



UNIVERSITE DE OUARGLA

N° d'ordre :
N° de série :

**FACULTÉ DES SCIENCES
ET SCIENCES DE L'INGÉNIEUR**

DÉPARTEMENT DES SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MAGISTER

Spécialité : Aménagement Hydraulique
et Génie civil

Option : Ouvrages hydrauliques
en milieu saharien

Par : SEKKOUM Mohamed

Thème

**Contribution à l'étude de l'irrigation au goutte
à goutte par les eaux usées traitées issues d'une
laiterie (Cas du Sudlait d'Igli, W.Béchar)**

Soutenu publiquement le : 05/05/2004

Devant le jury composé de :

Mr. BENTEBBA Mohamed Tahar	M.C.	Univ. de Ouargla	Président
Mr. DADAMOUSA Belkhier	M.C.	Univ. de Ouargla	Examineur
Mr. MESSAITFA Amar	M.C.	Univ. de Ouargla	Examineur
Mr. SEKKOUTI Nadir	M.A.C.C.	Univ. de Ouargla	Examineur
Mr. DRAOUI Beelkacem	M.C.	C U. de Béchar	Rapporteur
Mr. CHERITI Abdelkarim	M.C.	C U. de Béchar	Co-rapporteur

2003-2004

à mes parents

à mes frères et sœurs

Remerciements

Le travail qui fait l'objet de ce mémoire a été réalisé au Laboratoire des Energies Renouvelables et Thermique des Serres en Région Saharienne (LERTSRS), dirigé par **Dr B.DRAOUI**, Maître de Conférences au Centre Universitaire de Béchar, qu'il trouve ici toute ma gratitude pour son encadrement, ses grandes qualités humaines ainsi que pour sa rigueur scientifique, qu'il a su me communiquer et les conditions adéquates qu'il m'a offert pour mener au mieux ce travail de recherche.

Une partie du travail a été effectuée dans l'équipe Eau – Argile du laboratoire de Phytochimie et Synthèse Organique (LPSO) du Centre Universitaire de Béchar. J'exprime toute ma reconnaissance au Directeur du laboratoire, **Dr A. CHERITI** pour les facilités du travail et ses encouragements, ainsi qu'aux Messieurs **F.TALHI** et **H.HOUCEINI**, pour leurs aides précieuses et leurs conseils.

Je remercie **Dr M. T. BENTEBBA**, Maître de Conférences à la faculté des sciences et sciences de l'ingénieur de l'Université de Ouargla, d'avoir accepté de présider le jury, qu'il trouve ici l'expression de ma profonde et respectueuse reconnaissance.

Je remercie très vivement **Dr A. MESSAITFA**, Maître de Conférences à la faculté des sciences et sciences de l'ingénieur de l'Université de Ouargla, pour l'Honneur qu'il me fait pour juger ce travail.

Mes vifs remerciements à **Dr B. DADAMOUSA**, Maître de Conférences et Doyen de la faculté des sciences et sciences de l'ingénieur de l'Université de Ouargla pour l'honneur qu'il me fait en acceptant de participer au jury de ce mémoire.

Ma gratitude et mes vifs remerciements vont à **Mr N. SEKKOUTI**, Maître Assistant chargé de cours à la faculté des sciences et sciences de l'ingénieur de l'Université de Ouargla, pour l'honneur qu'il me fait en acceptant de juger ce travail.

Enfin, je remercie le personnel du Sudlait d'Igli, et mes amis des laboratoires LERTSRS, LPSO et de l'Université de Ouargla avec lesquels j'ai eu le plaisir de travailler, que tous veuillent bien trouver ici l'expression de ma reconnaissance et de ma profonde amitié.

Résumé :

Le présent travail vise la valorisation des eaux usées traitées de la laiterie Sudlait d'Igli pour une utilisation antérieure en irrigation à savoir l'irrigation. Pour cela nous avons procédé à une série d'analyse physico-chimique des eaux usées et traitées. La comparaison des résultats d'analyses au norme locale a confirmé la non pollution de ces eaux traitées.

Nous avons procédé au dimensionnement de notre réseau d'irrigation au goutte à goutte qui peut garantir une économie d'eau de 80% par rapport au système gravitaire pour notre parcelle d'étude de deux hectares cultivés au palmier dattier sur la base des besoins en eau de ce dernier estimé à 4,8mm /j.

Enfin nous avons essayé de connaître le coût de l'énergie électrique dépensé en pompage d'eau pour pouvoir proposer l'utilisation de l'énergie solaire (photovoltaïque) dans le pompage d'eau surtout pour les zones arides et isolées.

Mots clés : Oasis d'Igli, palmier dattier, laiterie, irrigation, goutte à goutte, épuration, photovoltaïque.

ملخص:

هذا العمل ينطرق إلى إعادة الاعتبار للمياه المستعملة المعالجة لمصنع الحليب جنوب إقلي لغرض الاستعمال في الزراعة عن طريق السقي . ومن أجل هذا الغرض قمنا بمجموعة من التحاليل الفيزيوكيميائية للمياه غير المعالجة و المعالجة . مقارنة نتائج تحاليل المياه المعالجة مع القواعد المحلية و التي أثبتت عدم تلوثها . قمنا بدراسة إبعاد شبكة السقي بالتقطير و التي تؤمن اقتصاد في المياه حوالي 80% مقارنة بنظام السقي الجاذبي لقطعتنا الأرضية ذات مساحة مقدرة بهكتارين مزروعة بنخيل التمور و التي تغطي حاجياتها المائية المقدرة بـ 4,8 مم / يوم . في الأخير حاولنا معرفة ثمن الطاقة الكهربائية المصروف لضخ المياه من أجل اقتراح استعمال الطاقة الشمسية – الفوتوفولطايك- في ضخ المياه خاصة في المناطق الجافة و المعزولة.

الكلمات الدالة : واحة إقلي, نخيل التمور, مصنع الحليب, السقي بالتقطير, المعالجة, الفوتوفولطايك.

Summary :

This work aims at the valorization of treated worn water of the dairy Sudlait of Igli for a former use in agriculture has to know the irrigation. For that we proceeded to a series of physicochemical analysis of worn and treated water. The comparison of the results of analyses to the local standard confirmed that are not pollution of this treated water.

We carried out the dimensioning of our network of irrigation by micro irrigation which can guaranteed a saving in water of 80% per contribution to the gravitating system for our piece of study of two hectares cultivated with the date palm on the basis of the requirements out of water for this estimated last 4,8mm /day.

Finally we tried to know the cost of the electric power spent in water pumping to be able proposed the use of solar energy (photovoltaic) in the water pumping especially for the arid and isolated regions.

Key words: Oasis of Igli, date palm, dairy, irrigation, micro irrigation, purification, photovoltaic.

Résumé : Contribution à l'étude de l'irrigation au goutte à goutte par les eaux usées traitées issues d'une laiterie (Cas du Sudlait d'Igli, W.Béchar).

Le présent travail vise la valorisation des eaux usées traitées de la laiterie Sudlait d'Igli pour une utilisation antérieure en irrigation a savoir l'irrigation. Pour cela nous avons procédé à une série d'analyse physico-chimique des eaux usées et traitées. La comparaison des résultats d'analyses au norme locale a confirmé la non pollution de ces eaux traitées.

Nous avons procédé au dimensionnement de notre réseau d'irrigation au goutte à goutte qui peut garantie une économie d'eau de 80% par apport au système gravitaire pour notre parcelle d'étude de deux hectares cultivés au palmier dattier sur la base des besoins en eau de ce dernier estimé a 4,8mm /j.

Enfin nous avons essayé de connaître le coût de l'énergie électrique dépensé en pompage d'eau pour pouvoir proposé l'utilisation de l'énergie solaire (photovoltaïque) dans le pompage d'eau surtout pour les zones arides et isolées.

Mots clés : Oasis d'Igli, palmier dattier, laiterie, irrigation, goutte à goutte, épuration, photovoltaïque.

ملخص: مدخل الى دراسة نظام السقي بالتقطير بالمياه المستعملة المعالجة الناتجة عن مصنع حليب (حالة جنوب إقلي , ولاية بشار)

هذا العمل يتطرق إلى إعادة الاعتبار للمياه المستعملة المعالجة لمصنع الحليب جنوب إقلي لغرض الاستعمال في الزراعة عن طريق السقي . ومن أجل هذا الغرض قمنا بمجموعة من التحاليل الفيزيوكيميائية للمياه غير المعالجة و المعالجة . مقارنة نتائج تحاليل المياه المعالجة مع القواعد المحلية و التي أثبتت عدم تلوثها.

قمنا بدراسة إبعاد شبكة السقي بالتقطير و التي تؤمن اقتصاد في المياه حوالي 80% مقارنة بنظام السقي الجاذبي لقطعتنا الأرضية ذات مساحة مقدره بهكتارين مزروعة بنخيل التمور و التي تغطي حاجياتها المائيه المقدره بـ 4,8 مم / يوم.

في الأخير حاولنا معرفة ثمن الطاقة الكهربائية المصروف لضخ المياه من أجل اقتراح استعمال الطاقة الشمسية – الفوتوفولطايك- في ضخ المياه خاصة في المناطق الجافة و المعزولة.

الكلمات الدالة : واحة إقلي, نخيل التمور, مصنع الحليب, السقي بالتقطير, المعالجة, الفوتوفولطايك.

Summary: Contribution to the study of the irrigation to drop by drop by treated worn water resulting from a dairy (Case of Sudlait d' Igli, W.Béchar).

This work aims at the valorization of treated worn water of the dairy Sudlait of Igli for a former use in agriculture has to know the irrigation. For that we proceeded to a series of physicochemical analysis of worn and treated water. The comparison of the results of analyses to the local standard confirmed that are not pollution of this treated water.

We carried out the dimensioning of our network of irrigation by micro irrigation which can guaranteed a saving in water of 80% per contribution to the gravitating system for our piece of study of two hectares cultivated with the date palm on the basis of the requirements out of water for this estimated last 4,8mm /day.

Finally we tried to know the cost of the electric power spent in water pumping to be able proposed the use of solar energy (photovoltaic) in the water pumping especially for the arid and isolated regions.

Key words: Oasis of Igli, date palm, dairy, irrigation, micro irrigation, purification, photovoltaic.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
<u>CHAPITRE 1 : Synthèse Bibliographique</u>	
1.1 Introduction	3
1.2 La qualité d'eau dans les zones arides	3
1.3 Effet de la qualité des eaux sur l'agriculture	4
1.4 Les besoins de qualité d'eau dans l'irrigation	4
1.5 L'eau d'irrigation et la salinité	6
1.6 L'exigence de la qualité d'eau d'irrigation	9
1.7 Aperçu historique sur la réutilisation d'eau	9
1.8 Utilisation des eaux usées traitée pour l'irrigation	10
1.9 La réutilisation d'eaux usées traités dans l'industrie	11
1.10 Utilisation des eaux recyclées pour l'irrigation des jardins	12
1.11 Traitement et réutilisation des eaux usées dans les pays arabes	13
1.11.1 Cas de l'Arabie saoudite	14
1.12 Les Bienfaits de la réutilisation	14
1.13 L'irrigation par goutte à goutte	16
1.14 Irrigation par goutte à goutte pour la revégétation des zones arides	17
1.15 La ressource en eau et les prévisions sur son évolution	18
<u>CHAPITRE 2 : Présentation de la région</u>	
2.1 Présentation de la région	21
2.2 Etude Climatiques	22
2.2.1 Température	22
2.2.2 Pluviométrie	23
2.2.3 Vents	23
2.2.4 Evaporation	24
2.2.5 Ensoleillement	24
2.3 L'analyse climatique	25
2.3.1 Climagramme et quotient pluviométrique d'Emberger	26
2.4 Etude pédologique de la région d'Igli	28
2.5. Potentiels de la région	29
2.5.1 Ressource Hydrique	29
2.6 Investissement de l'état	30
<u>CHAPITRE 3 : Fabrication du lait et traitement de rejet</u>	
3.1 Présentation de l'usine de la fabrication de lait	32
3.2 Choix du site de l'usine	32
3.3 Fabrication de lait et du lait fermenté	33
3.4 Origine de la pollution des eaux de laiteries	34
3.5 Station d'épuration	34
3.6 Procédés actuellement utilisés pour le traitement des effluents concentrés	35
3.6.1 Les cultures libres	36
3.6.2 Les cultures fixées sur supports grossiers	36
3.6.3 Les cultures fixées sur supports fins	36

3.6.4 Le stockage épandage	37
3.6.5 Les procédées anaérobies	37
3.7 Procédés applicables au traitement des effluents de l'industrie laitière	38
3.7.1 Dégrillage	38
3.7.2 Dégraissage	39
3.7.3 Traitement biologique par boues activées	39
3.7.4 Traitement des boues	39

CHAPITRE 4 : Identification et Analyses Chimiques des eaux usées et épurées de Sudlait (Igli)

4.1 Introduction	41
4.2 Présentation du site d'étude : SUDLAIT	41
4.3 Principaux contaminants et normes des rejets liquides industriels	43
4.4 Méthodes et résultats d'analyse chimiques	45
4.4.1 Prélèvements et échantillonnages	45
4.4.2 Méthodes d'analyses	45
4.4.3 Protocoles d'analyses	46
4.4.3.1 Mesure de la température	46
4.4.3.2 Mesure de pH	47
4.4.3.3 Dosage de l'alcalinité	47
4.4.3.4 Détermination de la dureté totale	48
4.4.3.5 Dosage du Calcium	49
4.4.3.6 Dosage du Magnésium	49
4.4.3.7 Le Dosage des Chlorures	49
4.4.3.8 Dosages des Nitrites	50
4.4.3.9 Dosages des Nitrates	51
4.4.3.10 Dosage des Sulfates	52
4.4.3.11 Dosage des Phosphates	53
4.4.3.11 Détermination de la Demande Chimique en Oxygène (DCO)	54
4.4.3.12 Détermination de la Demande Biologique en Oxygène (DBO)	55
4.4.3.12 Rapport DCO/DBO	55
4.4.3.13 Détermination des matières en suspension (MES)	56
4.4.4 Résultats d'analyse et discussion	56
4.4.5 Conclusion	59

CHAPITRE 5 : Techniques d'irrigation et estimation de l'évapotranspiration

5.1 Techniques et système d'irrigation	60
5.1.1 Introduction	60
5.2 Systèmes d'irrigation	61
5.2.1 L'irrigation par ruissellement	61
5.2.2 L'irrigation par submersion	61
5.2.3 L'irrigation par infiltration	61
5.2.4 L'irrigation par aspersion	62
5.2.5 L'irrigation par micro irrigation	62
5.3 Le choix du système d'irrigation	64
5.4 Calcul de l'évapotranspiration	64
5.4.1 Evaluation des besoins en eau ; l'évapotranspiration	64
5.4.1.1 Définition	64

5.4.2 Evapotranspiration potentielle	65
5.4.2.1 Définition	65
5.4.3 Evapotranspiration maximale ETM	65
5.5 Estimation de l'évapotranspiration potentielle	65
5.5.1 Formule de Blaney et Criddle	66
5.5.2 Calcul de l'évapotranspiration potentielle	67

CHAPITRE 6 : Dimensionnement du réseau d'irrigation

6.1 Evapotranspiration et besoins des cultures, le coefficient cultural	68
6.2 Le déficit pluviométrique	69
6.3 Calcul des besoins en eau	71
6.3.1 Estimation de la pluie efficace P_e	71
6.3.2 Estimation de la réserve R	71
6.4 Calcul des besoins net en eau	72
6.5 Efficience de l'irrigation	73
6.6 Comparaison entre l'irrigation gravitaire et la micro irrigation	73
6.7 Eléments fondamentaux de l'étude du projet	75
6.7.1 Modalités pratiques d'arrosage	75
6.7.1.1 Besoins effectifs	75
6.7.1.2 Débit de pointe	76
6.7.1.3 Débit fictif continue	77
6.7.1.4 Dose d'irrigation	77
6.7.1.5 Fréquence des arrosages	77
6.7.1.6 Main d'eau	78
6.7.1.7 Unité parcellaire d'arrosage	79
6.7.1.8 Nombre de goutteur nécessaire	79
6.7.2 Eléments d'un réseau à la goutte à goutte	79
6.7.2.1 Goutteurs	81
6.7.2.2 Choix des goutteurs	82
6.7.2.3 Rampes	82
6.7.2.3.1 Installation des rampes	82
6.7.2.4 Unité de filtration	82
6.7.3 Données relatives à la parcelle	83
6.7.4 Calcul des caractéristiques hydrauliques du réseau	84
6.7.4.1 Calcul des différents diamètres	84
6.7.4.2 Pour la rampe	84
6.7.4.3 Pour la porte rampe	84
6.7.4.4 Pour la conduite secondaire	84
6.7.4.5 Pour la conduite principale	84
6.7.5 La durée d'arrosage	84
6.7.6 Calcul des pertes de charges dans les rampes	85
6.8 Choix de la pompe	86
6.8.1 Généralité	86
6.8.2 Courbes caractéristiques d'une pompe	86
6.8.3 Hauteur manométrique total	87
6.8.4 Détermination du point de fonctionnement de la pompe	88
6.8.5 La puissance absorbé par une pompe	89
6.8.6 Identification de la pompe	89
6.8.7 Calcul du coût de l'énergie électrique	89

6.9 Utilisation de l'énergie solaire pour le pompage d'eau d'irrigation	90
6.9.1 Introduction	90
6.9.2 La nécessité du pompage photovoltaïque	99
Conclusion	91
Références Bibliographiques	94
Annexes	97

INTRODUCTION

Certes, l'homme a fait un énorme progrès pour son bien être en réalisant de multiples prouesses technologiques mais hélas aux détriments de la nature. Actuellement et surtout ce troisième (3^{ème}) millénaire est celui de l'environnement qu'il faut préserver.

Ce travail est en faite une contribution à pouvoir préserver l'environnement et la santé public en traitant de l'eau usée issue d'une laiterie située dans la commune d'Igli au Sud Ouest (W.Béchar) qui serait éventuellement utilisé dans le domaine agricole à savoir l'irrigation.

Hélas le domaine agricole reste parmi les secteurs les plus polluants des ressources souterraines par l'utilisation excessive des engrais chimiques, et d'autre part parmi les grands consommateurs d'eau surtout lorsqu' il s'agit de mauvaise pratique d'irrigation.

