3	Boues activées.....	33
3.1.4	Avantages et inconvénients des différentes filières intensives.....	34
3.2	Les techniques extensives.....	35
3.2.1	Les cultures fixées sur support fin.....	35
3.2.1.1	Fonctionnement : mécanismes en jeu.....	35
3.2.1.2	L'infiltration- percolation sur sable.....	36
3.2.1.3	Les filtres plantés à écoulement vertical.....	37
3.2.1.4	Les filtres plantés de roseaux à écoulement horizontal.....	38
3.2.2	Cultures libres.....	40
3.2.2.1	Fonctionnement : principes en jeu.....	40
3.2.2.2	Lagunage naturel.....	40
3.2.2.3	Lagunage à macrophytes.....	43
3.2.2.4	Lagunage aéré.....	44
3.2.2.5	Systèmes combinés (association des filières extensives - cultures libres ou fixées).....	46
3.2.2.6	Avantages et inconvénients des différents procédés extensifs.....	47
4	Conclusion.....	48

### **CHAPITRE III. LE TRAITEMENT DES EAUX USEES PAR LAGUNAGE : LAGUNE DE KAF DOUKHAN**

1	Introduction.....	49
2	Localisation et superficie disponible.....	49
3	Données piézométriques.....	50
4	Evolution démographique.....	50
5	Chiffres clés et caractéristiques de l'eau brute.....	51
6	Paramètres des eaux usées à traiter.....	52
7	Performances des rejets.....	53
8	Mesure et analyse au niveau de la lagune.....	54
8.1	Analyse in situ.....	54
8.1.1	Analyseur hors ligne.....	54
8.1.2	Sonde.....	54
8.1.3	Kits colorimétriques.....	54
8.2	Analyse de laboratoire.....	55
8.2.1	Mesure de la température.....	55
8.2.2	Détermination du pH : acidité et alcalinité.....	55
8.2.3	Mesure de la conductivité.....	55
8.2.4	Détermination de l'oxygène dissous.....	56
8.2.5	La détermination de la DBO <sub>5</sub> .....	56
8.2.6	Détermination des matières en suspension (MES).....	56
9	Filière de traitement.....	56
9.1	Prétraitement primaire.....	56
9.2	Basins primaires (La minéralisation par les bactéries).....	57

---

9.3	Basins secondaires (Le rôle des plantes).....	59
9.4	Elimination de la pollution bactériologique.....	60
10	Comparaison entre les paramètres de sortie et celles d'entrée.....	62
10.1	Paramètres en amont.....	62
10.2	Paramètres en aval.....	63
11	Classification de l'eau d'irrigation.....	64
11.1	Classification de Ayers.....	64
11.2	Classification mondiale (F.A.O).....	64
11.3	Classification Russe.....	65
11.4	Classification U. S. S. L.....	65
12	Conclusion.....	67

#### **CHAPITRE IV. CALCUL DES BESOINS DES CULTURES**

1	Introduction.....	68
2	Définition.....	68
3	Besoins en eau des cultures.....	68
3.1	L'évapotranspiration.....	68
3.1.1	Méthodes d'évaluation d'évapotranspiration.....	69
3.1.1.1	Formule de BLANEY-CRIDDLE.....	69
3.1.1.2	Formule de TURC (France 1960).....	70
3.1.1.3	Méthode de Penman & Monteith.....	71
3.1.2	Détermination de l'évapotranspiration maximale.....	72
3.1.3	Calcul de la pluie efficace.....	73
3.2	Evaluation des besoins en eau des cultures.....	74
4	Doses d'arrosage.....	76
4.1	Dose nette (RFU nette).....	76
4.2	Dose pratique.....	76
4.3	Dose réelle (RFU réelle).....	76
5	Fréquence d'irrigation.....	77
6	Tour d'eau.....	77
7	Calcul du débit fictif.....	77
8	Conclusion.....	78

#### **CHAPITRE V. CALCUL DE L'INSTALLATION DE GOUTTE A GOUTTE**

1	Introduction.....	79
2	Définition.....	79
3	Les composants essentiels d'une installation d'irrigation localisée.....	79
3.1	Un point de fourniture d'eau sous pression appropriée.....	79
3.2	L'unité de tête.....	79
3.3	La conduite principale.....	79
3.4	Les porte-rampes.....	79
3.5	Les rampes.....	80
3.6	Les distributeurs.....	80
4	Calcul de l'installation d'irrigation.....	80
4.1	Calcul des besoins en eau des cultures .....	80
4.2	Besoins journaliers.....	80
4.3	Dose nette.....	81
4.4	Dose pratique.....	82

---

## SOMMAIRE

---

4.5	Fréquence d'arrosage.....	82
4.6	Dose brute.....	82
4.7	Durée d'arrosage.....	82
4.8	Nombre de postes.....	83
4.9	Surface de la parcelle.....	83
4.10	Débit caractéristique.....	83
5	Calcul hydraulique de réseau de goutte à goutte.....	83
5.1	Calcul de la rampe.....	83
5.1.1	Surface de la rampe.....	83
5.1.2	Nombre de rampes par poste.....	83
5.1.3	Nombre de goutteurs par rampe.....	83
5.1.4	Débit de la rampe.....	84
5.1.5	Perte de charge de la rampe.....	84
5.1.5.1	Conditions hydrauliques.....	84
5.1.6	Diamètre de la rampe.....	85
5.1.7	Recalcule de la perte de charge de la rampe.....	85
5.2	Calcul de la porte rampe.....	85
5.2.1	Débit de la porte rampe.....	85
5.2.2	Diamètre de la porte rampe.....	85
5.2.3	Perte de charge de la porte rampe.....	86
6	Conclusion.....	86

## CHAPITRE VI. CALCUL D'ADDUCTION

1	Introduction.....	87
2	Calcul hydraulique.....	87
2.1	Méthode de calcul (cas gravitaire).....	87
2.1.1	Calcul de diamètre.....	88
2.1.2	La vitesse d'écoulement.....	88
2.1.3	Frais d'investissement.....	89
3	Conclusion.....	89

<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>90</b>
---------------------------------	-----------

## ANNEXE A

---



## LISTE DES PLANCHES

---

<b>Planche n° 1/4</b>	Plan topographique de la zone d'étude
<b>Planche n° 2/4</b>	Tracé en plan réseau d'irrigation
<b>Planche n° 3/4</b>	Profil en long partie d'adduction
<b>Planche n° 4/4</b>	L'implantation ouvrages station de traitement des eaux usées par lagunage

## CHAPITRE I. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

<b>Tableau I.1</b> Les températures moyennes mensuelles.....	5
<b>Tableau I.2</b> Les moyennes mensuelles des vitesses de vent.....	6
<b>Tableau I.3</b> nombres des jours de Sirocco.....	6
<b>Tableau I.4</b> Précipitations moyennes mensuelles.....	7
<b>Tableau I.5</b> Les moyennes mensuelles de la nébulosité.....	8
<b>Tableau I.6</b> Humidités relatives moyennes mensuelles.....	9
<b>Tableau I.7</b> L'évaporation moyenne mensuelle.....	9
<b>Tableau I.8</b> Insolations moyennes journalières.....	10
<b>Tableau I.9</b> Les limites de climat d'après l'indice d'aridité de MARTONNE.....	11
<b>Tableau I.10</b> Test de WILCOXON pour la station de Numérette.....	17
<b>Tableau I.11</b> Ajustement à la loi Log- normale.....	19
<b>Tableau I.12</b> Les valeurs mensuelles de $P_{80\%}$ .....	74

## CHAPITRE II. CARACTERISTIQUES ET DIFFERENTES TECHNIQUES D'EPURATION DES EAUX USEES

<b>Tableau II.1</b> Le dimensionnement des lits bactériens.....	31
<b>Tableau II.2</b> Le dimensionnement des disques biologiques.....	32
<b>Tableau II.3</b> Avantages et inconvénients des filières intensives.....	34
<b>Tableau II.4</b> Base de dimensionnement pour les lagunes aérées.....	45
<b>Tableau II.5</b> Base de dimensionnement pour la lagune de décantation.....	45
<b>Tableau II.6</b> Récapitulatif des avantages et inconvénients des filières extensives..	48

## CHAPITRE III. LE TRAITEMENT DES EAUX USEES PAR LAGUNAGE : LAGUNE DE KAF DOUKHAN

<b>Tableau III.1</b> Données piézométriques.....	50
<b>Tableau III.2</b> Evolution démographique.....	50
<b>Tableau III.3</b> caractéristiques de l'eau brute.....	51
<b>Tableau III.4</b> Pollution organique.....	51
<b>Tableau III.5</b> Résultats des campagnes de mesure et d'analyses réalisées sur les eaux usées de la vallée le 31 Mai 2000.....	52
<b>Tableau III.6</b> Résultats des campagnes de mesure et d'analyses réalisées sur les eaux usées de la vallée le 08 juin 2000.....	52
<b>Tableau III.7</b> Résultats des campagnes de mesure et d'analyses réalisées sur les eaux usées de la vallée le 20 juin 2000.....	52
<b>Tableau III.8</b> Paramètres physico-chimiques.....	53
<b>Tableau III.9</b> Micropolluants minéraux.....	53
<b>Tableau III.10</b> Micropolluants organiques et minéraux.....	53
<b>Tableau III.11</b> Paramètres d'eau brute.....	62
<b>Tableau III.12</b> Minéralisation d'eau brute.....	62
<b>Tableau III.13</b> Paramètres d'eau épurée. ....	63
<b>Tableau III.14</b> Rendement de paramètres de sortie.....	63
<b>Tableau III.15</b> Valeurs indicatives pour l'appréciation d'une eau d'irrigation.....	64
<b>Tableau III.16</b> Tolérance des plantes aux sels (FAO 2005).....	65

---

**CHAPITRE IV. CALCUL DES BESOINS DES CULTURES**

<b>Tableau VI.1</b> Evapotranspiration de référence de la zone du projet selon Pen-Mont.....	72
<b>Tableau IV.2</b> L'évapotranspiration maximale des cultures.....	73
<b>Tableau IV.3</b> Précipitations efficaces dans la zone d'étude.....	74
<b>Tableau IV.4</b> Profondeur d'enracinement des cultures et RFU.....	75
<b>Tableau IV.5</b> Les besoins en eau des cultures.....	75
<b>Tableau IV.6</b> Les besoin totaux en eau des cultures.....	76

**CHAPITRE VI. CALCUL D'ADDITION**

<b>Tableau VI.1</b> Coefficients $K'$ , $m$ , $\beta$ pour différents types de tuyau.....	88
<b>Tableau VI.2</b> Diamètres calculés pour différents tronçons de l'adduction.....	89
<b>Tableau VI.3</b> Vitesses calculés pour différents tronçons de l'adduction.....	89
<b>Tableau VI.4</b> Frais d'investissement des conduites gravitaires.....	89

---

**CHAPITRE I. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE**

<b>Figure I.1</b> Situation géographique de la ville de Ghardaïa.....	3
<b>Figure I.2</b> Climagramme d'EMBERGER .....	13
<b>Figure I.3</b> : Climagramme de Gausсен.....	14
<b>Figure I.4</b> Esquisse hydrogéologique du M'Zab.....	15
<b>Figure I.5</b> Bassin versant de la région du M'Zab.....	15
<b>Figure I.6</b> Ajustement à la loi Log-normale.....	20

**CHAPITRE II. CARACTERISTIQUES ET DIFFERENTES TECHNIQUES D'EPURATION DES EAUX USEES**

<b>Figure II.1</b> Synoptique d'une station d'épuration comportant un lit bactérien.....	31
<b>Figure II.2</b> Synoptique d'une station d'épuration comportant un disque biologique.....	32
<b>Figure II.3</b> Schéma de principe d'un disque biologique.....	32
<b>Figure II.4</b> Synoptique d'une boue activée - aération prolongée.....	34
<b>Figure II.6</b> Infiltration-percolation étanchée et drainée.....	36
<b>Figure II.7</b> Système drainé sur sol en place imperméable.....	36
<b>Figure II.8</b> Système drainé avec un massif drainant étanché par une membrane imperméable.....	37
<b>Figure II.9</b> Coupe transversale d'un filtre planté à écoulement vertical.....	38
<b>Figure II.10</b> Coupe transversale d'un filtre planté à écoulement horizontal.....	39
<b>Figure II.11</b> Les mécanismes en jeu dans les bassins de lagunage naturel.....	41
<b>Figure II.12</b> Emprise au sol d'un lagunage naturel.....	43
<b>Figure II.13</b> Schéma de principe d'un lagunage aéré.....	44

**CHAPITRE III. LE TRAITEMENT DES EAUX USEES PAR LAGUNAGE : LAGUNE DE KAF DOUKHAN**

<b>Figure III.1</b> Implantation de la lagune d'El Atteuf.....	49
<b>Figure III.2</b> Evolution de la production des eaux usées.....	51
<b>Figure III.3</b> Evolution des flux de pollution.....	51
<b>Figure III.4</b> Sonde YSI 600 XL (multi paramètres : oxygène dissous, température, conductivité, salinité, pH.....)	54
<b>Figure III.5</b> kit colorimétrique.....	55
<b>Figure III.6</b> Principe de fonctionnement des bassins primaires.....	57
<b>Figure III.7</b> Bassins primaire.....	58
<b>Figure III.8</b> Principe de fonctionnement des bassins secondaires.....	59
<b>Figure III.9</b> Bassins secondaires.....	60
<b>Figure III.11</b> Station de traitement des eaux usées El Atteuf.....	61
<b>Figure III.12</b> Diagramme de classification des eaux d'irrigation d'après l'USSL (1954).....	66

---

Notre pays est caractérisé, dans la plupart de ses régions, par un climat aride à saharien. Il souffre autant de l'insuffisance des pluies que de leur mauvaise répartition dans le temps et dans l'espace. Les contraintes du climat, la croissance démographique et les transformations économiques et sociales sont à l'origine d'une demande en eau sans cesse croissante. Parallèlement, le recours à l'irrigation est devenu une nécessité, étant donné l'importance du déficit hydrique climatique et l'intensification de l'agriculture. Or, face à ces demandes, les ressources en eau sont rares et insuffisantes. Ainsi, pour satisfaire l'ensemble des besoins en eau du pays et afin de réserver les eaux de bonne qualité à l'alimentation en eau potable, on est contraint d'utiliser des eaux de qualité marginale en agriculture. Dans ce contexte, l'utilisation des eaux usées traitées est devenue une nécessité et fait partie intégrante de la stratégie actuelle de mobilisation de toutes les ressources disponibles.

Parmi les domaines de la réutilisation, l'irrigation constitue le secteur le plus intéressant. En effet, elle procure à l'agriculture une ressource précieuse et renouvelable et libère un volume supplémentaire d'eau de bonne qualité pour des utilisations prioritaires. Elle constitue en outre, une alternative aux rejets dans les milieux récepteurs qui peuvent présenter des capacités d'absorption limitées. Par ailleurs, le contenu de ces eaux en fertilisants, notamment l'azote, le potassium et le phosphore, permet de diminuer les frais de fertilisation des sols. L'utilisation des eaux usées peut également prévenir l'eutrophisation et éviter la croissance des algues dans les étendues d'eau fermées, telles que lacs et étangs. Si cette ressource constitue une valeur hydrique et un potentiel de matières fertilisantes, elle peut être également une source de pollution. Son contenu en éléments traces et en pathogènes et sa teneur élevée en azote peuvent présenter un risque pour la santé humaine.

L'utilisation de ces eaux usées à grande échelle et à long terme sur des terres agricoles nécessite qu'on précise les conditions pour la rendre optimale. Il s'agit entre autre d'élargir la gamme des cultures utilisées, d'adapter les systèmes d'irrigation à la qualité des effluents et à la culture irriguée et d'ajuster la fertilisation aux besoins des cultures.

Notre mémoire s'articule autour de six chapitres dans lesquels on a fait une étude sur la qualité des eaux épurées dans une lagune destinées à l'irrigation d'un périmètre agricole de la zone de Kaf El Doukhan dans la wilaya de Ghardaïa ainsi que le dimensionnement d'un réseau par système goutte à goutte.

## 1 Introduction

La ville de Ghardaïa (en arabe غرداية), capitale de la Vallée du M'zab « porte du désert » est la plus importante et la plus visitée des villes du M'Zab. Un paysage d'une beauté saisissante, une oasis dense où s'élèvent fièrement, à l'assaut du ciel, des palmiers centenaires souvent irrigués par un système hydraulique traditionnel, une architecture prodigieuse qui fascine ses contemplateurs qui ont permis de garder le visage pittoresque et spécifique de la région.

Ghardaïa est classée site touristique par l'UNESCO comme Patrimoine Mondial depuis 1982.

Elle occupe une position centrale reliant les hauts plateaux avec le Sahara, ce qui fait d'elle une place tournante pour le développement de toute la région.

La nécessité d'une approche de développement durable dans le Sahara, spécialement l'agriculture saharienne doit constituer la préoccupation majeure de l'état à l'avenir et doit représenter l'un des axes les plus importants d'investissement au niveau de la région.

Selon les données des services agricoles [4] La superficie totale de la Wilaya s'étend sur 8.656.000 hectares et se répartit comme suit :

- Surface Agricole totale : 1.370.911 ha
- Terres improductives non affectées à l'agriculture : 7.285.089 ha

Le secteur agricole est caractérisé par deux systèmes d'exploitation :

- Oasien.
- A.P.F.A (accession à la propriété foncière agricole).

Le patrimoine phoenicicole de la wilaya compte 1049000 palmiers dont 696500 productifs pour une production annuelle moyenne de 321700 quintaux dont 20.000 tonnes Deglet Nour ainsi qu'un exploit fascinant inattendu de l'agriculture des légumes, des fruits,... Avec l'extension des surfaces, ce secteur offre de grandes perspectives de développement nécessitant des réflexions pour l'amélioration ou le remplacement de la méthode traditionnelle utilisée pour l'irrigation.

El Atteuf (région de notre étude) l'une des quatorze communes de la wilaya, représente un pourcentage moyen de la surface agricole totale avec absence total d'un réseau d'irrigation pour couvrir cette surface -le système utilisé à ce jour est le forage individuel-, cet handicap a engendré un laisser aller dans le domaine de l'agriculture au niveau de la région.

Nous abordons dans ce chapitre une analyse des conditions naturelles de la région objet de notre étude.

## 2 Situation géographique

La Wilaya de Ghardaïa, se situe au centre de la partie du nord de Sahara, à 600 Km au sud d'Alger. Elle est issue du découpage administratif du territoire de 1984. Elle est caractérisée par des plaines dans le Continental Terminal des régions ensablées, la Chebka et l'ensemble de la région centrale et s'étend du Nord au Sud sur environ 450 km et d'Est en Ouest sur environ 200 km.

Ses coordonnées géographiques sont de la région ou de la zone d'étude [5] :

- Altitude 480 m.
- Latitude 32° 30' Nord.
- Longitude 3° 45' Est.

La wilaya de Ghardaïa couvre une superficie de 86.560 km<sup>2</sup>, elle est limitée :

- Au Nord par la Wilaya de Laghouat (200 Km) ;
- Au Nord Est par la Wilaya de Djelfa (300 Km) ;
- A l'Est par la Wilaya d'Ouargla (200 Km) ;
- Au Sud par la Wilaya de Tamanrasset (1.470Km) ;
- Au Sud- Ouest par la Wilaya d'Adrar (400 Km) ;
- A l'Ouest par la Wilaya d'El-Bayad (350 Km) .

La wilaya comporte actuellement 14 communes regroupées en 9 daïras pour une population de 396.452 habitants, soit une densité de 4,68 habitants/ km<sup>2</sup>. [3].



**Figure I.1** Situation géographique de la ville de Ghardaïa [1].

### **La commune d'el Atteuf**

La commune d'El Atteuf est située à 9 km à l'Est de Ghardaïa, ses coordonnées géographiques sont [5] :

- Altitude 321 m.
- Latitude 35° 89 ' Nord.
- Longitude 5° 56 ' Est.

### 3 Climatologie

La climatologie est une étude très scientifique des phénomènes atmosphériques à l'échelle d'une région, d'un pays, ou de la planète entière. Pour cela, elle s'appuie sur des relevés météorologiques historiques, comme sur des mesures relevées par satellite.

Elle entraîne des observations et des relevés d'un maximum de paramètres possibles comme la température, les précipitations ou la vitesse maximale du vent d'au moins 30 ans (défini par l'Organisation Météorologique Mondiale). Cette science est donc caractérisée par des valeurs moyennes, mais également par des variations et des extrêmes.

La connaissance de nombreux paramètres, comme la température à différentes altitudes, l'humidité relative, l'évaporation, est nécessaire pour produire des modèles climatiques numériques et anticiper les changements du climat que l'on peut prévoir à plus ou moins long terme (30 ans).

Le climat est un facteur primordial qui conditionne la vie végétale ainsi que la production agricole. Tous les facteurs climatiques à savoir : température, vent, précipitation, humidité relative, nébulosité et évaporation influent sur les cultures envisagées dans leurs cycles végétatifs et sur leurs besoins en eau.

Le climat de la région de Ghardaïa est typiquement Saharien, se caractérise par deux saisons : une saison chaude et sèche (d'avril à septembre) et une autre tempérée (d'octobre à mars) et une grande différence entre les températures de l'été et de l'hiver [6].

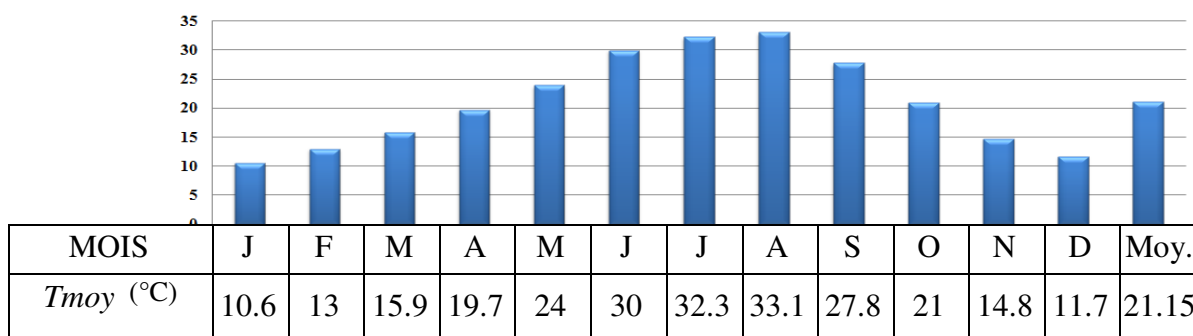
La présente caractérisation est faite à partir d'une synthèse climatique de 30 ans entre 1981-2011 ; à partir des données de l'Office Nationale de Météorologie [2] :

#### 3.1 La Température

La température est une grandeur physique mesurée à l'aide d'un thermomètre et étudiée en thermométrie. Dans la vie courante, elle est reliée aux sensations de froid et de chaud, provenant du transfert thermique entre le corps humain et son environnement. En physique, elle se définit de plusieurs manières : comme fonction croissante du degré d'agitation thermique des particules (en théorie cinétique des gaz), par l'équilibre des transferts thermiques entre plusieurs systèmes ou à partir de l'entropie (en thermodynamique et en physique statistique). La température est une variable importante dans la météorologie et la climatologie . [1]

Les températures moyennes de la région d'El Atteuf sont représentées dans le tableau I.1 :





**Tableau I.1** Les températures moyennes mensuelles [2].

L'examen des températures montre que :

La température maximale moyenne est observée au mois d'Août et qui égale à 33,1°C.

La température minimale moyenne est observée au mois de Janvier et qui égale à 10.6°C.

### 3.2 Le vent

Le vent est le mouvement d'une atmosphère, masse de gaz située à la surface d'une planète, il est provoqué par un réchauffement inégalement réparti à la surface de la planète par l'énergie solaire, et par la rotation de la planète. Les vents sont généralement classifiés selon leur ampleur spatiale, leur vitesse, leur localisation géographique, le type de force qui les produit et leurs effets. La vitesse du vent est mesurée avec un anémomètre mais peut être estimée par une manche à air, un drapeau, etc. [1]

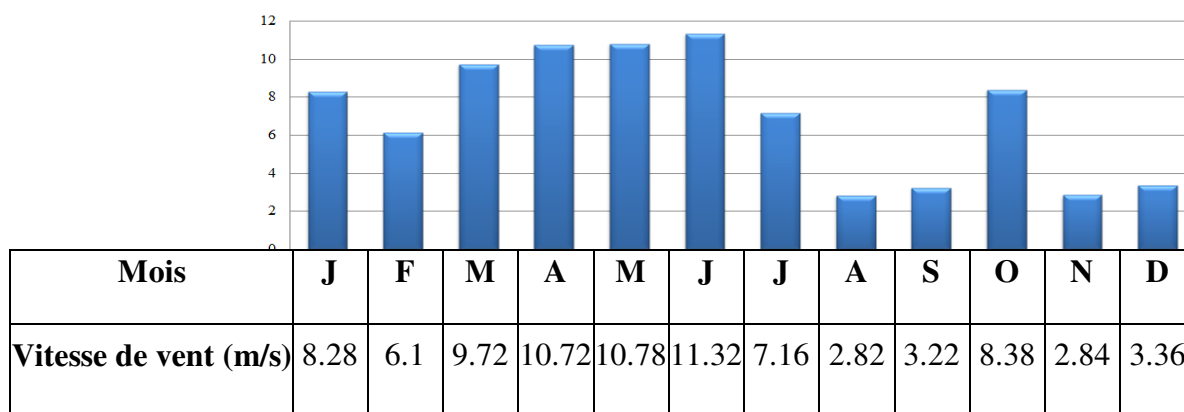
Il s'agit d'un facteur important aussi bien sur un plan agronomique que hydraulique puisqu'il consiste un élément déterminant dans le choix de type de l'irrigation (aspersion ou gravitaire) aussi que dans l'élaboration du système de protection des périmètres (réseau de brise-vents).

Les vitesses moyennes mensuelles sont représentées dans le tableau I.2

Les vents au niveau de la région de Ghardaïa sont de deux types :

- Les vents de sable en automne, printemps et hiver de direction Nord - Ouest.
- Les vents chauds (Sirocco) dominant en été, de direction Sud - Nord ; très secs et entraînant une forte évapotranspiration.

D'après les données de l'O.N.M. (2011) pour la période de 1981-2011, les vents sont fréquents sur toute l'année avec une moyenne annuelle de **7.05** m/s.



**Tableau I.2** Les moyennes mensuelles des vitesses de vent [2].

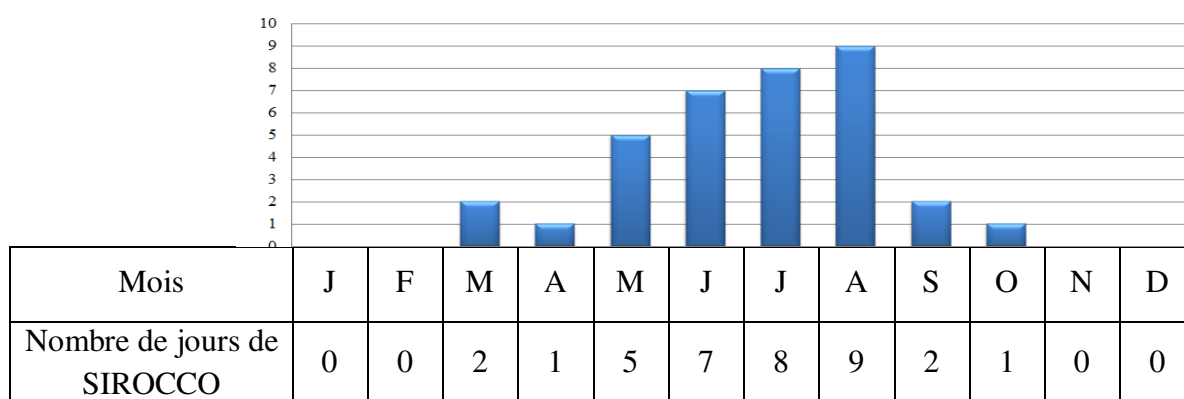
D'après le tableau I.2 ; la vitesse maximale du vent est observée au mois de juin, elle est à 11.32 m/s.

#### - Nombre de jours de SIROCCO :

Le sirocco est un vent saharien violent, très sec et très chaud qui souffle sur l'Afrique du Nord et le Sud de la mer Méditerranée lorsqu'une masse d'air tropicale stationnaire installée sur le Sahara se trouve entre une zone anticyclonique installée à la verticale de la ligne du tropique du Cancer et une soudaine zone de forte dépression se creusant rapidement au-dessus de la mer Méditerranée. La masse d'air saharienne, préalablement stationnaire, donc brûlante, est alors aspirée vers le nord par la dépression et remonte en direction sud-nord. [1]

Il s'agit d'un vent du sud pouvant causer aux cultures des dégâts très importants (nommé parfois ravageurs des cultures) par l'élévation brutale des températures et la diminution de l'hygrométrie de l'air qu'il entraîne.

Le nombre de jours de Sirocco est représenté dans le tableau I.3 :



**Tableau I.3** nombres des jours de Sirocco [2].

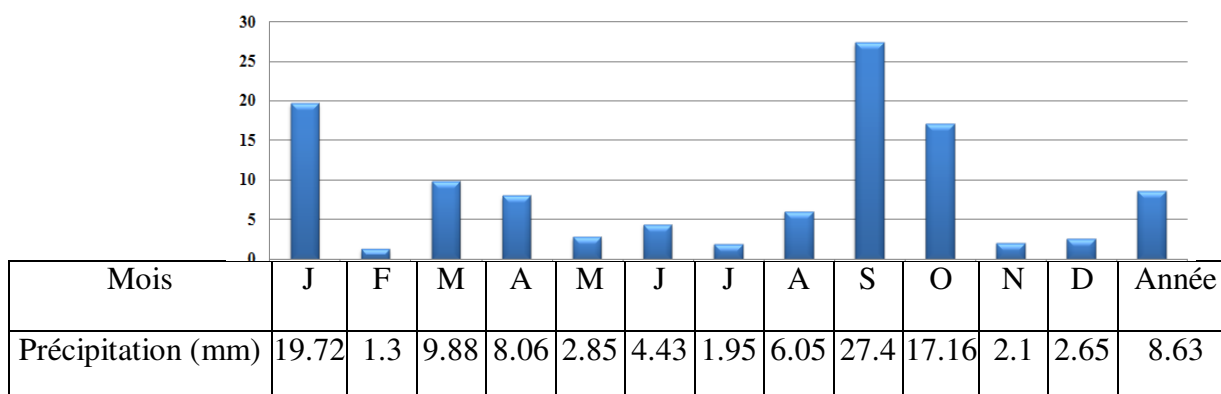
### 3.3 Précipitation

En météorologie, le terme précipitation désigne des cristaux de glace ou des gouttelettes d'eau qui, ayant été soumis à des processus de condensation et d'agrégation à l'intérieur des nuages, sont devenus trop lourds pour demeurer en suspension dans l'atmosphère et tombent au sol ou s'évaporent en virga avant de l'atteindre, [1]

La précipitation est un facteur climatique très important, elle nous permet de connaître les périodes où les cultures ont vraiment besoin d'irrigation (Quantité d'eau).

D'une manière générale, les précipitations sont faibles et d'origine orageuse, caractérisées par des écarts annuels et interannuels très importants, les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre 8.63 mm.

Les précipitations de la région d'El Atteuf sont représentées dans le tableau I.4 :



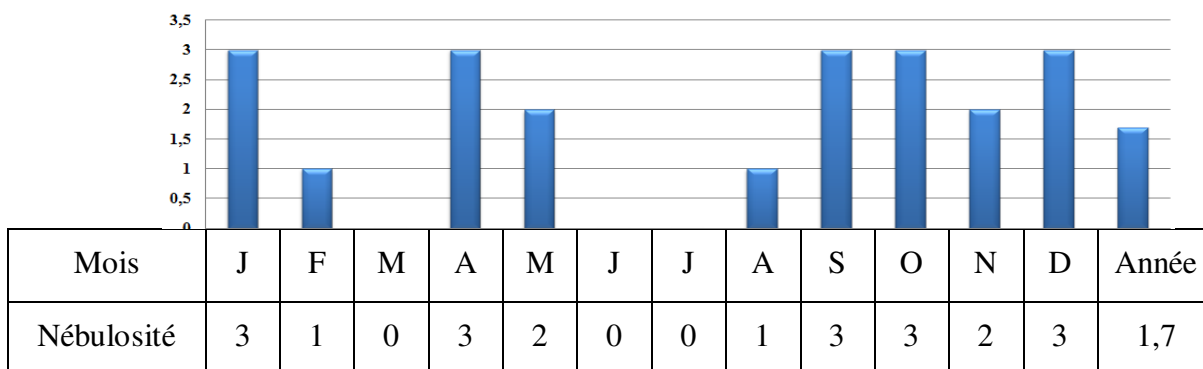
**Tableau I.4** Précipitations moyennes mensuelles [2].

- Les mois les plus pluvieux sont les mois de Janvier et d'Octobre.
- Les mois les moins pluvieux sont les mois de Février et de Juillet.

### 3.4 Nébulosité

La nébulosité correspond à la fraction du ciel couvert par les nuages [1] ou la quantité de nuage qui empêche l'ensoleillement de la surface du sol. Elle est évaluée à l'aide d'une échelle graduée de 0 à 10. Le 0 indique un ciel tout à fait clair, alors que le 10 indique un ciel totalement couvert.

Les valeurs moyennes mensuelles de la nébulosité sont représentées dans le tableau I.5 :



**Tableau I.5** Les moyennes mensuelles de la nébulosité [2].

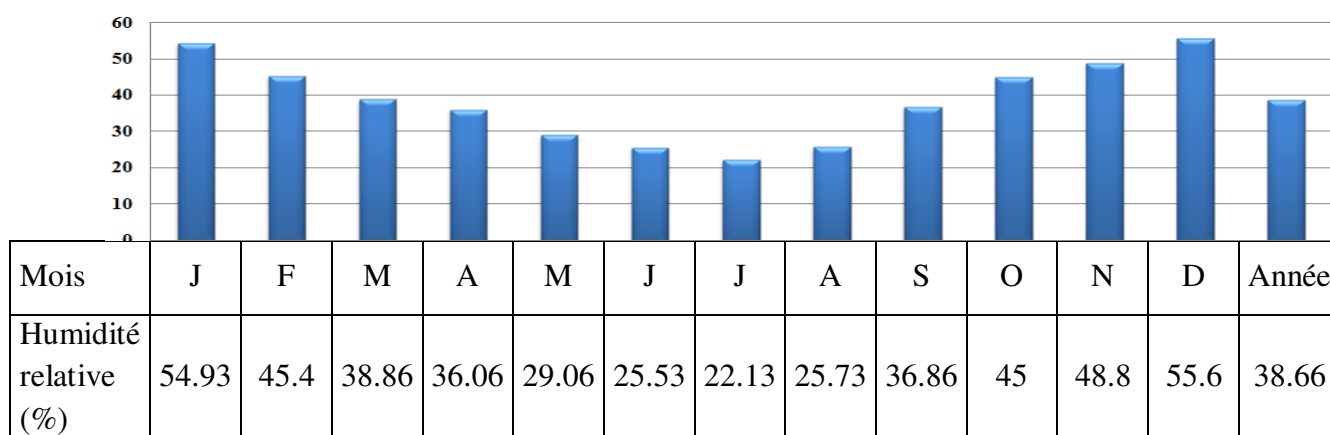
D'après le tableau I.5, les mois les plus nébuleux sont les mois de Septembre jusqu'à Janvier, par contre les mois les moins nébuleux sont les mois de Juin et Juillet.

### 3.5 Humidité relative de l'air

L'humidité relative de l'air (ou degré d'hygrométrie), couramment notée  $\varphi$ , correspond au rapport de la pression partielle de vapeur d'eau contenue dans l'air sur la pression de vapeur saturante (ou tension de vapeur) à la même température. Elle est donc une mesure du rapport entre le contenu en vapeur d'eau de l'air et sa capacité maximale à en contenir dans ces conditions. Ce rapport changera si on change la température ou la pression bien que l'humidité absolue de l'air n'ait pas changée. L'humidité relative est souvent appelée degré hygrométrique. Elle est mesurée à l'aide d'un hygromètre [1].

L'humidité mesure la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air, sans compter l'eau liquide et la glace. Pour que des nuages se forment, et qu'il y ait des précipitations, l'air doit atteindre une humidité relative légèrement supérieure à 100% dans le voisinage des gouttelettes qui se forment. Cette sursaturation est nécessaire pour vaincre la tension de surface des molécules d'eau et ainsi qu'elles s'unissent sur une poussière servant de noyau de condensation. Après que les gouttelettes ont atteint un certain diamètre, l'humidité relative retombe à 100% dans leur voisinage. Ceci se produit normalement quand l'air s'élève et se refroidit [1].

Il s'agit d'un élément important du cycle hydrologique contrôlant entre autre l'évaporation du sol et la couverture végétale. Les résultats sont représentés dans le tableau I.6 :



**Tableau I.6** Humidités relatives moyennes mensuelles [2].

L'examen du tableau I.6 ; montre que les mois les plus humides sont le mois de Janvier et le mois de Décembre, et le mois le moins humide est le mois de Juillet.

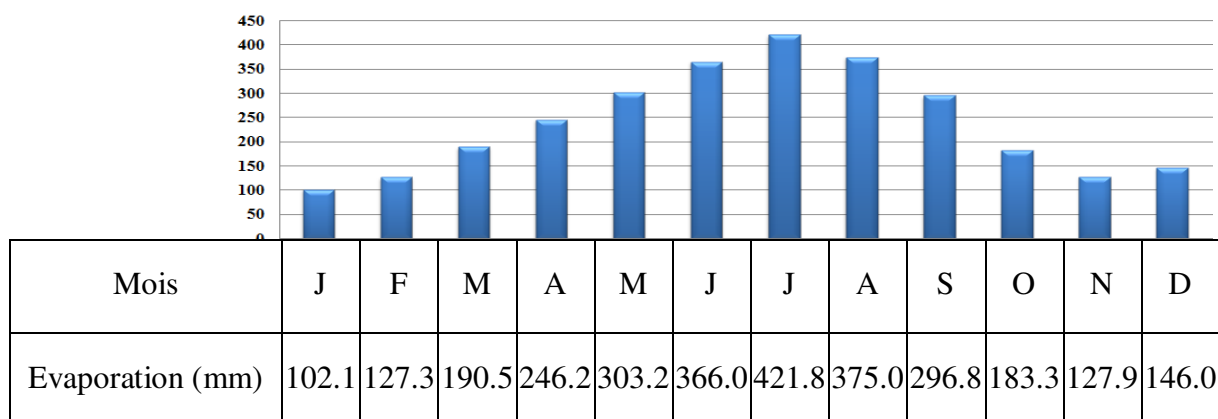
### 3.6 Evaporation

L'évaporation est un passage progressif de l'état liquide à l'état gazeux. Elle est différente de l'ébullition qui est une transition rapide. C'est un changement d'état appelé vaporisation [1].

C'est un phénomène physique qui permet une appréciation des conditions climatiques d'une région, elle résulte de la superposition des échanges entre l'eau et le pouvoir absorbant de l'atmosphère.

Elle est connue quotidiennement le plus souvent par des mesures effectuées sur des bacs, ici le bac enterré de 1 m<sup>2</sup> de surface dit « **bac Colorado** » où on mesure la quantité d'eau évaporée par une surface évaporante.

Les valeurs moyennes mensuelles de l'évaporation sont représentées dans le tableau I.7 :



**Tableau I.7** L'évaporation moyenne mensuelle [2].

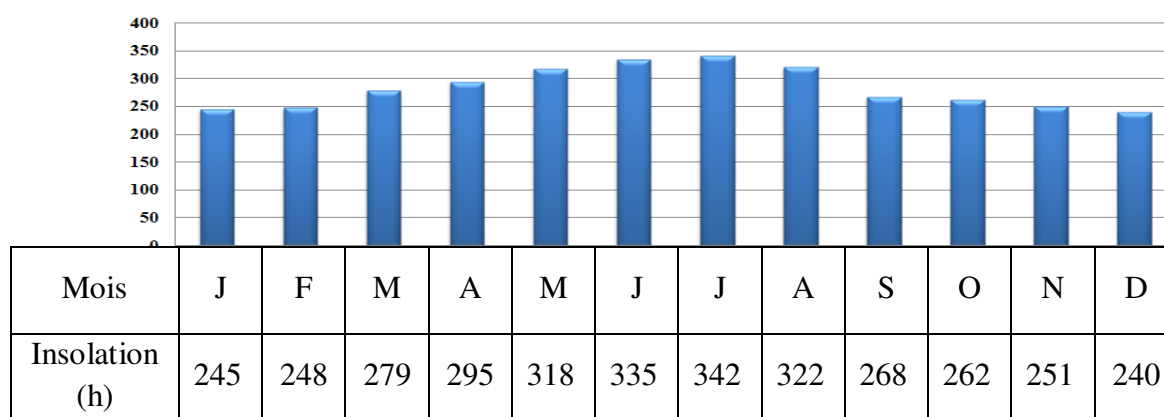
On remarque d'après le tableau I.7 ; que l'évaporation atteint le maximum dans le mois de Juillet (421.8 mm).

L'évaporation est très intense, surtout lorsqu'elle est renforcée par les vents chauds. Elle est de l'ordre de **2886** mm /an, avec un maximum mensuel de **421.8** mm au mois de Juillet et un minimum de **102.1** mm au mois de Janvier.

### 3.7 Insolation

Insolation signifie la quantité d'énergie solaire reçue, mais aussi peut être synonyme d'ensoleillement, c'est-à-dire la durée d'exposition d'un site au Soleil [1].

Les valeurs moyennes mensuelles et journalières sont représentées dans le tableau I.8 :



**Tableau I.8** Insolations moyennes journalières [2].

La durée moyenne de l'insolation est de 283,75 heures/mois, avec un maximum de 342h durant le mois de Juillet ; et un minimum de 240h durant le mois de Décembre. La durée moyenne annuelle est de l'ordre 3405 heures/an.

### 3.8 Classification du climat selon les indices climatiques

L'indice climatique, en climatologie, est à la fois une mesure de base et une composition à partir de ces mesures qui doit être bien différenciée de l'indicateur climatique, valeur quantitative ou qualitative, donc parfois adimensionnelle, caractérisant l'état d'un système de façon indirecte [1], les indices retenus pour notre étude sont les suivant :

- Indice d'aridité de MARTONNE,
- Indice (Quotient) pluviométrique d'Emberger,
- Indice de Gaussen.

### 3.8.1 Indice d'aridité de MARTONNE

L'indice d'aridité de MARTONNE, est un paramètre qui permet la classification du climat dans un but de nous renseigner sur l'indispensabilité de l'irrigation par rapport à la class du climat (Tableau I.9).

L'indice d'aridité est donné par l'expression (I.1) :

$$I = \frac{P}{T + 10}$$

Avec :

- **I** : Indice de MARTONNE
- **P** : Précipitation annuelle moyenne de la région en (mm/an)
- **T** : Température moyenne annuelle en (°C)

Valeur de I	Type de climat	Irrigation
I<5	Désertique	Indispensable
5<I<10	Très sec	Indispensable
10<I<20	Sec	Souvent indispensable
20<I<30	Relativement humide	Par fois utile
I>30	Humide	Inutile

**Tableau I.9** Les limites de climat d'après l'indice d'aridité de MARTONNE.

Pour :

$$P = 8.63 \text{ mm/an}$$

$$T = 21.15 \text{ °C}$$

On aura :

$$I \approx 0.27$$

Selon l'indice d'aridité calculé et d'après le tableau de classification ci-dessus, on constate que la région est soumise à un type de climat **désertique** par conséquent, l'irrigation est **indispensable**.

### 3.8.2 Indice (Quotient) pluviométrique d'EMBERGER,

Le quotient pluviométrique ou indice climatique d'EMBERGER sert à définir les cinq différents types (étages) de climat méditerranéen, depuis le plus aride, jusqu'à celui de haute montagne, la technique est fondée sur un diagramme dressé par Mr EMBERGER (**figure I.2**).

Ce quotient est défini par la formule (I.2) [8] :

$$Q = \frac{2000P}{M^2 - m^2}$$

Avec :

- **Q** : quotient pluviométrique d'EMBERGER
- **M** : la moyenne des températures du mois le plus chaud en kelvin
- **m** : la moyenne des températures du mois le plus frais en kelvin
- **P** : pluviométrie annuelle en mm

La formule est parfois adaptée sous la forme suivante I.3 (formule de Stewart) - adaptée pour l'Algérie- [7]:

$$Q2 = \frac{3,43P}{M - m}$$

Avec :

- **Q2** : quotient thermique d'EMBERGER
- **P** : pluviométrie moyenne annuelle en mm
- **M** : moyenne des maxima du mois le plus chaud en °C
- **m** : moyenne des minima du mois le plus froid en °C

Le climagramme d'EMBERGER est représenté :

- en abscisse par la moyenne des minima du mois le plus froid.
- en ordonnée par le quotient pluviométrique (Q2) d'EMBERGER.



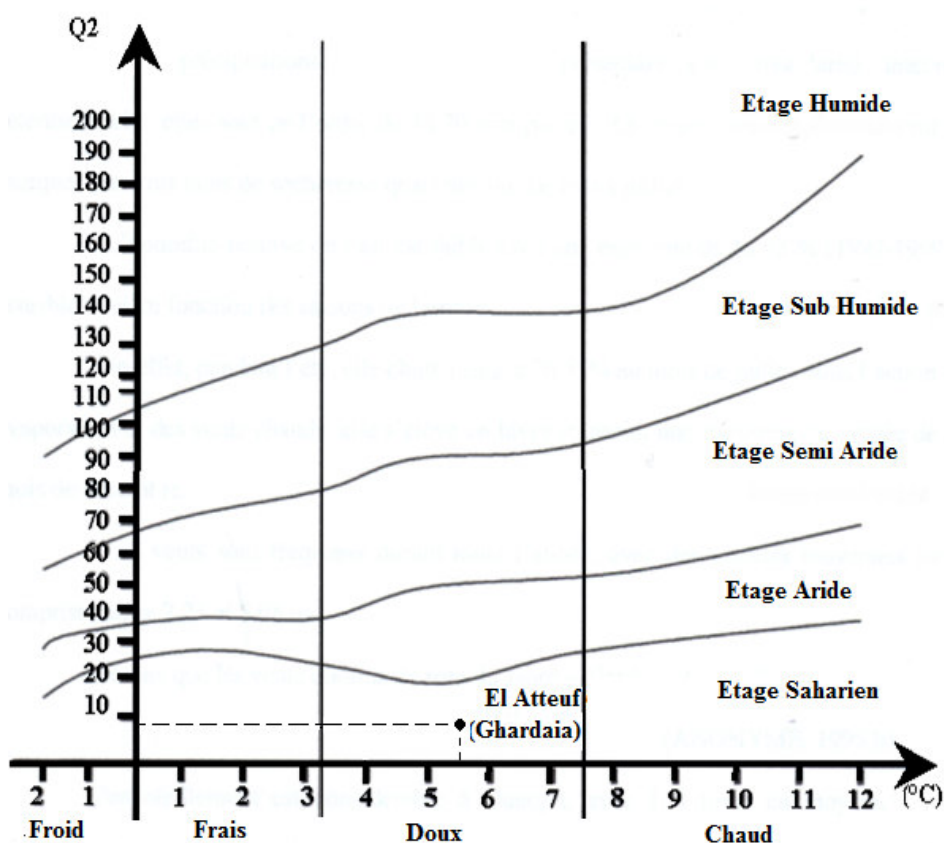


Figure I.2 Climagramme d'EMBERGER.

D'après le diagramme bioclimatique d'EMBERGER la valeur de  $Q = 8,69$  pour une température du mois le plus froid  $m = 5,62$  °C [2], nous donne un étage bioclimatique «Saharien».

Ces renseignements complètent et confirment celles obtenues précédemment par la méthode de MARTONNE.

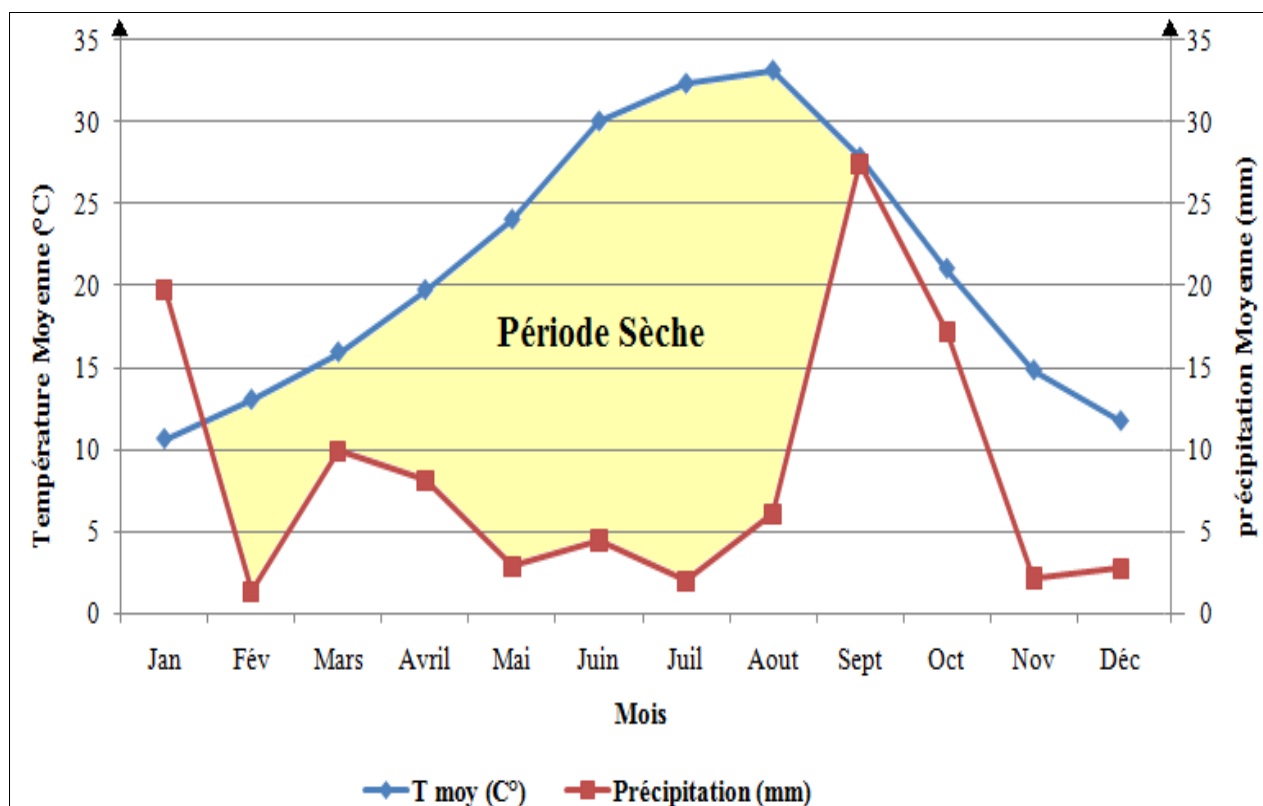
### 3.8.3 Indice (Diagramme ombrothermique) de GAUSSEN

Le diagramme ombrothermique de GAUSSEN et BAGNOULS est une méthode graphique qui permet de définir les périodes sèches et humides de l'année.

Il nous permet de suivre les variations saisonnières de la réserve hydrique ainsi que la détermination de la période dont l'irrigation est indispensable (période sèche). Il est représenté (Figure 1.3) :

- en abscisses par les mois de l'année.
- en ordonnées par les précipitations en mm et les températures moyennes en °C.
- l'échelle est de  $P=2T$ .

- L'aire comprise entre les deux courbes représente le période sèche. Dans la région de Ghardaïa, nous remarquons que cette période s'étale du mois de Février au mois de Septembre.



**Figure I.3 :** Climagramme de Gausson.

#### 4 Géologie

Du point de vue géologique, la wilaya de Ghardaïa est située aux bordures occidentales du bassin sédimentaire secondaire du Sahara, sur un grand plateau subhorizontal de massifs calcaires d'âge Turonien appelé couramment "la dorsale du M'Zab".

L'épaisseur de ses massifs calcaires recoupés par les sondages est de l'ordre de 110 mètres. Sous les calcaires turoniens on recoupe une couche imperméable de 220 mètres formée d'argile verte et de marne riche en gypse et en anhydrite; elle est attribuée au Cénomaniens. L'étage de l'Albien est représenté par une masse importante de sables fins à grès et d'argiles vertes. Elle abrite des ressources hydrauliques considérables, l'épaisseur est de l'ordre de 300 mètres.

Les alluvions quaternaires formées de sables, galets et argiles tapissent le fond des vallées des oueds de la dorsale, d'une épaisseur de 20 à 35 mètres. Ces alluvions abritent des nappes superficielles d'Inféro-flux (nappes phréatiques) (figure I.4) [6].

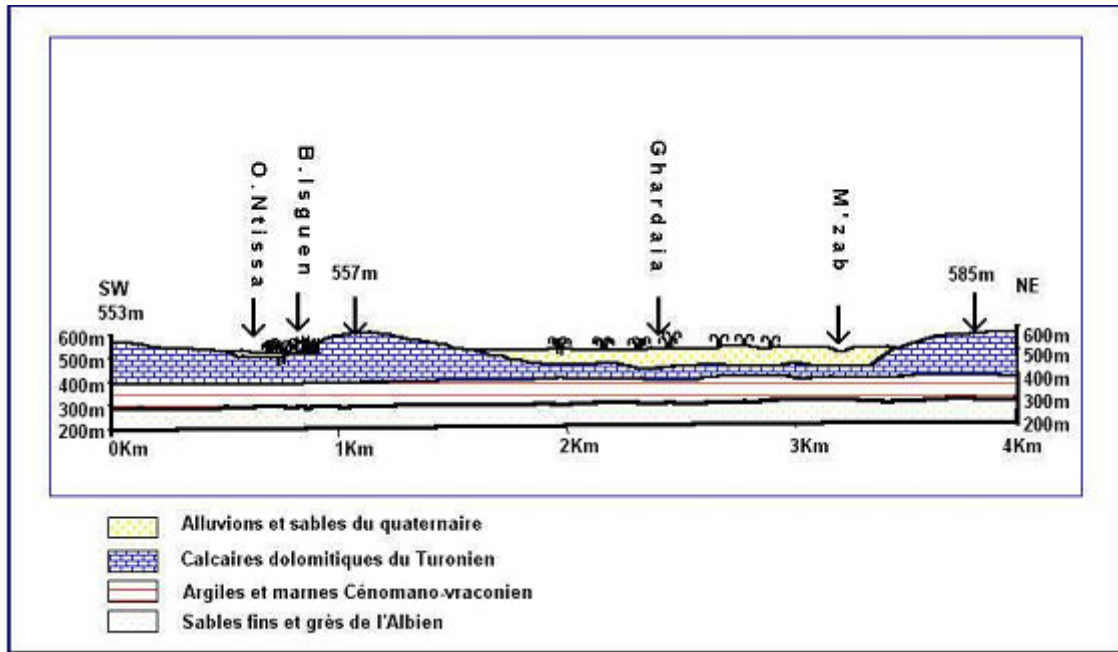


Figure I.4 Esquisse hydrogéologique du M'Zab [6].

### 5 Hydrologie

La région de Ghardaïa est jalonnée par un grand réseau d'oueds dont les principaux sont: oued Sebseb, oued Metlili, oued M'Zab, oued N'sa et oued Zegrir.

L'ensemble de ces oueds constitue le bassin versant de la dorsale du M'Zab (figure I.5), ils drainent en grande partie les eaux de la dorsale de l'Ouest vers l'Est, leur écoulement sont sporadiques, ils se manifestent à la suite des averses orageuses qui connaît la région.

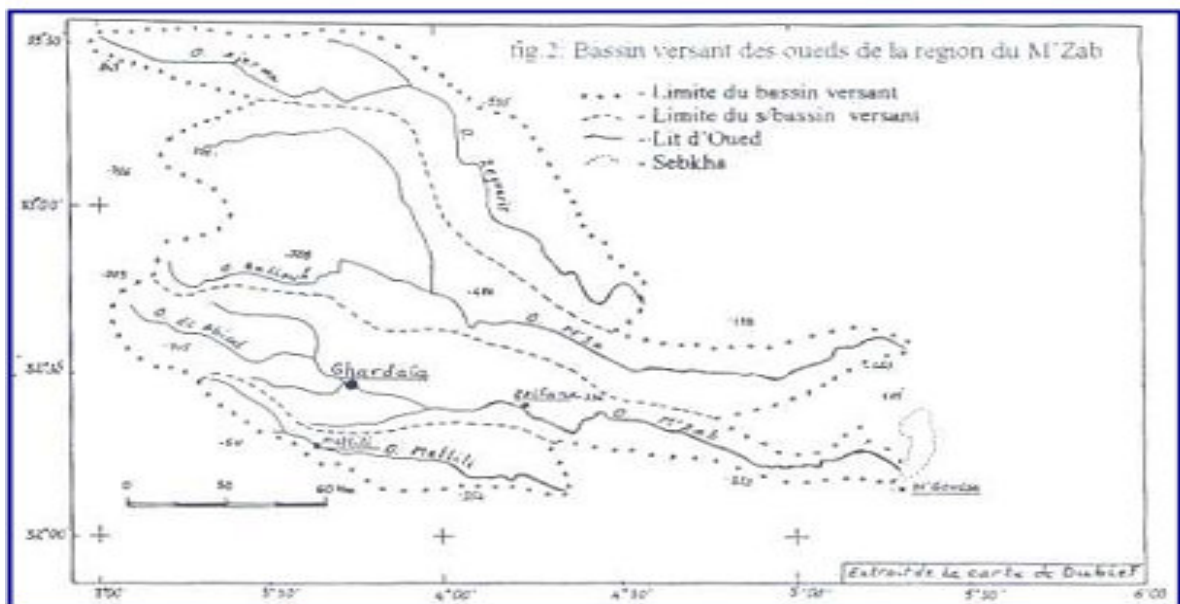


Figure I.5 Bassin versant de la région du M'Zab.