Les zones arides (lieu de notre étude) qui sont caractérisées par les faibles précipitations et l'enregistrement durant plusieurs années de sécheresse et des températures assez élevées, la pénurie d'eau rendent l'agriculture impossible sans irrigation.

L'irrigation des cultures nécessite d'abord de bonnes analyses de données climatiques, et pédologiques du site étudié, et par conséquent des connaissances agronomiques qui touches la plante cultivée avec ces stades végétatifs. L'estimation des besoins en eau des cultures passe en premier lieu par le calcul de l'évapotranspiration, une bonne estimation doit être fondé sur l'utilisation d'une formule adéquate avec les contraintes posées par le site étudié.

En outre, ce travail est situé dans une région aride (Sahara) ou un potentiel d'énergie solaire est en abondance, son utilisation peut contribuer efficacement au pompage d'eau ce qui renforce l'idée d'une rationalisation de l'irrigation accompagné d'une utilisation de l'énergie électrique issue du soleil (énergie non polluante).

Puisque la pratique d'irrigation est inéluctable, les méthodes d'arrosages sont diverses est variées chacune avec ses spécificités. Lors de notre études nous avons effectué une étude détaillée de ces techniques où l'irrigation au goutte à goutte présente le précédé le plus

convenable en zone aride suite à ses avantages surtout l'efficacité qui se traduit par une économie d'eau d'irrigation très élevée, car l'eau reste le facteur privilégié et son économie est nécessaire dans la région. Cette eau empêche en outre la remontée des sels nocifs au développement des cultures. En plus de ce qui a été dit le sud présente des conditions climatiques et édaphiques favorables pour le développement des cultures.

Nous avons procédé à une étude de dimensionnement du réseau d'irrigation au goutte à goutte pour notre parcelle d'étude qui est de deux hectares de superficie cultivée par le palmier dattier, ces dernières sont espacées de 10 m de chaque côté.

Le dimensionnement consiste à déterminer les différentes caractéristiques hydrauliques de notre système d'arrosage (débit, pression, perte de charge, diamètre, pompe).

Notre manuscrit est structuré selon 6 chapitres :

- Le premier chapitre consiste en une recherche bibliographique sur les travaux antérieurs de l'utilisation des eaux usées en agriculture, et de l'utilisation de l'irrigation au goutte à goutte dans la zone aride.
- Le second chapitre englobe la présentation de notre site d'étude, qui est la commune d'Igli (W.Béchar) dans son contexte géographique et administratif, ainsi qu'une étude climatique appropriée et un bref aperçu historique sur l'état actuel de l'agriculture dans la région de Béchar.
- Le troisième chapitre est consacré à la présentation de la laiterie d'Igli, les procédés de fabrication du lait et les différentes méthodes actuellement utilisés pour le traitement des rejets.
- Le quatrième chapitre traite les méthodes d'analyses chimiques effectuées au laboratoire sur divers échantillons des eaux usées et épurées du Sud lait (Igli), ainsi que l'interprétation des résultats d'analyse sous leurs comparaisons aux normes locales (Algérienne).
- Le cinquième chapitre est scindé en deux parties, la première aborde la présentation des différentes techniques d'irrigation, la seconde présente une étude plus au moins exhaustive sur l'estimation de l'évapotranspiration (ETP).
- Le sixième chapitre présente le dimensionnement du réseau d'irrigation au goutte à goutte ainsi que la présentation des études relatives à l'utilisation du pompage photovoltaïque.

On achève ce manuscrit par une conclusion générale.

Chapitre 1

Synthèse bibliographique

1.1 Introduction

L'eau est essentielle pour toutes formes de vie, et elle est la ressource fondamentale de la survie des être humains, et de leur développement socio-économique. Les conséquences de l'augmentation des demandes d'eau, elle est devenue rapidement une rare ressource pour plusieurs régions dans le monde, dont ils ont besoin de nouvelles méthodes ainsi que d'innover des approches pour sa conservation et son utilisation judicieuse.

La tendance dans l'agriculture dans les régions arides et semi-arides où l'irrigation prend une place primordiale dans la gestion de pénurie d'eau, car elle utilise plus de 70% de l'alimentation total du monde en eau, et dans certains pays en voie de développement, elle est plus de 90%, comme par exemple : Népal (99%), Sri lanka (96%), Cambodge (94%), Indonésie (93%), Thaïlande (91%) (FAO,1999), dans plusieurs pays l'irrigation est considéré comme un ajout important pour le système de production d'agriculture (Dieter, 2000).

1.2 La qualité d'eau dans les zones arides

Les problèmes de l'eau dans les zones arides et semi-arides sont des problèmes uniques, car elles sont caractérisées par un niveau naturel de salinité très élevé dans le sol, ne permettant pas un équilibre entre la précipitation et l'évaporation, cet environnement présente deux grandes concentrations de matières en suspension et matière dissoute (Water quality).

1.3 Effet de la qualité des eaux sur l'agriculture

Les effets de la qualité des eaux d'irrigation en agriculture sont :

- l'utilisation de l'eau est conditionnée par sa qualité, pour enlever certain type de pollution de l'eau dans certain cas conduit a un investissement très onéreux.
- la qualité de l'eau dans l'agriculture et son utilisation entre dans l'alimentation du bétail, consommation humaine, et l'irrigation, la compréhension de la grande variété des constituants de l'eau limite son utilisation, cependant le seuil provisoire de tolérance de beaucoup de constituant d'eau serve comme guide dans l'évaluation des critère d'eau pour usage particulier.

En 1963, la société du control des ressources en eau de l'état de Californie a publié le premier guide des critères de qualité d'eau" water quality criteria "pour divers utilisation.

En1968, l'administration Fédéral du contrôle de pollution d'eau a publié les critères de qualité d'eau" water quality criteria "avec une accentuation considérable sur la qualité des eaux de besoin en agriculture.

En 1976, l'agence de protection de l'environnement (EPA) a contribué à l'établissement des critères de qualité d'eau (Water quality).

1.4 Les besoins de qualité d'eau dans l'irrigation

Dans le but de résumer les différents paramètres de la qualité d'eau, le tableau 1.1, présente des paramètres chimiques (Peterson, 2000) :

Tableau 1.1 : Directive pour l'interprétation de la qualité d'eaux d'irrigation (modifiée de Ayers et Westcot 1985, Alberta Environnement 1998)

Problème potentiel d'irrigation	Unités	Degré de limitation dans l'utilisation		
		Aucun	Léger ou modéré	Sévère
Salinité (les produits disponible dans l'eau qui peuvent affecter le sol)				
Totale des solides dessous	mg/l	< 700	700-2000	>2000
SAR				
SAR		0-4	4-9	> 9
Les ions spécifiques toxiques (affectent les produits sensibles)				
Sodium (Na⁺)	mg/l	<70	>70	
Chlorure (Cl⁻)	mg/l	<100	>100	
Bore	mg/l	<0.7	0.7-3.0	>3.0
Les divers produits qui peuvent affecter le sol				
Nitrate (NO₃⁻)	mg/l	<5	5-30	>30
Bicarbonate (HCO₃)	mg/l	<90	90-500	>500
pH			rang normal 6.5-8.4	

Pour évaluer une eau d'irrigation selon ces critères, plusieurs tests extensifs chimiques sont requis pour juger sa qualité. Cette évaluation est déterminée au laboratoire, la liste habituelle des critères figure dans le tableau 1.2 :

Tableau 1.2 : Liste des concentrations habituelles des paramètres chimiques dans l'eau d'irrigation (modifiée de Ayers et Westcot 1985)

Paramètres d'eaux	Symbole	Unité	Gamme habituelle dans l'eau d'irrigation
Salinité			
Les sels contenus			
Conductivité électrique	Ecw	DS/m	0-3
(ou)			
Totale des sels dissous	TDS	mg/l	0-2000
Cations et Anions			
Calcium	Ca ⁺⁺	mg/l	0-800
Magnésium	Mg ⁺⁺	mg/l	0-120
Sodium	Na ⁺	mg/l	0-900
Carbonate	CO ₃	mg/l	0-6
Bicarbonate	HCO ₃ ⁻	mg/l	0-600
Chlorure	Cl ⁻	mg/l	0-1100
Sulfate	SO ₄ ⁻⁻	mg/l	0-2000
Nutriments			
Nitrate- Nitrogène	NO ₃ -N	mg/l	0-10
Ammonium- Nitrogène	NH ₄ -N	mg/l	0-5
Phosphate - Phosphores	PO ₄ -P	mg/l	0-2
Potassium	K ⁺	mg/l	0-2
Divers			
Bore	B	mg/l	0-2
Acide – Base	PH	1-14	6.0-8.5
SAR	SAR		0-15

1.5 L'eau d'irrigation et la salinité

La qualité des eaux d'irrigation est très importante, il faut savoir que l'eau retenue dans le sol (solution sol) a une tendance avec le passage du temps de devenir progressivement beaucoup salé. Ce processus a laissé croire qu'il est le responsable de l'échec de beaucoup de projets d'irrigation durant l'histoire de la civilisation.

L'utilisation d'une qualité inférieure d'eau d'irrigation peut affecté le sol par le changement de sa texture (perméabilité et aération).

Une évaluation appropriée des eaux d'irrigation basée uniquement sur les caractéristiques physicochimique de l'eau est très limitée car plusieurs facteurs sont compliqués a évalué.

Premièrement "la solution du sol "est généralement à plusieurs temps est concentré plus que l'eau appliquée, dans certain cas est cent fois plus concentré.

Deuxièmement la plante est très largement tolérante à la salinité.

Troisièmement, le type de sol, conditions climatiques, l'irrigation utilisée et les conditions de drainage sont très importants.

Les sols bien drainés peuvent supporter en satisfaisant une croissance des plantes même si l'eau utilisée est de mauvaise qualité, les sols mal drainés favorisent l'accumulation des constituants indésirable même si les constituants présents dans l'eau sont de faible quantité. Les caractéristiques les plus importantes dans la détermination des critères de l'eau d'irrigation sont :

- 1) la concentration totale des sels dans l'eau (mesuré mg/l ou la conductivité spécifique mesuré par microhms),
- 2) la proportion du sodium par apport de calcium de magnésium en pourcentage,
- 3) bore, chlorure, et sulfate mesuré en mg/l (Water quality).

Le tableau 1.3, résume la classification des eaux d'irrigation.

Tableau 1.3 : Résumé de la classification des eaux d'irrigation

$\frac{\%Na}{\frac{Na \times 100}{Na+Ca+Mg+K}}$	Bore en mg/l	Chlorure en meq/l	Sulfates en meq/l	EC×10 ⁶ a 25°C Conductivité spécifique (concentrations des ions).	Total des sels en meq/l
I- Moins de 30-60% plusieurs travaux récents favorisent la limite 60%	Le Bore recommandé pour l'eau dans cette classe est généralement acceptable à moins de 0.5mg/l; cependant les plantes tolérants ne seront pas blessés jusqu'à 1-1.5mg/l	Moins de 2-5.5	Moins de 4-10	Les travaux ont fixé une limite a environ 500, mais les récents ont accepté jusqu'au 1000	Plus d'environ 700
II-30-75%	0.5-2.0mg/l mais que pour les plantes tolérantes, l'eau avec le Bore plus que 3.35mg/l peut être satisfaisante	2-16	4-20	500-3000	350-2100
III- Plus de 70-75%	Plus de 2 mg/l bien que l'eau avec plus de 1.0 peut être très élevée et inappropriés pour les plantes sensibles	Plus que 6-16	Plus que 12-20	Plus que 2500-3000	Plus que 1750-2100

Chacune des caractéristiques varie relativement et indépendamment les unes des autres, si l'un des facteurs de qualité n'est pas respecté cette eau n'est pas susceptible d'être utilisée en irrigation.

Les sols dans les régions arides et semi aride ont des problèmes spécifiques d'accumulation des sels, qui sont formés sous les précipitations limitées et la rareté de la végétation. La proportion du sodium par rapport à d'autres cations dans l'eau est utilisée pour indiquer l'activité relative du sodium dans l'action d'échange avec le sol. Le risque d'augmentation du sodium dans l'eau qui présente une grande concentration des ions bicarbonate.

L'eau basique peut dissoudre les matières organiques dans le sol, phénomène communément connu sous le terme général 'black alkali'. On ajoute un critère additionnel pour les eaux d'irrigation : l'index RSD (Residual Sodium Carbonate). L'eau contenant plus que 2.5 mg/l de RSD est probablement non utilisable dans l'irrigation, pour un RSD de 2.5 mg/l, l'eau est marginale, et un RSD inférieur à 1.25 mg/l, l'eau est utilisée sans danger.

Tableau 1.4 : Traces des éléments tolérants pour les eaux d'irrigation

Élément	Pour une utilisation continuellement sur tous les sols (mg/l)	Pour une utilisation de courte durée uniquement sur un sol de texture fine (mg/l)
Aluminium	1.000	20.00
Arsenic	1.000	10.00
Béryllium	0.500	1.00
Bore	0.750	2.00
Cadmium	0.005	0.05
Chrome	5.00	20.00
Cobalt	0.200	10.00
Cuivre	0.200	5.00
Fluorure	(¹)	(¹)
Fer	(¹)	(¹)
Plomb	5.000	20.00
Lithium	5.000	5.00
Manganèse	2.000	20.00
Molybdène	0.005	0.05
Nickel	0.500	2.00
Selenium	0.050	0.05
Tin	(¹)	(¹)
Tungstène	(¹)	(¹)
Vanadium	10.000	10.00
Zinc	5.000	10.00

1.6 L'exigence de la qualité d'eau d'irrigation

L'irrigation doit être toujours appliquée avec soin et avec succès sur le sol qui va l'accepter, transmettre, stocker et libérer l'eau aux plantes, et au même moment, la qualité des eaux ne doit pas mettre en danger la structure du sol, et les plantes. Il est très nécessaire de juger la qualité des eaux d'irrigation et leurs influences sur les sols irrigués. Le sol doit être non perméable et retenant l'eau ; si la structure du sol n'est pas maintenue, après des dangers permanents vont se produire. Il est préférable de procéder à une pré irrigation pour faire un programme d'irrigation suivant les caractères des eaux et des sols. Les analyses des eaux d'irrigation doivent inclure (Azano., 2001) :

- Les analyses chimiques des sels (sodium, calcium, sulfate et bicarbonate), conductivité électrique, pH, et SAR(adsorption sodium ratio),
- La fraction du lessivage requis pour les conditions de drainage,
- La distribution mensuelle des précipitations,
- Les analyses du sol doit être composer des profils du sol et ces profondeurs, texture pour chaque horizon,
- La porosité de la zone racinaire,
- Capacité des échanges des cations, pourcentage d'échange du sodium, , conductivité électrique et pH par horizon,

1.7 Aperçu historique sur la réutilisation d'eau

Pour faciliter la communication entre les différents groupes associés avec la réutilisation d'eau, il est important de comprendre la terminologie utilisée dans le domaine de la mise en valeur d'eau. La mise en valeur d'eau usée consiste en son traitement ou application de processus pour la rendre réutilisable à des buts bénéfiques tels que l'irrigation en agriculture ou rafraîchisseurs en industrie. (Azano, 2001).

Nous rassemblons dans le tableau 1.5, des exemples sur le développement historique de la réutilisation d'eau dans différents points du monde.

Tableau 1.5 : Exemples sélectionner de l'historique du développement de réutilisation d'eau dans différents parts du monde

Année	Location	Exemples de réutilisation d'eau
1912-1985	Park d'or public, Sen. Francisco, Californie, USA.	Arrosage de gazon.
1926	Grand parc national, Arizona, USA.	Chasse de toilette, aspersion et arrosage, refroidissement d'eau, et eau de chaudière.
1929	Ville de Pomone, Californie, USA.	Irrigation des jardins
1942	Ville de Baltimore, Maryland, USA.	Refroidissement des métaux et processus de fabrication d'acier
1960	Ville de printemps Colorado, USA.	Irrigation des jardins du golf, parcs, et autoroute
1961	Région des fermes, Californie, USA.	Irrigation, utilisation domestique et industrielle, chasse toilettes
1962	Installations dans la région de Los Angeles, Californie, USA.	Recharge des eaux souterraines par l'utilisation des bassins.
1962	La soukra, Tunisie.	Irrigation des plantes par l'eau récupérer et réduction des sels qui s'infiltrer jusqu'au nappe.
1968	Ville de Windhoek, Namibie.	Récupération des eaux usées pour augmenter le service d'eau potable.
1969	Ville de Wagga Wagga, Australie	Irrigation des jardins de sports, gazon, et cimetières.
1970	Industrie de papier, Sud d'Afrique	Utilisation dans l'industrie du papier.
1976	Pays orange, Californie, USA.	Recharge des aquifères par injection directe à l'usine d'eau.
1977	Ville de St. Petersburg, Florida, USA.	Irrigation des parcs, champ du golf, cours des écoles, jardins résidentiel, et composition des eaux de refroidissements.
1984	Tokyo Métropolitain gouvernement, Japon.	Projets de recyclage d'eau dans la région de Shinjuku et chasse toilettes
1985	Ville d'El Paso, Texas, USA	Recharge des aquifères par injection dans la nappe de Hueco Bolson, et production de l'électricité pour les installations de refroidissements d'eau
1987	Agence régional de contrôle de pollution, Californie, USA.	Etude de la réutilisation d'eau usée en agriculture, et irrigation des légumes
1989	Shoal haven, Australie	Irrigation des jardins et chasse toilettes dans les résidences privés.
1989	Conorci de la Costa Brava, Gerona, Sapin.	Irrigation du champ du golf.

1.8 Utilisation des eaux usées traitée pour l'irrigation

En raison de la persistance du manque d'eau pour l'agriculture, l'utilisation des eaux usées traitées est considérée comme un potentiel alternatif. Biswas (2000), a fait un rapport sur la réutilisation des eaux usées traités dans les

fermes privées et les fermes contrôles par les municipalités. Les volumes utilisés des eaux usées sont donnés dans le tableau 1.6 (Dieter, 2000).