Exceptionnellement, quand les pluies sont importantes, surtout au Nord-Ouest de la région de Ghardaïa, ces oueds drainent d'énormes quantités d'eaux. Une étude des crues de l'oued Mzab a estimé les débits de crue décennale et centennale à 205 et 722 m<sup>3</sup>/s [6].

Les conséquences sont parfois catastrophiques et les dégâts sont souvent remarquables, notamment pour l'oued M'Zab et Metlili où chaque pluie exceptionnelle cause beaucoup de dommages principalement dans les agglomérations [6].

### 5.1 Détermination de l'année de calcul

L'année hydrologique est une période de 12 mois qui débute après le mois habituel des plus basses eaux. En fonction de la situation météorologique des régions, l'année hydrologique peut débiter à des dates différentes de celle du calendrier ordinaire.

La détermination de l'année de calcul a 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 P<sub>80%</sub>).

La formule utilisée pour la détermination de la pluviométrie moyenne mensuelle de probabilité 80% est la suivante (I.4):

$$P_{\text{moy 80\% de chaque mois}} = P_{\text{moy de chaque mois}} * (P_{\text{théorique (80\%) annuelle}}) / (P_{\text{théorique (50\%) annuelle}})$$

### 5.2 Homogénéité de la série pluviométrique

Pour vérifier l'homogénéité de la série pluviométrique on procède au test de WILCOXON.

La vérification de cette dernière d'enregistrement complet, par le test de Mr. WILCOXON, repose sur le procédé suivant :

- On divise la série complète des pluies moyennes annuelles de référence en deux sous-séries : x et y tel que : N<sub>2</sub> et N<sub>1</sub> représentant respectivement les tailles de ces deux sous-séries, considérant généralement N<sub>2</sub>>N<sub>1</sub>.
- 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 quelles sous-séries elle appartient.
- Mr. WILCOXON a montré que la série est homogène avec une probabilité de 95%, si la relation suivante est vérifiée (I.5) :

$$W_{\text{Min}} < W_y < W_{\text{Max}}$$

Avec :  $W_y = |Rang|_y$

$W_y$  : Somme des rangs de sous-série x.

Et :

$$W_{\min} = \frac{(N_1 + N_2 + 1) N_1 - 1}{2} - U_{1-\frac{\alpha}{2}} \left( \frac{(N_1 N_2)(N_1 + N_2 + 1)}{12} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (I.6)$$

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

Le tableau (I.10) ci-dessous détaille le résultat du test d'homogénéité pour la station de Numérette :

Rang	Série d'origine P (mm)	Série x (mm)	Série y (mm)	TRI (mm)	x union y
1	159.27	159.27	82.81	1110.03	X
2	9.66	9.66	56.13	565.45	X
3	165.87	165.87	57.91	487.11	Y
4	47.26	47.26	54.10	303.29	X
5	251.19	251.19	271.04	271.04	Y
6	34.55	34.55	158.25	254.76	Y
7	55.89	55.89	160.01	251.19	X
8	33.79	33.79	99.10	199.64	X
9	303.29	303.29	99.06	176.80	X
10	140.97	140.97	51.05	165.87	X
11	165.12	165.12	487.11	165.12	X
12	565.45	565.45	115.48	160.01	Y
13	1110.03	1110.03	78.91	159.27	X
14	63.51	63.51	254.76	158.25	Y
15	176.80	176.80		140.97	X
16	199.64	199.64		115.48	Y
17	82.81			99.10	Y
18	56.13			99.06	Y
19	57.91			82.81	Y
20	54.10			78.91	Y
21	271.04			63.51	X
22	158.25			57.91	Y
23	160.01			56.13	Y
24	99.10			55.89	X
25	99.06			54.10	Y
26	51.05			51.05	Y
27	487.11			47.26	X
28	115.48			34.55	X
29	78.91			33.79	X
30	254.76			9.66	X

**Tableau I.10** Test de WILCOXON pour la station de Numérette.

---

$N_1$	$N_2$	$W_{\min}$	$W_y$	$W_{\max}$
14	16	116.72	136	317.28

On a :

$$116.72 < W_y = 136 < 317.28$$

Donc l'homogénéisation de la série est vérifiée.

### 5.3 Choix du type de loi

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

#### 5.3.1 Ajustement à la loi Log-normale (GALTON)

Les résultats de l'ajustement de la série des pluies moyennes annuelles de la station de Numérette à la loi Log-normale sont regroupés à l'aide du Logiciel « HYDROLAB » dans le tableau (I.11) suivant :

Taille n= 30  
x<sub>0</sub>= 0

Moy.log(x-x<sub>0</sub>)=2.068204947

log(x-x<sub>0</sub>)=0.419328896

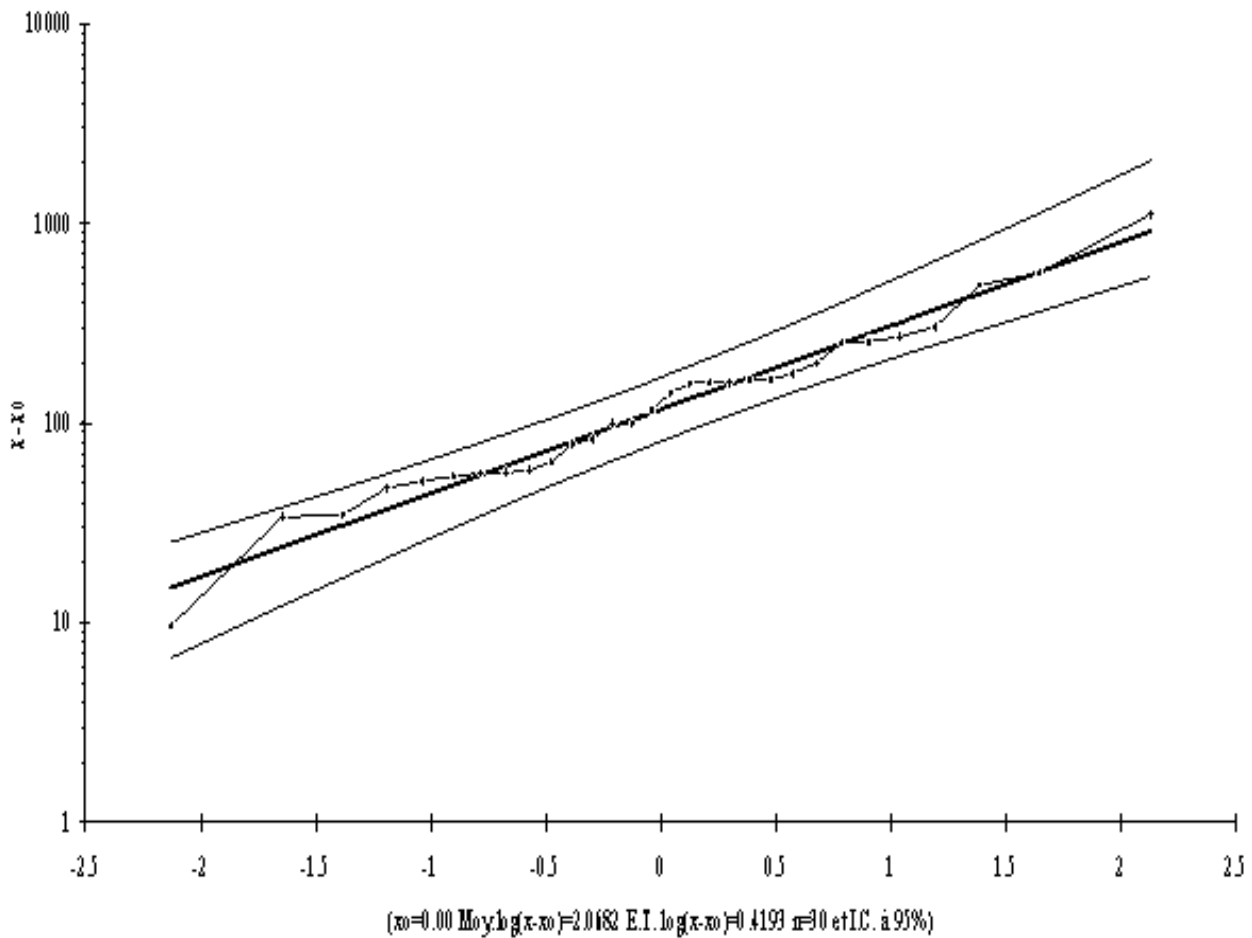
Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
159.27	9.7	1	0.017	-2.128	9.66	14.99	6.68	25.37
9.66	33.8	2	0.050	-1.645	33.79	23.90	12.16	37.77
165.87	34.6	3	0.083	-1.383	34.55	30.77	16.76	47.07
47.26	47.3	4	0.117	-1.192	47.26	37.02	21.11	55.45
251.19	51.1	5	0.150	-1.036	51.05	43.01	25.41	63.48
34.55	54.1	6	0.183	-0.903	54.10	48.95	29.76	71.46
55.89	55.9	7	0.217	-0.783	55.89	54.92	34.19	79.54
33.79	56.1	8	0.250	-0.674	56.13	61.02	38.77	87.86
303.29	57.9	9	0.283	-0.573	57.91	67.31	43.52	96.53
140.97	63.5	10	0.317	-0.477	63.51	73.85	48.47	105.65
165.12	78.9	11	0.350	-0.385	78.91	80.69	53.65	115.33
565.45	82.8	12	0.383	-0.296	82.81	87.89	59.10	125.69
1 110.03	99.1	13	0.417	-0.210	99.06	95.53	64.86	136.84
63.51	99.1	14	0.450	-0.125	99.10	103.66	70.97	148.94
176.80	115.5	15	0.483	-0.042	115.48	112.39	77.47	162.17
199.64	141.0	16	0.517	0.042	140.97	121.81	84.42	176.73
82.81	158.3	17	0.550	0.125	158.25	132.06	91.92	192.91
56.13	159.3	18	0.583	0.210	159.27	143.31	100.05	211.07
57.91	160.0	19	0.617	0.296	160.01	155.76	108.92	231.63
54.10	165.1	20	0.650	0.385	165.12	169.67	118.70	255.17
271.04	165.9	21	0.683	0.477	165.87	185.38	129.58	282.46
158.25	176.8	22	0.717	0.573	176.80	203.38	141.82	314.59
160.01	199.6	23	0.750	0.674	199.64	224.34	155.82	353.11
99.10	251.2	24	0.783	0.783	251.19	249.26	172.12	400.36
99.06	254.8	25	0.817	0.903	254.76	279.71	191.59	460.08
51.05	271.0	26	0.850	1.036	271.04	318.28	215.65	538.72
487.11	303.3	27	0.883	1.192	303.29	369.84	246.89	648.54
115.48	487.1	28	0.917	1.383	487.11	444.87	290.82	817.03
78.91	565.5	29	0.950	1.645	565.45	572.91	362.50	1 125.38
254.76	1 110.0	30	0.983	2.128	1 110.03	913.57	539.59	2 049.21

Fréquence	U de Gauss	Valeur théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0.2	-0.,841	51.92	31.96	75.48	51.92	0.20	1.3
0.5	0.,000	117.01	80.88	169.26	117.01	0.50	2.00
0.8	0.,841	263.66	181.39	428.35	263.66	0.80	5.00

**Tableau I.11** Ajustement à la loi Log- normale

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P <sub>80%</sub>	12.82	0.85	6.42	5.24	1.85	2.87	1.26	3.93	17.8	11.15	1.37	1.72

**Tableau I.12** Les valeurs mensuelles de P<sub>80%</sub>



**Figure I.6** Ajustement à la loi Log-normale.

## 6 Hydrogéologie

### 6.1 Nappe phréatique

D'une manière générale, les vallées des oueds de la région sont le siège de nappes phréatiques. L'eau captée par des puits traditionnels d'une vingtaine de mètres de profondeur en moyenne mais qui peuvent atteindre 50 m et plus, permet l'irrigation des cultures pérennes et en particulier des dattiers. L'alimentation et le comportement hydrogéologique sont liés étroitement à la pluviométrie.

La qualité chimique des eaux est comme suit [6]:

- à l'amont, elle est bonne à la consommation.
- à l'aval, elle est mauvaise et impropre à la consommation, contaminée par les eaux urbaines.



## 6.2 Nappe du Continental Intercalaire

La nappe du Continental Intercalaire draine, d'une façon générale, les formations gréseuses et gréso-argileuses du Barrémien et de l'Albien. Elle est exploitée, selon la région, à une profondeur allant de 250 à 1000m.

Localement, l'écoulement des eaux se fait d'Ouest en Est. L'alimentation de la nappe bien qu'elle soit minime, provient directement des eaux de pluie au piémont de l'Atlas Saharien en faveur de l'accident Sud Atlasique.

La nappe du continental intercalaire, selon l'altitude de la zone et la variation de l'épaisseur des formations postérieures au continental intercalaire, elle est [6]:

- Jaillissante et admet des pressions en tête d'ouvrage de captage (Zelfana. Guerrara et certaines régions d'El Menia).
- Exploitée par pompage à des profondeurs importantes, dépassant parfois les 120 m (Ghardaïa, Metlili, Berriane et certaines régions d'El Menia).

## 7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons essayé de donner une idée générale sur la région de Ghardaïa (commune d'El Atteuf) en matière de climat, agriculture, géologie, hydrologie et spécialement l'handicap d'irrigation au niveau de la région.

Ce tour d'horizon nous a permis de présenter une introduction générale pour ce qu'on va faire à la suite dans notre travail.

En effet, notre travail consiste en la réutilisation des eaux conventionnelles (usées) d'une lagune pour l'irrigation d'un périmètre au niveau de la commune d'El Atteuf.

Dans le chapitre suivant, nous commençons tout d'abord par présenter les différentes caractéristiques des eaux usées ainsi qu'un recensement des procédés d'épuration de celles-ci.

## 1 Introduction

La ressource mondiale en eau, bien que globalement abondante, est très inégalement répartie sur la planète. Alors que le volume total d'eau douce terrestre est estimé à 41 600 milliards de mètres cubes, moins de 1 % est disponible pour l'homme. Actuellement, les zones arides et désertiques, ainsi que certaines régions tempérées mais très densément peuplées, subissent un épuisement progressif de leurs réserves. On assiste, de plus, à une forte augmentation des besoins en eau, due à l'utilisation massive de l'irrigation, à l'accroissement conjugué de la population mondiale et de la consommation de chaque individu. Ainsi, la pression globale exercée sur la ressource disponible s'accroît [9].

Ce contexte de problèmes récurrents d'accessibilité à l'eau a conduit, entre autres, au développement de solutions de recyclage des eaux usées.

La réutilisation des eaux usées, ou recyclage, consiste à récupérer les eaux usées après plusieurs traitements destinés à en éliminer les impuretés, afin de stocker et d'employer cette eau à nouveau. Le recyclage remplit donc un double objectif d'économie de la ressource : il permet à la fois d'économiser les ressources en amont en les réutilisant, mais aussi de diminuer le volume des rejets pollués.

Les eaux recyclées peuvent être utilisées dans des domaines aussi variés que l'irrigation agricole, la recharge de nappes souterraines, l'arrosage de jardins ou la protection incendie. Les pays ayant déjà une large expérience du recyclage des eaux grises à différentes échelles sont sans conteste les États-Unis et l'Australie, où les eaux recyclées sont principalement utilisées dans l'agriculture, et le Japon, où la réutilisation des eaux usées épurées est obligatoire dans certaines régions, dans les immeubles dont la surface habitable est supérieure à 30 000 m<sup>2</sup>. Dans une moindre mesure, l'Allemagne et le Royaume-Uni développent actuellement des projets à l'échelle de petits quartiers résidentiels [9].

Dans ce chapitre, on va essayer de donner un aperçu sur les eaux usées en matière de leurs origines, de leurs caractéristiques, de leurs risques ainsi qu'aux différents procédés utilisés pour leur traitement.

## 2 Eaux Usées (EU)

### 2.1 Nature et origine

Les eaux usées sont toutes les eaux chargées de différents éléments provenant de la population mais aussi des activités commerciales et industrielles du fait qu'elles ont été utilisées pour le lavage ou les toilettes, qui sont de nature à polluer les milieux dans lesquelles elles seront déversées [1].

Les **eaux grises** sont définies comme étant les eaux résiduelles domestiques (ERD) et sont composés des [9]:

- **les eaux résiduaires domestiques (ERD)**, constituées de l'ensemble des eaux usées provenant des activités liées à l'habitation (bain, douche, lavabo, chasse d'eau, lessive, boisson, alimentation, évier, lave-vaisselle, nettoyage) ;
- **les eaux noires (EN)** aussi appelées « eaux vannes » (EV), sont les eaux usées en provenance des toilettes ;
- **les eaux grises (EG)**, qui sont composées des eaux résiduaires domestiques à l'exclusion des eaux noires. Le terme « eaux grises » est la traduction d'un terme anglo-saxon (greywater ou grey water, voire graywater) largement répandu dans la littérature. D'après la norme AFNOR NF EN 1085 (2007), un autre terme standardisé français correspondant est « eaux ménagères » ;
- **les effluents septiques (ESEP)**, qui sont les eaux issues des fosses septiques intégrées dans les systèmes d'assainissement autonome (autrement appelé « assainissement non collectif »).

La qualité des eaux usées est fortement dépendante des sources de pollution auxquelles elles sont exposées lors de leur utilisation.

On retiendra en particulier que les eaux résiduaires urbaines et les eaux noires contiennent des fèces, ce qui entraîne une forte contamination microbiologique et une grande charge organique.

Les eaux grises provenant de salles de bain contiennent des éléments apportés par le corps humain, tels que des cheveux, des acides gras, des graisses, de la terre, des fibres textiles, de la peau, de l'urine et des fèces, en particulier dans les maisons où sont présents de jeunes enfants. Elles contiennent aussi de nombreux produits liés à l'utilisation de savons, de shampooings, produits nettoyants, et sporadiquement d'autres substances telles que colorants, eau de Javel, dissolvants, etc. Les eaux usées de lave-linge sont chargées principalement de détergents, ainsi que des matières organiques et des micro-organismes provenant des vêtements. Enfin, les eaux de cuisine issues des éviers et des lave-vaisselle sont très chargées en matières organiques et présentent la particularité d'être très grasses (huiles, graisses animales, etc.) et putrescibles [9].

Voici quelques provenances possibles des eaux usées. Pour certaines d'entre elles, les contaminants probables figurent entre parenthèses [1]:

- Déchets d'origine humaine (hygiène, ménage, toilettes... dans ce dernier cas, on parle d'eau noire)
- Fuite de fosse septique ;
- Déversement de fosse septique ;
- Évacuation d'installation de traitement d'eaux d'égout ;
- Eau de lavage (personnes, vêtements, sols, vaisselle, etc.) également connu comme eau grise ;
- Précipitations collectées par les toits ;
- Eaux souterraines infiltrées dans le réseau d'égouts ;

- Liquides manufacturés en surplus provenant de sources domestiques (boissons, huiles de cuisine, pesticides, huiles de graissage, liquides de peinture, de nettoyage, etc.) ;
- Écoulement urbain des précipitations sur les routes, les parkings, les trottoirs (contient des huiles, fèces animales, ordures, traces de carburant, résidus de caoutchouc, métaux provenant des gaz d'échappement des véhicules, etc.) ;
- Entrées d'eau de mer (sel, micro-organismes, volumes élevés) ;
- Entrée directe d'eau de rivières (micro-organismes, volumes élevés) ;
- Entrée directe de liquides synthétiques (décharge illégale de pesticides, d'huiles usagées, etc...) ;
- Drainage des routes (huile, agents de dégivrage, résidus de caoutchouc) ;
- Drainage de tempête (presque n'importe quoi, y compris voitures, chariots, arbres, bétail, etc.) ;
- Pertes industrielles ;
- Drainage industriel d'un site.

## 2.2 Caractérisation des risques des eaux usées selon leur composition [10]

Le but du contrôle de l'eau est de minimiser les risques que fait courir l'eau à l'homme soit directement, soit indirectement (ex. Irrigation, ...).

Nous distinguerons trois types de risques : à court, à moyen et à long terme.

### 2.2.1 Risques à court terme

C'est un risque essentiellement **microbiologique**. Il s'agit des bactéries, des virus, des levures, des champignons, des protozoaires et des helminthes.

#### 2.2.1.1 Les bactéries

Les risques résultant de leur présence permettent de les classer en deux groupes principaux :

- **le premier groupe** rassemble les bactéries de caractère biologique assez proche dont l'habitat normal est l'intestin de l'homme ou certains animaux à sang chaud. La contamination se fait par les matières fécales. Ce sont le vibrion cholérique, les salmonelles, les shigelles, les Escherichia coli, les streptocoques (groupe D), les pseudomonas...;
- **le second groupe** rassemble des bactéries susceptibles de provoquer des infections cutanées ou cutané muqueuses. Ce sont les pseudomonas, les staphylocoques, les streptocoques, les légionnelles... Ces micro-organismes peuvent provenir de matières fécales, mais ce n'est pas une obligation : ils peuvent être retrouvés dans l'environnement.

### 2.2.1.2 Les virus

Par opposition aux microbes, les virus ne se reproduisent pas, ils sont nécessairement synthétisés par une cellule vivante dont ils détournent les mécanismes normaux de synthèse. Ce sont des parasites absolus. La cellule support en meurt généralement. Ce sont les entérovirus, les rhéovirus, les adénovirus, les virus de l'hépatite A dite «épidémique» ou «infectieuse».

### 2.2.1.3 Les levures et champignons

Certaines de ces mycobactéries peuvent être à l'origine d'affections cutanées ou du système respiratoire. D'autres ont une origine fécale : *Candida albicans*.

### 2.2.1.4 Les helminthes

Ce sont les *Ascaris*, les *Trichuris* pathogènes après infection orale ou les ankylostomes et strombyloïdes (anguillules) après infection cutanée.

### 2.2.1.5 Les protozoaires

Il s'agit :

- des amibes, notamment *Naegleria fowleri* ;
- d'autres protozoaires, dont le rôle a été élucidé plus récemment: *Giardia* (*G.lamblia*), *Cryptosporidium* (*C. parvum*), *Cyclospora*, *Isospora*, *Microsporidies*...

Il ne faut pas oublier ici les risques microbiologiques indirects dus à des toxines excrétées par des micro-organismes: les cyanobactéries sont aujourd'hui les micro-organismes les plus représentatifs de ce risque, notamment par les endotoxines qu'elles libèrent dès qu'il y a lyse de ces algues bleues.

## 2.2.2 Risques à moyen terme

Ce sont des risques chimiques dus aux :

- Nitrates ;
- Nitrites ;
- Fluor ;
- Sulfate de magnésium ;
- Sodium ;
- Plomb.

### 2.2.3 Risques à long terme

Ces risques incluent les phénomènes d'accumulation des métaux toxiques et les risques de cancer. On classera ces composés en deux groupes : éléments indésirables et éléments toxiques.

#### 2.2.3.1 Éléments indésirables

Il s'agit d'éléments tels que le fer, le zinc, le manganèse, le cuivre qui, en excès, peuvent être responsables de mauvais goûts, de coloration de l'eau ou de post-précipitations qui favorisent les post-proliférations bactériennes.

Ces phénomènes, mis à part la présence de manganèse, peuvent être dus à des phénomènes de corrosion. Ils ne posent pas à proprement parler de problèmes toxicologiques, encore que le zinc, bien que non toxique aux concentrations rencontrées, peut être accompagné de cadmium (voir ci-après).

#### 2.2.3.2 Éléments toxiques

##### a- Métaux directement toxiques :

- l'arsenic ;
- le mercure ;
- le cadmium ;
- le plomb ;
- le chrome ;
- l'antimoine.

##### b- Éléments minéraux divers, toxiques dans des cas particuliers :

- les nitrates ;
- l'aluminium ;
- le sélénium ;
- les bromates ;
- les radionucléides.

##### c- Micropolluants organiques :

- **les détergents** (limite 200 µg/L) : il n'est pas impossible que la présence de traces de détergents dans l'eau d'alimentation puisse favoriser la pénétration et la digestion de certains autres composés et, particulièrement, de dérivés toxiques tels que les hydrocarbures polycycliques aromatiques. Ces composés n'ont pas été repris dans la directive 98/83/CE et ne figurent donc plus dans le code de la santé en France (CSP) ;

- **les résidus de produits phytosanitaires** : pesticides (limités à 0,5 µg/L au total et à 0,1 µg/L par substance individualisée). Le risque aigu lié à l'utilisation de ces molécules est relativement bien connu chez l'animal et chez l'homme. On ne sait que peu de choses sur le risque dû à l'ingestion de microdoses de ces composés. La directive 98/83/CE proposée par l'Union européenne a inclus les produits de réaction ou de dégradation de ces produits phytosanitaires.

- **les hydrocarbures** (limite : 10 µg/L indice CH<sub>2</sub>) : certains composés peuvent être cancérigènes tels que les hydrocarbures polycycliques aromatiques (limite 100 ng/L au total pour 4 molécules alors que dans le passé la limite était de 200 ng/L mais pour 6 molécules) ;

- **les solvants chlorés** : le total trichloroéthylène + tétrachloroéthylène ne doit pas dépasser 10 µg/L. La nouvelle directive prévoit des limites spécifiques pour chacun de ces 2 composés ;

## 2.3 Paramètres et mesure de la pollution [11]

### 2.3.1 Paramètres de la pollution

Les eaux usées sont des milieux extrêmement complexes, aussi se réfère-t-on à quelques paramètres pour les caractériser. Ils sont généralement exprimés en mg/L.

- **Les matières en suspension (MES)** : c'est la fraction non dissoute de la pollution. La circulaire interministérielle du 4 novembre 1980 relative aux conditions de détermination de la qualité minimale d'un rejet d'effluents urbains (JO du 29 novembre 1980), actualisée par le décret no 94-469 du 3 juin 1994 relatif à la collecte et au traitement des eaux usées mentionnées, puis par le décret no 2007-397 du 22 mars 2007 (JO du 23 mars 2007), précise que : «Les matières en suspension, et particulièrement la fraction décantable de celles-ci, peuvent constituer, à l'aval du rejet, des dépôts qui empêchent la vie d'une faune et d'une flore benthiques normales et qui dégradent la qualité de l'eau sous-jacente par le produit des fermentations. Les MES contribuent aussi à déséquilibrer le milieu aquatique en accroissant la turbidité et peuvent avoir un effet néfaste direct sur l'appareil respiratoire des poissons »,

- **La demande biologique en oxygène (DBO)** est un paramètre global qui exprime la quantité d'oxygène qu'une biomasse épuratrice va consommer pour décomposer les matières organiques contenues dans l'effluent. Elle est donc représentative de la somme des matières organiques biodégradables. Elle est généralement mesurée en 5 jours (DBO<sub>5</sub>).

- **La demande chimique en oxygène (DCO)** est, elle, représentative de la quantité de matières organiques oxydables par voie chimique.

Le rapport entre ces deux paramètres peut donner une idée de la biodégradabilité de l'effluent. Les mêmes textes cités ci-dessus rappellent que : «La DBO et la DCO sont deux moyens d'apprécier la teneur en matières organiques oxydables. La dégradation de celles-ci dans le milieu naturel s'accompagne d'une consommation d'oxygène et peut entraîner un abaissement excessif de la concentration d'oxygène dissous.»,

- **L'azote** peut se trouver sous forme minérale (ammoniacal, nitrate) ou organique. La présence d'azote organique ou ammoniacal se traduit par une consommation d'oxygène dans le milieu naturel et par une entrave à la vie des poissons,

- **Le phosphore** peut également se trouver sous forme minérale (en provenance des lessives ou des rejets industriels) ou organique. Élément indispensable à la vie des algues, la présence de phosphore entraîne un risque d'eutrophisation du cours d'eau ou du lac, c'est-à-dire que celui-ci peut se voir envahi par un développement excessif de la population algale.

- On mesure également la quantité de **germes** et de **virus**, les teneurs en **graisses**, **détergents** et **métaux lourds**. Chacun de ces paramètres représente une nuisance potentielle.

Pour une meilleure adaptation du traitement, les paramètres globaux s'avèrent insuffisants et l'utilisation de modèles mathématiques pour simuler les processus d'épuration exige une meilleure connaissance des différentes fractions constituant la pollution à traiter :

- la **fraction décantable**, qui correspond à la pollution particulaire et qui pourra être enlevée par un simple traitement physique, telle la décantation ;

- la **fraction colloïdale**, qui correspond à la pollution pouvant flocculer par ajout de réactif et être enlevée par traitement physique ;

- la **fraction soluble**, qui correspond à la pollution qui sera éliminée spécifiquement par voie biologique. Une partie de cette pollution soluble n'est pas biodégradable, elle correspond à des molécules complexes (certains détergents et pesticides) et se retrouvera dans l'effluent final.

Pour déterminer la part de ces différentes fractions, des analyses complémentaires sont nécessaires :



- MES, DCO, DBO<sub>5</sub> après décantation pendant 2 heures (ad2) dans un bécher ;
- DCO, DBO<sub>5</sub> solubles, après filtration.

La part de pollution non biodégradable peut être déterminée par une mesure dite de «DCO dure» qui consiste en la mesure de la DCO soluble de l'eau à analyser après son aération pendant 15 à 20 jours.

### 2.3.2 Mesure de la pollution

#### 2.3.2.1 Prise d'échantillon

L'évaluation des caractéristiques de pollution se fait sur des échantillons qui ont été correctement prélevés. Les analyses du laboratoire n'ont guère de valeur si l'échantillon n'est pas vraiment représentatif des conditions ou de la qualité existant réellement dans la pratique.

En matière d'eaux usées, les difficultés sont accrues car le débit et la composition instantanée varient dans de grandes proportions. Pour cela, il est important de réaliser des échantillons moyens sur 24 h, asservis au débit pour déterminer le flux journalier de pollution.

#### 2.3.2.2 Mesure de débits

- Faibles débits (0 à 25 m<sup>3</sup>/h) : méthode utilisant une capacité étalonnée et un chronomètre.
- Débits moyens (25 à 400 m<sup>3</sup>/h) : déversoirs en parois minces, triangulaires ou rectangulaires.
- Au-delà de 700 m<sup>3</sup>/h : moulinets dans portion de canal calibré.

#### 2.3.2.3 Mesure de pollution

- Méthode normalisée :
  - DBO<sub>5</sub> : normes NF EN 1899-1 et 2
  - DCO : norme NF T90-101
  - MES : norme NF T90-105 (2)  
: norme NF EN 872
  - NTK : (azote Kjeldahl) qui correspond à la somme de l'azote sous forme ammoniacale et organique, norme EN 25663
  - NH<sub>4</sub> : normes NF T90-015-1 et 2
  - NO<sub>3</sub> : norme ISO 7890-3
  - phosphore total (PT) : norme NF EN ISO 6878

- À côté de ces méthodes normalisées, il existe des méthodes « rapides » réalisées sur des volumes d'échantillons réduits et qui font souvent appel, en final, à une mesure par colorimétrie. Ces analyses rapides sont proposées par Hach, Merck, Hydrocure...

### 2.3.2.4 Notion d'équivalent habitant

L'équivalent habitant (eq. h. ou EH) correspond à la quantité de pollution rejetée par un habitant quotidiennement.

L'arrêté du 10 décembre 1991 définit les quantités journalières suivantes pour chaque habitant :

- 90 g de matières en suspension ;
- 57 g de matières oxydables ;
- 15 g de NTK ;
- 4 g de phosphore total.

Les matières oxydables (MO) correspondent à une moyenne pondérée de la DCO et de la DBO<sub>5</sub>, mesurées après une décantation de 2 h, suivant la formule (II.1):

$$MO = \frac{DCO + 2DBO_5}{3}$$

## 3 Les différentes techniques de l'épuration des eaux usées [12]

### 3.1 Les techniques intensives classiques

Les techniques les plus développées au niveau des stations d'épuration urbaines sont des procédés biologiques intensifs. Le principe de ces procédés est de localiser sur des surfaces réduites et d'intensifier les phénomènes de transformation et de destruction des matières organiques que l'on peut observer dans le milieu naturel.

Trois grands types de procédés sont utilisés :

- les lits bactériens et disques biologiques ;
- les boues activées ;
- les techniques de biofiltration ou filtration biologique accélérée.

#### 3.1.1 Lit bactérien

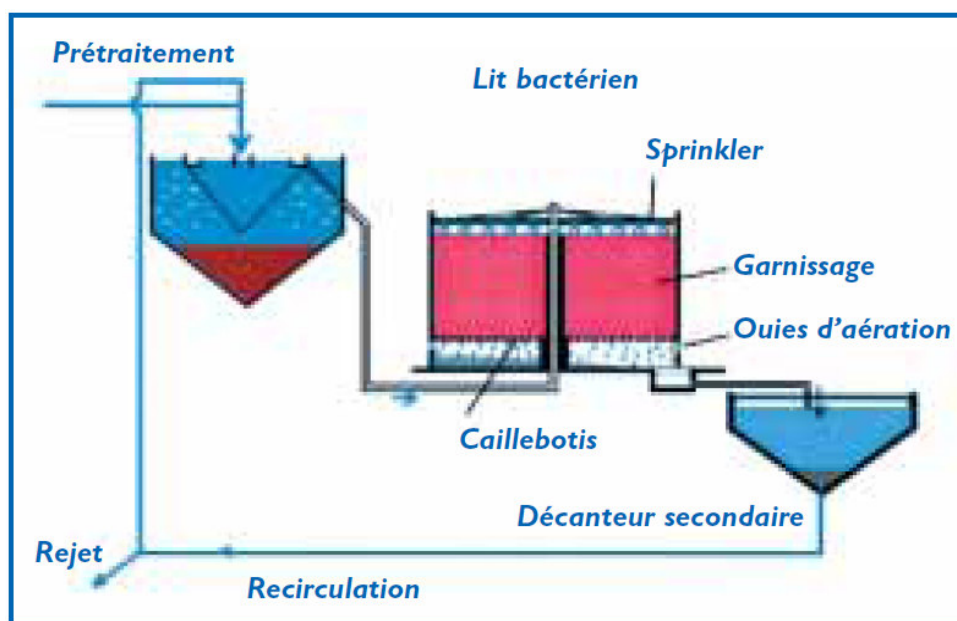
Le principe de fonctionnement d'un lit bactérien consiste à faire ruisseler les eaux usées, préalablement décantées sur une masse de matériaux poreux ou cavernaux qui sert de support aux micro-organismes (bactéries) épurateurs (Figure II.1).

Une aération est pratiquée soit par tirage naturel soit par ventilation forcée. Il s'agit d'apporter l'oxygène nécessaire au maintien des bactéries aérobies en bon état de

fonctionnement. Les matières polluantes contenues dans l'eau et l'oxygène de l'air diffusent, à contre courant, à travers le film biologique jusqu'aux micro-organismes assimilateurs. Le film biologique comporte des bactéries aérobies à la surface et des bactéries anaérobies près du fond. Les sous-produits et le gaz carbonique produits par l'épuration s'évacuent dans les fluides liquides et gazeux.

Objectif de rejet	Type de garnissage	Charge organique maximum (kg DBO <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> .j)	Hauteur de matériau minimum (m)	Charge hydraulique minimum (m/h)	Taux de recirculation minimum
≤ 35 mg DBO <sub>5</sub> /l	Traditionnel	0,7	2,5	1	2
	Plastique	0,7	4	2,2	2
≤ 25 mg DBO <sub>5</sub> /l	Traditionnel	0,4	2,5	0,7	2,5
	Plastique	0,4	5	1,8	2,5

**Tableau II.1** Le dimensionnement des lits bactériens.



**Figure II.1** Synoptique d'une station d'épuration comportant un lit bactérien.

### 3.1.2 Disques biologiques

Une autre technique faisant appel aux cultures fixées est constituée par les disques biologiques tournants (Figure II.2 et Figure II.3)

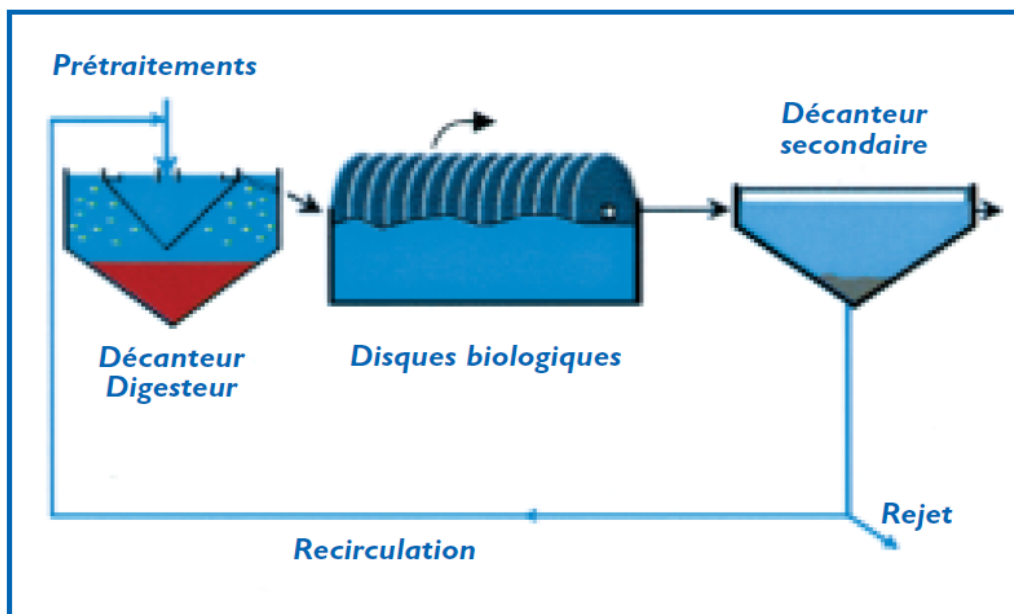
Les micro-organismes se développent et forment un film biologique épurateur à la surface des disques. Les disques étant semi-immergés, leur rotation permet l'oxygénation de la biomasse fixée.

Il convient, sur ce type d'installation, de s'assurer :

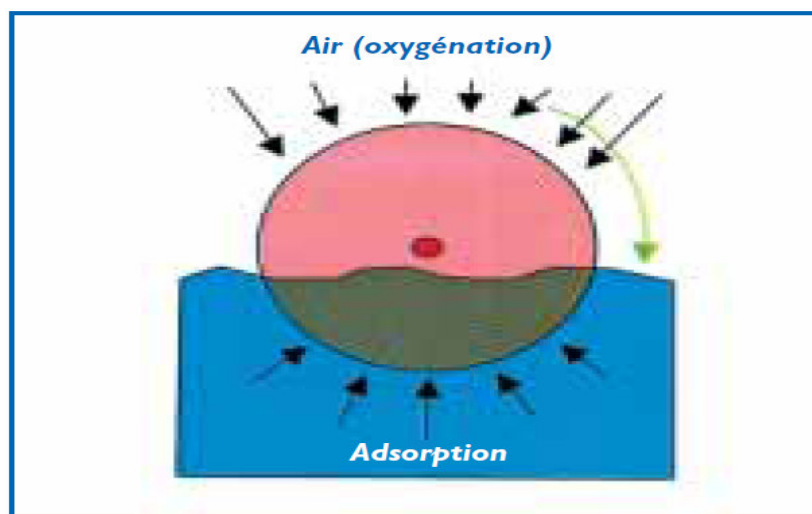
- de la fiabilité mécanique de l'armature (entraînement à démarrage progressif, bonne fixation du support sur l'axe),
- du dimensionnement de la surface des disques (celui-ci doit être réalisé avec des marges de sécurité importantes).

Objectif de rejet	Charge organique à appliquer (après décantation primaire)
$\leq 35$ mg DBO <sub>5</sub> /l	9 g DBO <sub>5</sub> /m <sup>2</sup> .j
$\leq 25$ mg DBO <sub>5</sub> /l	7 g DBO <sub>5</sub> /m <sup>2</sup> .j

**Tableau II.2** Le dimensionnement des disques biologiques.



**Figure II.2** Synoptique d'une station d'épuration comportant un disque biologique.



**Figure II.3** Schéma de principe d'un disque biologique.

Ainsi, pour une filière type à 1.000 EH et en appliquant une charge organique de 9 g DBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>.j, la surface développée utile est de 3900 m<sup>2</sup>.

D'autres procédés à cultures fixées, tels que les biofiltres, sont plutôt adaptés aux plus grandes collectivités bénéficiant de gros moyens techniques et humains et souffrant d'une pression foncière très élevée. Par conséquent, ils ne seront pas détaillés dans ce mémoire.

### 3.1.3 Boues activées

Le principe des boues activées réside dans une intensification des processus d'autoépuration que l'on rencontre dans les milieux naturels (Figure II.4).

Le procédé « boues activées » consiste à mélanger et à agiter des eaux usées brutes avec des boues activées liquides, bactériologiquement très actives. La dégradation aérobie de la pollution s'effectue par mélange intime des micro-organismes épurateurs et de l'effluent à traiter. Ensuite, les phases « eaux épurées » et « boues épuratrices » sont séparées.

Une installation de ce type comprend les étapes suivantes :

- les traitements préliminaire et, éventuellement, primaire ;
- le bassin d'activation (ou bassin d'aération) ;
- le décanteur secondaire avec reprise d'une partie des boues ;
- l'évacuation des eaux traitées ;
- les digesteurs des boues en excès provenant des décanteurs.

Le dimensionnement du bassin d'aération s'effectue comme suit, dans le cas d'une aération prolongée:

- Charge massique :  $\leq 0,1$  kg DBO<sub>5</sub>/kg MES.j ;
- Charge volumique :  $\leq 0,35$  kg DBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>.j ;
- Concentration de boues : 4 à 5 g MS/l ;
- Temps de séjour : 24 heures environ ;
- Besoins en O<sub>2</sub> : de l'ordre 1,8 kg O<sub>2</sub>/kg DBO<sub>5</sub> éliminée ;
- Puissance de brassage :
  - 3 à 10 W/m<sup>3</sup> pour les brasseurs ;
  - 10-20 W/m<sup>3</sup> pour les systèmes d'aération de fines bulles d'air.

Une boue activée aération prolongée permet d'éliminer 95 % de la DBO<sub>5</sub>.

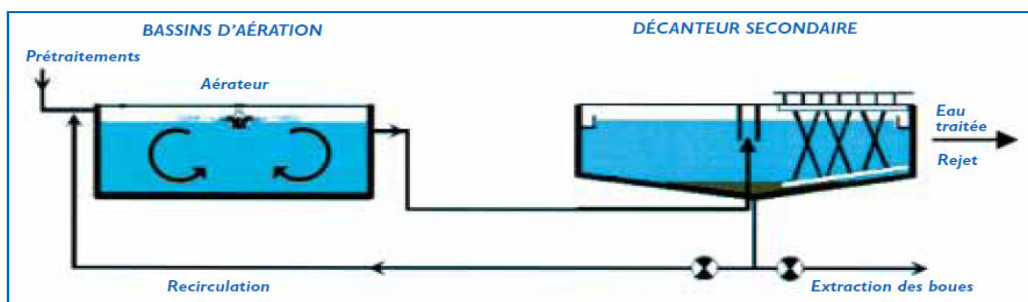


Figure II.4 Synoptique d'une boue activée - aération prolongée.

### 3.1.4 Avantages et inconvénients des différentes filières intensives

Filière	Avantages	Inconvénients
<b>Lit bactérien et disque biologique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- faible consommation d'énergie ;</li> <li>- fonctionnement simple demandant moins d'entretien et de contrôle que la technique des boues activées ;</li> <li>- bonne décantabilité des boues ;</li> <li>- plus faible sensibilité aux variations de charge et aux toxiques que les boues activées ;</li> <li>- généralement adaptés pour les petites collectivités ;</li> <li>- résistance au froid (les disques sont toujours protégés par des capots ou par un petit bâtiment).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- performances généralement plus faibles qu'une technique par boues activées. Cela tient en grande partie aux pratiques anciennes de conception. Un dimensionnement plus réaliste doit permettre d'atteindre des qualités d'eau traitée satisfaisantes ;</li> <li>- coûts d'investissement assez élevés (peuvent être supérieurs d'environ 20 % par rapport à une boue activée) ;</li> <li>- nécessité de prétraitements efficaces ;</li> <li>- sensibilité au colmatage ;</li> <li>- ouvrages de taille importante si des objectifs d'élimination de l'azote sont imposés.</li> </ul>
<b>Boue activée</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- adaptée pour toute taille de collectivité (sauf les très petites) ;</li> <li>- bonne élimination de l'ensemble des paramètres de pollution (MES, DCO, DBO<sub>5</sub>, N par nitrification et dénitrification) ;</li> <li>- adapté pour la protection de milieux récepteurs sensibles ;</li> <li>- boues légèrement stabilisées ;</li> <li>- facilité de mise en œuvre d'une déphosphatation simultanée.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- coûts d'investissement assez importants ;</li> <li>- consommation énergétique importante ;</li> <li>- nécessité de personnel qualifié et d'une surveillance régulière ;</li> <li>- sensibilité aux surcharges hydrauliques ;</li> <li>- décantabilité des boues pas toujours aisée à maîtriser ;</li> <li>- forte production de boues qu'il faut concentrer.</li> </ul>

Tableau II.3 Avantages et inconvénients des filières intensives.

**NB :**

Le faible rendement microbiologique des systèmes intensifs (abattement d'un coefficient compris entre 10 et 100, contre 1000 à 10 000 pour certains filtres à sable et lagunes extensifs), peut être problématique en cas d'usage sanitaire des eaux à l'aval proche (boisson, irrigation, baignade, conchyliculture...). Il est dans ces cas là parfois nécessaire de s'orienter vers une filière extensive ou d'utiliser une telle technique en traitement de finition y compris pour les grandes capacités de plusieurs milliers d'EH (Annexe A : arbre de décision).

Ces techniques peuvent être utilisées en combinaison avec des filières extensives. En particulier, les stations constituées d'un disque biologique ou d'un lit bactérien, suivies d'une lagune de finition, peuvent permettre d'obtenir des rejets d'excellente qualité (élimination des nutriments, fort abattement des germes pathogènes).

Nous ne détaillerons pas plus les filières intensives au sein de ce mémoire. En revanche nous nous attacherons à décrire des techniques moins connues à savoir les techniques extensives d'épuration.

## **3.2 Les techniques extensives**

### **3.2.1 Les cultures fixées sur support fin**

#### **3.2.1.1 Fonctionnement : mécanismes en jeu**

Les procédés d'épuration à culture fixées sur support fin consistent à faire ruisseler l'eau à traiter sur plusieurs massifs indépendants.

Les deux principaux mécanismes sont :

- **Filtration superficielle** : les matières en suspension (MES) sont arrêtées à la surface du massif filtrant et, avec elles, une partie de la pollution organique (DCO particulaire) ;
- **Oxydation** : le milieu granulaire constitue un réacteur biologique, un support de grande surface spécifique, sur lequel se fixent et se développent les bactéries aérobies responsables de l'oxydation de la pollution dissoute (DCO dissoute, azote organique et ammoniacal).

L'aération est assurée par :

- une convection à partir du déplacement des lames d'eau ;
- une diffusion de l'oxygène depuis la surface des filtres et les cheminées d'aération, vers l'espace poreux.

L'oxydation de la matière organique s'accompagne d'un développement bactérien, qui doit être régulé afin d'éviter le colmatage biologique interne du massif filtrant et le

décrochage épisodique de la biomasse qui sont inévitables dès que les charges appliquées sont importantes.

### 3.2.1.2 L'infiltration-percolation sur sable

#### - Principe de fonctionnement

L'infiltration-percolation d'eaux usées est un procédé d'épuration par filtration biologique aérobie sur un milieu granulaire fin. L'eau est successivement distribuée sur plusieurs unités d'infiltration. Les charges hydrauliques sont de plusieurs centaines de litres par mètre carré de massif filtrant et par jour. L'eau à traiter est uniformément répartie à la surface du filtre qui n'est pas recouvert. La plage de distribution des eaux est maintenue à l'air libre et visible.

Une autre variante intéressante de l'épuration par le sol est constituée par les filtres à sable horizontaux ou verticaux enterrés. Ces techniques utilisées, avant tout, pour les situations relevant de l'assainissement autonome restent intéressantes pour l'assainissement autonome regroupé concernant quelques centaines d'équivalents-habitants. Pour un filtre à sable vertical enterré, un dimensionnement de 3,5 m<sup>2</sup>/ hab est nécessaire et une alimentation basse pression recommandée.

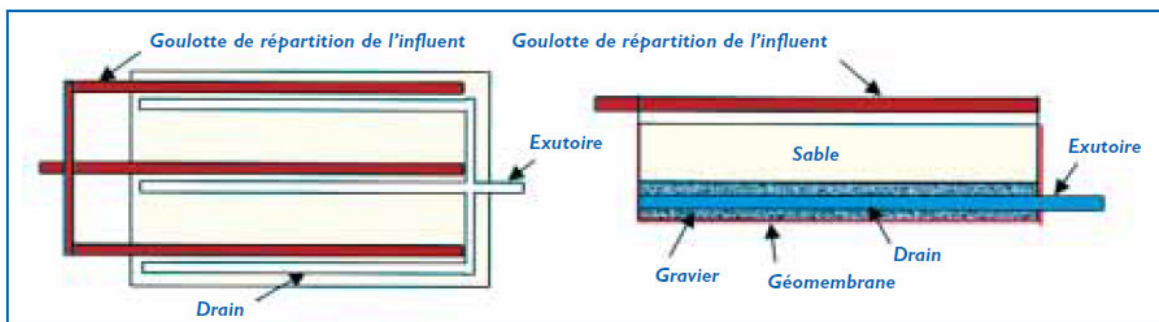


Figure II.6 Infiltration-percolation étanchée et drainée.

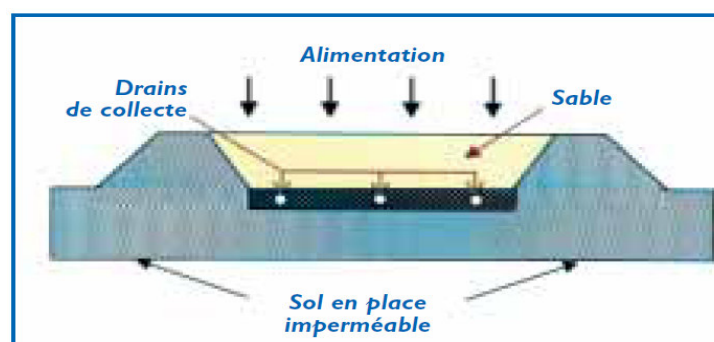
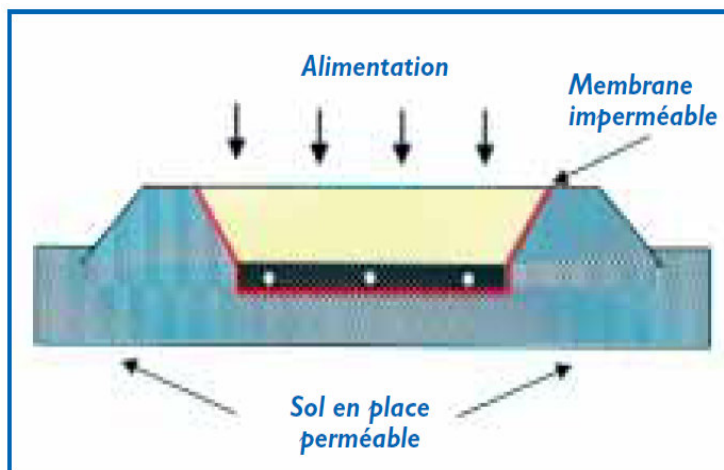


Figure II.7 Système drainé sur sol en place imperméable.





**Figure II.8** Système drainé avec un massif drainant étanché par une membrane imperméable.

### - Performances

D'excellents résultats d'élimination (en concentrations) sont obtenus par ce système :

- DBO<sub>5</sub> inférieure à 25mg/l ;
- DCO inférieure à 90mg/l;
- MES inférieure à 30 mg/l ;
- Nitrification quasi-complète ;
- Dénitrification limitée sur ce type d'installation. Dans sa version « assainissement autonome » l'épuration par le sol peut permettre une certaine élimination de l'azote. Une étude menée au sein de la Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales de Loire-Atlantique en 1993 a permis de constater que l'on pouvait éliminer 40% de l'azote (voire plus) à l'aide d'un filtre à sable vertical. Cet abattement peut aller jusqu'à 50% si on utilise un filtre à sable horizontal [13];
- Phosphore : abattement fort pendant 3-4 ans (60-70%), puis faible puis négatif après 8-10 ans [14];
- Possibilité d'élimination des germes témoins de contamination fécale sous réserve de disposer d'une hauteur de matériau suffisante et d'un fonctionnement hydraulique sans cheminement préférentiel (abattement microbien > 1000).

### 3.2.1.3 Les filtres plantés à écoulement vertical

#### - Principe de fonctionnement

Les filtres sont des excavations, étanchées du sol, remplies de couches successives de gravier ou de sable de granulométrie variable selon la qualité des eaux usées à traiter.

Contrairement à l'infiltration-percolation précédemment évoquée, l'influent brut est réparti directement, sans décantation préalable, à la surface du filtre. Il s'écoule en son sein en subissant un traitement physique (filtration), chimique (adsorption, complexation...) et

biologique (biomasse fixée sur support fin). Les eaux épurées sont drainées. Les filtres sont alimentés en eaux usées brutes par bûchées. Pour un même étage, la surface de filtration est séparée en plusieurs unités permettant d'instaurer des périodes d'alimentation et de repos.

Le principe épuratoire repose sur le développement d'une biomasse aérobie fixée sur un sol reconstitué (cf : chapitre relatif aux cultures fixées sur support fin). L'oxygène est apporté par convection et diffusion. L'apport d'oxygène par les racelles des plantes est, ici, négligeable par rapport aux besoins.

La filière se compose :

- d'un dégrillage ;
- d'un premier étage de filtres verticaux ;
- d'un second étage de filtres verticaux.

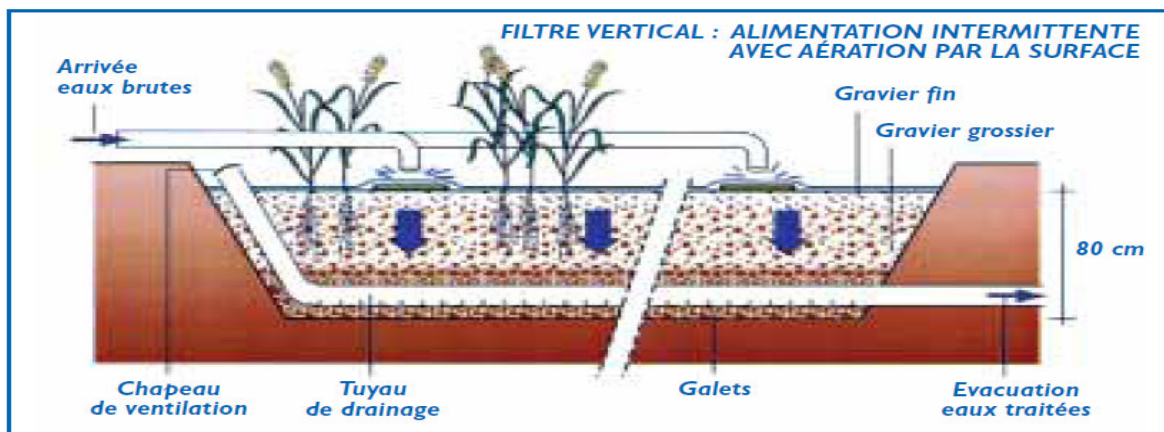


Figure II.9 Coupe transversale d'un filtre planté à écoulement vertical.

#### - Performances

- $DBO_5 \leq 25 \text{ mg/l}$
- $DCO \leq 90 \text{ mg/l}$
- $MES \leq 30 \text{ mg/l}$
- NTK (N organique +  $NH_4^+$ )  $\leq 10 \text{ mg/l}$  en général avec des pointes ne dépassant pas  $20 \text{ mg/l}$
- Phosphore : Abattement normalement faible (dépend de la capacité d'adsorption du substrat et de l'âge de l'installation)
- Germes pathogènes : élimination limitée (abattement : 10 à 100).

#### 3.2.1.4 Les filtres plantés de roseaux à écoulement horizontal

##### - Principe de fonctionnement

Dans les filtres à écoulement horizontal, le massif filtrant est quasi-totalement saturé en eau. L'effluent est réparti sur toute la largeur et la hauteur du lit par un système répartiteur situé à une extrémité du bassin ; il s'écoule ensuite dans un sens principalement horizontal

au travers du substrat. La plupart du temps, l'alimentation s'effectue en continu car la charge organique apportée est faible.

L'évacuation se fait par un drain placé à l'extrémité opposée du lit, au fond et enterré dans une tranchée de pierres drainantes. Ce tuyau est relié à un siphon permettant de régler la hauteur de surverse, et donc celle de l'eau dans le lit, de façon à ce qu'il soit saturé pendant la période d'alimentation. Le niveau d'eau doit être maintenu environ à 5 cm sous la surface du matériau. En effet, l'eau ne doit pas circuler au-dessus de la surface pour ne pas court-circuiter la chaîne de traitement ; il n'y a donc pas d'eau libre et pas de risque de prolifération d'insectes.