Tableau 1.6 : Volumes utilisées des eaux usées traité dans les fermes privées et contrôlés en Inde

Location	aire (ha)	Volume des eaux usées m ³ /j	Traitement s'il y a lieu	Dilution s'il y a lieu	Taux d'application (m ³ /ha. jour)	Type de sol	Produits agricoles
Ahmadabad	890,3	299,9	Sans	Sans	336,8	Sol sableux	Riz, maïs, blé, herbe
Bhilai	607,0	36,3	Traitement secondaire	Sans	59,9	Sol sableux	Riz, maïs, blé, légume
Delhi	1214,1	227,2	Primaire et secondaire	Sans	187,1	Sol sableux	Orge, maïs, légumes
Jamshedpur	113,3	9,1	secondaire	Sans	80,2	Sol argileux	Herbe, maïs
kan pur	1416,5	31,8	sans	1:1	22,4	Sol limoneux	Blé, riz, maïs, pomme de terre, légumes

A Mexico, la réutilisation des eaux usées pour l'irrigation en agriculture est une pratique commune. Les eaux usées de la ville de Mexico sont utilisées depuis 1890, lorsque trois canaux de drainage sont construits pour transiter les eaux usées en dehors du bassin de la vallée de Mexico. Les eaux usées sont utilisées pour irriguer un espace très important au nord de la ville, 90000 ha (Jiménez, 1999).

1.9 La réutilisation d'eaux usées traitées dans l'industrie

L'industrie (particulièrement alimentaire et de boisson) est les deuxièmes grandes consommatrices des eaux douces. La compétition est grande entre l'agriculture et les centres urbains pour utiliser les eaux douces de qualité supérieure dans leurs alimentations, en particulier dans les régions arides et semi-arides (Abromovitz, 1996).

En générale l'industrie n'a pas de choix mais il faut qu'elle adopte la stratégie de réutilisation d'eau, et de sécurité alimentaire, ce qui assure la

continuité du développement économique, heureusement, il y a beaucoup d'opportunité pour la réutilisation d'eaux usées dans la production des aliments et de boissons (tableau 1.7, (Richard, 2000)).

Tableau 1.7 : Exemples de réutilisation d'eau dans la production des aliments et des boissons

Processus	Potentiel des sources d'eaux	La réutilisation possible d'eau
Production des produits agricoles	Eaux usées/boue	Aquaculture Irrigation
Processus de production des aliments	Eau condensée	Préparation directe des produits
	Eaux des refroidisseurs	Lavage des produits
	Eau	Production des glaces, eau chaude et ruisseau
	Eau de lavage des équipements	Aire conditionner et contrôle d'humidité
	Eau de lavage des produits	Début de rinçage des équipements du processus
	Eau diffusée des membranes de filtration	Lessivage et désinfection des processus
	Eau sanitaire	Eau de Chaudière et extincteur des incendies

1.10 Utilisation des eaux recyclées pour l'irrigation des jardins

Les mesures de conservation d'eau, en particulier l'utilisation des eaux recyclées, avait forcé les paysagistes de répondre sur les voies le maintien des paysages et des jardins, qui souffre de la perte de leurs qualité, et après traitement jusqu'au point approprié de qualité pour une utilisation additionnel bénéfique. Avec l'augmentation de l'utilisation des eaux recyclées partout dans le monde, il faut avoir des connaissances sur la nature des plantes et les façons d'irrigation. Mais il y a plusieurs problèmes rencontrés dans l'utilisation des eaux recyclées dans l'irrigation des jardins du fait que l'eau contient toujours une quantité mesurable des substances insoluble, puisque les eaux d'irrigation dépendent de deux caractères :

La qualité et le type des sels présents dans les eaux usées qui peuvent varier de source en source, généralement les eaux recyclées présentent un niveau très élevé des sels et souvent une grande concentration en ions spécifiques

spécialement le sodium, chlorure, magnésium et parfois, calcium (Asano, Smith, and Tchobanaglon, 1981 et 1984) (Lin Wu, 1998).

1.11 Traitement et réutilisation des eaux usées dans les pays arabes

Dans les pays du moyen orient et d'Afrique du nord, l'eau est la clé du développement. Sachant que Le taux moyen annuel de développement de la démographie est l'un des plus élevés dans le monde (autour de 2.6 pour cent), pendant que la face de la région présente une limite des eaux naturel fourni, les résultats des statistiques montrent que la moyenne des eaux douces renouvelables disponibles chute de 1.433 m³ par an, cependant que plusieurs pays dans la région chute aussi moins que ce chiffre. Par exemple, en 1999 , la moyenne des eaux douces renouvelables disponibles par personne en Jordanie, Tunisie et Yémen était respectivement 148, 434 et 241m³ , et ces valeur vont chuter considérablement en 2025 (banque mondiale, 2001). Alors que, l'eau disponible est de qualité inférieure à cause de l'augmentation de la pollution et du pompage.

La situation est composée par le taux élevé d'urbanisation dans ces régions. Il varie de 1.8 pour cent dans l'Egypte à 4 % dans Palestine et 5.3 % dans Yémen (avec un taux total pour tous les pays de 3.2 %). Avec 79 % de la population vivent dans les cités en Jordanie, et 88 % au Liban, la moyenne de toute la région est de 53 % (secrétariat des nations unis, 2002 et bureau de référence des populations 2002). A l'intérieure de la région environ 80 % des eaux douces sont utilisées dans l'agriculture.

Beaucoup de pays souhaitent augmenter l'alimentation en eau douce pour des usages domestiques et industriels, et au même moment développé l'agriculture irriguée. Par exemple, la Tunisie souhaite alimenté les régions d'agriculture irriguée avec au moins 30000 hectares, et l'Egypte, avec 880000ha (banque mondial, 2002), comment peut ont comprendre cette contradiction des objectifs apparemment réconcilier ? La réponse certes est la gestion des demandes d'eau et d'utilisation rationnelle d'eau à l'intérieure de tous les secteurs. Un élément spécifique est d'utilisé les eaux usées domestiques traitées pour l'industrie, pour quelques travaux des municipalités (eau des toilettes et

d'irrigation des espace verts), et aussi surtout pour la réutilisation agricole urbaine et Puri urbaine.

La réutilisation d'eau a doublé au cours du 21^{ème} siècle, comme un très grand défi, mais l'alimentation d'eau reste limitée et la demande d'eau augmente suite à une escalade de la population. La réutilisation d'eau accomplit deux fonction fondamentale :

1. l'effluent traité est utilisé comme ressource d'eau pour des buts bénéfiques,
2. l'effluent est dégagé en dehors des ruisseaux, lacs, et plages; a fin de réduire la pollution des eaux de surface (Faruqui, 2001).

1.11.1 Cas de l'Arabie saoudite

L'Arabie Saoudite est un pays très chaud, avec un niveau de vie très élevée. La demande de l'eau augmente continuellement, les diverses ressources sont limitées. L'eau de consommation est généralement issue des eaux dessalées. Les normes de qualité d'eau, destinée à la réutilisation est publiée dans un avant projets du ministère de l'agriculture et de l'eau, contient une liste des contamineurs. Ces paramètres était tiré d'une variété de régulation pré existante qui sont : La Compagnie Arabo- Américaine, normes d'ingénieries, normes de qualité d'eau (ARMCOL, 1983), Critères de mise en valeurs des eaux usées, Santé de L'environnement, Etat de Californie (Californie, 1978), réutilisation d'effluent, organisation mondial de La Santé (OMS, 1973) et qualité d'eau pour agriculture, Aliment et organisation d'agriculture (Ayers et Westcot, 1985).

Aujourd'hui l'Arabie Saoudite a publié ces propres normes dans le domaine de la réutilisation des eaux usées pour le domaine d'agriculture, mais il existe un problème pour l'application de ces normes sur terrain (Abu-Rizaiza, 1998)

1.12 Les Bienfaits de la réutilisation

Il y a plusieurs bienfaits dans l'utilisation des eaux usées traitées. Premièrement, elle préserve la qualité supérieure d'eau douce aussi chère pour l'utilisation en alimentation d'eau potable, Le prix de traitement secondaire pour

les eaux usées d'origine domestique, et d'une moyenne de 0,5\$ /m³, et moins chère par rapport au développement des nouvelles méthodes d'alimentation d'eau potable dans la région (banque mondial, 2000).

Deuxièmement, la collecte et le traitement d'eaux usées protègent les ressources existantes de valeurs d'eau douce, l'environnement et la santé publique. En effets, le traitement et la réutilisation d'eaux usées, non seulement protège les ressources en valeur d'eau douce, mais aussi peut être une recharge supplémentaire des aquifères.

Troisièmement si les eaux usées , sont proprement gérées, peut être bientôt une source supérieur pour l'agriculture , après la source des eaux douces , c'est une source d'eau constante , et le nitrogène, phosphore dans les eaux usées seront utilisés comme un amendement en agriculture pour améliorer le rendement.

Les projets de recherche en Tunisie et l'Arabie Saoudite ont démontré que les effluents traités présents des caractéristiques chimiques, supérieures par rapport aux eaux d'irrigation, les eaux usées présente un niveau de salinité inférieur (banque mondial, 2000).

Le problème avec l'utilisation des eaux usées si la réutilisation n'est pas prit soigneusement est la menace de la santé publique, le sol et l'eau. Pendant que l'impact sur le secteur de la santé par la réutilisation dans les pays sous développé est les maladies a transmission hydrique causées par les helminthes. Les microbes pathogènes posent la seconde menace la plus large, plus particulièrement lorsque les eaux usées non traitées sont utilisées pour l'irrigation des légumes ou salades qui consomme sans cuisson, ce qui a causé en 1981 la choléra a Amman, en Jordanie . Parfois les eaux usées peuvent salinées les sols, et les graisses qu'elle contient peut réduire la perméabilité du sol et l'aération par le bouchage des pores de même, les microbes pathogènes et nitrates des eaux peuvent contaminer les aquifères.

Cet obstacle est réel, mais n'est pas insurmontable, en 1989, l'organisation mondiale de la santé a publié les conseils de sécurité pour l'utilisation des eaux usées dans l'agriculture et l'aquaculture pour protéger la santé publique. Ces conseils identifie la nécessité de traitement qui dépend de la limite des

irrigations de chaque plante (céréale, industriel, pâturage), ou sans restriction (irrigation des plantes qui se mange sans cuisson, et les parcs publique) le traitement le plus rigoureux dans les conseils de l'OMS peut être doté d'une série de bassins de stabilisation des eaux usées dont la raison d'identifier la combinaison entre le traitement et les corps restreints.

Les conseils de l'OMS résument les méthodes de sécurité des déchets appliquées et le contrôle d'exposition des humains, pour protéger la santé publique. Pour l'instant l'irrigation par aspersion est découragée, surtout lorsque les arbres fruitiers sont irrigués avec les eaux usées traitées, l'irrigation doit être cesser deux semaines avant la cueillette des fruits, et de ne pas ramasser les fruits tomber sur terre. Les plantes et les sols peuvent être protéger facilement par les informations sur les types de plante et de sol sensible a l'irrigation par les eaux usées. Les régions peuvent être protéger surtout lorsqu'il existe des aquifères d'eau de boisson et interdire l'irrigation dans ces régions (Faruqui, 2002) .

1.13 L'irrigation par goutte à goutte

Actuellement il y a une nouvelle technique disponibles dans la revégétation des terrains en pente, appelée la goutte à goutte, qui a été développée en 1960 en terre occupée pour l'irrigation agricole dans les régions arides et pionner par le plus haut département californien de revégétation (De Reemer , 1974).

L'avantage primaire du goutte à goutte est la conservation et l'efficacité de l'utilisation d'eau. Dans les régions qui présentent une pénurie d'eau, elle est devenue une méthode d'irrigation profitable et populaire. Aujourd'hui des milliers d'hectares d'agriculture sont converti en irrigation par goutte à goutte est désigné pour délivrer l'eau (les nutriments sont injectés dans la ligne d'eau) au plantes individuel avec un très faible débit, et cela est accompli avec un émetteur qui limite le flot par constriction. Pour opérer proprement la pression qui doit être régulée de 1 à 2 bars dans la rampe, avec réduction soignée du débit de chaque émetteur (goutteur). La dose d'irrigation est choisie selon la perméabilité du sol pour ne pas déclencher le ruissellement d'eau en surface.

Dans ce cas le maximum d'eau d'irrigation pénètre, et la plante développe l'optimum de sa structure de racine, ce qui est avantageux dans la revegetation des zones arides parce que la plante est bien enracinée, et ces racines sont robustes et bien préparées pour survivre sous les pluies naturelles si l'irrigation est enlevée. Aussi dans l'irrigation par goutte à goutte, l'eau est beaucoup mieux utilisée par la plante, moins d'évaporation, et l'irrigation est requise fréquemment.

La plante répond rapidement à l'irrigation par goutte à goutte et la revegetation est très rapide. Le motif d'humidité profonde est de lessiver l'excès des sels et des autres phytotoxines en dehors de la zone racinaire. Aussi, l'eau de mauvaise qualité peut être utilisée dans l'irrigation par goutte à goutte.

L'utilisation de l'irrigation par goutte à goutte à Asarco pour la revegetation des déchets d'une mine dans le sud d'Arizona à Sa Caton donné de bons résultats (Stuart, 1977).

1.14 Irrigation par goutte à goutte pour la revegetation des zones arides

Dans un environnement aride et en terrain en pente, le goutte à goutte est peut être la technique la plus efficace pour l'arboriculture. L'irrigation par goutte à goutte offre plusieurs avantages. Il y a moins de risque pour la coupure de courant liquide, et du phénomène d'érosion dans les zones en pente ; conserve l'eau lorsque cette dernière est coûteuse ou n'est pas disponible (pénurie), il est adaptable pour les endroits éloignés qui n'ont pas de système d'alimentation sous pression. Le goutte à goutte est peut être l'outil le plus valable, réclamé par les ingénieurs et sélectionné comme une technique demandée pour découvrir ces particularités dans les revegetations voulues.

Dans les régions arides le problème principal est la germination des grains et l'établissement des plantes. Avec le sporadique et l'indépendance des pluviométries, chaque tentative de revegetation est souvent dépend de la conservation d'humidité ou les techniques d'irrigation, une fois la revegetation est établie, à travers les techniques qui sont : collier d'humidité, condensation piégée autour des plantes individuelles, la plante peut survivre.

Généralement les problèmes sont liés aux conditions dure du sol, sont pénibles pour la revegetation des terrains pentus est souvent non contourné qui

exclure l'utilisation des équipements. On additionne à ce problème les conditions de sécheresses qui accélèrent le drainage dans le sol (Stuart, 1977).

1.15 La ressource en eau et les prévisions sur son évolution

Les ressources en eau et leurs évolution dans le Nord et le Sud de la méditerranée, on fait l'objet de plusieurs recherches, Cheverry (1998), a analysé les figures (1.1) et (1.2) qui sont extraites d'un document récent du plan Bleu (Ben Blida, 1997) représentant les ressources en eau dans la région méditerranéenne. Elles illustrent bien le contraste qui peut exister entre le Nord et le Sud de la Méditerranée.

La figure 1.1 représente les ressources en eau naturelles renouvelables en Km^3/an , en distinguant les ressources internes (propre au pays), externes (venant d'un autre pays) et le total des deux. On voit déjà assez bien la disproportion qui existe entre le Nord et le Sud de la méditerranée. En ce qui concerne le Maghreb, les ressources sont uniquement internes, ce qui n'est pas le cas de la Syrie ou de l'Égypte.

On peut encore exprimer la ressource en fonction du nombre d'habitation (Figure 1.2), ce qui accentue encore le déséquilibre Nord-Sud. A part le Maroc, la Syrie et le Liban (3000 m^3 par habitant). La plupart des pays du Maghreb et du moyen Orient ont moins de $1000 \text{ m}^3 / \text{ha}/\text{an}$ (767 pour le Maghreb). Un document de l'observation Sahara Sahel (1995), montre que les ressources sont beaucoup plus abondante au niveau du Sahel (Sénégal, Mali Niger, Tchad Soudan, Ethiopie), avec une ressource totale moyenne par habitant de 5655 m^3 .

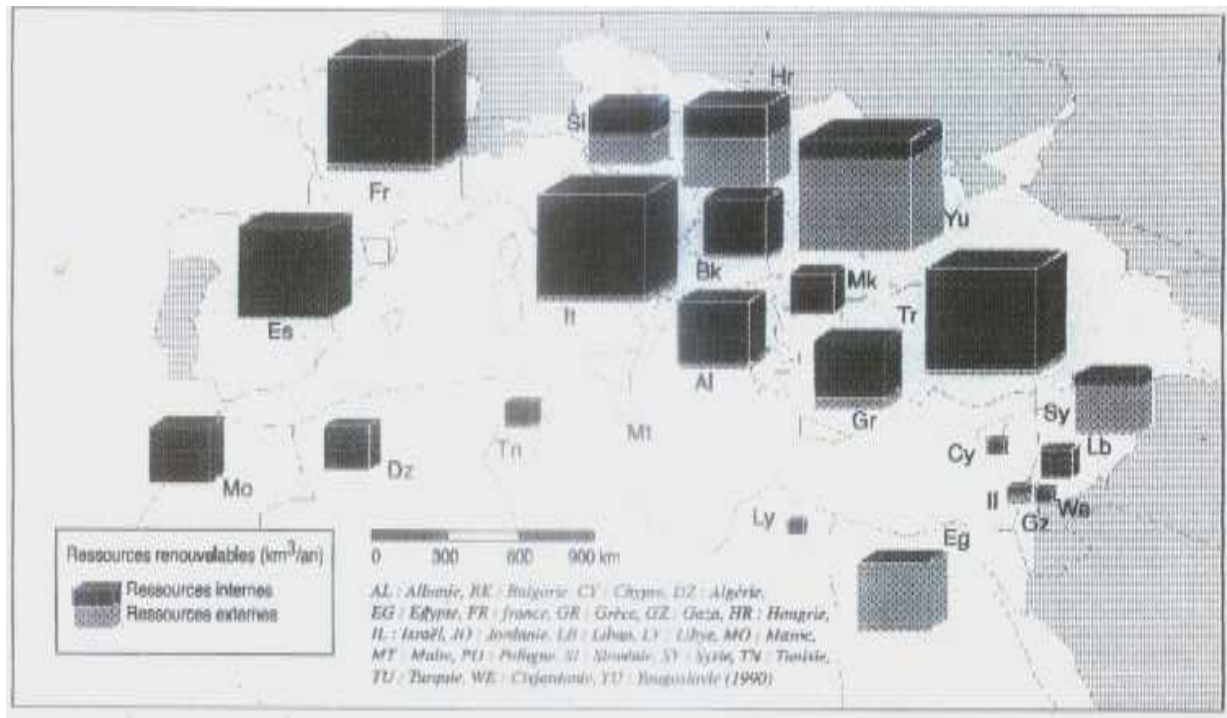


Figure 1.1 : Ressources en eau renouvelables dans les pays méditerranéens

Pour l'Algérie et la Tunisie, il existe deux nappes sahariennes, l'une libre et superficielle, l'autre profonde et captive, mais l'utilisation de cette nappe non renouvelable, pose un certain nombre de problèmes : Eau du complexe terminal très salée, eau du continentale intercalaire, très chaude (50° C) (Daoud et Halitim, 1994).