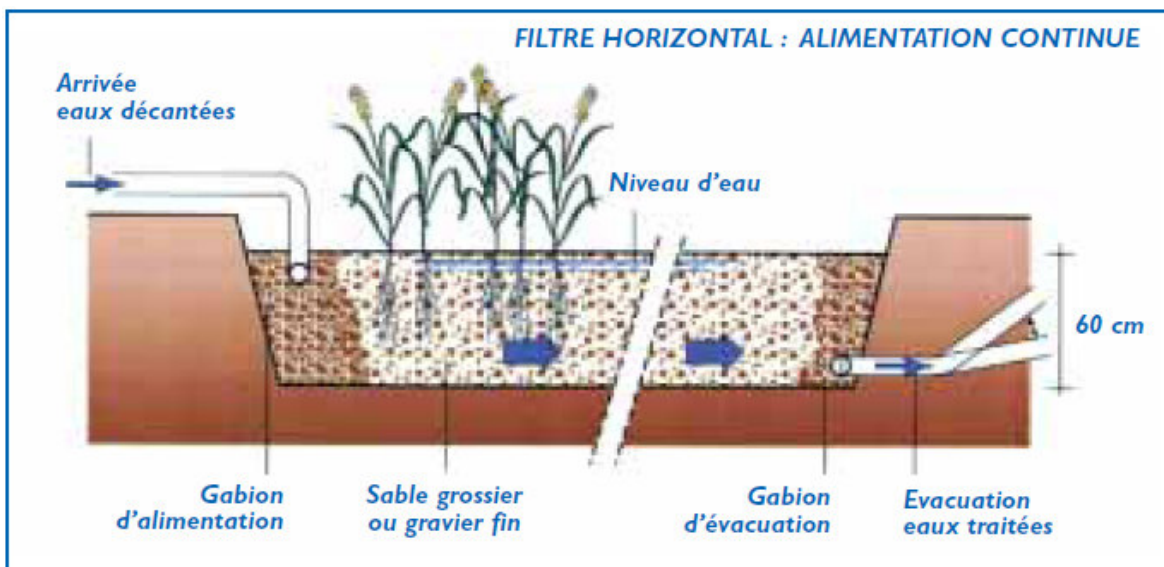


Figure II.10 Coupe transversale d'un filtre planté à écoulement horizontal.

### - Performances

En terme de performance sur la  $DBO_5$  pour des concentrations d'entrée variant de 50 à 200 mg/l, et pour un dimensionnement de 3 à 5  $m^2/EH$ , des systèmes à écoulement de type horizontal et garni de gravier obtiennent des rendements de l'ordre de 70 à 90 %. Ces concentrations sont cependant trop faibles pour être considérées comme représentatives d'une eau usée urbaine et il semble plus prudent de suivre l'exemple danois.

En effet, 80 sites danois, dimensionnés à environ 10  $m^2/EH$ , obtiennent des rendements de l'ordre de 86 % sur la  $DBO_5$  et MES, de 37 % pour l'azote total, et de 27 % sur le phosphore total.

D'une manière générale, en traitement secondaire, la nitrification est limitée mais la dénitrification est très bonne. Les rendements sur le phosphore sont dépendants du type de sol utilisé, mais restent relativement faibles.

### 3.2.2 Cultures libres

#### 3.2.2.1 Fonctionnement : principes en jeu

Le processus d'épuration par « cultures libres » repose sur le développement d'une culture bactérienne, de type aérobie principalement. L'oxygène provient de diverses sources selon les filières.

La culture bactérienne est ensuite séparée de l'eau traitée par mécanisme de sédimentation dans un ouvrage, le plus souvent, spécifique (clarificateur, lagune de décantation...).

#### 3.2.2.2 Lagunage naturel

##### - Principe de fonctionnement

L'épuration est assurée grâce à un long temps de séjour, dans plusieurs bassins étanches disposés en série. Le nombre de bassin le plus communément rencontré est de 3. Cependant, utiliser une configuration avec 4 voire 6 bassins permet d'avoir une désinfection plus poussée.

Le mécanisme de base sur lequel repose le lagunage naturel est la photosynthèse. La tranche d'eau supérieure des bassins est exposée à la lumière. Ceci permet l'existence d'algues qui produisent l'oxygène nécessaire au développement et maintien des bactéries aérobies. Ces bactéries sont responsables de la dégradation de la matière organique. Le gaz carbonique formé par les bactéries, ainsi que les sels minéraux contenus dans les eaux usées, permettent aux algues de se multiplier. Il y a ainsi prolifération de deux populations interdépendantes : les bactéries et les algues planctoniques, également dénommées « microphytes ». Ce cycle s'auto-entretient tant que le système reçoit de l'énergie solaire et de la matière organique.

En fond de bassin, où la lumière ne pénètre pas, ce sont des bactéries anaérobies qui dégradent les sédiments issus de la décantation de la matière organique. Un dégagement de gaz carbonique et de méthane se produit à ce niveau.

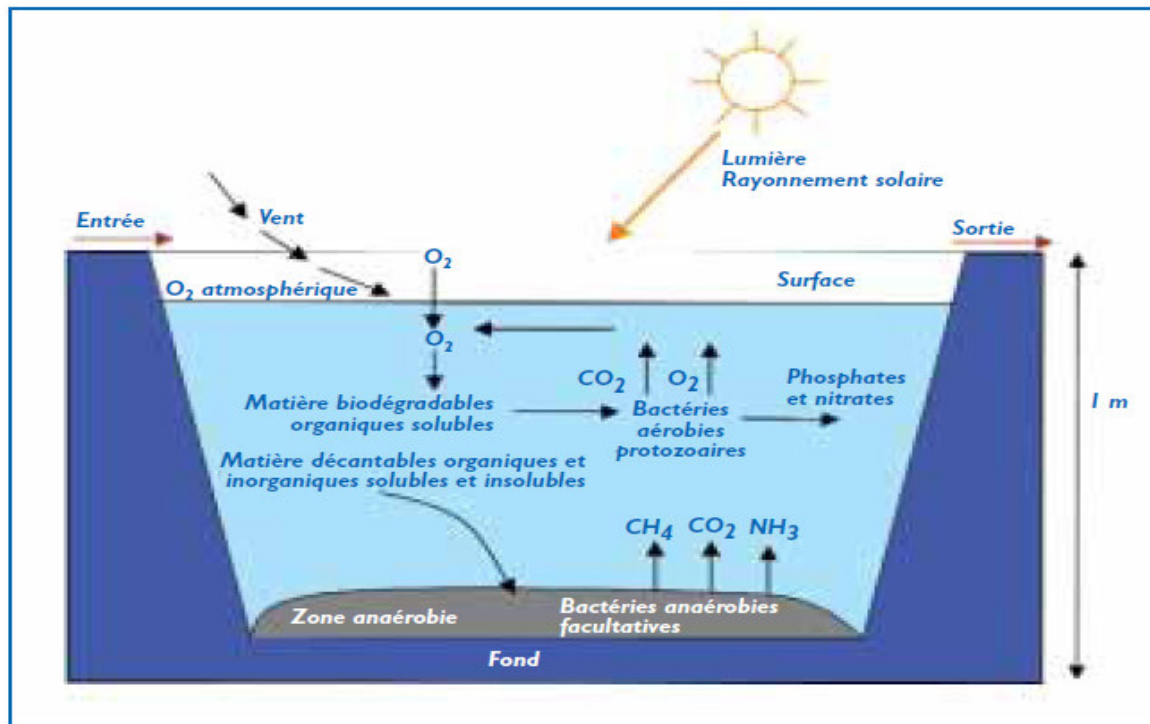


Figure II.11 Les mécanismes en jeu dans les bassins de lagunage naturel.

#### - Bases de dimensionnement

Un lagunage naturel est composé, le plus souvent, de plusieurs bassins étanches ou « lagunes à microphytes », fonctionnant en série.

#### - Nombre de lagunes

L'installation de trois lagunes est fréquente et permet d'assurer un bon niveau de fiabilité de fonctionnement pour l'élimination de la matière organique. Les performances les plus élevées, en ce qui concerne la désinfection, ne sont atteintes qu'avec une compartimentation plus grande (jusqu'à six lagunes en série).

Le rôle respectif des différents bassins est le suivant :

- le premier permet, avant tout, l'abattement de la charge polluante carbonée ;
- le second permet l'abattement de l'azote et du phosphore;
- le troisième affine le traitement et fiabilise le système, en cas de dysfonctionnement d'un bassin amont ou lors d'une opération d'entretien.

La charge surfacique appliquée journalière est de l'ordre de 4,5 g DBO<sub>5</sub> par m<sup>2</sup> de surface totale, ce qui correspond à une surface de plans d'eau de l'ordre de 10 à 15 m<sup>2</sup>/ EH.

La faible charge appliquée conduit les effluents à séjourner très longtemps dans les bassins. En absence d'apport d'eaux pluviales, le temps de séjour se situe autour de 70 jours. En climat chaud et sec (pays du sud de l'Europe), ces surfaces peuvent être réduites de moitié, vu la température qui accélère les processus biologiques et l'évaporation qui augmente le temps de séjour.

Pour cette raison, les volumes à traiter sont, à un même instant, totalement différents des volumes évacués vers le milieu naturel. Afin de s'assurer du bon fonctionnement hydraulique des ouvrages (et de détecter les éventuelles introductions d'eaux de nappe ou, à l'inverse, des fuites), il convient donc de toujours pouvoir comparer les débits amont et aval par l'intermédiaire de dispositifs appropriés (débitmètres ou temps de fonctionnement des pompes).

### - Conception de la première lagune

La valeur de  $6\text{m}^2/\text{EH}$  est utilisée avec succès, ce qui correspond à une charge surfacique nominale de l'ordre de  $8,3\text{ g DBO}_5/\text{m}^2$  et par jour.

Pour les installations à population variable, et par temps chaud et ensoleillé, le dimensionnement peut être effectué en se basant sur la fréquentation maximale du mois de pointe.

La forme de la lagune ne doit pas favoriser la croissance bactérienne aux dépens de celle des algues. L'équilibre entre les deux doit être respecté afin que l'apport en oxygène reste suffisant. Pour ce faire, on privilégiera une forme du bassin ramassée par rapport à une forme trop longitudinale. Le ratio  $L/l \leq 3$  est utilisé en France (Figure II.12).

La profondeur du bassin doit permettre :

- d'éviter la pousse de végétaux supérieurs ;
- la pénétration de la lumière et l'oxygénation d'une fraction maximale de volume ;

La hauteur d'eau doit donc être de 1 mètre ( $\pm 0,2\text{ m}$ ). Cependant, afin de faciliter le curage du cône d'accumulation des dépôts qui se développent habituellement au niveau du point d'alimentation, une zone de surprofondeur peut être réalisée. Cette zone, d'une hauteur supplémentaire de 1 mètre maximum, peut occuper quelques dizaines de  $\text{m}^2$ . Elle doit toujours être accessible depuis la berge ou depuis une passerelle construite à cet effet.

### - Conception des deuxième et troisième lagunes

Ces deux bassins doivent être de dimensions voisines et la surface totale des deux plans d'eau doit être égale à  $5\text{ m}^2/\text{EH}$ .

La hauteur d'eau doit être de 1 mètre ( $\pm 0,2\text{ m}$ ). Leur forme générale peut être assez variable en fonction notamment des contraintes topographiques et des règles à respecter afin d'obtenir une bonne intégration paysagère.

### - Prétraitement des eaux brutes

Un dégrillage doit être installé avant traitement sur les grosses installations. Pour les installations inférieures à 500 EH, il est possible d'utiliser une cloison siphonée (dégraisseur rustique) immergée sur 30 à 40 cm, permettant de retenir les flottants, à l'entrée du premier bassin.

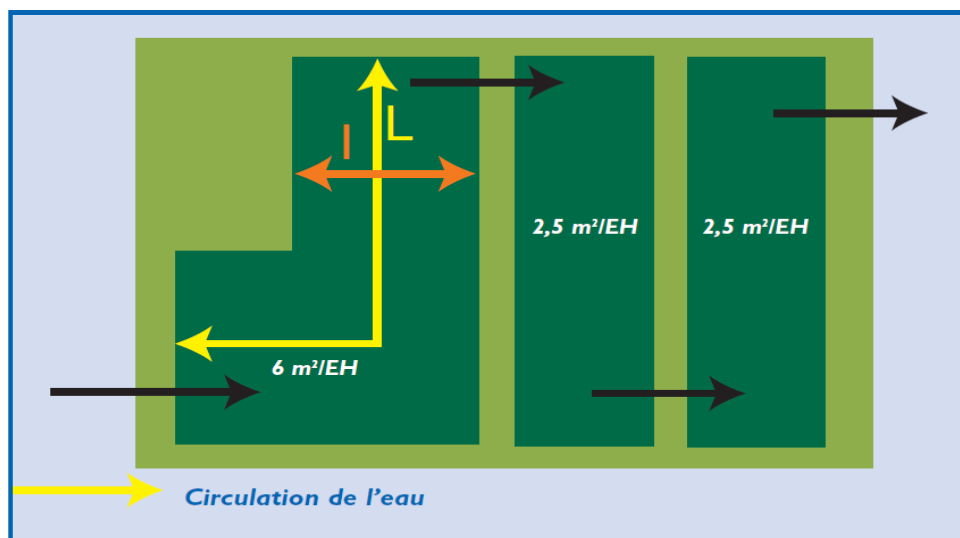


Figure II.12 Emprise au sol d'un lagunage naturel.

### - Performances

Les rendements, calculés sur les flux de matière organique, atteignent en moyenne près de 70 % (plus de 85 % en ne prenant en compte que la DCO filtrée en sortie, brute en entrée), ce qui correspond à une concentration en DCO filtrée de 125 mg/l. De plus, le débit, et donc le flux rejeté, est souvent réduit en été (-50 %) par l'évapotranspiration.

Les concentrations en azote total au niveau du rejet sont très faibles en été, mais peuvent atteindre plusieurs dizaines de mg/l (exprimés en N) en hiver.

L'abattement du phosphore est remarquable les premières années ( $\geq 60\%$ ), puis diminue pour atteindre un rendement nul au bout de 20 ans environ. Cette baisse est due à un relargage du phosphore depuis la vase du fond. Les conditions initiales seront restaurées par le curage des bassins (lorsque le milieu est sensible au phosphore, le curage doit avoir lieu au terme d'un délai plus court que les 10-12 ans généralement estimés et sur l'ensemble des lagunes).

La désinfection est importante, particulièrement en été (abattement  $> 10.000$ ). Cette performance est liée au long temps de séjour de l'effluent (de l'ordre de 70 jours pour un traitement complet), à la compétition biologique et aux ultraviolets solaires.

#### 3.2.2.3 Lagunage à macrophytes

Les lagunes à macrophytes reproduisent des zones humides naturelles comportant une tranche d'eau libre, tout en essayant de mettre en valeur les intérêts des écosystèmes naturels. Elles sont peu utilisées en Europe, mais sont souvent réalisées pour des traitements tertiaires à la suite de lagunage naturel, de lagunes facultatives ou de lagunage aéré aux Etats-Unis. Cette filière est généralement utilisée en vue d'améliorer le traitement (sur les paramètres  $DBO_5$  ou MES) ou de l'affiner (nutriments, métaux,..). Cependant l'utilisation d'une lagune de finition à microphytes permettra d'obtenir de meilleurs rendements et sera plus commode d'entretien.

### 3.2.2.4 Lagunage aéré

#### - Principe de fonctionnement

##### - Description générale

L'oxygénation est, dans le cas du lagunage aéré, apportée mécaniquement par un aérateur de surface ou une insufflation d'air. Ce principe ne se différencie des boues activées que par l'absence de système de recyclage des boues ou d'extraction des boues en continu. La consommation en énergie des deux filières est, à capacité équivalente, comparable (1,8 à 2 kW/kg DBO<sub>5</sub> éliminée).

##### - Grands mécanismes en jeu

Dans l'étage d'aération, les eaux à traiter sont en présence de micro-organismes qui vont consommer et assimiler les nutriments constitués par la pollution à éliminer. Ces micro-organismes sont essentiellement des bactéries et des champignons (comparables à ceux présents dans les stations à boues activées).

Dans l'étage de décantation, les matières en suspension que sont les amas de micro-organismes et de particules piégées, décantent pour former les boues. Ces boues sont pompées régulièrement ou enlevées du bassin lorsqu'elles constituent un volume trop important. Cet étage de décantation est constitué d'une simple lagune de décantation, voire, ce qui est préférable, de deux bassins qu'il est possible de by-passer séparément pour procéder à leur curage.

En lagunage aéré, la population bactérienne sans recirculation conduit :

- à une densité de bactéries faible et à un temps de traitement important pour obtenir le niveau de qualité requis ;
- à une floculation peu importante des bactéries, ce qui contraint à la mise en place d'une lagune de décantation largement dimensionnée.

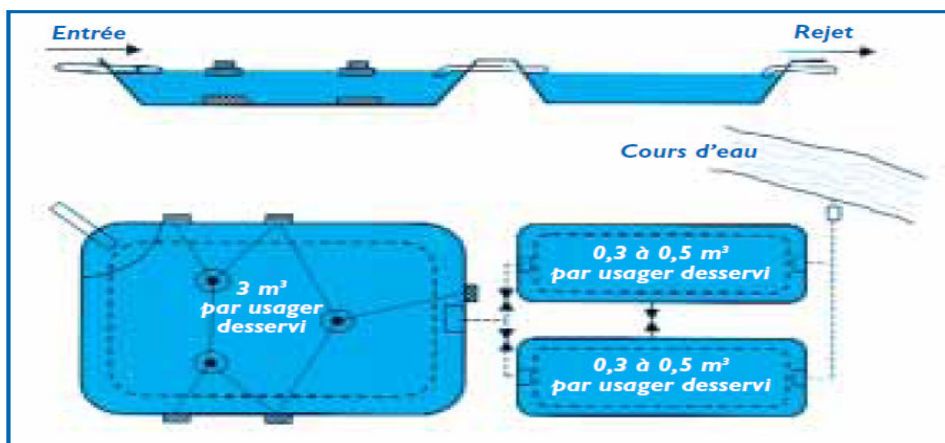


Figure II.13 Schéma de principe d'un lagunage aéré.



**- Bases de dimensionnement**

**- Choix des terrains**

Il faut prévoir une surface comprise entre 1,5 à 3 m<sup>2</sup> par usager.

**- Lagune d'aération**

Paramètre	Base de dimensionnement
<b>Temps de séjour</b>	20 jours (temps de séjours réduit, en fait, à une quinzaine de jours après quelques années de fonctionnement suite au volume occupé par les dépôts de matières en suspension => il ne faut donc pas chercher à réduire ce temps de séjour lors de la conception).
<b>Volume</b>	3 m <sup>3</sup> par usager desservi.
<b>Profondeur</b>	2 à 3,50 m avec des aérateurs de surface (les turbines rapides de 4 kW correspondent à des profondeurs de l'ordre de 2,5 m, celles de 5,5 kW sont utilisées avec des profondeurs comprises entre 2,5 et 3) > 4,00 m possible avec insufflation d'air
<b>Forme du bassin</b>	Un carré autour de chaque aérateur
<b>Puissance spécifique d'aération</b>	Les besoins en oxygène sont de l'ordre de 2 kg O <sub>2</sub> / kg DBO <sub>5</sub> . Pour limiter les dépôts à un volume ne perturbant pas le traitement et, par ailleurs, prévenir la formation d'algues microscopiques, il est nécessaire de surdimensionner les aérateurs et d'utiliser une puissance comprise entre 5 et 6 W/m <sup>3</sup> . En fonctionnement, il est toujours possible de réduire le temps de marche de ces aérateurs par rapport aux temps de marche des aérateurs de puissance moindre, ce qui permet de limiter les surcoûts de fonctionnement.

**Tableau II.4** Base de dimensionnement pour les lagunes aérées.

Paramètre	Base de dimensionnement
<b>volume</b>	0,6 à 1 m <sup>3</sup> par usager desservi (2 bassins de 0,3 à 0,5 m <sup>3</sup> /EH)
<b>Forme du bassin</b>	rectangulaire avec un rapport largeur / longueur égal à 2/1 ou 3/1
<b>Profondeur</b>	2 m afin de laisser un mètre d'eau libre avant soutirage des boues.

**Tableau II.5** Base de dimensionnement pour la lagune de décantation.

L'emploi de deux lagunes de décantation et fonctionnant en alternance facilite l'extraction des boues, qui doit avoir lieu tous les deux ans.

### - Performances

Le niveau de qualité de l'effluent est bon pour la matière organique : plus de 80 % d'abattement. Pour les nutriments, l'élimination reste limitée à l'assimilation bactérienne et reste de l'ordre de 25-30 %.

La filière se prête aisément à l'apport complémentaire d'adjuvants physico-chimiques en vue d'éliminer les ortho- phosphates.

#### 3.2.2.5 Systèmes combinés (association des filières extensives - cultures libres ou fixées)

L'association de plusieurs systèmes naturels, en cultures libres ou fixées, en série ou en parallèle, est parfois mise en œuvre pour permettre d'adapter le traitement à un but spécifique (qualité du rejet, intégration des eaux de pluie, influent particulier...).

En traitement principal, les expériences sont encore très peu nombreuses et leurs performances réelles difficiles à évaluer. Certaines études sur des MHEA (Mosaïques Hiérarchisées d'Ecosystèmes Artificiels) montrent des potentialités intéressantes sans définir des bases écrites de dimensionnement.

L'usage de filtres verticaux et horizontaux en série semble être une solution intéressante pour permettre un traitement plus poussé de l'azote et du phosphore suivant le type de support utilisé. Un premier étage de filtres verticaux permet une bonne réduction des MES, de la DBO<sub>5</sub> ainsi qu'une nitrification quasi complète. Un second étage de filtres horizontaux affine le traitement sur les MES et la DBO<sub>5</sub>, et permet une dénitrification ainsi qu'une adsorption du phosphore si le support choisi comporte de bonnes caractéristiques.

Des configurations plus complexes sont souvent utilisées pour affiner des traitements secondaires ou tertiaires.

Après des traitements de type lagune aérée ou lagunage naturel, des lagunes à macrophytes émergents permettraient de s'affranchir du risque de rejets temporaires de qualité médiocre.

Des systèmes de lagunes facultatives suivies de lagunes à macrophytes émergents sont souvent utilisés pour le traitement des eaux de pluie.

Lorsque la gamme de population atteint une valeur proche de 4.000 EH, il convient de bien comparer les coûts d'investissement et de gestion avec des procédés réputés plus intensifs. Les contraintes de gestion dues à des surfaces importantes ne sont pas à négliger.

Une multitude de configurations est possible suivant la volonté de reproduire les divers systèmes naturels de zone humide. Il faut néanmoins penser que l'accroissement de la complexité d'une station d'épuration de ce type se fait au détriment de sa simplicité de gestion, pourtant souvent recherchée. De plus, l'état actuel des connaissances scientifiques sur le fonctionnement des zones humides nous pousse le plus souvent à essayer de simplifier la configuration afin de mieux contrôler l'épuration.

3.2.2.6 Avantages et inconvénients des différents procédés extensifs

Filière	Avantages	Inconvénients
<b>Infiltration-percolation sur sable</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Excellents résultats sur la DBO<sub>5</sub>, la DCO, les MES et nitrification poussée;</li> <li>- Superficie nécessaire bien moindre que pour un lagunage naturel ;</li> <li>- Capacité de décontamination intéressante.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nécessité d'un ouvrage de décantation primaire efficace ;</li> <li>- Risque de colmatage à gérer ;</li> <li>- Nécessité d'avoir à disposition de grandes quantités de sables ;</li> <li>- Adaptation limitée aux surcharges hydrauliques.</li> </ul>
<b>Filtres plantés à écoulement vertical</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Facilité et faible coût d'exploitation.</li> <li>- Aucune consommation énergétique si la topographie le permet ;</li> <li>- Traitement des eaux usées domestiques brutes ;</li> <li>- Gestion réduite au minimum des dépôts organiques retenus sur les filtres du 1<sup>er</sup> étage ;</li> <li>- Bonne adaptation aux variations saisonnières de population.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exploitation régulière, fauchage annuel de la partie aérienne des roseaux, désherbage manuel avant la prédominance des roseaux ;</li> <li>- Utiliser cette filière pour des capacités supérieures à 2 000 EH reste très délicat pour des questions de maîtrise de l'hydraulique et de coût par rapport aux filières classiques ;</li> <li>- Risque de présence d'insectes ou de rongeurs ;</li> </ul>
<b>Filtres plantés de roseaux à écoulement horizontal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Faible consommation énergétique ;</li> <li>- Pas de nuisance sonore et bonne intégration paysagère ;</li> <li>- Aucune nécessité d'une qualification poussée pour l'entretien ;</li> <li>- Bonne réaction aux variations de charge.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Forte emprise au sol, abords compris. Celle-ci est de l'ordre de 10 m<sup>2</sup>/EH (équivalente à l'emprise d'une lagune naturelle).</li> <li>- Une installation pour des tailles de 2000 à 15 000 EH peut s'envisager sous réserve d'une réflexion poussée des conditions d'adaptation des bases de dimensionnement et de l'assurance de la maîtrise de l'hydraulique</li> </ul>
<b>Lagunage naturel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Un apport d'énergie n'est pas nécessaire si le dénivelé est favorable ;</li> <li>- L'exploitation reste légère mais, si le curage global n'est pas réalisé à temps, les performances de la lagune chutent très sensiblement ;</li> <li>- Élimine une grande partie des nutriments : phosphore et azote (en</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Forte emprise au sol (10 à 15 m<sup>2</sup>/EH) ;</li> <li>- Coût d'investissement très dépendant de la nature du sous-sol. Dans un terrain sableux ou instable, il est préférable de ne pas se tourner vers ce type de lagune ;</li> <li>- Performances moindres que les procédés intensifs sur la matière</li> </ul>

	<p>été).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Faibles rejets et bonne élimination des germes pathogènes en été ;</li> <li>- S'adapte bien aux fortes variations de charge hydraulique ;</li> <li>- Pas de construction "en dur", génie civil simple ;</li> <li>- Bonne intégration paysagère ;</li> <li>- Bon outil pour l'initiation à la nature ;</li> <li>- Absence de nuisance sonore ;</li> <li>- Les boues de curage sont bien stabilisées sauf celles présentes en tête du premier bassin.</li> </ul>	<p>organique.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cependant, le rejet de matière organique s'effectue sous forme d'algues, ce qui est moins néfaste qu'une matière organique dissoute pour l'oxygénation du milieu en aval;</li> <li>- Qualité du rejet variable selon les saisons ;</li> <li>- La maîtrise de l'équilibre biologique et des processus épuratoires reste limitée.</li> </ul>
<b>Lagunage aéré</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tolérant aux variations de charges hydrauliques et/ou organiques importantes ;</li> <li>- Tolérant aux effluents très concentrés ;</li> <li>- Tolérant aux effluents déséquilibrés en nutriments (cause de foisonnement filamenteux en boues activées) ;</li> <li>- Traitement conjoints d'effluents domestiques et industriels biodégradables.</li> <li>- Bonne intégration paysagère ;</li> <li>- Boues stabilisées.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rejet d'une qualité moyenne sur tous les paramètres ;</li> <li>- Présence de matériels électromécaniques nécessitant l'entretien par un agent spécialisé ;</li> <li>- Nuisances sonores liées à la présence de système d'aération ;</li> <li>- Forte consommation énergétique.</li> </ul>

**Tableau II.6** Récapitulatif des avantages et inconvénients des filières extensives.

#### 4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons essayé de donner une idée générale sur les eaux usées objet de réutilisation en matière de leurs caractéristiques ; leurs méthodes d'analyse et finalement un inventaire des techniques utilisées pour leurs traitements.

Dans le chapitre suivant, nous allons décrire la lagune installée au niveau de la région d'El Atteuf et les caractéristiques (Qualité) des eaux entrantes et sortantes.

## 1 Introduction

La lagune est réalisée pour la collection principale et le traitement des eaux usées et pluviales des agglomérations situées entre Daya Ben Dahoua et El Atteuf.

Dans ce chapitre, nous décrivons la lagune ainsi qu'aux caractéristiques des eaux usées entrantes et sortantes de cette dernière.