Exprimée enfin par secteur, la part consacrée à l'agriculture va de 60% pour l'Algérie après 80% le Maroc et la Tunisie 90%, la Libye, l'Égypte, la Syrie.

Le même rapport du plan Bleu montre que la ressource devrait diminuer encore, en moyenne de moitié pour ces différents pays en 2050, alors que la demande, déjà en liaison avec l'accroissement prévu de population (2,2% par an), va augmenter et plus particulièrement dans les secteurs autres que l'agriculture (phénomène de glissement d'usages) Cheverry (1998).

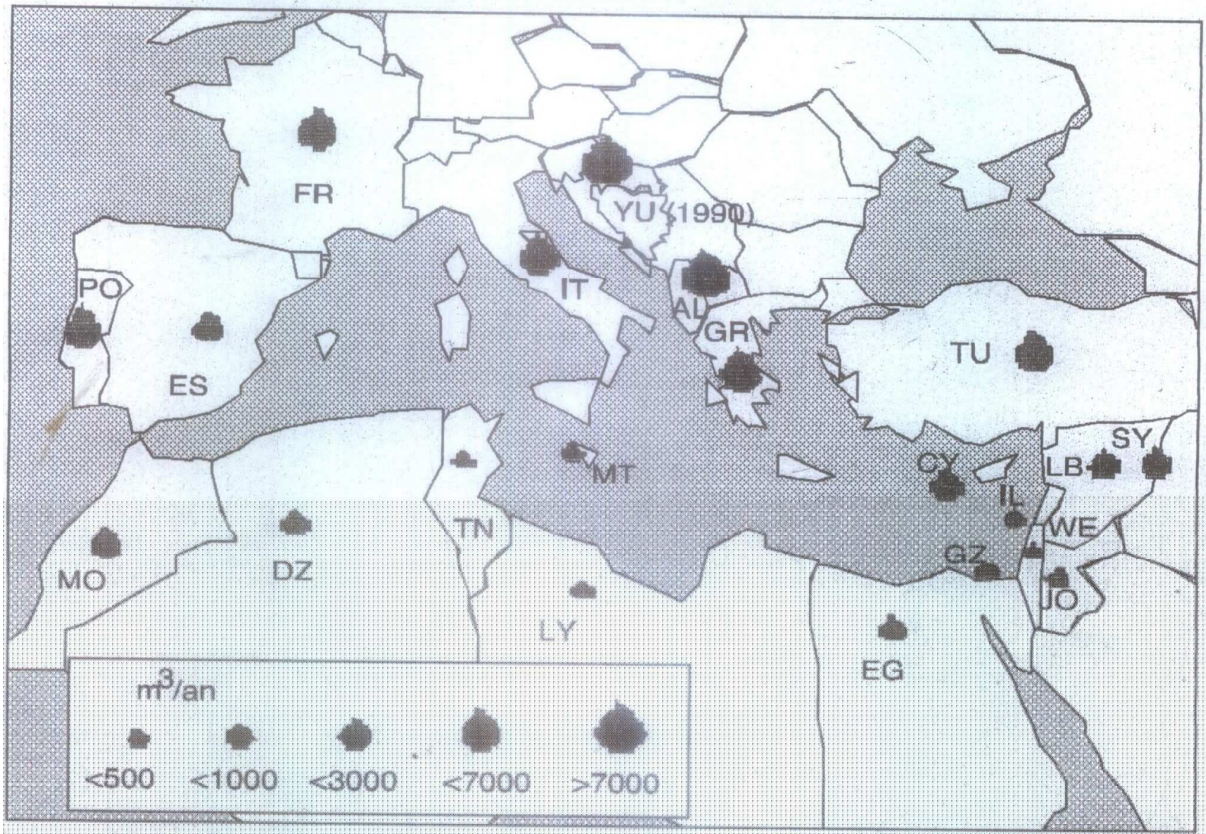


Figure 1.2 : Ressource en eaux naturelles par habitant (1995) dans les pays méditerranéens (moyenne nationale)

Chapitre 2

Présentation de la région

2.1 Présentation de la région

La Daïra d'Igli s'étend sur une superficie de 6320 km², elle est située à 160 Km au sud ouest de la commune de Béchar, (chef lieu de la Wilaya de Bechar), située à 1000 Km de la capitale Alger au flan du sud ouest algérien.

La Daïra d'Igli, qui est l'objet de cette étude est limitée par les communes suivantes :

- Au Nord par les communes suivantes : Taghit, Abadla, et Mechra Houari Boumediene,
- A l'Est et au Sud par la commune de Beni Abbès,
- A l'Ouest par la commune de Tabelbala.

Ces communes sont représentées dans la figure (2.1), suivante :

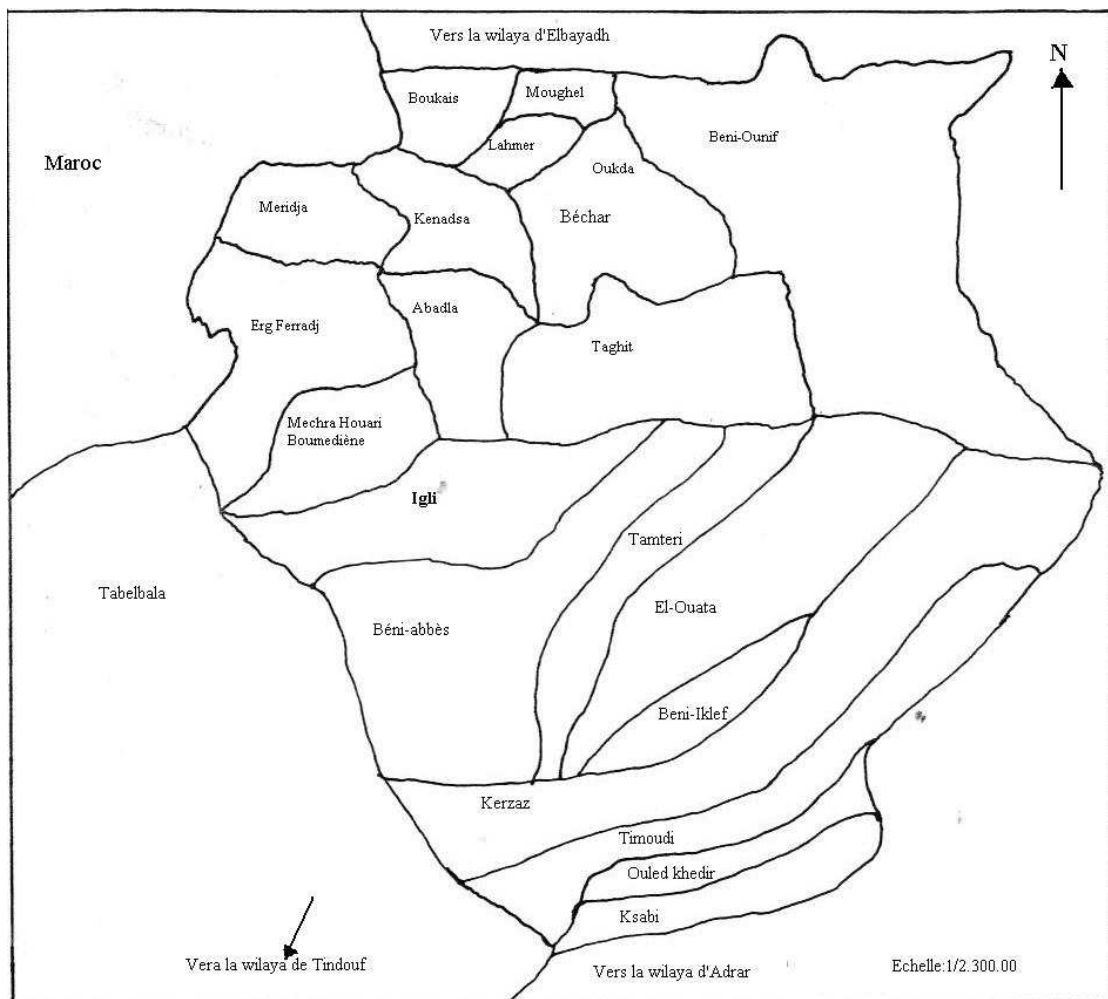


Figure 2.1 : Situation géographique de la daïra d'Igli

2.2 Etude Climatiques

Notre étude est effectuée dans la ville d'Igli qui est située au sud ouest algérien caractérisé par un climat continental (aride). Froid et sec l'hiver chaud et sec l'été avec une très faible pluviométrie.

En ce qui concerne notre étude les principaux paramètres essentiels à notre travail sont :

Les précipitations, les températures et l'évapotranspiration possédant une influence sur le régime hydrologique.

La région d'Igli ne dispose pas de station météorologique (pas de données) mais puisque la ville de Beni Abbès , située à 60 Km d'Igli présente le même type de climat (tableau (2.1)), et doté d'une station météorologique nous avons utilisé les données disponibles correspondantes.

Tableau 2.1 : Situation géographique des deux communes (Igli et Beni abbès)

	Latitude	Longitude	Altitude
Beni Abbès	30° 08'	02° 10' W	505 m
Igli	30° 28'	02° 17'W	510 m

2.2.1 Température

La température est un facteur climatique très important dans la détermination de l'évapotranspiration du sol et des plantes. Le tableau 2.2, montre les valeurs de température, moyenne, minimales et maximales durant la décennie (1990 à 1997).

Tableau 2.2 : Températures moyennes, minimales, maximales durant la décennie (1990 à1997) dans la région d'Igli en °C.

Période	Mois	Classe	JA	FE	MR	AV	MA	JU	JL	AO	SP	OC	NV	DC
1990 à 1997	Moyennes		11,22	14,28	17,95	22 ,0	38,59	32,58	36,33	35,71	30,9	23,9	17,20	12,79
	Minimales		5,29	7,84	11,69	15,89	20,7	25,94	29,73	28,8	24,35	17,29	11,00	6,73
	Maximales		17,76	20,79	23,9	27,83	33,8	39,0	42,21	42,23	37,1	29,54	23,49	19,33

Les valeurs du tableau (2.2), montrent que le mois le plus chaud est celui de juillet où la température atteint 36,33° C, quant au mois où les températures moyennes enregistrées ont basses, est le mois de janvier avec une valeur de 11,22 °C (KADI, 1998).

2.2.2 Pluviométrie

L'alimentation des nappes souterraines et des cours d'eau étant étroitement liée aux pluies qui tombe sur la région. Le comportement des pluies joue plus que tous autres facteurs, un rôle primordial sur les cours d'eau.

Tableau 2.3 : Pluviométrie moyenne mensuelle durant la décennie (1990 à 1997) en mm pour la région d'Igli

Période	Mois	JA	FE	MR	AV	MA	JU	JL	AO	SP	OC	NV	DC	AN
1990 à 1997		1,88	7,0	10,75	2,00	0,75	1,62	0,50	0,88	9,75	2,88	9,50	4,88	4,40
1997		6	0	0	5	1	0	0	0	0	2	0	1	1,24

A travers l'observation du tableau 2.3, on peut dire que la pluviométrie connaît son maximum pendant les mois de Mars (10,75 mm), et Septembre (9,75 mm).

Cette pluviométrie s'affaiblit au mois de Janvier (1,88 mm) et Avril (2,00 mm). On remarque aussi une absence de la pluviométrie pendant les mois de Février, Juin, Juillet, Septembre et Novembre de l'année 1997 avec des valeurs qui varient entre 0 et 6 mm.

2.2.3 Vents

Le vent est un facteur très intéressant en agronomie (irrigation)il faut connaître sa vitesse et son orientation , afin de limiter son action négative sur les plantes ainsi que les équipements , les valeurs moyennes de la vitesse du vent sont représentées dans tableau 2.4.

Tableau 2.4 : Vitesses moyennes des vents durant la décennie 1990 à 1997 dans la région de Béchar (en m/s)

Mois	JV	FV	MR	AV	MI	JN	JL	AO	SP	OC	NV	DC
1990 à 1997	3,1	3,1	4,7	4,9	5,2	5,0	4,3	4,6	4,3	3,1	3,2	2,8

D'après le tableau ci-dessus, la vitesse du vent atteint son maximum pendant le mois de Mai avec une valeur de 5,2 m/s, et elle diminue progressivement jusqu'à sa faible valeur 2,8 m/s au mois de Décembre.

2.2.4 Evaporation

L'évaporation est mesurée sous abri avec un évapomètre piche.

Le tableau 2.5, présente les valeurs de l'évaporation sur la période de (1990 à 1997) (KADI, 1998).

Tableau 2.5 : Evaporation annuelle durant la décennie 1990 à 1997 dans la région d'Igli (en mm)

Année	Evaporation annuelle en mm
1990	*
1991	*
1992	3367
1993	3364
1994	3225
1995	3512
1996	3445
1997	3329

2.2.5 Ensoleillement

Le tableau 2.6, nous donne la variation de la durée d'éclairement de chaque mois pendant la période 1990 à 1997 (KADI, 1998).

Tableau 2.6 : Durée d'ensoleillement dans la région d'Igli mesurer en heure durant la décennie 1990 à 1997

Année	JV	FR	MR	AV	MA	JN	JL	AO	SP	OC	NV	DC	An
1990	238	297	253	298	318	299	640	334	228	*	268	257	*
1991	283	259	295	335	356	362	348	335	306	277	*	*	*
1992	250	185	271	309	*	372	358	344	290	257	273	257	*
1993	238	239	296	317	333	325	346	6	280	280	232	261	3443
1994	253	255	246	348	363	344	407	348	273	261	283	285	3666
1995	302	273	297	303	339	332	379	317	276	283	274	262	3637
1996	237	254	292	327	329	304	347	326	308	304	252	293	3573
1997	249	273	273	308	348	366	340	*	261	254	282	260	*

L'analyse du tableau (2.6), montre que pour l'année 1997, la durée d'ensoleillement a atteint son maximum au mois de Juin (366 heures).

2.3 L'analyse climatique

L'analyse climatique des données de la région d'Igli, permet de déterminer la saison aride et le mois sec, et pour cela on fait appel au diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson établie pour l'année 1997 (KADI, 1998).

Tableau 2.7 : Données des températures mensuelle, et pluviométrie pour établir le diagramme ombrothermique de l'années 1997 pour la région d'Igli

Mois	JV	FV	MR	AV	MI	JU	JL	AO	SP	OC	NV	DC
Température (°c)	13,1	15,6	18,2	22,1	27,8	33,0	37,1	35,4	30,9	24,4	18,8	13,9
Pluviométrie (mm)	6	0	0	5	1	0	0	0	0	2	0	1

On désigne par un mois sec celui dont les précipitations totales exprimés en mm sont égales ou inférieur au double de la température en degré Celsius tel que $P = 2T$ (KADI, 1998).

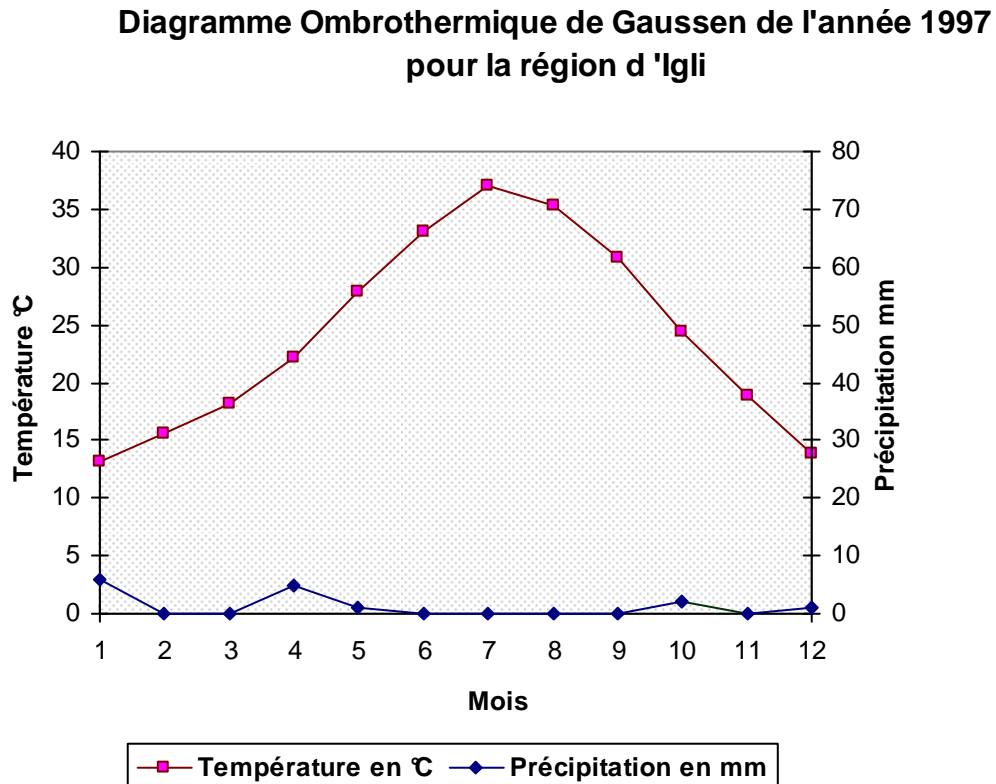


Figure 2.2 : Diagramme ombrothermique de Gausсен de l'année 1997 pour la région d'Igli

Le diagramme ombrothermique de la région d'Igli pour l'année 1997, nous montre l'existence d'une seule et unique période sèche prolongée tout au long de l'année. Cette sécheresse influe d'une façon directe ou indirecte sur la flore et la faune, ainsi que sa répartition (KADI, 1998).

2.3.1 Climagramme et quotient pluviométrique d'Emberger

Le climat est un facteur majeur pour l'établissement de tous projets agricole et afin de bien connaître le climat de la région d'Igli, on utilise un climagramme et le quotient pluviométrique d'Emberger qui se base sur les données des deux paramètres climatique : la température et la pluviométrie.

Le quotient pluviométrique Q_2 est donné par la formule suivante :

$$Q_2 = \frac{P \times 1000}{(T_M + T_m) \times (T_M - T_m)} \quad (2.1)$$

Q_2 : quotient pluviométrique ,

P : total de pluviométrie annuelle (mm) ,

T_M : moyenne de température maximale du mois le plus chaud (°K),

T_m : moyenne de température minimale du mois le plus froids ($^{\circ}\text{K}$).

Cette équation à été, reformulé par STEWART (1968) et WOJTERSKI (1985), qui la modifier et la rendre de la forme suivante :

$$Q_2 = 3,43 \times \frac{P}{(T_M - T_m)} \quad (2.2)$$

Il a gardé les mêmes paramètres, mais les températures T_M et T_m mesurées en degré Celsius ($^{\circ}\text{C}$).

$$P = 52,49 \text{ mm}$$

$$T_M = 42,23 \text{ }^{\circ}\text{C} \Rightarrow Q_2 = 3,43 \times \frac{52,49}{(42,23 - 5,29)} \Rightarrow Q_2 = 4.8$$

$$T_m = 5,29 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Le climagramme construit par Emberger (figure 2.3) définit les différents étages climatiques :

Saharien, Aride, Semi aride, Subhumide. Pour chaque étage climatique correspond une variance thermique ou sous étage : d'après le climagramme figure 2.3, notre région est située dans l'étage Saharien avec un hiver doux.

Climagramme d'Emberger pour la région d'Igli

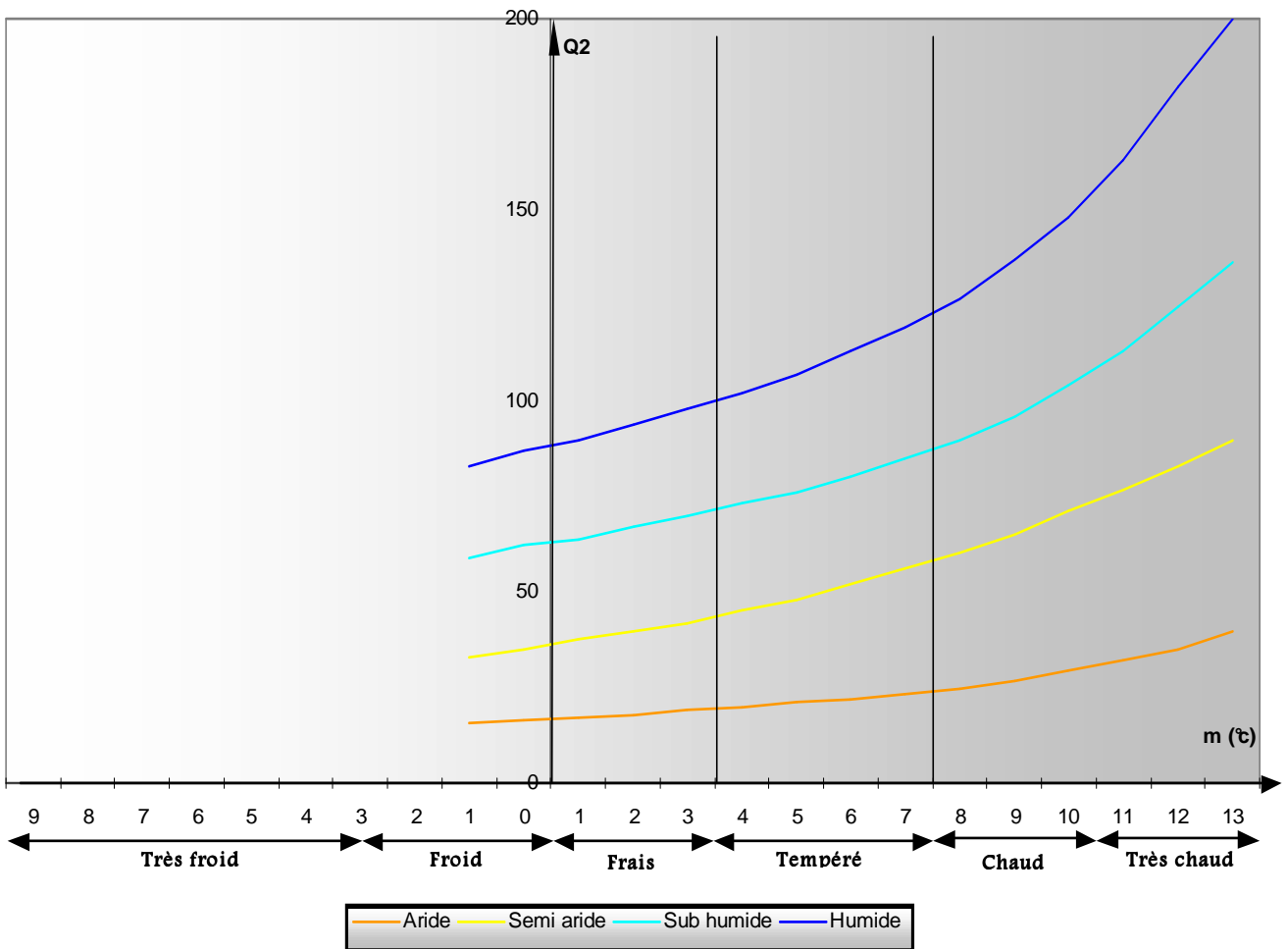


Figure 2.3 : Climagramme d'Emberger pour la région d'Igli

2.4 Etude pédologique de la région d'Igli

La mise en valeur des terres du Sahara, nécessite beaucoup de moyens humains et matériels avec une mobilisation de plusieurs secteurs, Hydraulique et Agronomique qui doivent travailler en collaboration entre leurs services.

La mise en valeurs de ces terres doit passer par un certain nombre d'opération qui peuvent donner la naissance de grands périmètres, en commençant par une étude pédologique du sol.

Pour notre région, on se base sur l'étude réalisée par *les secteurs d'Agronomie et de Pédologie du service des études scientifique Appliquées à l'Hydraulique, faite en 1953.*

Ces expériences ont été faites dans la zone située au nord de la localité d'Igli, en rive gauche de la Saoura dont la vallée orientée du Nord West au Sud Est, et encaissée entre la Hamada du Guir et le grand Erg, et sur sa terrasse moyenne.

Une reconnaissance effectuée à la fin de 1953, avait montré que les terrains étaient constitués par des alluvions limono-argileuses ou limono-sableuses, bien pourvues en Potasse, dont le pH variait de 7,7 à 8 et la teneur en Chlorures solubles de 3,510 ‰ à 12,635 ‰, la plus forte concentration saline étant localisée entre 0,30 et 0,70 m.

L'étude des sols a confirmée la nature alluviale de ces sols soulignée par l'existence d'un horizon formé d'alternance de fins lits de sable et d'Argile (Simonneau, et al 1958).

2.5 Potentiels de la région

2.5.1 Ressource Hydrique

D'après le rapport établi par les services de la direction des Services Agricoles de la Wilaya de Béchar (1998), la Daïra d'Igli dispose d'un potentiel d'eau très important.

- *Pour les Eaux Superficiels :*

La ville d'Igli est traversée par Oued Saoura qui naît de la rencontre des deux Oueds Zouzfana et l'Oued Guir, les eaux de ces Oueds proviennent essentiellement des montagnes de l'Atlas Saharien relativement bien arrosées. Ces eaux alimentent la nappe de l'infero-flux.

- *Pour les Eau Souterraines :*

Ce sont des nappes de Calcaire Carbonifères du Visien Supérieur, Namurien inférieur, d'une profondeur de 10 à 20 m, appartenant à l'âge primaire.

Le palmier dattier occupe la grande superficie de 304 ha avec un nombre de pieds de 304600 et d'une production de 25 kg /Pieds.

Après la mise en état du Programme nationale du Développement Agricoles, plusieurs actions ont été entreprises.

2.6 Investissement de l'état

Créé en 1991, le Fond National du développement Agricole (FNDA) avait pour vocation le financement en totalité ou en partie les actions de développement tendant à :

- La mise en valeurs de nouvelles terres,
- La mobilisation de la ressource hydrique,
- L'extension des superficies irriguées.

- *Les actions retenue*

Les actions techniques d'intérêt commun préconiser par la convention (cette opération est ordonnées par le commissariat au développement de l'agriculture des régions sahariennes (CDARS) de Ouargla et la DSA de Béchar) sont :

- Curage et réflexion réseau d'irrigation,
- Réflexion et aménagement des pistes,
- Débroussaillage et désherbage,
- Taille,
- Arrachage palmiers improductifs,
- Arrachage rejets.

Une action supplémentaire a été introduite, qui est celle de la confection des brises vents traditionnelles (à la base de palmes) qui en plus de sa caractéristique de protection appréciable contre le vent et le sable contribue à empêcher le passage du cheptel sur les parcelles.

- *Réalisation physique*

Les actions préconisées par la convention ont été globalement respectées et menées.

Tableau 2.8 : Actions entrepris par l'état de l'année 1996 et 1997

Action	Taille	Arrachage	Arrachage	Confection	Désherbage	Ouverture
Année	pieds	palmier	rejets pied	brise vent	ha	des pistes
1996	8711	168	1180	3679	13,9117	*
1997	5847	229	476	7718	0,6878	*

Les actions qui concernent les réseaux d'irrigation sont présentées au tableau 2.9, pour l'année 1996 et 1997 :

Tableau 2.9 : Actions entrepris par l'état pour les réseaux d'irrigation

	Seguias (ml)	Bassins (U)	Sources (U)	Puits (U)	Surface reprise à l'irrigation (ha)
En 1996	4781	07	5	5	60
En 1997	3825	5	*	35	176

Chapitre 3

Fabrication de lait et traitement de rejet

3.1 Présentation de l'usine de la fabrication de lait

L'usine se trouve à environ 2 Km au Nord de la ville d'Igli, à son entrée principale sur la route qui relie Béchar à Igli, construite en 1986 par une société Française (Agroéquipement), et elle est conçue pour produire jusqu'à 40000 litres de lait pasteuriser par jour et 10000 litres par jour de lait fermenté, elle occupe un espace de 2 hectares, et constitué de :

- un atelier de fabrication,
- un bâtiment de stockage des matières,
- des locaux pour gardien, transformateurs et groupe,
- et une station d'épuration pour le traitement des rejets laitiers.

3.2 Choix du site de l'usine

Pour pouvoir répondre à cette question, il faut connaître le but de l'implantation de cette usine dans cette zone du Sud Ouest Algérien et en particulier dans la région de Béchar, cette implantation a été faite sur la base de quelques paramètres techniques et économiques. Premièrement l'usine a été construite pour alimenté les trois Wilayats à savoir : Béchar, Adrar et Tindouf surtout en période de crise par exemple : le mois de Ramadan.

Pour le site d'Igli, il accomplis plusieurs paramètres techniques et économique qui sont :

- l'eau de production de lait devrait être de très bonne qualité physique et chimique,
 - l'existence d'un exutoire naturel pour les eaux de rejets traitées,
 - la disponibilité des terres agricoles aux alentours de l'usine qui peuvent être mise en valeur à l'aide des eaux recyclées issue de l'usine après traitement,
 - l'emplacement de la ville d'Igli par apport aux trois Wilayats est un paramètre qui a favoris son choix, parce qu'elle se trouve au centre de ces dernières.
-

3.3 Fabrication de lait et du lait fermenté

La fabrication du lait pasteuriser et du lait fermenté se fait sur la base des éléments essentielles qui sont l'eau, la poudre du lait et les matières grasses. Et chaque constituants doit respecter un certains nombres de paramètres de qualité et de quantité.

La chaîne de production du lait est composé de plusieurs tâches planifiées, représentées dans le schéma figure 3.1 suivant :

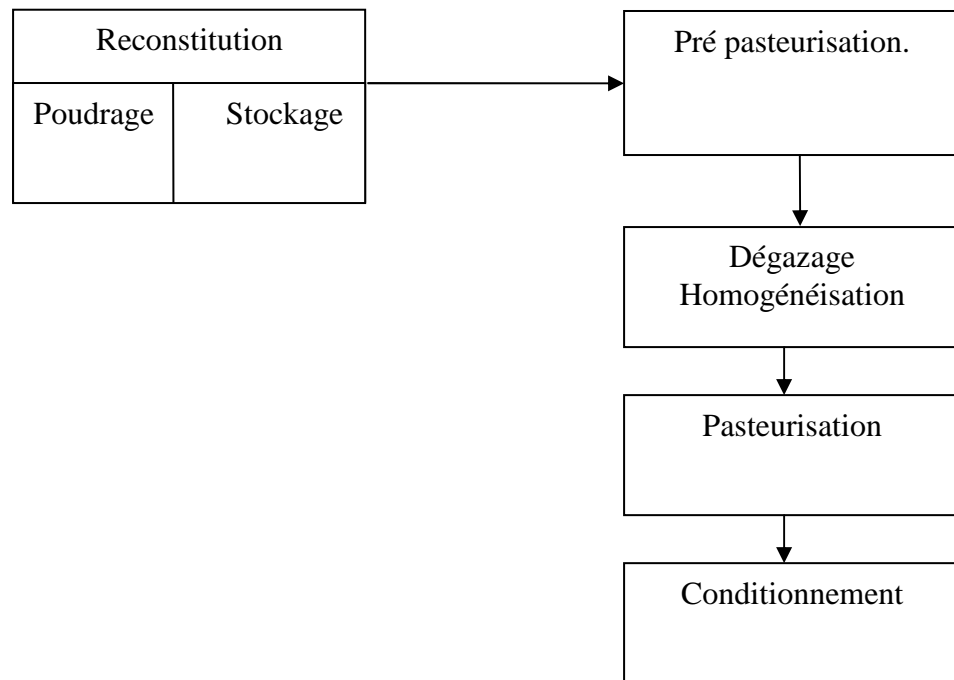


Figure 3.1 : Schéma de la Chaîne de Production de Lait Pasteurisé

La préparation du lait fermenté se résume en trois grandes tâches qui sont représentées sur le schéma suivant :

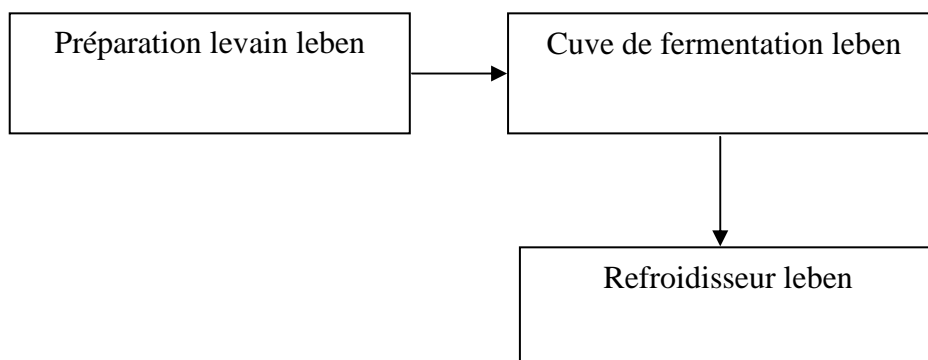


Figure 3.2 : Schéma des Tâches de Préparation du Leben

Comme il est déjà dit , cette usine a une capacité de production très grandes 40000 litres de lait pasteuriser par jour et 10000 litres de lait fermenté , mais réellement ces chiffres sont ceux d'une production maximale de l'usine. A cet effet les volumes d'eaux rejetées par cette unité sont assez importants, ce qui a conduit à l'établissement d'une station d'épuration pour la dépollution des eaux rejetées et pour une meilleure protection de l'environnement et la santé public et en vue d'un recyclage possible.

3.4 Origine de la pollution des eaux de laiteries

La première démarche avant d'envisager de traiter la pollution générer par une unité de production de la filière laitière est de réaliser un bilan pollution pour étudier les sources de pollution, caractériser les rejets et essayer de les minimiser.

La nature des effluents issus des laiteries dépend en grande partie des procédés de fabrication. La composition des ces eaux usées dépend bien sur de la nature du produit formé et donc des procédés mis en œuvre dans la laiterie. Les produits retrouvés dans les effluents sont ceux qui proviennent de la matière (lactose, protéine, lipides, sels minéraux,..). Et ceux qui sont ajoutés ou utilisées à des fins de lavage et d'hygiénisation (bactéricides, antiseptiques, soude, acide phosphorique et nitrique). Il est important de noter que sa composition dépendra aussi du comportement des hommes et notamment de la rigueur avec laquelle les sous-produits seront récupérés (Mathieu-André, 2001).

Il existe trois origines des eaux usées qui sont :

- les eaux de refroidissement,
- les eaux résiduelles de lavage,
- les eaux issues des produits.

3.5 Station d'épuration

Les effluents issus des petites industries agroalimentaires sont spécifique à cette activé et présentent une forte variabilité selon les pratiques et le type d'exploitation.

La station d'épuration se trouve juste à côté de l'usine de lait d'Igli, elle fonctionne parallèlement, elle est composée des filières suivantes (figure 3.2) :

- le prétraitement des eaux brutes : dégrillage, relevage, et déshuilage aéré,
- traitement biologique par boues activées en aération prolongée, avec décantation finale et recyclage intensif des boues formées vers le bassin d'aération,
- le traitement en aérobie des boues.