## 2 Localisation et superficie disponible

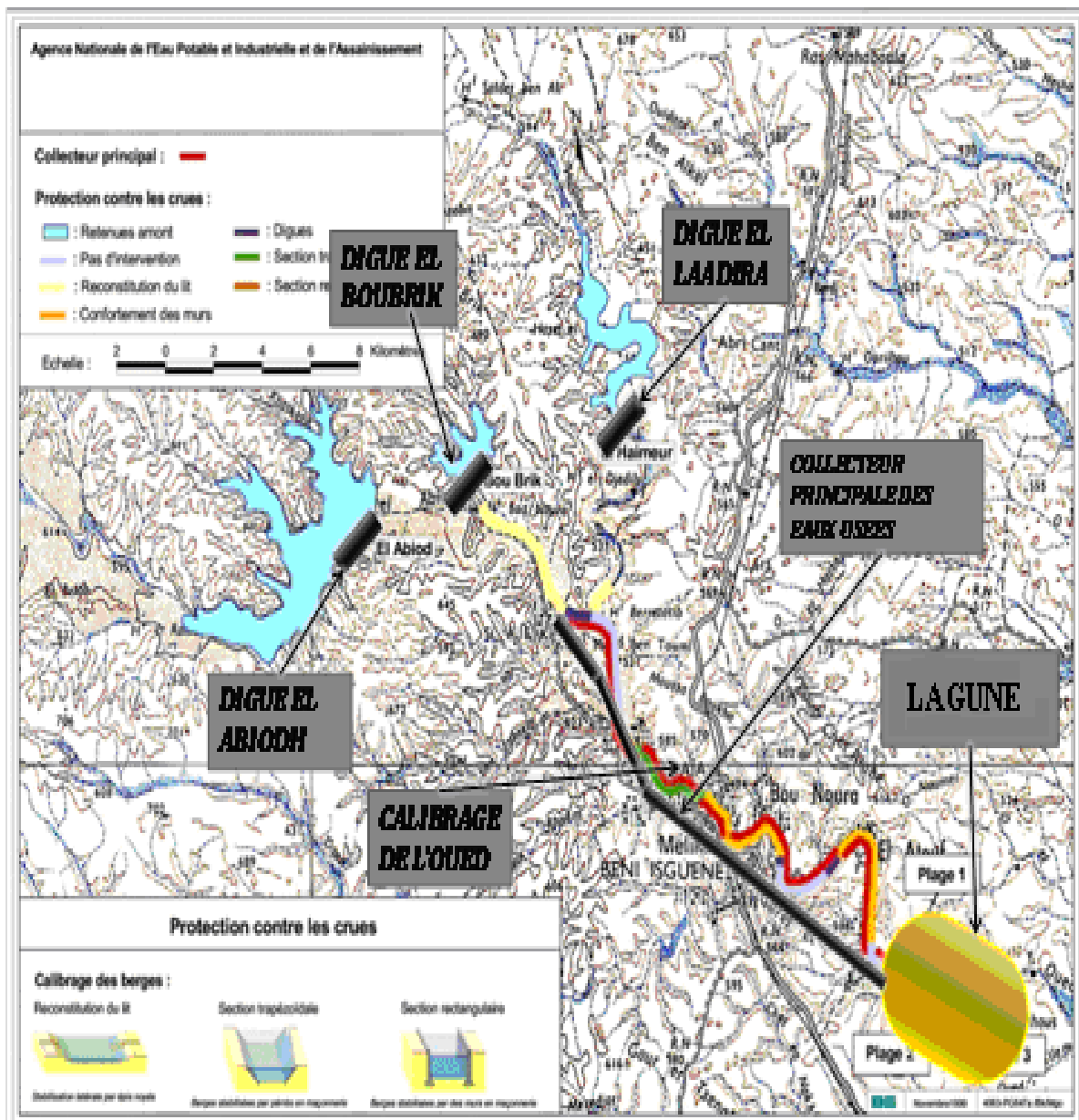


Figure III.1 Implantation de la lagune d'El Atteuf.

L'implantation de la lagune à l'aval de la digue d'El Atteuf, cette lagune est localisée sur le plan de situation suivant :

- située à environ 800m de la digue d'El Atteuf aux coordonnées approximatives suivantes X = 571 600 ; Y = 3 589 350.
- La surface aménageable représente la superficie sur laquelle peut réellement être implanté l'ensemble des lagunes, ouvrages, conduites et aménagements connexes à la station. Elle est de l'ordre de 50 Ha.
- La lagune est située en zone inondable dans la méandre de l'oued avec une pente de l'ordre de 1 % dans le fond de la vallée.

### 3 Données piézométriques :

Le tableau suivant présente les coordonnées des puits et le niveau de la nappe observé :

Puits	TN mNGA	X	Y	Niveau nappe mNGA
1	440.16	572 500	3 589 200	437.44
2	441.53	573 000	3 588 900	431.03
3	434.58	575 500	3 589 800	404.58

Tableau III.1 Données piézométriques.

On constate que le niveau de la nappe plonge très fortement vers l'Est.

### 4 Evolution démographique

D'après l'évolution de la population qui a été étudiée, le tableau suivant présente les résultats bruts par agglomération sans entrer dans le détail du découpage par quartier et des différentes hypothèses de développement selon la typologie de l'habita

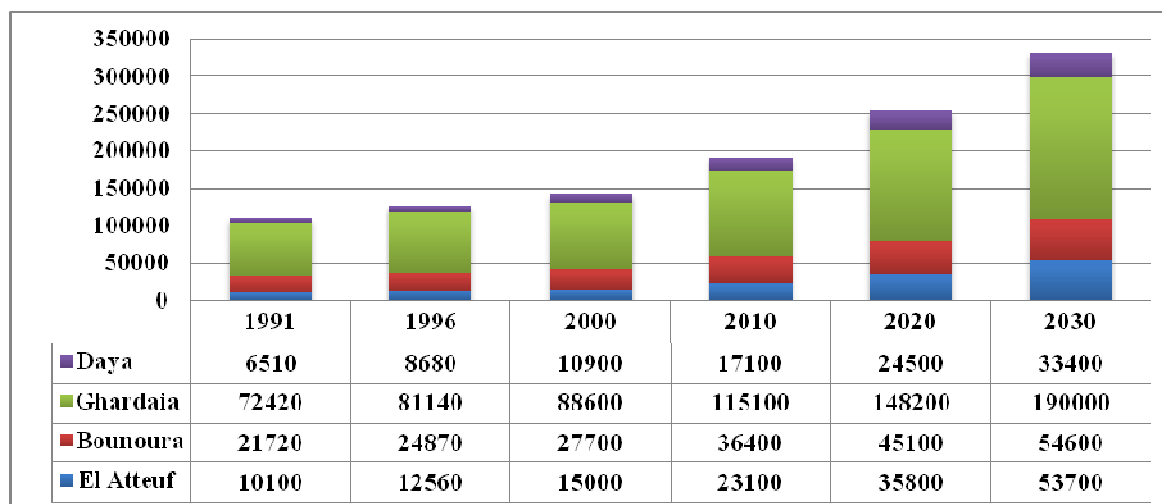


Tableau III.2 Evolution démographique.

## 5 Chiffres clés et caractéristiques de l'eau brute

L'évolution de la production d'eaux usées est présentée dans le tableau et le graphe suivants :

Eaux usées	unité	2000	2010	2020	2030
<b>Taux de branchement</b>	%	85%	90%	95%	100%
<b>EH raccordés</b>	u	120 870	172 530	240 920	331 700
<b>Débits moyens Journalier</b>	m <sup>3</sup> /j	<b>16 922</b>	<b>24 154</b>	<b>33 729</b>	<b>46 438</b>
<b>% capacité nominale</b>	%	36%	52%	73%	100%

Tableau III.3 caractéristiques de l'eau brute.

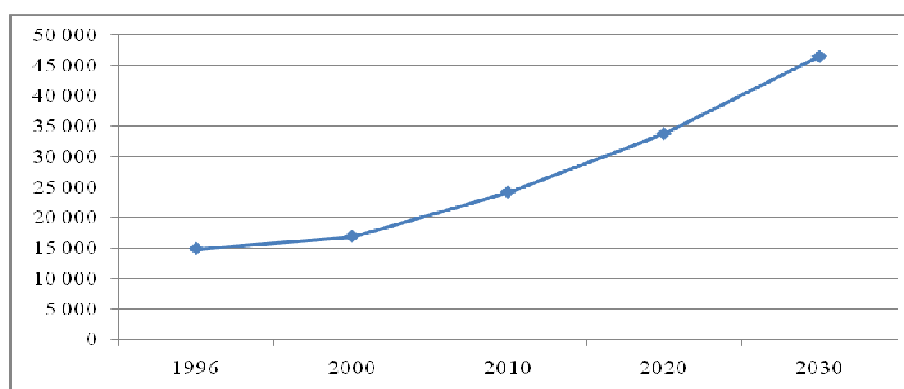


Figure III.2 Evolution de la production des eaux usées.

L'évolution de la production de pollution organique est présentée dans le tableau et le graphe suivants :

Pollution organique	Unité	2000	2010	2020	2030
Production	g DBO <sub>5</sub> /EH/j	35	35	35	35
<b>flux de pollution</b>	<b>kg/DBO<sub>5</sub>/j</b>	<b>4 230</b>	<b>6 039</b>	<b>8 432</b>	<b>11 610</b>
Concentration	mg/l	250,00	250,00	250,00	250,00

Tableau III.4 Pollution organique.

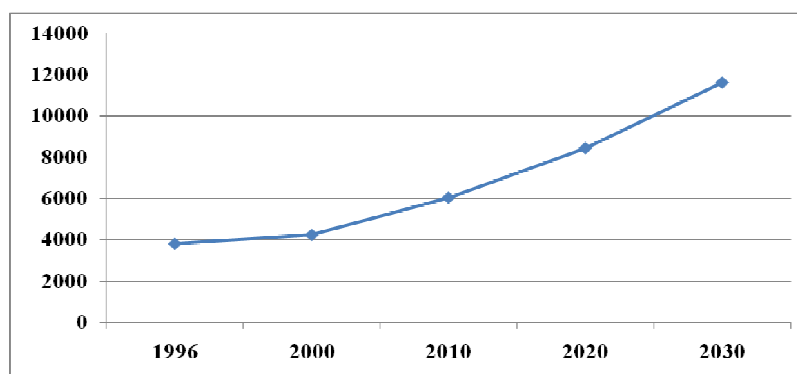


Figure III.3 Evolution des flux de pollution.

## 6 Paramètre des eaux usées à traiter

Les résultats les plus représentatifs des campagnes de mesure et d'analyses réalisées sur les eaux usées de la vallée en 2000 sont les suivants :

N°	Lieu	Heure	T°C	Ph	Conductivité μS/cm	Ortho phosphates MG/L	MES 105°C G/L	DBO <sub>5</sub> MG/L	DCO BRUTE mg/l
1	BENI ISGUEN	8H00	27.9	7.64	4.35	3.19	0.121	150	601.6
2	BENI ISGUEN	12H00	28.9	7.5	3.62	3.52	0.127	170	539.2
3	BENI ISGUEN	16H00	27.8	7.52	3.56	3.35	0.147	170	270
4	BENI ISGUEN	20H00	31	7.52	3.54	3.16	0.153	155	344

**Tableau III.5** Résultats des campagnes de mesure et d'analyses réalisées sur les eaux usées de la vallée le 31 Mai 2000.

N°	Lieu	Heure	T°C	pH	Conductivité μS/cm	Ortho phosphates MG/L	MES 105°C G/L	DBO <sub>5</sub> MG/L	DCO brute mg/l
1	BOUNOURA	8H00	30.2	7.74	2.83	3.99	0.142	205	359.93
2	BOUNOURA	12H00	30.6	7.64	2.81	4.2	0.072	195	323.92
3	BOUNOURA	16H00	31.95	7.78	2.79	4.19	0.091	220	242.42
4	BOUNOURA	20H00	30.87	7.73	2.75	3.57	0.089	245	307.83

**Tableau III.6** Résultats des campagnes de mesure et d'analyses réalisées sur les eaux usées de la vallée le 08 juin 2000.

N°	Lieu	Heure	T°C	pH	Conductivité μS/cm	Ortho phosphates MG/L	MES 105°C G/L	DBO <sub>5</sub> MG/L	DCO brute mg/l
1	EL-ATTEUF	8H00	35.1	7.61	2.84	7.56	0.16	210	305.14
2	EL-ATTEUF	12H00	33.2	7.54	2.93	8.16	0.171	195	286.74
3	EL-ATTEUF	16H00	33.4	7.71	2.94	7.8	0.124	210	230.73
4	EL-ATTEUF	20H00	33.7	7.73	2.82	6.96	0.11	172	158.48

**Tableau III.7** Résultats des campagnes de mesure et d'analyses réalisées sur les eaux usées de la vallée le 20 juin 2000.



Les valeurs de pH mesurées sont caractéristiques d'eaux usées domestiques. On remarque aussi une certaine constance des résultats au cours de la journée pour tous les paramètres des trois régions. Ces eaux usées sont donc relativement peu chargées.

## 7 Performances des rejets

Les performances (normes physico-chimiques) à atteindre pour répondre aux exigences de la qualité d'une eau destinée à l'irrigation pour notre agglomération sont les suivantes :

Paramètres	Mesure optimale
<b>Conductivité</b>	340µs /cm
<b>T°</b>	25°
<b>PH</b>	6.5-8.5

Tableau III.8 Paramètres physico-chimiques.

Minéraux	Valeur limite de rejet mg/l
<b>Indice phénols</b>	<b>0.3</b>
<b>Cuivre</b>	<b>0.5</b>
<b>Zinc</b>	<b>0.5</b>
<b>Etain</b>	<b>2</b>
<b>Fluor</b>	<b>15</b>
<b>Fer et A Aluminium</b>	<b>5</b>

Tableau III.9 Micropolluants minéraux.

Paramètres	Concentration	% minimal de réduction
<b>DBO<sub>5</sub></b>	25 mg/l O <sub>2</sub>	70 - 90 %
<b>DCO</b>	100 mg/l O <sub>2</sub>	75 %
<b>MES</b>	30 mg/l	90 %
<b>Phosphore</b>	2 mg/l	80 %
<b>Azote</b>	20 mg/l	70 - 80 %

Tableau III.10 Micropolluants organiques et minéraux.

L'ensemble de ces deux dernières listes (tableau III.9 et tableau III.10) répertorie des substances estimées à risque en fonction de leur toxicité, de leur persistance, de leur potentiel de bioaccumulation, des dangers qu'elles présentent pour la santé humaine et leur concentration dans les environnements aquatiques. Des études ont déjà montré qu'un pourcentage (%) plus élevé entraîne des impacts alimentaires et sanitaires importants.

Il y'a donc fort besoin de détecter, analyser et contrôler ces substances dans les eaux réutilisées afin d'assurer une préservation de la qualité d'eau d'irrigation.

## 8 Mesures et analyses au niveau de la lagune

On distingue deux types d'analyses et mesures :

### 8.1 Analyse in situ

#### 8.1.1 Analyseur hors ligne

La lagune d'El Atteuf équipée d'analyseur hors ligne, ce système portable est amené sur le bord de la masse d'eau et la mesure est réalisée à l'aide d'échantillons instantanés.

Les mesures au niveau de la lagune ne sont pas automatisables et nécessitent des manipulations à chaque analyse de la part de l'utilisateur. Les techniques utilisées dans ce cas peuvent être chimiques, optiques ou biologiques essentiellement pour mesurer les paramètres globaux de pollution (DCO, DBO<sub>5</sub>, matières azotées,...) et les paramètres physico-chimiques (PH, conductivité et T°).

#### 8.1.2 Sonde

La lagune utilise aussi des sondes permettant d'acquérir en continu des données sur un certain nombre de caractéristiques générales de la matrice analysée telles que le PH, T°, conductivité, O<sub>2</sub> dissous.



**Figure III.4** Sonde YSI 600 XL (multi paramètres : oxygène dissous, température, conductivité, salinité, pH...).

#### 8.1.3 Kits colorimétriques

Des kits colorimétriques semi-quantitatifs permettant de mesurer les nitrates, nitrites, phosphates, ammonium,... par l'ajout de réactifs et développement d'une couleur dont l'intensité correspond à une gamme de concentration.



**Figure III.5** kit colorimétrique.

## 8.2 Analyse de laboratoires

### 8.2.1 Mesure de la température

Sa mesure n'offre pas de difficultés particulières puisqu'il suffit de disposer d'un thermomètre exact, gradué au 1/10 de degré. Pour obtenir des informations à distance, ce sont les thermomètres à résistance qui sont les plus employés ; ils permettent un enregistrement graphique continu.

### 8.2.2 Détermination du pH : acidité et alcalinité

La mesure du pH se fait selon la norme ISO 10523. Elle est réalisée par électrochimie à l'aide d'un pH-mètre, appareil comportant une électrode combinée spéciale, dite électrode de verre, ou deux électrodes séparées. L'électrode de référence est en général au Calomel saturé. Elle est symbolisée par  $\text{Hg}, \text{Hg}_2\text{Cl}/\text{Cl}^-$ . On devra nécessairement utiliser des pH-mètres enregistreurs, permettant de déterminer en continu le pH pendant un cycle de fabrication, pour avoir des mesures significatives. Le nettoyage des électrodes s'impose si l'on veut ne pas fausser les mesures, car elles se salissent rapidement dans les effluents riches en apports organiques. Il y a lieu de prévoir un nettoyage automatique par de petites brosses rotatives pour entretenir l'état de surface. Il est par ailleurs toujours judicieux décompléter la mesure de pH par un titrage de l'acidité ou de l'alcalinité du milieu, à l'aide de bases ou d'acides forts.

### 8.2.3 Mesure de la conductivité

Pour connaître la minéralisation d'un effluent (quantité de sels dissous dans l'eau), on utilise couramment une mesure de conductivité électrique. Il convient de signaler toutefois que la conductivité ne croît pas proportionnellement à la minéralisation et s'en écarte d'autant plus que la minéralisation est élevée. Aussi emploie-t-on de plus en plus une mesure de conductivité dite « spécifique ». Celle-ci exprime la quantité de courant électrique que laisse passer la solution entre deux électrodes de platine. On la détermine en diluant l'effluent pour atteindre une conductivité telle que l'influence de la concentration en sels dissous devienne négligeable :  $100\mu\text{S}/\text{cm}$  est la valeur généralement admise à  $20^\circ\text{C}$ .

Puis on multiplie le résultat obtenu par le facteur de dilution, exprimant ainsi une conductivité théorique, que l'on peut relier à la force ionique de l'effluent.

#### 8.2.4 Détermination de l'oxygène dissous

La mesure de l'oxygène dissous est couramment utilisée pour faire les mesures de la demande biologique en oxygène (DBO) en laboratoire.

La mesure est chimique utilise la méthode de « Winkler » modifiée par « Alsterberg », dont le principe consiste en la précipitation de l'hydroxyde manganéux qui absorbe totalement l'oxygène pour former de l'oxyde manganique qui, en milieu acide, oxyde l'iodure de potassium préalablement introduit. L'iode libéré est titré par le thiosulfate de sodium.

#### 8.2.5 La détermination de la DBO<sub>5</sub>

Effectuée par dilution et ensemencement, avec apport d'allythiourée afin d'inhiber la nitrification. Les bactéries nitrifiantes consomment en effet de l'oxygène non pour oxyder des substances organiques, mais pour oxyder les sels ammoniacaux en nitrites et nitrates.

#### 8.2.6 Détermination des matières en suspension MES

La détermination pondérale des matières en suspension consiste à isoler les matières en suspension de l'eau qui les englobe, à les sécher entre 100 et 105°C et à les peser. Un seul procédé d'isolement est utilisé dans ce laboratoire : la centrifugation.

La centrifugation suit la méthode normalisée NF T90-105-2. On centrifuge une certaine quantité d'eau à analyser et on lave les substances insolubles au fond du tube. Cette opération peut parfois dissoudre certaines d'entre elles, si elles ne sont pas vraiment insolubles, mais seulement en sursaturation. Elle est cependant nécessaire pour éliminer l'eau initiale contenant des substances solubles qui, après dessiccation, donneraient une erreur par excès.

### 9 Filière de traitement

La filière de traitement des eaux usées produites par la population de la vallée de M'Zab est le lagunage. Ce procédé consiste à séparer l'eau et la pollution lors des traitements primaires et secondaires.

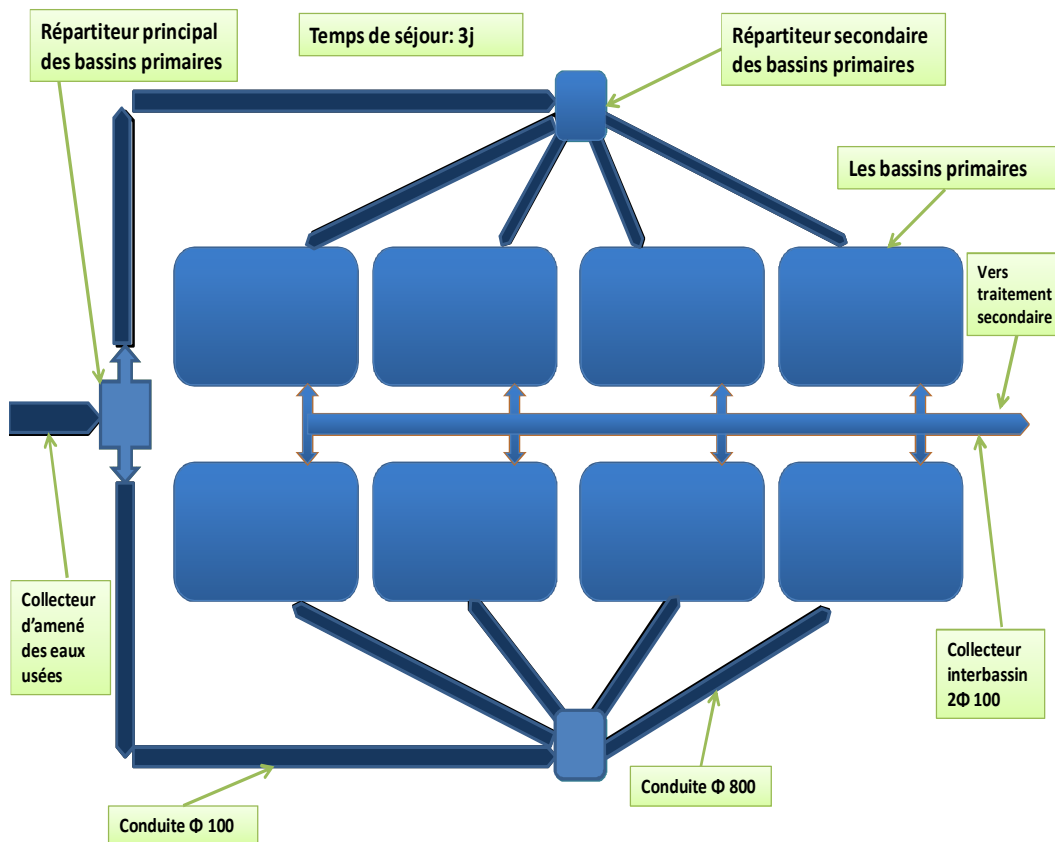
#### 9.1 Prétraitement primaire

En tête des bassins primaires, une unité de prétraitement permet une séparation mécanique simple de certains déchets : elle évite ainsi un comblement accéléré des bassins. On distingue trois actions pour le prétraitement :

- Un **dégrilleur** de barreaux inclinés espacés de 4 cm pour retenir les gros objets ;
- Un **déssableur** qui permet le dépôt des sables et des graviers au fond d'une fosse ;
- Une zone de **déshuilage** mécanique qui permet de retenir les graisses et les déchets flottants grâce à une cloison siphonide.

Ces déchets extraits seront éliminés par incinération ou revalorisés (le sable pourra être utilisé en tant que remblais routier et les huiles pourront être soit régénérées soit incinérées).

## 9.2 Bassins primaires (La minéralisation par les bactéries)



### Principe de fonctionnement des bassins primaires

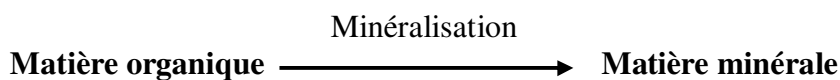
Figure III.6 Principe de fonctionnement des bassins primaires.

Les eaux usées débarrassées des gros objets et des graisses passent alors dans les premiers bassins. Dans cette station de lagunage, ces bassins sont les plus grandes, ils représentent une surface de 8 ha. Les **lagunes primaires** se caractérisent par de faibles temps de séjour minimum des eaux usées, trois jours dans le cas du M'Zab et par une hauteur d'eau importante, 3.50 m. Ces temps de séjour engendrent des vitesses de circulation faibles qui permettent une décantation d'une grande partie des matières en suspensions. La digestion des matières organiques décantées est réalisée par des bactéries anaérobies qui trouvent dans ces lagunes profondes des conditions idéales de développement. Ils sont légèrement surcreusés à l'amont, où arrivent les eaux usées, afin d'éviter tout phénomène de comblement accéléré.

Dans ces bassins, l'élimination des déchets passe par deux voies :

- La **voie physico-chimique** : naturellement des réactions chimiques ont lieu dans l'eau entre les différents éléments minéraux déjà présents. Ces réactions tendent vers une certaine neutralité entre les différents composés ;
- La **voie microbiologique** : C'est le moyen le plus efficace où les déchets organiques sont progressivement dégradés par les bactéries.

Ce sont les bactéries qui jouent le rôle principal dans l'épuration des eaux en éliminant la matière organique par un processus connu sous le nom de **minéralisation** : Cela consiste à dégrader de la matière organique complexe en composés minéraux simples grâce à l'activité d'un enchainement de micro-organismes (dans l'eau : essentiellement constitué de bactéries).



Cette minéralisation de la matière organique par les différentes bactéries permet la production d'eau, de sels minéraux ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ) et de gaz ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$  ...), qui vont progressivement se diriger vers les bassins secondaires.

Le passage d'un bassin à l'autre se fait naturellement, sans électricité : l'écoulement des eaux d'un bassin à l'autre est gravitaire ; les bassins sont successivement les uns plus bas par rapport aux autres, et l'eau va pouvoir circuler, par trop plein, d'un bassin à l'autre, sans risque de retour possible. Les « déchets » des bactéries (eau, gaz et sels minéraux), sont ensuite évacués naturellement vers les bassins secondaires et vont être utilisés par les plantes.

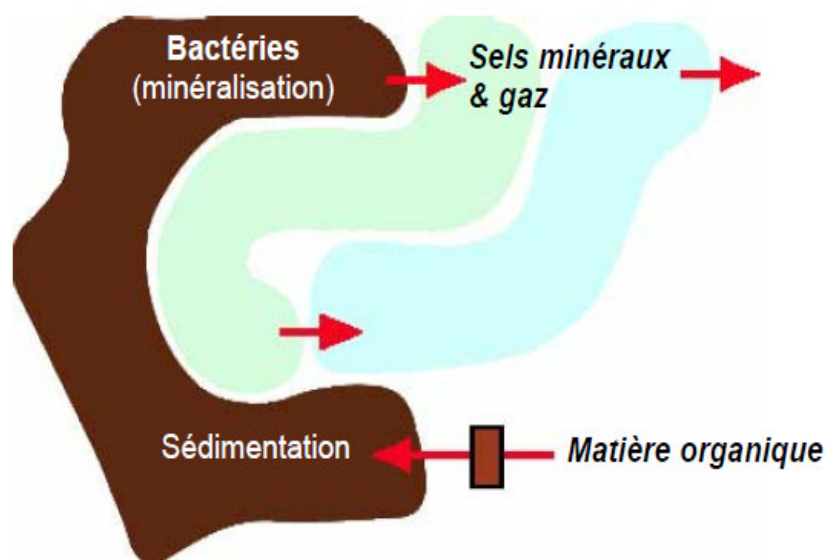
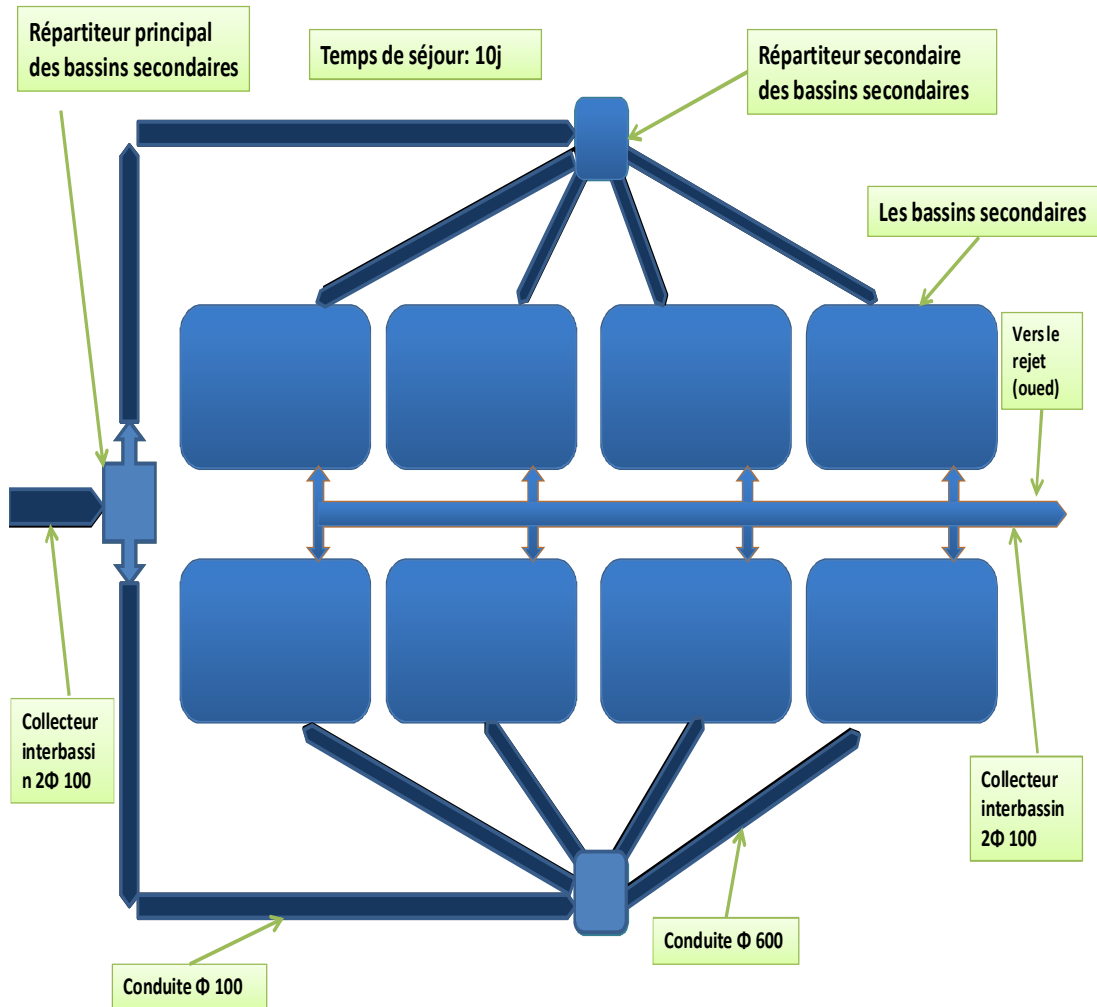


Figure III.7 Bassins primaire.