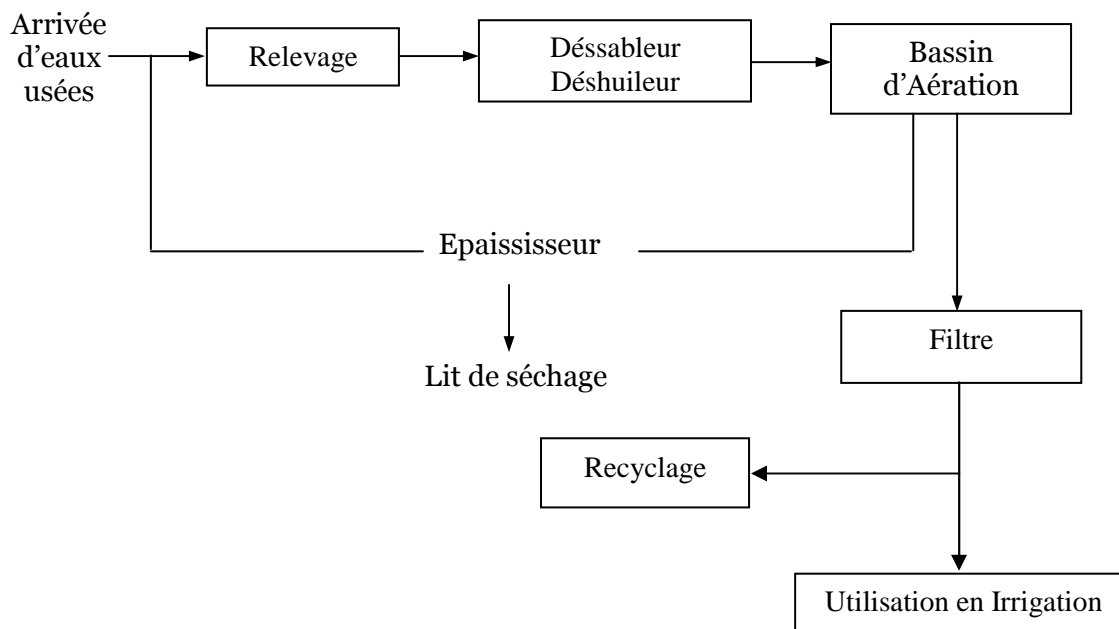


Figure 3.2 : Schéma Générale de la Station d'Épuration

3.6 Procédés actuellement utilisés pour le traitement des effluents concentrés

Le caractère souvent saisonnier de l'activité ne permet pas toujours d'envisager le traitement conjoint des rejets agroalimentaires et des eaux usées domestiques dans une même station de traitement. La surcharge à traiter entraînait le surdimensionnement de l'ouvrage pour la majeure partie de l'année. De plus, l'augmentation de la concentration du mélange eaux usées

domestiques/effluent est génératrice de dysfonctionnements de certaines filières de traitement des eaux usées en milieu rural.

Le risque de dysfonctionnement lié a des pertes accidentelles de lait non commercialisable, pour également être signalé. Le traitement in situ des rejets, s'il est économiquement viable, pourrait à l'avenir se développer.

Cinq catégories de procédés biologiques sont disponibles pour le traitement des effluents agro-industriels (André, 2001) :

- les procédés de traitement par cultures libres (boues activées ou lagunage aéré),
- les filières de traitement par cultures fixées sur supports grossiers (lits bactériens et disques biologiques),
- les procédés en cultures fixées sur supports fins (infiltration percolation, filtres plantés de roseaux),
- les procédés anaérobies,
- la valorisation agricole par épandage sur sol des effluents.

3.6.1 Les cultures libres

Les procédés utilisant des cultures libres (les filières boues activées et lagunage aéré) présentent d'excellents rendements d'épuration. Cependant, les coûts d'investissement et de fonctionnement qu'ils génèrent ne sont supportable ni économiquement, ni techniquement par de petits exploitants. Ce type de filière n'est envisageable que dans le cas d'exploitation de grande taille, dont la charge polluante est au moins équivalentes à celle d'une commune de plusieurs centaines d'habitants (André, 2001).

3.6.2 Les cultures fixées sur supports grossiers

Les procédés à cultures fixées sur supports grossiers présentent également des coûts importants tant en investissement qu'en fonctionnement (aération active du massif, gestion des boues après clarification) (André, 2001).

3.6.3 Les cultures fixées sur supports fins

Les procédés d'épuration par cultures fixées sur supports fins sont des procédés reproduisant les propriétés épuratoires des sols (Agence de l'eau,

1993). Leur spécificité réside dans l'absence de production de boues. Ces techniques consistent à infiltrer les effluents dans des massifs de matériaux rapportés, du sable en générale, qui servent de support au développement de la biomasse épuratrice. En raison de leur relative simplicité de mise en œuvre et de gestion, des filtres plantés de roseaux sont utilisé pour le traitement des eaux blanches (sans lactosérum). Toutefois, à l'échelle d'une exploitation agricole, le coût d'investissement n'est souvent supportable que à la solution d'une mise en œuvre partiellement réalisée en auto construction (André, 2001).

3.6.4 Le stockage épandage

L'épandage constitue l'alternative la plus avantageuse pour des charges polluantes inférieures à quelques centaines d'équivalent habitants, c'est une technique privilégiée pour l'épuration des eaux usées des industries agroalimentaires. Il consiste à stocker les effluents pendant une durée suffisante (4 à 8 mois) pour permettre de réaliser l'épandage de ces produits durant les périodes optimales d'un point de vue agronomique et environnemental. Cependant, les conditions hydrologiques et pédologiques, ainsi que les surfaces disponibles, ne permettent pas toujours d'avoir recours au traitement par épandage. De plus l'effluent présente une très faible valeur fertilisante (André, 2001).

3.6.5 Les procédés anaérobies

Les procédés anaérobies sont particulièrement adaptés au traitement des effluents concentrés industriels, mais ils sont surtout envisagés comme des prétraitements, la qualité du rejet étant souvent moyenne et incompatible avec un rejet direct dans le milieu naturel. L'utilisation de telles filières pour le traitement de lactosérums est signalée par Yilmazer et Yenigun (1999) à l'état de pilote. Les rendements obtenus sont de l'ordre de 95% en DCO. Il n'est mentionné aucune information sur la taille des exploitations susceptibles d'être intéressées par ce type de filière (André., 2001).

3.7 Procédés applicables au traitement des effluents de l'industrie laitière

Les eaux de l'industrie laitière sont essentiellement composées de matières organiques carbonées présentes sous forme soluble (concentrations élevées en lactose, acides aminés, petits peptides...). Le traitement de ce type d'effluent est donc axé en priorité sur l'élimination du carbone.

Compte tenu de leur excellente biodégradabilité, les procédés de dépollution par voie biologique occupent une place prédominante dans le traitement des eaux issues de l'industrie laitière.

Les procédés physico-chimique en traitement complet des eaux usées laitières ne permettent qu'une épuration très médiocre car ils n'assurent essentiellement que l'élimination des matières en suspension et très peu celle des composés solubles. En conséquence, ils sont généralement utilisés comme prétraitement des effluents en tête d'un dispositif d'épandage ou d'une station d'épuration biologique. En fonction du procédés de dépollution retenu, les prétraitement peuvent inclure : un dégrillage, un dégraissage et un bassin tampon avec régulation du pH. La mise en place d'une décantation primaire n'est pas recommandée compte tenu de la faible concentration en MES des effluents et du risque de départ en fermentation.

Les procédés de prétraitement décrits ici sont applicables aux effluents laitiers mais leur utilisation n'est pas systématique et dépend des caractéristiques de l'effluent à traiter et du procédé de traitement choisi (André, 2001).

3.7.1 Dégrillage

C'est une technique utilisée pour l'élimination des matières en suspension de grandes dimensions avant tout autres procédés de traitement (Vandevenne, 1989)

Il est généralement effectué par une grille fine avec espacement des barreaux inférieur à 10 mm.

3.7.2 Dégraissage

Le dégraissage permet l'élimination des graisses par flottation cette opération peut être réalisée par un dégraisseur statique avec cloison siphonée ou de par un dégraisseur à insufflation d'air (André., 2001).

3.7.3 Traitement biologique par boues activées

Le but des traitements des eaux usées par voie biologique est essentiellement de réaliser l'élimination des composés organiques, présents en majorité sous forme soluble, et de l'azote ammoniacal.

Compte tenu de l'excellente biodégradabilité des effluents laitiers, les procédés par voie biologique occupent une place très importante dans le traitement des eaux usées issue de l'industrie laitière.

Les procédés biologiques par boues activées comportent principalement deux phases successives :

Une première phase biologique de mise en contact de la matière organique a été éliminée avec une culture bactérienne dans un bassin brassé et aéré, où l'on maintient une certaine concentration en oxygène les bactéries utilisent la matière organique de l'effluent comme source d'énergie et de carbone pour leur multiplication (production de boues) et l'oxygène comme accepteur final d'électron. Une deuxième phase physique de séparation des eaux épurées et des micro-organismes en suspension dans un décanteur, on exploite l'aptitude naturelle des boues activées à s'agglomérer pour former des flocons dont la densité est supérieure à celle de l'eau et qui vont pouvoir sédimenter au fond du décanteur. L'effluent traité est évacué par surverse et les boues sont réintroduites dans le bassin d'aération (recirculation) ou éliminées (boues en excès) (André., 2001).

3.7.4 Traitement des boues

Lors du traitement des effluents laitiers, l'utilisation de la matière organique comme source de carbone et d'énergie par les micro-organismes se traduit par une croissance bactérienne importante et donc par une forte production de boues en excès, en particulier pour les procédés aérobies.

Ces boues, issues des traitements biologiques et éventuellement des traitements physico-chimiques, constituent le déchet de l'épuration, déchet dont il est important d'assurer une élimination correcte. Elles sont très diluées (10 à 15 g.l⁻¹ environ), présentent une résistance relativement forte à la déshydratation et contiennent de la matière organique fermentescible.

Les boues en excès sont transitent vers un lit de séchage pour rester à la surface du lit et sèchent au cours du temps. Les boues séchées peuvent être soit manuellement soit mécaniquement enlevées (André., 2001).

Chapitre 4

Identification et Analyses Chimiques des eaux usées et épurées de Sudlait (Igli)

4.1 Introduction

L'expansion des activités humaines est responsable de l'augmentation et de l'importance des polluants dans les milieux naturels. Cette pollution constitue une menace pour l'environnement et en particulier pour l'eau qu'est une source stratégique indispensable à la vie et une importance vitale pour tous les secteurs socio-économiques.

Dans l'industrie laitière, les besoins en eau sont très importants et une quantité énorme d'eau est rejetée au cours du processus de fabrication. Cette eau résiduaire peut être valorisée et utilisée à d'autre fin plus particulièrement dans l'irrigation, surtout en région aride où la demande en eau dans l'agriculture est une nécessité importante (Bontoux, 1993 - Drouart et al, 1999).

4.2 Présentation de l'unité : SUDLLAIT

L'unité SudLait implantée à Igli (150 Km au sud de Béchar) s'étend sur une superficie de deux hectares, et produit le lait pasteurisé et fermenté.

Les matières premières utilisées pour la production dans l'unité de laiterie sont :

- La poudre de lait
- La MGLA (matière grasse laitière anhydre)
- Caseinate (complexe organique)
- Ferment
- Eau de process

Pour bien caractériser les déchets, il est nécessaire de connaître son origine en particulier le procédés industriel générateur du déchet et les matières premières utilisées. Alors nous présentons dans le schéma 4.1 les procédés de fabrication pour le lait pasteurisé et fermenté dans Sudlait.

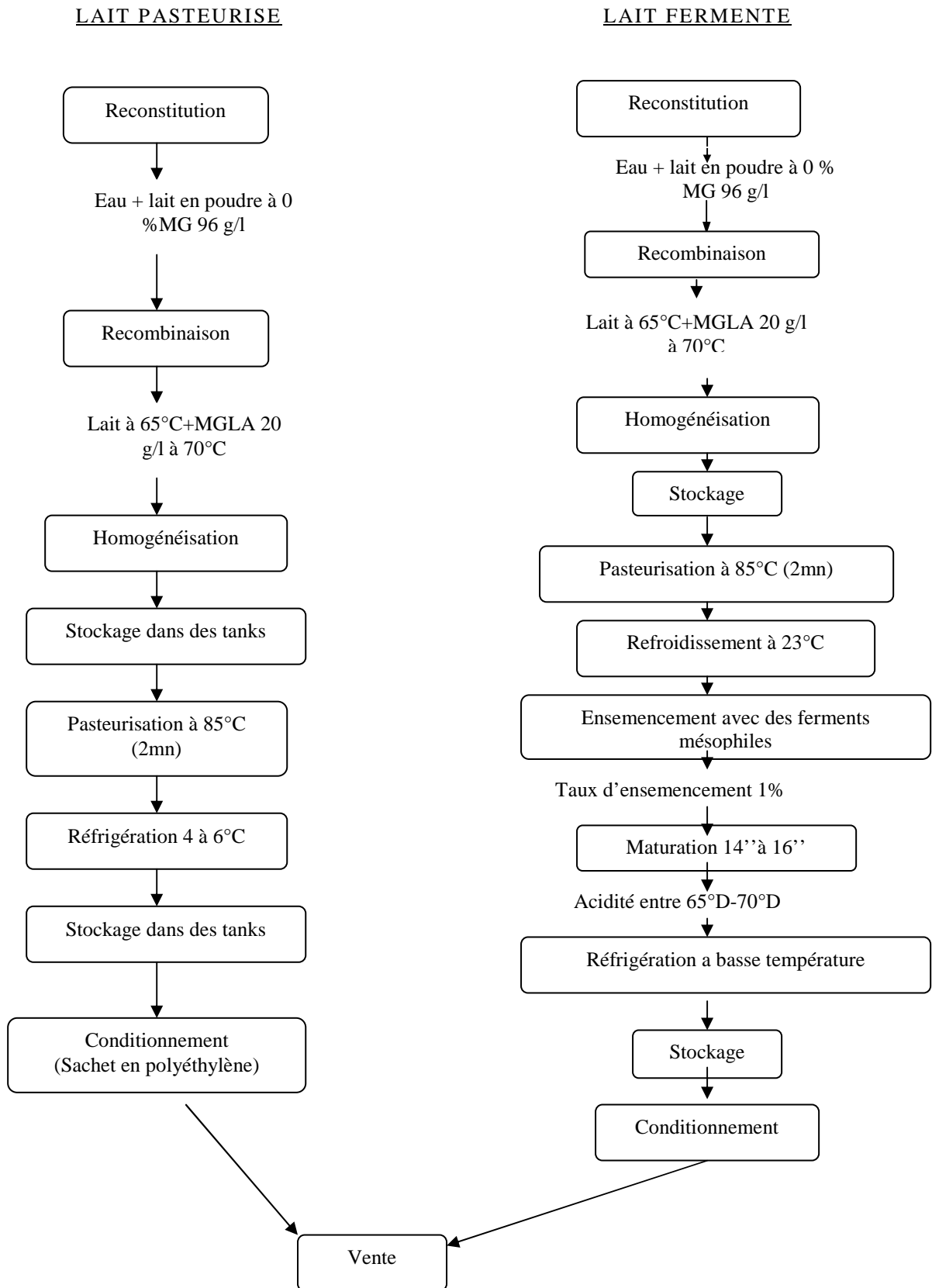


Figure 4.1 : Schéma des procédés de fabrication de lait et de lait fermenté

4.3 Principaux contaminants et normes des rejets liquides industriels

L'analyse d'une eau révèle la présence des matières minérales et des matières organiques en solution ou en suspension. Ce sont la quantité et la qualité de ces divers constituants qui définissent une eau, en précisant et limitant son emploi aux divers usages : besoins ménagères, besoins industrielles et irrigation. C'est pourquoi l'élaboration des normes et des réglementations était devenue indispensable.

Les contaminants des eaux sont classés en trois catégories (Badri, 1998) :

- a) Contaminants chimiques : Peuvent être de type organique ou de type chimique qui concerne les composés inorganiques présentés généralement par des ions métalliques toxiques contenus dans les effluents industriels tels que : Les anions Nitrate, Nitrite, Sulfate et les cations As^{3+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} , Cd^{2+} , Hg^{2+}
- b) Contaminants physiques : causés par le rejet d'eau chaude qui à un effet néfaste, en diminuant le transfert d'oxygène de l'atmosphère vers l'eau.
- c) Contaminants biologiques : résultant de pollution généralement accidentelle par des germes et qui cause la transmission hydrique de maladie contagieuse

Dans le tableau 4.1 nous résumons les valeurs maximales des rejets industriels requises par les normes algériennes (Badri, 1998 - Journal officiel, 1993).

Tableau 4.1 : Normes algérienne requises pour les rejets industriels

Paramètres	Unités	Valeurs maximales
Température	° C	30
pH	/	5,5 – 8,5
MES	mg/l	30
DBO	-	40
DCO	-	120
Phosphate	-	02
Cyanure	-	0,1
Aluminium	-	05
Cadmium	-	0,2
Chrome 3+	-	03
Chrome 6+	-	0,1
Fer	-	05
Manganèse	-	01
Mercure	-	0,01
Nickel	-	05
Plomb	-	01
Cuivre	-	03
Zinc	-	05
Huiles et graisses	-	20
Hydrocarbures	-	20
Phénols	-	0,5
Solvants organiques	-	20
Chlore actif	-	01
PCB	-	0,001
Détergents	-	02
Tensioactifs anioniques	-	10

4.4 Méthodes et résultats d'analyse chimiques

4.4.1 Prélèvements et échantillonnages

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à la quelle le plus grand soin doit être apporté, afin d'éviter des erreurs. Les échantillons prélevés pour différentes analyses ont été conservés dans des bouteilles en polyéthylène soigneusement nettoyés et rincés sur place avec l'eau à analyser puis remplis jusqu'au bord et étiquetés (origine, date et l'heure de la prise) (Norme AFNOR, 1972).

Le prélèvement de nos échantillons a été effectué durant trois périodes différentes : Mois de septembre, octobre et novembre 2003.

4.4.2 Méthodes d'analyses

Nous regroupons dans ce paragraphe les méthodes et techniques que nous avons utilisées pour la détermination et la quantification des différents paramètres physico-chimiques des eaux usées et épurées de laiterie de SudLait. Les résultats des analyses nous les rassemblons en fin de notre présentation des protocoles.

Suivants les cas d'études nous avons utilisé deux techniques analytiques : Spectrophotométrie et Volumétrie.