### 9.3 Bassins secondaires (Le rôle des plantes)



#### Principe de fonctionnement des bassins secondaire

**Figure III.8** Principe de fonctionnement des bassins secondaires.

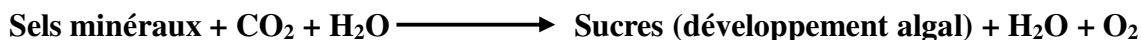
Le traitement secondaire, localisé au sein des **lagunes secondaires** a pour objet de poursuivre l'épuration des eaux afin d'assurer l'imputrescibilité de l'effluent grâce à la stabilisation des matières organiques. Après la première action menée par les bactéries pour dégrader la matière organique, les plantes vont intervenir pour **fixer** les produits issus de la minéralisation.

L'eau arrive donc dans ces bassins : Ces bassins sont deux fois plus petites (4 ha.) avec un temps de séjour minimal 10 jours, une profondeur moins importante (1,50 m en moyenne). Cette faible profondeur est importante pour permettre l'action du soleil : Rôle bactéricide des ultra-violets, mais surtout, ici, pour permettre la photosynthèse et donc favoriser les phénomènes aérobies.

Les nutriments présents (sels minéraux, dérivés des lessives et dans une moindre mesure des engrais minéraux issus de l'agriculture) et le CO<sub>2</sub> (déchet de la respiration de certaines bactéries) vont être assimilés par les plantes pour permettre leur croissance. Ces organismes autotrophes vont transformer, directement grâce à l'énergie solaire, les

différents sels minéraux et le CO<sub>2</sub> en tissu organique (sucres) pour la plante et en oxygène évacué dans le milieu extérieur : c'est le phénomène de la **photosynthèse**.

**Equation globale de la photosynthèse :**



Le choix des plantes utilisées pour l'épuration des eaux peut être très variable selon les facteurs d'implantation de la station de lagunage ; que ce soit pour des raisons économiques, esthétiques ou, selon les types de pollutions traitées.

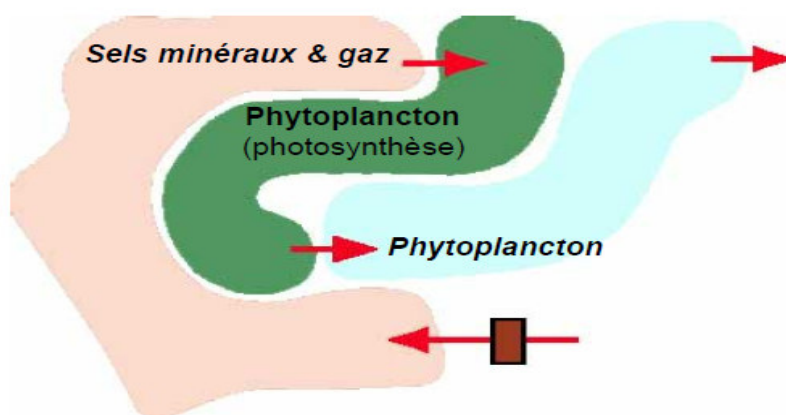


Figure III.9 Bassins secondaires.

#### 9.4 Elimination de la pollution bactériologique

Les **germes pathogènes** (salmonelle, streptocoque, virus...), vecteurs de maladies, proviennent essentiellement des organismes vivants et notamment de notre flore intestinale. Ils font partie de ces micro-organismes exogènes qu'il faut absolument éliminer pour éviter tout type de contamination avale, dans l'oued M'zab. Cependant, ces pathogènes sont très rares et donc difficiles à détecter. On utilise alors des **indicateurs** abondants et faciles à analyser, comme les germes de contamination fécale (coliformes fécaux notamment).

Pour les éliminer, différents processus physico-chimiques ou biologiques ont lieu :

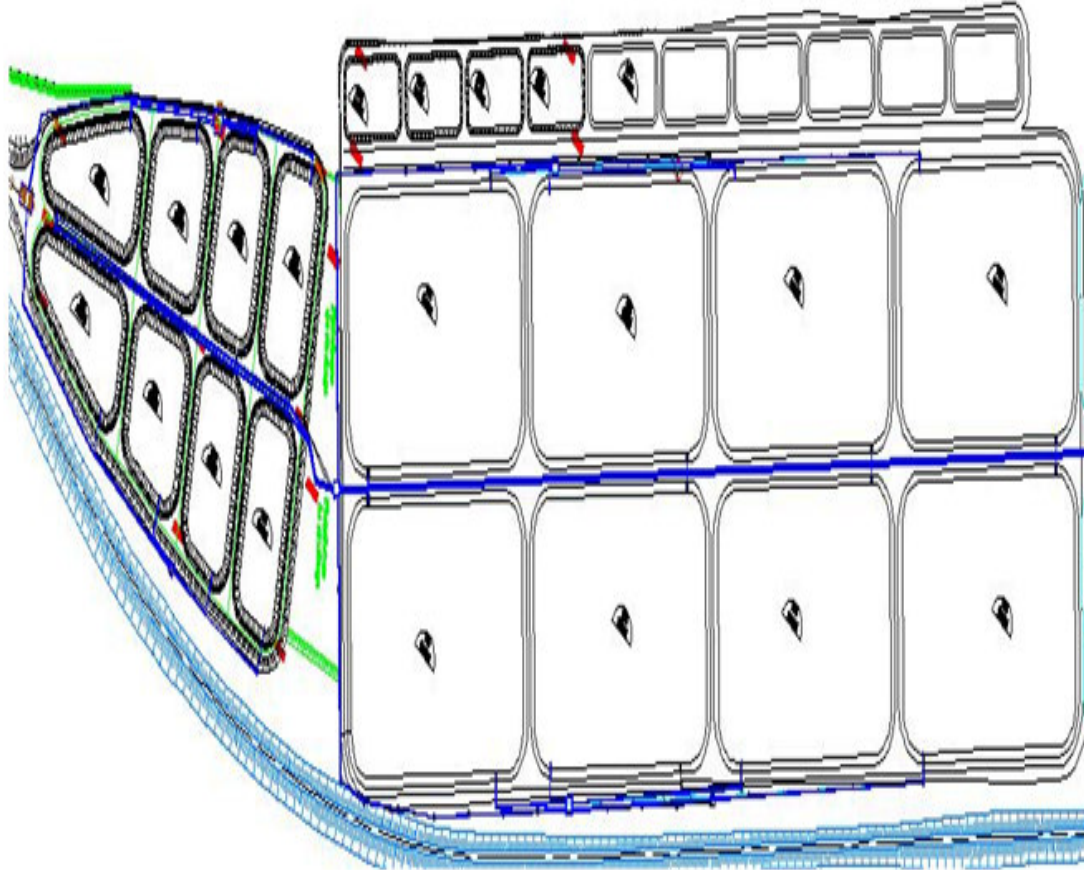
**a- Dans la station de lagunage :**

- **Rôle bactéricide des ultraviolets** (U.V.) grâce aux rayonnements solaires (d'où une faible profondeur d'eau permettant aux rayons d'atteindre le fond) ;
- Phénomène de **compétition** avec les espèces autochtones ;
- **Production de substances inhibantes ou bactéricides naturelles** (antibiotiques par exemple) par certaines bactéries et micro-algues entraînant la mort ou une baisse de la reproduction des pathogènes ;
- La durée du **cycle d'épuration est moyenne**, durant laquelle les germes peuvent être éliminés partiellement par ces différents processus.



**b- Hors de la station de lagunage :**

- **Choc thermique** à la sortie de l'organisme hôte et en sortant de la station de lagunage dans le milieu récepteur ;
- **Stress salin**



**Figure III.11** Station de traitement des eaux usées El Atteuf.

## 10 Comparaison entre les paramètres de sortie et celles d'entrée

### 10.1 Paramètres en amont

Les mesures et les analyses ont porté sur les paramètres de pollution et les micropolluants organiques ou minéraux à l'entrée de la lagune sont les suivantes ;

Paramètres physico-chimique			
<b>PH</b>	7.5	<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	20 mg/l
<b>Température</b>	30 °C	<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	10 mg/l
<b>Conductivité</b>	3 µs/m	<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	9.4 mg/l
<b>DBO<sub>5</sub></b>	260 mg/l	<b>Phénols</b>	0.71 mg/l
<b>DCO</b>	210 mg/l		
<b>MES</b>	140 mg/l		
<b>PO<sub>4</sub><sup>-2</sup></b>	5.6 mg/l		

**Tableau III.11** Paramètres d'eau brute.

Minéralisation	Concentration mg/l
Sulfate (SO <sub>4</sub> )	120 mg /l
Calcium (Ca)	90 mg/l
Sodium (Na)	72.6 mg/l
Bicarbonate (HCO <sub>3</sub> )	370 mg/l
Magnésium (Mg)	50 mg/l

**Tableau III.12** Minéralisation d'eau brute.

### 10.2 Paramètres en aval

Les mesures suivantes sont théoriques, obtenues à partir de rendement normalisé par la lagune :

Paramètres physico-chimique			
<b>PH</b>	7	<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	6mg/l
<b>Température</b>	26°C	<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	3mg/l
<b>Conductivité</b>	0.5µs/m	<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	2.82mg/l
<b>DBO<sub>5</sub></b>	26mg/l	<b>Phénols</b>	0.21mg/l
<b>DCO</b>	52.5mg/l		
<b>MES</b>	28mg/l		
<b>PO<sub>4</sub><sup>-2</sup></b>	1.12mg/l		

**Tableau III.13** Paramètres d'eau épurée.

Paramètres de sortie	Rendement
DBO <sub>5</sub>	90%
DCO	75%
MES	80%

**Tableau III.14** Rendement de paramètres de sortie.

#### Interprétation des résultats

D'après ces résultats théorique obtenue on remarque que les paramètres de pollution on aval répondre aux performances de la qualité des eaux d'irrigation ;

- Réduction de 90% de la DBO
- Réduction de 75% de la DCO
- Réduction de 80% des MES

## 11 Classification de l'eau d'irrigation

### 11.1 Classification de Ayers

Problème d'irrigation	Unité	Degré de restriction à l'usage		
		Aucune	Modérée	Sévère
<b>Salinité</b>				
Ec	ds/m	<0.7	0.7-3.0	>3
TDS	mg/l	<450	450-2000	>2000
<b>Infiltration</b>				
SAR 0 à 3		>0.7	0.7-0.2	<0.2
3 à 6	et	>1.2	1.2-0.3	<0.3
6 à 12	l'Ec	>1.9	1.9-0.5	<0.5
12 à 20		>2.9	2.9-1.3	<1.3
20 à 40		>5.0	5.0-2.9	<2.9
<b>Toxicité spécifique</b>				
Par absorption racinaire				
-irrigation de surface				
Sodium(évaluer par SAR)	SAR	<3.0	3.0-9.0	>9.0
Chlorure(Cl)	mg/l	<142	142-355	>355
	méq/l	<4.0	4.0-10.0	>10.0
Bore(B)	méq/l	<0.7	0.7-3.0	>3
<b>Autre effets</b>				
Azote	mg/l	<5	5.0-30	>30
Bicarbonates	mg/l	<90	90-520	>520
PH		Gamme normale 6.5-8.4		

**Tableau III.15** Valeurs indicatives pour l'appréciation d'une eau d'irrigation.

-La plupart des cultures d'arbre et plantes ornementales ligneuse sont sensible au sodium et au chlore.

-La plupart des cultures annuelles ne sont pas sensibles.

Pour une gamme de sodium de 72.6mg /l<142, aucune restriction à l'usage a remarquée

### 11.2 Classification mondiale (F.A.O)

Pour CE égal ou compris entre :

- 1g/l Bonne pour l'irrigation,
- 1g/l – 3g/ Faiblement salée,
- 3g/l – 5g/l Moyennement salée,
- 5g/l – 10g/l Fortement salée,
- > 10g/l Extrêmement salée.

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

**Tableau III.16** Tolérance des plantes aux sels (FAO 2005).

### 11.3 Classification Russe

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

- 0,2 g/l – 0,5 g/l l'eau est de meilleure qualité,
- 1,0 g/l – 2,0 g/l l'eau comportant des risques de salinité,
- 3,0 g/l – 7,0 g/l l'eau ne peut être utilisée pour l'irrigation qu'avec un lessivage et un drainage.

### 11.4 Classification U.S.S.L

La classification est basée sur deux paramètres C.E à 25°C et S.A.R (voir la figure III.12)

#### - Pour la conductivité électrique C.E

- C1 : C.E < 0,250 mmhos/cm (< 0,2 g/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 < 0,750 mmhos/cm ( 0,2 – 0,5 g/l) l'eau a salinité moyenne,
- C3 : 0,750 < C.E < 2,250 mmhos/cm ( 0,5 – 1,5 g/l) l'eau à forte salinité et dit inutilisable sur un sol faiblement drainé, elle n'est pas autorisée que sur un sol bien drainé et sur des cultures tolérantes,
- C4 : 5,250 < C.E < 5,000 mmhos/cm ( 1,5 – 3,0 g/l) l'eau a très forte salinité et inutilisable pour les conditions normales ;elle n'est pas autorisée que si on pratique un lessivage intense et sur des cultures très tolérantes,
- C5 : C.E > 5,000 mmhos/cm (> 3 g/l) l'eau est inutilisable sauf sur sable drainé et pour les palmiers et dattiers.

#### - Pour le coefficient d'adsorption du sodium S.A.R

S.A.R est calculé par la formule suivante (III.1) :

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

Avec :

$\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  en meq/l.

Elle distingue quatre classes :

- S1 :  $\text{S.A.R} < 10$  : 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 :  $10 < \text{S.A.R} < 18$  : Les eaux contenant une quantité moyenne de sodium, peuvent présenter quelques difficultés dans les sols à texture grossière ou sur des sols organiques qui absorbent bien l'eau,
- S3 :  $18 < \text{S.A.R} < 26$  : Les eaux contenant une quantité élevée de sel, 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 ne y'a pas de gypse, il faut ajouter un amendement chimique exerçant le même effet,
- S4 :  $\text{S.A.R} > 26$  : 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.

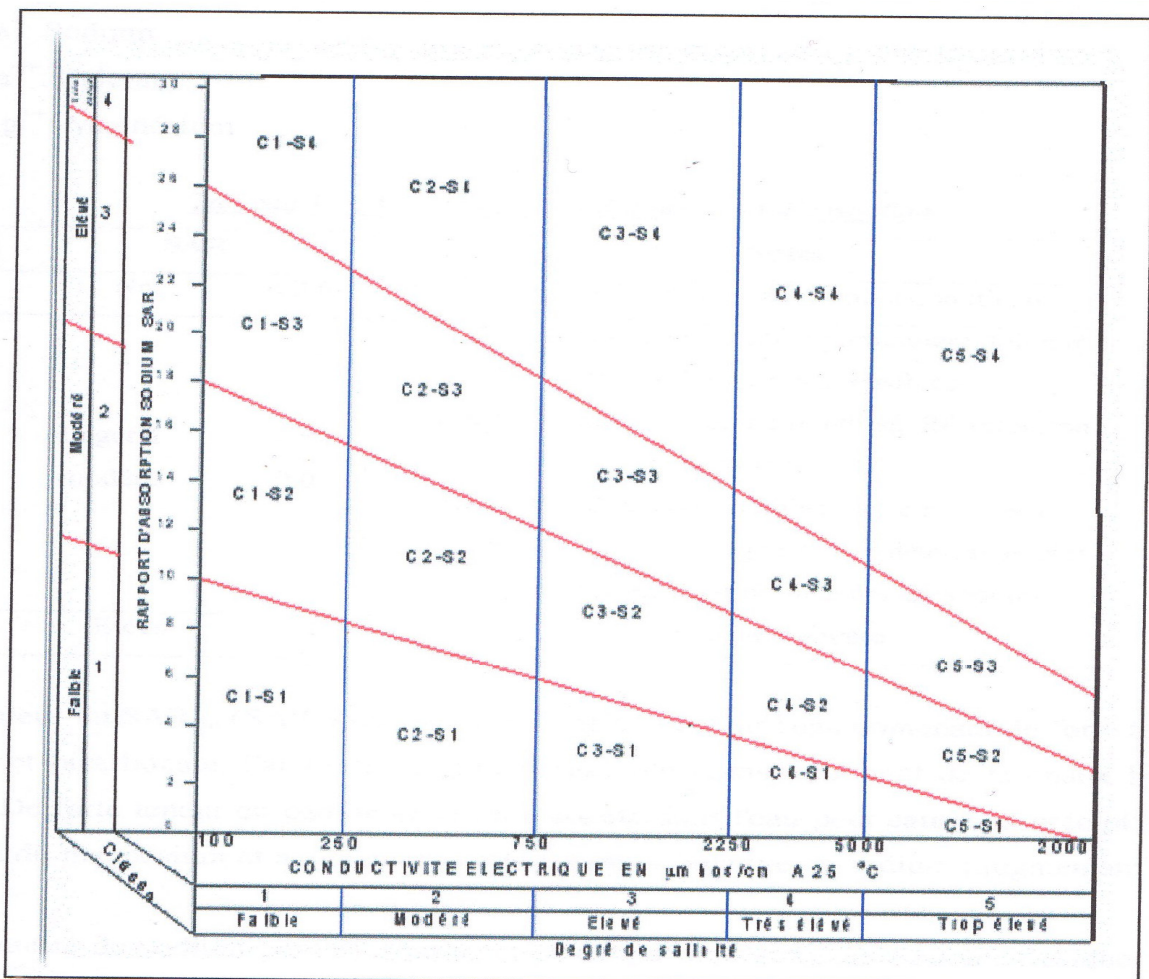


Figure III.12 Diagramme de classification des eaux d'irrigation d'après l'USSL (1954).

## 12 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons essayé d'englober tous les caractéristiques spécifiques de la lagune, à savoir: les paramètres de rejet, le mode d'épuration et le rendement.

D'après les résultats théoriques qui ont été obtenues en aval de la lagune et on comparant avec les exigences normalisées, on peut dire que le traitement effectué est facultative et peut donner un rendement expérimental plus efficace obéissant à la norme des rejets, ce qui permette de minimiser les risques sanitaires et les nuisances sur le milieu récepteur notamment celles qui menacent les eaux destinées à l'irrigation.

## 1 Introduction

Le régime d'irrigation des cultures correspond aux besoins de la plante en eau et cela pendant tout ces stades de développement en tenant compte des exigences agro techniques. Dans ce chapitre on va déterminer les besoins en eau des cultures ainsi que leurs régimes d'irrigation.

## 2 Définition

Le régime d'irrigation des cultures permet de déterminer pour chaque culture :

- La consommation totale en eau,
- La dose d'irrigation,
- Les doses d'arrosage et leurs fréquences [15].

## 3 Besoin en eau des cultures

Les besoins en eau des cultures sont loin d'être régulier durant toute la période végétative. Ils dépendent des échanges radiants (énergie solaire) et la turbulence de l'atmosphère qui sont deux phénomènes liés directement aux conditions climatiques (températures, précipitation, l'humidité de l'air, vitesse de vent, durée d'exploitation au soleil, ...) [16].

### 3.1 L'évapotranspiration

L'évapotranspiration est un phénomène complexe intégrant à la fois l'évaporation de l'eau du sol (phénomène physique) et la transpiration de la couverture végétale (phénomène physiologique).

Sous le nom évapotranspiration, englobe la totalité de la consommation d'eau d'une plante en place, à savoir :

- L'eau de constitution, l'eau de végétation et la consommation annexes (évapotranspiration directe du sol, herbes...).
- On distingue l'évapotranspiration de référence (ET<sub>o</sub>), l'évapotranspiration potentielle (ETP) et l'évapotranspiration réelle (ETR) :

- L'évapotranspiration de référence, est définie comme " le niveau d'évapotranspiration d'une surface importante d'un gazon de hauteur uniforme (entre 8 et 15 cm), en croissance active, recouvrant complètement le sol et alimenté en eau de façon non restrictive "

- L'évapotranspiration potentielle, c'est l'évapotranspiration d'une culture bien fournie en eau et où le sol est à sa capacité de rétention ; c'est la limite maximale de l'évapotranspiration.



- L'évapotranspiration réelle, c'est la valeur réelle de l'évapotranspiration, le plus souvent elle est inférieure à l'évapotranspiration potentielle, puisque le sol n'est pas en permanence à sa capacité de rétention.

En irrigation, il faut connaître l'évapotranspiration potentielle pour atteindre des rendements agricoles hauts et stables.

### 3.1.1 Méthodes d'évaluation d'évapotranspiration

L'évapotranspiration potentielle peut être évaluée selon plusieurs possibilités parmi les quelles :

- L'évapotranspiromètre
- Les stations expérimentales
- Méthode de bilan hydrique
- Méthode de bilan thermique
- Formules empiriques

Il existe plusieurs formules empiriques parmi les quelles :

- Formule de BLANEY-CRIDDLE
- Formule de TURC
- Formule de PENMAN

#### 3.1.1.1 Formule de BLANEY-CRIDDLE

Cette formule a donné des résultats satisfaisants pour des étages bioclimatiques arides, semi-arides et sahariens, elle s'exprime par la formule suivante (IV.1):

$$ETP = P \times K \times (0.457 \times T + 8.13)$$

Avec :

**ETP** : Evapotranspiration potentielle en mm / jour

**P** : Pourcentage de la durée mensuelle de l'éclairement rapporté à la durée annuelle et ne dépend que de la latitude

**K** : Coefficient qui est fonction de la culture et de la zone climatique

**T** : Température moyenne mensuelle en (°c)

### 3.1.1.2 Formule de TURC (France 1960)

Elle s'exprime par la formule suivante (IV.2):

$$ETP = 0.40 (I_g + 50) \times \frac{T}{T+15} \quad \text{en (mm/mois).}$$

**Avec :**

**T** : Température moyenne de la période considérée en °c

**I<sub>g</sub>** : Radiation globale du mois considéré en ( cal / cm<sup>2</sup> / j ), selon TURC, le coefficient 0.40 est réduit à 0.37 pour le mois de février .

Si l'humidité relative de l'air est inférieure à 50 %, l'ETP est donnée par (IV.3):

$$ETP = 0.40 (I_g + 50) \times \frac{T}{T+15} \times \left(1 + \frac{50 - H_r}{70}\right)$$

**Avec :**

**T** : Température moyenne de la période considéré en °c.

**H<sub>r</sub>** : L'humidité de l'air en %

**I<sub>g</sub>** : Radiation globale en (cal / cm<sup>2</sup> / jour)

**Telque (IV.4):**

$$I_g = I_{gA} \times \left(0.18 + 0.62 \times \frac{h}{H}\right)$$

**Avec :**

**I<sub>gA</sub>** : Radiation maximale théorique

**H** : Durée astronomique de jour en (heure / mois)

**h** : la durée d'insolation en (heure / mois)

Dans notre région on a constaté une période sèche s'étalant du mois de février au mois de septembre avec une humidité relative inférieure à 55% donc cette formule n'est pas adéquate (adaptée) pour une zone climatique sèche.

### 3.1.1.3 Méthode de Penman & Monteith

Cette méthode est limitée ou bien incomplète, du fait que cette dernière ne prenne pas en considération l'effet de quelques paramètres météorologiques.

Pour cela, nous adaptons la nouvelle formule de Penman & Monteith modifiée et 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, est valable pour les régions humides et aussi dans les régions très chaudes et semi-arides ; la formule de Penman & Monteith modifiée se présente comme suit (IV.5):

$$ET_0 = C \times [W \times R_n + (1 - W) \times F(u) \times (ea - ed)]$$

Où :

**ET<sub>0</sub>** : Représente l'évapotranspiration de référence, exprimées en mm/jour

**W** : Facteur de pondération rendant compte de l'effet de rayonnement à différentes températures et altitudes.

**R<sub>n</sub>** : 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 millibar

**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 du logiciel **CROPWAT 5.7** fondé sur la méthode de Penman & Monteith, modifiée et recommandée par la consultation des experts de la **FAO**, tenue à **Rome** en **Mai 1990**.

Pour l'exploitation du logiciel, nous devons fournir les informations mensuelles de la station météorologique et la méthode adoptée, emploie les informations homogènes et faibles suivantes : (Chapitre1)

- **Température** : les températures moyennes sont données en Degré Celsius (°c).
- **Humidité de l'air** : l'humidité relative de l'air exprimée en pourcentage (%).
- **Insolation journalière** : donnée en heures d'insolation de (1 à 20 h).
- **Vitesse de vent** : la vitesse du vent peut être introduite en m/sec.

Dans le tableau (VI.1) nous représentons l'évapotranspiration de référence ET<sub>0</sub> calculée à l'aide du logiciel CROPWAT 5.7 selon la formule modifiée de Penman (ou Penman & Monteith).

<b>Evapotranspiration de référence ET<sub>0</sub> de penman-Monteith</b>						
<b>Pays : ALGERIE</b>			<b>Station climatique : Numérette</b>			
<b>Altitude : 480 mètres</b>		<b>Latitude : 32°.30'N</b>		<b>Longitude : 3°.45'E</b>		
Mois	Tem moy (°c)	Humidité (%)	Vent Km/jour	Insol. heures	Radiation MJ/m <sup>2</sup> .Jour	ET <sub>0</sub> -PenMon mm/jour
Janvier	10.6	55	715	7.9	12.6	3.38
Février	13	45	527	8.3	15.4	4.25
Mars	15.9	39	753	9	19.3	6.40
Avril	19.7	36	778	9.8	23.1	8.27
Mai	24	29	786	10.3	25.1	10.73
Juin	30	26	794	11.2	26.8	15.86
Juillet	32.3	22	618	11	26.2	15.67
Août	33.1	26	243	10.7	24.8	10
Septembre	27.8	37	278	8.7	19.8	7.79
Octobre	21	45	724	8.4	16.6	9.41
Novembre	14.8	50	245	8.4	13.7	3.61
Décembre	11.7	56	290	8	12	3.22
<b>Année</b>	<b>21.16</b>	<b>39</b>	<b>563</b>	<b>9.3</b>	<b>19.6</b>	<b>8.22</b>

**Tableau VI.1** Evapotranspiration de référence de la zone du projet selon Pen-Mont.

### 3.1.2 Détermination de l'évapotranspiration maximale

L'évapotranspiration des cultures maximale est calculée par la formule (IV.6):

$$ETM = ET_0 \times K_C$$

**Tel que :**

**K<sub>c</sub> :** Coefficient cultural qui dépend de la période de croissance de la culture.

Les résultats de calcul sont présentés dans le tableau suivant (IV.2):

Période végétative	A	M	J	J	A	S	O	N	D
$ET_0$ (mm /mois)	248.1	332.63	475.8	485.77	310	233.7	291.71	108.3	99.82
$K_{C\text{ olivier}}$	0.5	0.5	0.54	0.68	0.83	0.95	0.95	0.95	0.93
$K_{C\text{ dattier}}$			0.72	0.73	0.75	0.75	0.74		
$ETM_{\text{oliv}}$	124	166	257	330	257	222	277	103	93
$ETM_{\text{dattier}}$			343	355	232	175	216		

Tableau IV.2 L'évapotranspiration maximale des cultures.