- La spectrophotométrie Uv – Visible (Charlot, 1978) : Cette technique est souvent utilisé en analyse suite à sa rapidité, et facilité. Le principe de la méthodes est basé sur l'absorption de la lumière de longueur d'onde approprié par la solution à doser ce qui permet le calcul de la concentration de l'élément absorbant, en appliquant les lois fondamentales régissant la spectrophotométrie, loi de Beer – Lambert et loi d'additivité

$$A = l c \varepsilon \quad (4.1)$$

A : absorbance,

c : Concentration d'élément à doser,

ε : Coefficient d'extinction,

l : Epaisseur de la cellule (cuve).

Nous avons eu recours à cette technique spectrophotométrique pour le dosage des éléments suivants : Nitrite (NO_2^-), Nitrate (NO_3^-), Sulfate (SO_4^{2-}) et Phosphate (PO_4^{3-}). L'appareillage utilisé est de type UNICAM Helios (δ)

- Volumétrie : La volumétrie ou titrimétrie est une méthode de dosage très simple et répandue dans l'analyse quantitative, elle est rapide et efficace, donnant des résultats satisfaisants pour les analyses chimiques.

Cette méthode est basée sur le titrage d'un certain volume d'eau par un réactif minéral en solution titré en présence d'un indicateur coloré approprié qui indique le point d'équivalence.

Expérimentalement la technique volumétrique est facile à réaliser ; Le réactif est mis dans une burette, il est ajouté goutte à goutte dans un erlenmeyer contenant une quantité d'eau précise à analyser, l'addition de réactif prend fin lorsque l'indicateur change de couleur (Alexeev, 1980 - Rodier, 1996).

La teneur de l'élément à doser est donnée par la formule suivante :

$$T(\text{mg/l}) = \frac{V_1 \cdot N_1 \cdot 1000 \cdot M}{V_0} \quad (4.2)$$

V_1 : volume de réactif,

N_1 : normalité de réactif,

M : masse molaire du corps à analyser et/ou la masse équivalente éq.g ,

V_0 : volume de la prise d'essai

Nous avons utilisé cette technique volumétrique pour le dosage de l'alcalinité, les chlorures et la dureté totale du calcium et du magnésium.

4.4.3 Protocoles d'analyses

4.4.3.1 Mesure de la température

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision, car elle influence sur plusieurs phénomènes physico-chimiques (pH et solubilité des sels et des gaz). Nous avons effectué les mesures à l'aide d'un thermomètre au 1/10^e de degré ou par un thermomètre digital de type PHYWE 13701.93.

La lecture est faite selon les précautions habituelles en évitant le rayonnement direct du soleil et l'influence de la chaleur dégagée par l'opérateur.

4.4.3.2 Mesure de pH

Le pH est en relation étroite avec la concentration des ions hydrogène (H^+) présents dans l'eau ou les solutions. Ce paramètre est important dans la mesure où il détermine les caractères entartrant, agressif ou corrosif d'une eau (Rodier, 1996 - Lascombe, 1981).

Nous avons déterminé le pH de nos échantillons par deux méthodes :

- Colorimétrique (papier pH), nous l'avons utilisée lors du prélèvement des échantillons d'eau sur site.
- pH mètre , nous avons effectuée nos mesures au laboratoire à l'aide d'un ionomètre type DENVER model 225.

4.4.3.3 Dosage de l'alcalinité

❖ *Dosage des carbonates :*

Le titre alcali métrique (TA) mesure la teneur de l'eau en alcalis libres et en carbonates caustiques. Les déterminations titrimétriques sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide fort en présence d'un indicateur (Rodier, 1996).

Mode opératoire :

Pour un échantillon de 20 ml d'eau à analyser dans un bêcher, on ajoute quelques gouttes de solution alcoolique de phénol phtaléine, une couleur rose doit alors se développer , dans le cas contraire, le TA est nul. Titrer ensuite avec l'acide chlorhydrique 0,1 N jusqu'à disparition de la coloration rose.

La teneur en carbonate (ou le TA) est donnée par la relation suivant :

$$TA(\text{méq.g/l}) = N_{HCl} \cdot V_{HCl} \cdot \frac{1000}{V_{H_2O}} \quad (4.3)$$

V_{HCl} , N_{HCl} : volume et normalité d'HCl,

V_{H_2O} : Volume de la prise d'eau.

❖ *Dosage du bicarbonate :*

Le titre alcalimétrique complet (TAC) mesure la teneur de l'eau en alcalis, en carbonates, et on hydrogéné- carbonates (Rodier, 1996).

Mode opératoire :

A la même prise d'essai pour le dosage des carbonates (s'il n'a pas eu de coloration), on ajoute deux gouttes de méthyle orange et on titre avec le même acide jusqu'au virage au jaune orangé. La valeur du (TAC) est calculée par la formule suivante :

$$TAC(mg/l) = N_{HCl} \cdot V_{HCl} \cdot \frac{1000}{V_{H2O}} \cdot 61 \quad (4.4)$$

N_{HCl} V_{HCl} : Normalité et volume de HCl ,

V_{H2O} : Volume de la prise d'eau.

4.4.3.4 Détermination de la dureté totale

La dureté totale ou titre hydrotimétrie total (TH) d'une eau est caractérisée par sa concentration en sels de calcium et de magnésium, on l'exprime en degré français sachant qu'un degré équivalent à 10 mg de carbonate de calcium par litre d'eau. Le principe de la détermination est basé sur la particularité de la complexation de l'Ethylène Diamine Tétra Acétique (EDTA) avec les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} en formant des complexes stables incolores (Rodier, 1996 - Badri et al, 2001 - Cheriti et al, 2003).

Mode opératoire :

Pour une prise d'essai de 20 ml on a ajouté 5 ml de solution tampon ammoniacal (pH=10) et une pincée d'ériochrome noir, on titre goutte à goutte avec l'EDTA jusqu'au virage de violet vers le bleu.

La teneur en dureté totale (TH) est calculée à l'aide de l'expression suivant :

$$TH (méq.g/l) = \frac{(N.V)_{EDTA} 1000}{V_e} \quad (4.5)$$

V_{EDTA} , N_{EDTA} : volume et normalité de l'EDTA,

V_e : volume d'échantillon (ml)

La dureté totale en (mg/l) $CaCO_3 = TH (meq/l) \cdot 50$

4.4.3.5 Dosage du Calcium

Les ions Ca^{2+} sont titrés en milieu fortement alcalin dans lequel les ions Mg^{2+} sont précipités sous formes d'hydroxydes et ne réagissent pas avec l'EDTA.

Mode opératoire :

Introduire dans un erlenmeyer une prise d'essai de 20 ml d'eau à analyser et 3 ml de solution d'hydroxyde de sodium (10M) puis quelques gouttes de bleu d'ériochrome et on verse la quantité nécessaire d'EDTA, pour obtenir le changement de couleur du rouge au violet.

La teneur en calcium est déterminée par la formule suivant :

$$T_{\text{Ca}^{2+}}(\text{méq.g/l}) = (V.N)_{\text{EDTA}} \cdot 50 \quad (4.6)$$

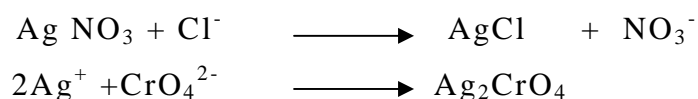
4.4.3.6 Dosage du Magnésium

La teneur en magnésium $T_{\text{Mg}^{2+}}$ est la différence entre la dureté totale et la teneur en calcique.

$$T_{\text{Mg}^{2+}} = T_{\text{H}}(\text{meqg/l}) - T_{\text{Ca}^{2+}}(\text{meqg/l}) \quad (4.7)$$

4.4.3.7 Le Dosage des Chlorures

Les chlorures sont dosés en milieu neutre (le contrôle du pH de l'échantillon est important) par une solution titrée de nitrate d'argent, en présence de chromate de potassium, comme indicateur. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition d'une teinte rouge brique (Norme AFNOR, 1952).



Mode opératoire :

A une prise d'essai de 20 ml d'eau à analyser, nous avons additionné 2 à 3 gouttes de chromate de potassium (10 %) puis on effectue le titrage par une solution de nitrate d'argent AgNO_3 (0,1 N) jusqu'au changement de teinte du jaune au rouge brique.

La teneur en chlorures s'exprime par :

$$T_{\text{Cl}^-}(\text{mg/l}) = \frac{(N V)_{\text{AgNO}_3} \cdot 1000 \cdot 35,5}{V_e} \quad (4.8)$$

(N.V) Ag NO₃ : Sont respectivement la normalité et le volume de AgNO₃,

Ve : volume d'échantillon (ml).

4.4.3.8 Dosages des Nitrites

Les nitrites forment avec le réactif de Zanbelli un complexe de couleur jaune d'intensité proportionnelle à la concentration des nitrites, ce qui permet un dosage spectrophotométrique (Norme AFNOR, 1985).

Mode opératoire :

Le dosage est déduit à partir de l'établissement d'une courbe d'étalonnage qu'on obtient par dosage de l'échantillon. Ainsi dans une série de fioles jaugées on place 50 ml de l'échantillon, puis on ajoute 2 ml de réactif de Zanbelli préparé à partir de :

- Acide Sulfanilique 5 g
- Acide chlorhydrique (d = 1,19) 260 ml
- Phénole cristallisé 7,5 g
- Chlorure d'Ammonium 135 g
- Eau bidistillée 625ml

Après agitation, on laisse 10 mn au repos, puis on introduit 2 ml d'ammoniaque (0,91 g / ml, 25%) et on effectue des lectures dans un spectrophotomètre à la longueur d'onde de 435 nm.

La détermination des correspondances de concentration en Nitrite sont déduites de l'étalonnage (voir annxe1, figure1.1).

Tableau 4.2 : Etablissement de l'étalonnage des nitrites

N° de fiole	T	I	II	III	IV	V
Solution fille étalon (2,3 mg/l) (ml)	0	1	5	10	15	20
Eau bidistillée (ml)	50	49	45	40	35	30
Réactif de Zanmbelli (ml)	2	2	2	2	2	2
Ajout de 2 ml d'ammoniaque						
Correspondance en mg / l	0	0,042	0,21	0,42	0,45	0,66

4.4.3.9 Dosages des Nitrates

Avec le Salicylate de sodium et en présence de tartrate double de sodium et de potassium, les nitrates donnent le paranitro- salicylate de sodium, un complexe coloré en rose et susceptible d'un dosage spectrophotométrique (Charlot, 1978 - Norme AFNOR, 1975).

Mode opératoire :

A une prise d'essai de 10 ml d'échantillon, on ajoute 1 ml de solution de salicylate de sodium (0.5%), le mélange est évaporé à sec dans un bain de sable. Après refroidissement, le résidu est solubilisé par 2 ml d'acide sulfurique concentré, on laisse 10 minutes et on ajoute successivement 15 ml d'eau distillée et 15 ml de solution d'hydroxyde de sodium et tartrate double de sodium et potassium. On effectue la lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 415 nm quand une coloration jaune se développe.

La détermination des correspondances de concentration en Nitrate sont déduite de l'étalonnage (voir annexe1, figure1.2).

Tableau 4.3 : Etablissement de l'étalonnage des nitrates

N° de fiole	T	I	II	III	IV	V
Solution fille N-NO ₃ (5 mg/l)(ml)	0	1	2	5	7	10
Eau distillée (ml)	10	9	8	5	3	0
Correspondance en mg/l	0	0,5	1,25	2,5	3,75	5

4.4.3.10 Dosage des Sulfates

Les sulfates sont précipités à l'état de sulfates de Baryum par une solution de chlorure de baryum à 10% dans un milieu chlorhydrique. Le précipité ainsi obtenu est stabilisé à l'aide d'une solution de Tween 20 et les suspensions homogènes sont mesurées au spectrophotomètre à 650 nm (Charlot, 1978-Rodier, 1996 - Norme AFNOR, 1954).

Mode opératoire :

A 25 ml de solution contenant 2 mg à 250 mg de Sulfate (SO₄²⁻), on ajoute 0,25 g de chlorures de Baryum (BaCl₂). Après agitation quelques secondes, on laisse au repos durant 30 minutes, puis on procède à la lecture au spectrophotométrie à une longueur d'onde de 480 nm.

Les concentrations en ion sulfate de nos échantillons sont déduites, après dosage par correspondance aux données d'étalonnage (voir annexel, figure1.3).

Tableau 4.4 : Etablissement de l'étalonnage des Sulfates

N° fiole	T	I	II	III	IV
Solution étalon SO_4^{2-} (100 mg/l) (ml)	0	2,5	5	10	20
Eau distillée (ml)	25	22.5	20	15	5
Correspondance en mg/l	0	10.0	20	40	80

4.4.3.11 Dosage des Phosphates

En milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium, les phosphates donnent un complexe phosphomolybdique de couleur jaune, qui se réduit par l'acide ascorbique en développant une couleur bleu mesurable par spectrophotométrie à une longueur d'onde de 820 nm. On peut activer la couleur par l'addition de tartrate double d'antimoine et de potassium (comme catalyseur) (Rodier, 1996 - Norme AFNOR, 1985 - Norme AFNOR, 1986).

Mode opératoire :

Pour l'établissement de la courbe d'étalonnage, on effectue le dosage suivant : A 40 ml de solution contenant 0.0334g à 0.109g de PO_4^{3-} , on ajoute successivement 4 ml de solution de molybdate et 0,1 g d'acide ascorbique, on laisse bouillir le mélange 1 mn et après refroidissement on effectuée la mesure au spectrophotométrie à une longueur d'onde de 820 nm

Les concentrations en phosphate de nos échantillons sont déduites après dosage par correspondance à l'aide de la courbe d'étalonnage (voir annexe1, figure1.4).

Tableau 4.5 : Etablissement de l'étalonnage des Phosphates

N° fiole	T	I	II	III	IV	V
Solution étalon PO₄³⁻ (10 mg/l) (ml)	0	2	2.4	2.8	3.2	4
Eau distillée (ml)	40	38	37.6	37.2	36.8	36
Correspondance en mg/l	0	0.5	0.6	0.7	0.8	1

4.4.3.11 Détermination de la Demande Chimique en Oxygène (DCO)

La DCO est un moyen d'apprécier la teneur en matières organiques ou minérales oxydable présentes dans l'eau. La détermination de la DCO est pratiquée par une oxydation de la matière organique de l'eau à analyser par le bichromate de potassium en milieu sulfurique à ébullition en présence de sulfate d'argent comme catalyseur. L'excès de chromate est titré par une solution de sel de Mohr ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4, 6\text{H}_2\text{O}$) en présence de la ferroïne comme indicateur (Rodier, 1996 - Norme AFNOR, 1971).

Mode opératoire :

A 50 ml d'eau à analyser on ajoute 1 g de sulfate de mercure cristallisé, 70 ml d'acide sulfurique (contenant 0,46 g de sulfate d'argent) et 25 ml de bichromate de potassium (0,25 N). Le mélange est porté à l'ébullition pendant 2 heures. Après refroidissement, on dilue avec 350 ml d'eau distillée. On ajoute quelque gouttes d'indicateur ferroïne et on dose à l'aide d'une solution de sel de Mohr (0,25 N), jusqu'au virage de la couleur du vert au rouge violacé. On effectue le même dosage à blanc avec 50 ml d'eau distillée.

La valeur du DCO est donnée par la relation :

$$\text{DCO} = \frac{8000 \cdot (V_0 - V_1) \cdot N}{V_e} \quad (\text{mg O}_2 / \text{l}) \quad (4.9)$$

V_0 : Volume de $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ utilisé pour le dosage à blanc (ml),

V_1 : Volume de $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ utilisé pour le dosage de l'échantillon (ml),

V_e : volume d'échantillon (ml) .

4.4.3.12 Détermination de la Demande Biologique en Oxygène (DBO)

La DBO mesure la consommation en oxygène lors de la bioxydation des matières organiques par les microorganismes. Elle permet l'évaluation des matières organiques biodégradables présentes dans l'eau et exprime en mg la quantité de l'oxygène consommée en incubation à l'obscurité durant cinq jours à 20°C (Norme AFNOR, 1975 - Norme AFNOR, 1985).

Nous avons réalisé nos mesures de DBO à l'aide d'un Débiomètre model velp scientifica, type BMS dont le principe est basé sur la méthode respirométrique de Warbug, qui permet de suivre l'évolution de la DBO a cours de l'oxydation des matières organiques contenues dans l'eau tout en enregistrant une variation de la pression surmontant l'échantillon.

Mode opératoire :

A partir du volume utilisé pour la DCO, on tire le volume nécessaire pour la mesure de la DBO du faite que $\text{DBO} = 0,8 \text{ DCO}$. Le volume d'échantillon trouvé est introduit dans chaque flacon du débiomètre, on place dans chaque bouchon de la potasse, on ferme et on règle le manomètre à zéro. Après cinq jours d'incubation, on porte le niveau du mercure et la valeur de la DBO est déterminée en le multipliant par un facteur multiplicateur.

4.4.3.12 Rapport DCO/DBO

La valeur du rapport DCO/DBO permet de donner des renseignements sur la biodégradabilité de la matières organiques des eaux de rejets (Vaillant, 1974).

- $DBO / DCO > 0,6$ Eaux biologiquement traitables
- $0,2 < DBO / DCO < 0,6$ Le traitement biologique est en fonction du choix des micro – organismes adaptés à un milieu défavorable car $DBO < DCO$
- $DBO / DCO < 0,2$ Eaux non traitables biologiquement
- $DCO / DBO > 3$ Existence de composés chimiques susceptible d’inhiber la biooxydation.

4.4.3.13 Détermination des matières en suspension (MES)

Les matières en suspension contenues dans les eaux sont de diverse nature, minérales (carbonates insolubles ou hydroxydes métalliques) ou organiques (micro organismes ou de produits de dégradation végétale ou animale). Les MES ont une incidence sur la composition chimique des eaux, car elles développent de fort effet d’adsorption et d’échange d’ions et fixent également par adsorption la plupart des microorganismes hydriques (Bontoux,1993 -Talhi et al, 2003 - Ramade, 1989).