### 3.1.3 Calcul de la pluie efficace

Pour tenir compte des pertes, le programme **CROPWAT 5.7** nous permettra de calculer la précipitation efficace, définie comme étant la fraction des précipitations contribuant effectivement à la satisfaction des besoins de l'évapotranspiration de la culture après déduction des pertes par ruissellement de surface, par percolation en profondeur, etc.....

Il est difficile d'évaluer les pluies efficaces sans avoir recours à des mesures effectuées pendant de longues périodes, en différents endroits.

Par conséquent, en l'absence de telles données, nous utiliserons couramment des méthodes expérimentales, cas de la méthode pourcentage fixé. Dans notre cas on fixe le pourcentage à 80% (on considère que 20% de précipitations sont des pertes par ruissellement de surface, et par percolation en profondeur).

Les valeurs mensuelles de  $P_{80\%}$  et  $P_{\text{eff}}$  sont regroupées dans le tableau IV.3.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
$P_{80\%}$	12.82	0.85	6.42	5.24	1.85	2.87	1.26	3.93	17.8	11.15	1.37	1.72

Station : Numérette

Mois	Précipitation (mm/mois)	Pluie efficace (mm/mois)
Janvier	19.7	19.1
Février	1.3	1.3
Mars	9.9	9.7
Avril	8.1	8
Mai	2.9	2.8
Juin	4.4	4.4
Juillet	1.9	1.9
Août	6	6
Septembre	27.4	26.2
Octobre	17.2	16.7
Novembre	2.1	2.1
Décembre	2.6	2.6

Tableau IV.3 Précipitations efficaces dans la zone d'étude.

### 3.2 Evaluation des besoins en eau des cultures

Les besoins en eau des cultures sont calculés par (IV.7):

$$B = ETM - (P_{eff} + RFU) ;$$

Avec :

**ETM** : L'évapotranspiration maximale de la culture considérée ;

$P_{eff}$  : La pluie efficace ;

**RFU** : Réserve facilement utilisable (en mm) ; tel que (IV.8) :

$$RFU = \frac{2}{3} Z \cdot (H_{CC} - H_{PF})$$

Avec :

**Z** : Profondeur d'enracinement de la culture considérée.

**H<sub>CC</sub>** : L'humidité à la capacité au champ

**H<sub>PF</sub>** : L'humidité au point de flétrissement

On a un sol de texture sableuse limoneuse, cette dernière correspond à :

$$H_{CC} = (18 \text{ à } 26) \%$$

$$H_{PF} = (8 \text{ à } 12) \%$$

$$RU = 1.55 \text{ mm / cm de terre.}$$

La profondeur d'enracinement et la RFU des différentes cultures sont présentées dans le tableau suivant :

Cultures	Profondeur d'enracinement (Z) en (m)	RFU en (mm)
Palmier	1.3	134
Olivier	1.4	145

**Tableau IV.4** Profondeur d'enracinement des cultures et RFU.

**N.B :** La mobilisation de la RFU est différente suivant les cultures et la période l'année.

- Pour les cultures Pérennes, on peut considérer que toute la RFU est mobilisée.
- Pour les cultures saisonnières, une partie de RFU sera prise en considération dans le bilan mensuel, durant la période où la culture peut la mobiliser, Elle représente 35 à 65% selon les types de sol.

Pour notre cas on a une texture sableuse limoneuse, donc on prend le taux de mobilisation de RFU égale à 65% et qui sera réparti en fin de la période végétative.

Les résultats de calcul des besoins en eau des cultures sont mentionnés dans le tableau suivant (IV.5):

Culture	Période végétative	ETM	P <sub>eff</sub>	P <sub>eff</sub> corrigé	RFU	RFU <sub>cor</sub>	Besoin
Olivier	Avril	124	8	0	145	0	124
	Mai	166	2.8	0	145	0	166
	Juin	257	4.4	0	145	0	257
	Juillet	330	1.9	0	145	0	330
	Aout	257	6	0	145	0	257
	Septembre	222	26.2	26.2	145	72.5	123
	Octobre	277	16.7	16.7	145	72.5	188
	Novembre	103	2.1	0	145	0	103
	Décembre	93	2.6	0	145	0	93
Palmier	Juin	343	4.4	0	134	0	343
	Juillet	355	1.9	0	134	0	355
	Aout	232	6	0	134	0	232
	Septembre	175	26.2	26.2	134	67	82
	Octobre	216	16.7	16.7	134	67	132

**Tableau IV.5** Les besoins en eau des cultures.

Mois	A	M	J	J	A	S	O	N	D
B <sub>oli</sub>	124	166	257	330	257	123	188	103	93
B <sub>dat</sub>	-	-	343	355	232	82	132	-	-
B <sub>total</sub>	124	166	600	685	489	205	320	103	93

**Tableau IV.6** Les besoin totaux en eau des cultures.

D'après le tableau ci-dessus ; le mois de pointe est le mois de Juillet.

- Les besoins en eau du mois de pointe seront donc :

$$B_p = 685 \text{ mm} = 6850 \text{ m}^3 / \text{ha}$$

- Les besoins journalières du mois de pointe seront donc :

$$B_j = \frac{685}{31} = 22.1 \text{ mm}$$

#### 4 Doses d'arrosage

Par définition, la dose d'arrosage est la quantité d'eau qu'il faut apporter à la parcelle au cours de l'arrosage pour ramener le sol à sa capacité de rétention.

##### 4.1 Dose nette (RFU nette)

$$RFU = \frac{2}{3} Z \cdot (H_{CC} - H_{PF}) \text{ en mm}$$

Les paramètres de cette équation sont définis précédemment.

##### 4.2 Dose pratique

Tenant compte du rendement de système d'irrigation, la dose pratique qu'elle doit apporter aux cultures sera (IV.9):

$$D_p = D_{\text{nette}} / 0.9$$

##### 4.3 Dose réel (RFU réel)

La dose réel est calculé par (IV.10) :

$$D_{\text{réel}} = \frac{B_j}{Fr}$$



Avec :

**B** : besoin journalier en mm.

**Fr** : fréquence d'irrigation.

## 5 Fréquence d'irrigation

La fréquence d'irrigation est calculé par (IV.11) :

$$Fr = \frac{B}{RFU}$$

Tel que :

**B** : besoins en eau de la culture considérée

**RFU** : Dose nette

Le nombre d'arrosages doit être ramené à une valeur entière et la dose doit être ajustée.

## 6 Tour d'eau

Le tour d'eau est calculé par la formule suivante (IV.12):

$$Fr = \frac{RFU \cdot 31}{Bj}$$

## 7 Calcul du débit fictif

Le débit fictif continu représente le débit véhiculé par le système d'irrigation afin de satisfaire les besoins en eau des cultures et pour une superficie irrigués données.

On prend le  $Q_{fc}$  de la culture la plus exigeante en eau si le débit fictif du mois de pointe est supérieur à 1.5l/s/ha si non on doit calculer le débit fictif moyen.

Le débit fictif (exprimé en l/s/ha) est calculé par (IV.13) :

$$Q = \frac{B \cdot 0,00386}{K}$$

**B** : besoin en eau (mm) ;

**K** : efficacité de l'irrigation ;

Le besoin totale au mois de pointe : **B=685mm**

$$Q = \frac{685 \cdot 0,00386}{0.75}$$

$$= 3.52 \text{ l/s/ha} > 1.5 \text{ l/s/ha}$$

Donc on calcul le débit fictif pour la culture la plus exigeante ; tel que :

$$Q = \frac{355.0,00386}{0.75}$$
$$= 1.83 \text{ l/s/ha} > 1.5 \text{ l/s/ha}$$

On prend le besoin d'olivier du mois d'Aout :

$$B = 257 \text{ mm} \rightarrow Q = \frac{257.0,00386}{0.75}$$
$$= 1.32 \text{ l/s/ha} < 1.5 \text{ l/s/ha}$$

Donc on prend  $Q = 1.32 \text{ l/s/ha}$  comme débit spécifique.

## 8 Conclusion

Dans ce chapitre, on a calculé les besoins en eau des cultures afin de nous permettre de dimensionner notre réseau de distribution (voir chapitre V).

## **1 Introduction**

L'irrigation localisée ou irrigation par le goutte à goutte peut être considérée comme une solution pratique aux problèmes de la sécheresse au même titre que les méthodes traditionnelles de l'irrigation de surface et de l'irrigation par aspersion. Elle permet une très grande efficacité de l'irrigation. Dans ce chapitre on va dimensionner notre réseau par le goutte à goutte dont le but principal est d'économiser le maximum d'eau.

## **2 Définition**

Le système d'irrigation goutte à goutte est un système qui permet une très grande efficacité d'irrigation. Des perforations dans des tuyaux longeant les lignes de culture distribuent l'eau aux plantes de manière localisée et à très faible débit, évitant ainsi un maximum de déperdition.

Très économe en eau et en main d'œuvre, il demande par contre une très grande technicité de ces utilisateurs. Les rendements peuvent être très élevés, mais l'investissement est très important [17].

## **3 Les composants essentiels d'une installation d'irrigation localisée**

Les composants essentiels d'une installation d'irrigation localisée sont :

### **3.1 Un point de fourniture d'eau sous pression appropriée**

On utilise en général des pompes centrifuges, mais pour les petites installations on utilise des pompes à piston. L'eau peut également provenir d'un réseau de distribution publique.

### **3.2 L'unité de tête**

Reliée au point de fourniture d'eau. Elle permet de réguler la pression et le débit, de filtrer l'eau d'introduire des éléments fertilisants. Parfois, des régulateurs de pression et des filtres secondaires sont placés en tête de la porte rampes ou même des rampes.

### **3.3 La conduite principale**

Qui relie au point de fourniture d'eau les divers porte-rampes. Elle peut être en ciment, en PVC rigide ou en acier galvanisé.

### **3.4 Les porte-rampes**

Qui alimentent les rampes d'un seul côté ou des deux côtés. Elles peuvent être soit en polyéthylène moyenne densité, soit en PVC.

### 3.5 Les rampes

Qui sont toujours en polyéthylène basse densité, à l'exception de quelques installations où l'on a utilisé du PVC rigide de petit diamètre. Les distributeurs y sont fixés avec un espacement prédéterminé. Il existe d'autres types de rampes qui assurent à la fois le transport et la distribution de l'eau, comme les rampes poreuse ou perforées.

### 3.6 Les distributeurs

Qui constituent la partie essentielle de l'installation, c'est à partir d'eux que l'eau sorte, à la pression atmosphérique, en débits faibles et réguliers. Ils peuvent être des goutteurs à très faible débit, dont il existe de très nombreux types différents, des ajutages ou des mini-diffuseurs dont le débit est un peu plus important.

## 4 Calcul de l'installation d'irrigation

Le champ d'oliviers et de palmiers à irriguer par le goutte à goutte a une surface d'environ 50 Ha ; avant de calculer l'installation il faut d'abord calculer les besoins en eau des cultures (voir chapitre IV).

### 4.1 Calcul des besoins en eau des cultures

En utilisant le logiciel « CROPWAT » on calcul :

- 1- L'évapotranspiration de référence  $ET_0$  par PENMAN-MONTHEITH.
- 2- La pluie efficace.
- 3- Les besoins en irrigation.

D'après le tableau précédent IV.6, le mois de pointe est le mois de Juillet ( $B_p = 685\text{mm/mois}$ ).

### 4.2 Besoins journaliers

Les besoins journaliers sont les besoins du « mois d'Aout » : **257 mm**.

Le besoin journaliers :

$$B_j = 257 / 31 = 8.29 \text{ mm/jour}$$

Le besoins journalier en eau en tenant compte la réduction  $K_r$  sera calculée par (V.1):

$$B_r = B_j [C_s + 0.5(1 - C_s)]$$

Avec :

**Bj** : Besoins journalière de l'irrigation,

**CS** : Couverture du sol, pour les oliviers ; **CS = 60 %**,

$$\begin{aligned} B r &= 8.29 \times (0.8) \\ &= 6.63 \text{ mm / j} \end{aligned}$$

### 4.3 Dose nette

$$D_{\text{nette}} = (H_{\text{cc}} - H_{\text{pf}}) \times Y \times Z \times P \% \quad (\text{V.2})$$

Avec :

**Hcc** : L'humidité à la capacité au champ,

**Hpf** : L'humidité au point du flétrissement.

D'après les caractéristiques du sol (texture Sableuse limoneuse) on a :

**Hcc = 22 %**,

**Hpf = 10 %**.

**Y** : Degré de tarissement admissible ; **Y = 2/3**.

**E** : Profondeur d'enracinement.

**Z** : Pourcentage du sol humidifié.

Le pourcentage du sol humidifiée dépend de :

- Débit de distributeur (goutteurs)
- Espacement entre les goutteurs.
- Ecartement entre les rampes.
- Texture du sol.

Pour un écartement de  $5 \times 5$  ; d'un débit de distributeur de 8 l/h (on prend pour chaque arbre 2 goutteurs espacés de 0.75 m, ayant pour chaque un débit de 4 l/h) et pour une texture moyenne la valeur de p sera calculée par la formule (V.3) :

$$\begin{aligned} p &= (100 * n_g * e_g * L_h) / (S_a * S_r) \\ &= (100 * 2 * 0.75 * 4) / (5 * 5) \\ &= \mathbf{24\%} . \end{aligned}$$

D'ou la dose nette :

$$\begin{aligned} D_{nette} &= (H_{cc} - H_{pf}) \times y \times z \times (P/100) \\ D_{nette} &= (0.22 - 0.10) \times 2/3 \times 700 \times 0.24 \\ D_{nette} &= 13.44\text{mm} \end{aligned}$$

#### 4.4 Dose pratique

$$\begin{aligned} D_p &= \frac{D_{nette}}{0.9} = \frac{13.44}{0.9} \quad (\text{V.4}) \\ D_p &= 14.93\text{mm} \end{aligned}$$

#### 4.5 Fréquence d'arrosage

$$I = \frac{D_{nette}}{\beta_{jil}} = 13.44 / 6.63 = 2,027 \quad (\text{V.5})$$

On prend la fréquence d'arrosage

$$I = 2 \text{ jours.}$$

#### 4.6 Dose brute

$$D \text{ brute} = \frac{D_{nette}}{\eta \times Cu} \quad (\text{V.6})$$

Tel que :

$\eta$  : Rendement d'irrigation = 0.9

$Cu$  : Coefficient d'uniformité d'arrosage

$$D \text{ brute} = 13.44 / (0.9 * 0.9) = 16.60 \text{ mm}$$

#### 4.7 Durée d'arrosage

$$t = \frac{D_{brut} \times Eg \times Er}{q} = (16.60 * 5 * 5) / 8 = 51.87 \text{ heures.} \quad (\text{V.7})$$

- L'irrigation journalière sera :  $51.87 / 12 = 4.32 \text{ heures.}$

#### 4.8 Nombre de postes

$$N = \frac{24 * F}{\text{temps de travail}} = \frac{24 * 16}{15} = 25 \text{ postes} \quad (\text{V.8})$$

#### 4.9 Surface de la parcelle

$$Sp = \frac{\text{Surface total}}{\text{Nbre de poste}} \quad (\text{V.9})$$

$$= 50/25 = 2 \text{ ha}$$

#### 4.10 Débit caractéristique

Avec une surface nette de 50ha, il renferme 25 parcelle de surface unitaire de 2ha. La forme de parcelle est irrégulière conditionnée par l'allure de l'assiette.

$$q_c = Q \cdot S = 1.32 * 2 = 2.64 \text{ l/s} \quad \text{pour chaque parcelle.} \quad (\text{V.10})$$

### 5 Calcul hydraulique de réseau de goutte à goutte

#### 5.1 Calcul de la rampe

##### 5.1.1 Surface de la rampe

$$S_R = L_R * S_r \quad (\text{V.11})$$

$$= 110 * 5$$

$$= 550 \text{ m}^2$$

##### 5.1.2 Nombre de rampes par poste

$$N_r = \frac{\text{Surface de poste}}{S_R} \quad (\text{V.12})$$

$$= 20\,000 / 550$$

$$= 36.36$$

$$\approx 36 \text{ rampes}$$

##### 5.1.3 Nombre de goutteurs par rampe

$$N_g = \frac{\text{Longueur de la rampe}}{\text{Espacement entre rampes}} \quad (\text{V.13})$$

$$= 110 / 5$$

$$= 22 \text{ goutteurs}$$

En tenant compte que deux goutteurs sont nécessaires pour chaque arbre,  $N_g$  sera égal à:

$$\begin{aligned} N_g &= 22 * 2 \\ &= 44 \text{ goutteurs} \end{aligned}$$

#### 5.1.4 Débit de la rampe

$$\begin{aligned} Q_r &= N_g * q_g \quad (\text{V.14}) \\ &= 44 * 4 \\ &= 176 \text{ l/h} \end{aligned}$$

#### 5.1.5 Perte de charge de la rampe

##### 5.1.5.1 Conditions hydrauliques

La relation entre la variation maximale de débit entre goutteurs et la variation maximale de la pression est la suivante (V.15) :

$$\frac{\Delta q}{q_g} = x \times \frac{\Delta H}{H_n}$$

Avec :

$$x = 0.5$$

$H_n$  : Pression nominale

$$H = 10 \text{ mce}$$

- Règle de Christiansen :

$$\begin{aligned} \Delta q / q &= 10\% = 0,1 && \text{ou } \Delta H / H = 0,2 \\ \Delta q / q &= 0,5 * \Delta H / H &\implies & 0,1 = 0,5 * \Delta H / 10 &\implies & \Delta H = 1 / 0,5 = 2 \text{ mce} \end{aligned}$$

Perte de charge singulière : 10% de  $\Delta H$

Perte de charge linéaire :  $1/3 \implies$  dans porte rampe  
 $2/3 \implies$  dans la rampe

Perte de charge linéaire :  $\Delta H - 0,10 \Delta H = 1,8 \text{ mce}$

Pour la porte rampe :  $\Delta H = 1,8 * 1/3 = 0,6 \text{ mce}$

Pour la rampe :  $\Delta H = 1,8 * 2/3 = 1,2 \text{ mce}$



### 5.1.6 Diamètre de la rampe

$$D = \left[ \frac{P^r_{dc} \times 2,75}{0,478 \times Q_r^{1,75} \times L_r} \right]^{(-1/4,75)} \quad (\text{V.16})$$

$$D = \left[ \frac{1,2 \times 2,75}{0,478 \times (176)^{1,75} \times 110} \right]^{(-1/4,75)}$$

$$= 12.03 \text{ mm}$$

Le diamètre normalisé est :

$$D_n = 16 \text{ mm}$$

### 5.1.7 Recalcul de la perte de charge de la rampe

$$j = \left[ \frac{0,478 \times D^{-4,75} \times Q^{1,75} \times L}{2,75} \right] \quad (\text{V.17})$$

$$= \left[ \frac{0,478 \times (16)^{-4,75} \times (176)^{1,75} \times 110}{2,75} \right]$$

$$= 1.19 \text{ mce}$$

$J = 1.19 \text{ mce} < 1,2 \text{ mce} \Rightarrow$  la condition est vérifiée

## 5.2 Calcul de la porte rampe

### 5.2.1 Débit de la porte rampe

$$Q_{pr} = N_r * Q_r \quad (\text{V.18})$$

$$= 36 * 176$$

$$= 6336 \text{ l/h}$$

### 5.2.2 Diamètre de la porte rampe

$$D = \left[ \frac{P^r_{dc} \times 2,75}{0,478 \times Q_{pr}^{1,75} \times L_{pr}} \right]^{(-1/4,75)} \quad (\text{V.19})$$

$$= \left[ \frac{0,6 \times 2,75}{0,478 \times (6336)^{1,75} \times 181} \right]^{(-1/4,75)}$$

$$= 57.90 \text{ mm}$$

Le diamètre normalisé est :

$$D_n = 60 \text{ mm}$$

### 5.2.3 Perte de charge de la porte rampe

$$j = \left[ \frac{0,478 \times D_{pr}^{-4,75} \times Q_{pr}^{1,75} \times L_{pr}}{2,75} \right] \quad (\text{V.20})$$
$$= \left[ \frac{0,478 \times D_{pr}^{-4,75} \times Q_{pr}^{1,75} \times L_{pr}}{2,75} \right]$$

$$= 0.5 \text{ mce}$$

$J = 0.5 \text{ mce} < 0.6 \text{ mce} \Rightarrow$  la condition est vérifiée

## 6 Conclusion

Il est clair que le mode d'irrigation goutte à goutte offre meilleure économie d'eau d'une part, d'autre part une pression de 1 bar sera suffisante au goutteur. Contrairement au mode d'irrigation par aspersion qu'il nécessite une pression importante.

## 1 Introduction

Les adductions sont nécessaires pour assurer le transport de l'eau entre le point de captage et le point d'accumulation ou de stockage. Dans la pratique ces points sont relativement éloignés l'un de l'autre, quelque fois ils peuvent se trouver à des distances considérables.

Les ouvrages d'adduction sont généralement de grandes dimensions. Les écoulements y sont le plus souvent unidirectionnels et s'opèrent en régime turbulent.

## 2 Calcul hydraulique

### 2.1 Méthode de calcul (cas gravitaire)

La formule la plus utilisée pour le calcul des pertes de charge pour un écoulement dans une conduite est celle de Darcy-Weisbach (VI.1):

$$\Delta H_t = \frac{K' * L_e * Q^\beta}{D_{av}^m}$$

Avec :

$\Delta H_t$  : Perte de charge totale (m);

$K'$  : Coefficient de frottement ;

$L_e$  : Longueur équivalente de la conduite (m) ;

$L = L_g + L_e$

$L_g$  : Longueur géométrique de la conduite (m) ;

$L_e$  : Longueur équivalente des pertes de charge singulière (m) ;

Dans le cas des adductions, les pertes de charge singulières sont estimées à **15%** des pertes de charge linéaires, formule suivante (VI.2) :

$$\Delta H_t = 1,15 * \Delta H_p^{lin} \Rightarrow L_e = 1,15 * L_g$$

Avec :

$\Delta H_t$  : Pertes de charge totale (m) ;

$\Delta H_l$  : Pertes de charge linéaire (m).

$Q$  : Débit véhiculé par la conduite (m<sup>3</sup>/s) ;

$D_{av}$  : Diamètre avantageux calculé de la conduite (m) ;

$\beta$  : 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  $\beta$  sont donnés dans le tableau VI.1

Tuyau	K'	m	$\beta$
Acier et fonte	0,00179 - 0,001735	5,0 - 5,3	1,9 - 2
Amiante-ciment	0,00118	4,89	1,85
PVC et PEHD	0,001052	4,772	2

**Tableau VI.1** Coefficients K', m,  $\beta$  pour différents types de tuyau.

### 2.1.1 Calcul de diamètre

On déduit alors le diamètre calculé de la conduite gravitaire (VI.3):

$$D_{av} = \sqrt[m]{\frac{K' * L_e * Q^\beta}{\Delta H_t}}$$

On prend le PVC : **K' = 0.001052 ;  $\beta = 2$  ; m = 4.772**

Dans notre cas, on opte pour des conduites en PVC pour tous les tronçons du projet, vu les avantages qu'elles présentent ;

Les tuyaux en matière plastique sont les plus légers de tous les tuyaux. Ils sont faciles à couper, à poser et à assembler si certaines précautions sont prises. Ils ont de très bonnes propriétés hydrauliques et ne sont pas sujets à la corrosion. Toutefois leur résistance mécanique présente une limitation plus sévère que les autres matériaux (Casse pour le PVC, écrasement pour le PEHD).

Le PVC, avec une densité de 1.4 est un matériau particulièrement léger en comparaison aux autres matériaux.

### 2.1.2 La vitesse d'écoulement

Dans le cas des adductions, la vitesse optimale de l'écoulement varie de **0,5 à 2 m/s**. On détermine la vitesse d'écoulement dans la conduite gravitaire en utilisant l'équation de continuité (VI.4):

$$Q = V * S \Rightarrow Q = V * \frac{\pi * D^2}{4} \quad \text{Ainsi: } V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2}$$

**Avec :**

**Q** : débit véhiculé par l'adduction (m<sup>3</sup>/s) ;

**S** : section de la canalisation (m<sup>2</sup>) ;

**V** : vitesse d'écoulement (m/s) ;

**D** : diamètre nominal de la conduite (m).

Les résultats trouvés pour le calcul des diamètres avantageux de ces tronçons sont regroupés dans le tableau suivant:

Tronçon	Débit du tronçon (l/s)	longueur géométrique (m)	Longueur équivalente (m)	AHi (m)	D calculé (mm)
1	456	6395	7354.25	20	587
2	91.35	375.41	431.72	5	221.87

**Tableau VI.2** Diamètres calculés pour différents tronçons de l'adduction.

Tronçon	Débit du tronçon (l/s)	D <sub>calculé</sub> (mm)	V (m/s)
1	456	587	1.69
2	91.35	221.87	2.39

**Tableau VI.3** Vitesses calculés pour différents tronçons de l'adduction.

### 2.1.3 Frais d'investissement

Les frais d'investissement des conduites gravitaires figurent dans le tableau suivant:

Diamètre en (mm)	Prix de ml (DA)	L (m)	F <sub>amort</sub> (DA)
600	4455,52	7354.25	32767007,96
250	5249,96	431.72	2266512,73
<b>Investissement(DA)</b>			<b>35033520,7</b>

**Tableau VI.4** Frais d'investissement des conduites gravitaires.

## 3 Conclusion

Dans ce chapitre, on a déterminé les diamètres de conduites d'adduction afin de satisfaire les besoins en eau des cultures.

A travers notre étude portant sur la qualité des eaux et la conception d'un réseau d'irrigation, nous avons pu prouver la compatibilité des eaux traitées dans la lagune nouvellement installée pour l'irrigation des périmètres dont la seule ressource en eau était l'utilisation des forages individuels.

Les résultats analytiques effectués au niveau du laboratoire ont montrés que les eaux à la sortie de la station répondent aux normes de rejet et peuvent par conséquent être utilisées dans l'irrigation des cultures d'oliviers et de palmiers dattiers.

Le choix de la méthode d'irrigation a été conditionné par le climat et le type de cultures. Enfin de compte, c'est le goutte à goutte qui a été choisi dans ce projet d'irrigation.

La réalisation de ce projet contribuera énormément dans le développement de la zone étudiée notamment en matière d'agriculture.

- [1] l'encyclopédie libre « Wikipédia » (site internet).
- [2] Office National de Métrologie de Ghardaïa, données 2011.
- [3] Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire Ghardaïa (D.P.A.T), données 2010.
- [4] Direction des Services Agricoles (Ghardaïa), données 2010.
- [5] Logiciel Google Earth, Mise à jour Octobre 2011.
- [6] Agence National Des Ressources Hydriques (Ghardaïa), document d'irrigation, 2011.
- [7] STEWART P. « Quotient pluviothermique et dégradation biosphérique ». *Bull Soc Hist Nat Afri Nord* 1969, 116p.
- [8] MICHEL LEROY, PIERRE GRÉGOIRE « Mesures en météorologie». *Traité mesures et analyses*, R3 050 v 2, Techniques d'ingénieur.
- [9] FANNY HOURLIER, CATHERINE FAUR, CLAIRE GÉRENTE, ABDEL LAKEL, ANTHONY MASSÉ, PASCAL JAOUEN ET PIERRE LE CLOIREC « Eaux grises : caractérisation, traitement et recyclage». *Traité gestion des eaux*, W 6 700 - 1, Techniques d'ingénieur.
- [10] ANTOINE MONTIEL « Eaux destinées à la consommation humaine, Risques sanitaires, contrôle et réglementation». *Traité Eau : propriétés, qualité, valeurs d'usage*, W2 002- 1, Techniques d'ingénieur.
- [11] ABDELKADER GAÏD « Traitement des eaux résiduaires». *Traité Gestion de l'eau*, W2 002- 1, Techniques d'ingénieur.
- [12] Prudencio PERERA et Bernard BAUDOT « Guide, procédés extensifs d'épuration des eaux usées». Office International de l'eau 2001, 56p.
-

[13] CLUZEL F. « diagnostic comparé de système d'assainissement autonomes. Application aux systèmes semi-collectifs », DDASS de Loire-Atlantique, Ecole Nationale de la santé publique, Rennes 1993, 89p.

[14] DUCHEMIN J. « Effluents domestiques et phosphore : le rendement des filières d'assainissement autonome, in Phosphore des villes... Phosphore des champs - journée d'échanges techniques du 13 décembre 1994, Ministère des Affaires Sociales de la Santé et de la Ville, DDASS d'Ille-et-Vilaine, DDASS de Loire-Atlantique, France, Derval 1994, 76p.

[15] PHOCAIDES A. « Manuel des techniques d'irrigation sous pression », Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Seconde édition, Rome 2008, 28p.

[16] COMPAORE M. L. « Cours de Micro Irrigation », E.I.E.R, Mars 2003, 14p.

[17] CTGREF. « Manuel de calcul d'un réseau d'irrigation goutte à goutte », Traduction de la brochure américaine Trickle irrigation design de J. Keller, Utah State University, Logan, USA et D. Karméli, 1975, 39p.

---