4.4.4 Résultats d’analyse et discussion

Nous regroupons dans le tableau 4.6 les résultats des analyses physico–chimiques que nous avons effectuées au laboratoire sur les eaux usées et épurées de la laiterie SudLait d’Igli. Comme nous l’avons signalé précédemment les analyses ont été réalisé sur trois prélèvements en période différente (mois de septembre, octobre et novembre 2003). Afin d’avoir une moyenne de résultat, nous avons réalisé pour chaque analyse trois manipulations.

Tableau 4.6 : Résultats d'analyse

Paramètres	Unité	Eau usée	Eau épurée	Normes (Jour.Off,1993)
Température °C	°C	20 - 25	29	30
pH	/	9,4	7,5	5,5 - 8.5
TAC	-	10	9,5	12
Calcium	-	175	116	100 - 200
Magnesium	-	31	27	50
Chlorure	-	890	625	E 200
Nitrite	-	0,20	0,08	0,1
Nitrate	-	11,14	09,6	50
Sulfate	-	340	235	E 250
Phosphate	-	08,5	06	02
DCO	-	657	91	120
DBO	-	275	32	40
DCO / DBO	/	2,38	2,84	/
MES	mg/l	134	12	30

Nous nous intéressons plus particulièrement aux valeurs des analyses effectuées sur les eaux épurées, puisque ce sont ces rejets qui sont destinés à l'irrigation.

Les paramètres Température et pH prélevés des eaux de rejets de la laiterie SudLait sont dans la limite admise par les normes algériennes relatives aux

effluents industriels qui fixent ces paramètres à 30 °C pour la température et entre 5,5 et 8,5 pour le pH.

Le taux des sulfates dans l'eau épurée est tolérable par contre les chlorures dépassent les normes admissibles, due forcément à l'utilisation abusive des sels alimentaires dans la production. Ces taux peuvent atteindre des maximums surtout en période de production intensive durant le mois de ramadhan.

Les concentrations en ions Carbonate, Calcium et Magnésium, sont respectivement présentées par les valeurs moyennes de 9,5, 116 et 27 mg /l qui sont dans la norme toléré. Par contre nous signalons un dépassement en phosphate (06 mg / l) par rapport au norme qui fixe cette concentration à 02 mg/l.

Les eaux épurées analysées, nous révèlent un indice important de la non pollution par les nitrites et les nitrates, les normes de 0,1 mg/l pour les nitrites et 50 mg/l pour les nitrates sont respectées.

La station d'épuration de la laiterie de SudLait d'Igdi est composée de cinq poste : Poste de relevage, Poste de déssableur et déshuileur, décanteur primaire, secondaire et d'une bache de stockage. L'épuration des eaux usées de rejet de la laiterie dans cette station est remarquée par l'élimination d'une grande quantité d'effluent plus particulièrement les matières organiques polluantes et les matières en suspension. Ainsi les valeurs des DCO (91mg/l), DBO (32 mg/l) et MES (12 mg /l) sont diminuées respectivement de 7, 8 et 11 fois par rapport aux taux déterminés sur les eaux usée avant épuration. D'autre part les valeurs de DCO, DBO et MES sont au dessous des normes tolérées.

Le rapport DCO / DBO de 2,84 est inférieur à 3, ce qui signifie que l'oxydation biologique n'est pas inhibée, ce qui est un indice favorable pour l'utilisation de cette eau en irrigation.

4.4.5 CONCLUSION

Le but que nous avons fixé lors de notre étude est la valorisation des eaux de rejet de la laiterie SudLait d'Igli, afin de l'impliquer en irrigation. Nous nous sommes intéressés plus particulièrement aux résultats des eaux après épuration. Nous rappelons que, lors de notre examination de la station d'épuration de la laiterie d'Igli, nous avons remarqué que la station est en fonctionnement, malgré certains problèmes d'entretien.

Les résultats analytique que nous avons obtenu (tableau 4.6) indiquent un fonctionnement satisfaisant de la station et l'eau peut être utilisée en irrigation du faite que les paramètres physico-chimiques qui peuvent altérés la végétation ont des valeurs tolérables cadrant dans les normes.

Chapitre 5

Techniques d'Irrigation et Estimation de l'Evapotranspiration

5.1 Techniques et systèmes d'irrigation

5.1.1 Introduction

La vie et le développement de tous êtres vivants ne sont pas possibles sans eau. L'homme a vu très tôt l'intérêt qu'il avait à apporter sur les terres qu'il cultivait l'eau d'appoint, sans laquelle certaines plantes ne pouvaient se développer, ou en tous cas atteindre leur croissance maximum : il a pratiqué l'irrigation.

Les irrigations sont indispensables dans de très nombreuses régions du globe aux conditions climatiques déséquilibrées (irrigation fondamentale). Elles sont également nécessaires dans des zones à climat tempéré pour combler des déficits pluviométriques temporaires (irrigation de complément). Dans certains endroits encore, elles permettent de lutter efficacement contre les gels tardifs qui affectent la croissance normale des végétaux.

Le rôle de l'eau pour les plantes est un rôle fondamental sous un double rapport, l'eau est d'abord un élément constitutif de la plante soit simplement sous la forme d'eau, dite de constitution, soit après combinaison avec les éléments trouvés dans le sol et dans l'air ; l'eau est ensuite le véhicule qui apporte à la plante les éléments minéraux de sa nourriture : c'est l'eau dite de végétation (Ollier, 1983).

Sous ces définitions, un problème d'ensemble se cache : il s'agit d'abord de trouver dans un rayon relativement restreint une eau disponible, il faudra ensuite l'amener sur les lieux de culture, puis la répartir entre toutes les plantes en quantités bien déterminées.

Une solution heureuse de ce problème ne peut être trouvée en dehors de certaines règles précises d'ordre technique, agronomique et financier. Cette

solution constitue l'ensemble des techniques d'arrosage et opérations à apporter à la plante pour tirer le maximum de rendement.

Pour le cas de notre étude, et en vue que notre cadre d'étude se trouve dans une région caractérisés par un climat semi aride, qui impose une irrigation fondamentale. Le choix d'un système d'arrosage adéquat avec toutes les règles techniques climatique et agronomique est très nécessaire.

5.2 Systèmes d'irrigation

Il existe plusieurs systèmes d'arrosages, mais ici on va citer uniquement les systèmes fondamentaux qui se résument en cinq classes, c'est :

5.2.1 L'irrigation par ruissellement

Cette méthode consiste à provoquer un débordement de l'eau circulant dans les rigoles d'amenées. L'eau s'écoule en une lame mince le long de la pente et humidifie le sol au fur et a mesure de sa progression (Mermoud, 1989).

Cette méthode s'applique favorablement lorsque la topographie est régulière et lorsque le sol est protégé par des cultures.

5.2.2 L'irrigation par submersion

L'eau submerge le terrain et s'y infiltre complètement, à moins qu'on ne provoque, au bout d'un certains temps, l'écoulement de l'eau non encore infiltré dans des colatures.

Mais ce système présente des avantages et inconvénients qui sont :
La méthode est bien adapté au terrains plats, qu'elle nécessite peu de personnel de surveillance, quelle favorise le dépôts du limon en suspension dans l'eau et qu'elle détruit les animaux et les plantes nuisibles (Mermoud, 1989).

5.2.3 L'irrigation par infiltration

Cette méthode consiste à ruisseler l'eau non à la surface, mais dans des fossés, rigoles ou rais et pénètre par infiltration latérale jusqu'aux racines des plantes. Parfois, dans ce cas, on combine l'irrigation et le drainage, mais cela seulement dans un nombre très limité des cas particuliers (Mermoud, 1989).

Ce système présente les avantages suivants :

- frais réduits d'aménagement du sol,
- sol sans tassement notable ; pas de formation de croûte superficielle, pas de danger d'érosion du sol,
- feuillages des plantes qui ne sont pas mouillés, ce qui évite certaines maladies,

Par contre, plusieurs inconvénients du système sont assez sérieux; c'est :

La lenteur de l'arrosage, la gêne causée par les sillons pour les déplacements latéraux, les besoins importants en main d'œuvre et surtout les pertes d'eau très importantes (Mermoud, 1989).

5.2.4 L'irrigation par aspersion

L'irrigation par aspersion est un système d'arrosage qui consiste à distribuer l'eau sous forme de pluie sur le sol. Comme les autres méthodes, elle présente des avantages et inconvénients qui sont (Mermoud, 1989) :

- meilleure efficacité que la méthode gravitaire,
- aucun aménagement préalable du sol n'est nécessaire,
- convient à tous les terrains, quelles que soient leur pente, leur perméabilité et leur topographie,
- permet un dosage précis des apports.

Mais aussi elle présente des inconvénients qui sont :

- coûts importants des installations,
- sensible au vent,
- frais d'exploitations élevés lorsque la mise en pression passe par un pompage.

5.2.5 L'irrigation par micro irrigation

Cette méthode est relativement récente, l'évolution de cette méthode est le résultat du développement de l'utilisation des tuyaux en matière plastique moins chère, facile à manier, à perforer et à raccorder. Ce système présente les caractéristiques suivantes (Mermoud, 1989) :

- une alimentation en eau à proximité immédiate du système racinaire des plantes cultivées,
-

- la limitation de la surface humectée du sol à ce qui semble strictement nécessaire, à l'exclusion de la portion du sol qui ne porte pas de plante.

Ce système présente des avantages qui sont :

- en domaine d'économie d'eau, seul la partie du sol qui contient les racines est humectée et il n'y a pas ou peu de pertes par évaporation, percolation ou ruissellement. L'efficacité du système se situe aux environs de 90% (Mermoud, 1989),
- la forme des parcelles ne constitue pas un obstacle,
- le système est insensible au vent et il n'y a pas de contact entre l'eau d'irrigation et le feuillage, ce qui diminue les risques de maladies cryptogamiques.
- sensibilité réduite à l'utilisation d'eau salé : la plupart des recherches démontrent que les rendements sont moins affectés par la présence de sel dans l'eau d'irrigation avec le système par goutte à goutte qu'avec les méthodes par gravité ou par aspersion pour au moins trois raisons (Mermoud, 1989) :
 - le taux d'humidité du sol est maintenu constamment à un niveau élevés; or, pour une même quantité de sel, la concentration est d'autant plus faible que le sol humide,
 - les sels sont lessivés à chaque application et entraînés à la périphérie du bulbe d'humidification, hors de portée de la zone active des racines,
 - pas de risque de dégâts aux parties aériennes des végétaux par pulvérisation d'eau salée (contrairement à l'aspersion).

Comme d'autre systèmes, il présente des inconvénients :

- risques d'obstruction par les particules solides,
 - difficulté à obtenir des pressions et des débits uniformes,
 - les tuyaux et les goutteurs peuvent être endommagés par les pratiques culturales ou par les animaux.
-

5.3 Le choix du système d'irrigation

Après avoir fait une description sommaire des différents systèmes d'irrigation, et énumérer leurs avantages et inconvénients de point de vue technique et économique, notre choix a été conduit vers le système d'irrigation au goutte à goutte.

Ce choix est le résultat d'un compromis entre les avantages qu'il présente ce système et les contraintes posé par le site d'étude : sol, climat, et d'autre facteurs ...etc.

Comme il a été déjà décrit dans la partie analyse bibliographique, beaucoup de chercheurs ont démontrés la nécessité et la rentabilité de ce système dans plusieurs site du monde entier qui présentent des problèmes en agriculture que ce soit (pénurie d'eau, climat aride, eau d'irrigation salé,....etc.).

5.4 Calcul de l'évapotranspiration

5.4.1 Evaluation des besoins en eau ; l'évapotranspiration

A fin de déterminer les besoins en eau des plantes cultivées, et d'obtenir des données précises pour chaque plante sous chaque climat, les chercheurs se sont perchés pour établir des formules de base logique et universelles permettant le calcul rationnel des besoins.

L'idée générale est de ne plus continuer à étudier séparément d'une part l'évaporation des sols (problème de physiciens) et d'autre part la consommation des plantes elle-même (problème d'agronomes) mais de s'orienter vers l'étude du phénomène global dit de l'évapotranspiration.

5.4.1.1 Définition

On désignera donc par évapotranspiration la somme des volumes d'eau :

- utilisés par les plantes (eau de constitution, eau de végétation),
- évaporés par la surface du sol.

Elle peut s'exprimer en $m^3 \cdot ha^{-1}$ ou en mm pour une période donnée (Charles, 1983).

L'évapotranspiration est influencée par 3 facteurs principaux : (Mermoud, 1989)

a) le climat : l'évapotranspiration est essentiellement le résultat de l'action de la radiation solaire et du vent. Deux conditions sont indispensables :

– la source d'énergie doit être suffisante (il faut environ 2470 KJ ou 590 kilo calories pour évaporer 1g d'eau à 10°C)(Mermoud,1989),

– la pression de vapeur de l'atmosphère doit être inférieur à celle du corps évaporant.

Ces conditions sont fonction des facteurs météorologiques tels que la température, le degré hygrométrique de l'air, la vitesse du vent, l'intensité du rayonnement solaire, etc.

b) le végétale : type de plante et période de croissance notamment.

c) le sol : nature du sol, type de couverture végétale état de surface, humidité, etc.

5.4.2 Evapotranspiration potentielle

5.4.2.1 Définition

Face à la multiplicité de paramètres susceptibles d'influencer l'évapotranspiration, un critère plus simple à été introduit : l'évapotranspiration potentielle (ETP). Par convention , on définit l'ETP comme l'ensemble des pertes en eau d'une culture de référence (gazon) couvrant totalement le terrain , ayant une hauteur uniforme de quelques centimètres , à son stade de développement végétatif maximale et suffisamment pourvue en eau (Mermoud,1989).

5.4.3 Evapotranspiration maximale ETM

Pour déterminer les besoins maximum en eau des plantes on procède de la façon suivante :

– on calcul par l'une des méthodes, les valeurs de l'évapotranspiration potentiel (ETP) période par période (décade, ou quinzaine, ou mois)

– on obtient ensuite les besoins des plantes pour chacune de ces périodes par application d'un coefficient culturale K_c multiplicatif, lequel est fonction de la nature de la culture, de la phase de vie du végétale et des conditions climatiques :

$$\text{Besoin} = K_c \cdot (\text{ETP}) = \text{ETM}$$

5.5 Estimation de l'évapotranspiration potentielle

Dans la littérature scientifique, il existe plusieurs formules empiriques, qui font intervenir un nombre plus au moins important de facteurs, principalement des facteurs climatiques et étaient établies initialement pour une zone particulière ou pour une culture donnée.

Le problème de choisir d'une formule satisfaisante se pose donc avec acuité.

On présentera ici, quelques unes de ces formules, les plus utilisées surtout en zone aride et semi aride :

5.5.1 Formule de Blaney et Criddle : (1945-USA)

Cette formule s'écrit :

$$ETP = (8,13 + 0,46t)p \quad (5.1)$$

ETP : évapotranspiration potentielle, en mm, pendant le mois considéré,

t : température moyenne mensuelle, en °C,

p : pourcentage d'heures diurne pendant le mois considéré par rapport au nombre d'heures diurnes annuelles, p est fonction uniquement de latitude du lieu. Cette formule ne semble convenir que pour les pays arides et semi arides (voir annexe2) (Mermoud, 1989).

Il existe plusieurs formules de calcul d'évapotranspiration. Il ne paraît pas utile de les développer ici. Citons simplement celles proposées par :

Bouchet, Turc, Doorenbos et Pruitt, Primault, Priestly et Taylor, Penman-Montheitt, etc..

Pour notre étude, nous avons choisi la formule de Blaney et Criddle parce qu'elle s'adapte bien avec notre type de climat, et aussi parce qu'on dispose des valeurs de ses différents paramètres.

5.5.2 Calcul de l'évapotranspiration potentielle

Le tableau 5.2, résume les valeurs de l'évapotranspiration potentielle calculé par la formule de Blaney et Criddle.

Tableau 5.2 : Valeurs de l'évapotranspiration de la région d'Igli (1990-1997)

Période	Mois	Ja	Fe	Mr	Av	Ma	Ju	Jui	Ao	Se	Oc	Nv	Dc
	classe												
1990 à 1997	Tempe moy (°C)	11,2	14,2	17,9	22	38,5	32,5	36,3	35,7	30,9	23,2	17,2	12,7
	P	0,24	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32	0,31	0,30	0,28	0,26	0,24	0,23
	ETP mm/mois	98,81	106,29	136,96	158,77	248,32	221,56	238,59	228,33	187,68	151,54	115,5	99,62

L'analyse du tableau ci-dessus, montre que les valeurs de l'évapotranspiration potentielle de la région d'Igli pour la période (1990 à 1997), calculé par la formule de Blaney et criddle présente des pics pour les mois de (Mai, juin, juillet et Août), cela est due au températures très élevées des quatre mois. Mais l'ETP atteint sa valeur max de 248,8 mm en mois de Mai.

Chapitre 6

Dimensionnement du Réseau d'Irrigation

6.1 Evapotranspiration et besoins des cultures, le coefficient cultural

Comme, il a été défini au paravent, les besoins maximums en eau des plantes sont donnés par :

$$\text{Besoin} = r \cdot K_c \cdot (ETP) = ETM \quad (6.1)$$

ETP : évapotranspiration potentielle, en mm, pendant le mois considéré,

K_c : coefficient cultural,

r : le coefficient (r), taux de rationnement, dépend de la proportion de sol humidifié en surface, de la densité des goutteurs et de la nature du sol plus au moins filtrante, pour notre étude on prend $r = 0,8$.

Il reste maintenant de choisir la culture appliquée sur notre sol. Puisque la région est saharienne caractérisée par la culture du palmier dattier donc on adopte cette culture dans notre étude. Le coefficient cultural de cette plante est de 0,75 (Toutain, 1978)(voir annexe3).

Le tableau 6.1, montre la variation des besoins maximums en eau du palmier dattier durant l'année1997.

Tableau 6.1 : Variation des besoins maximums en eau du palmier dattier pour l'année1997

Mois	Ja	Fr	Mr	Av	Ma	Ju	Jui	Ao	Sep	Oc	Nov	Dec
ETP mm/mois	99,81	106,29	136,96	158,77	248,32	221,56	228,59	228,33	187,68	151,5	115,5	99,62
Kc	0,75											
r	0,8											
ETM mm/mois	59,88	63,76	82,17	95,25	148,99	132,93	137,15	136,99	112,60	90,92	69,29	59,76

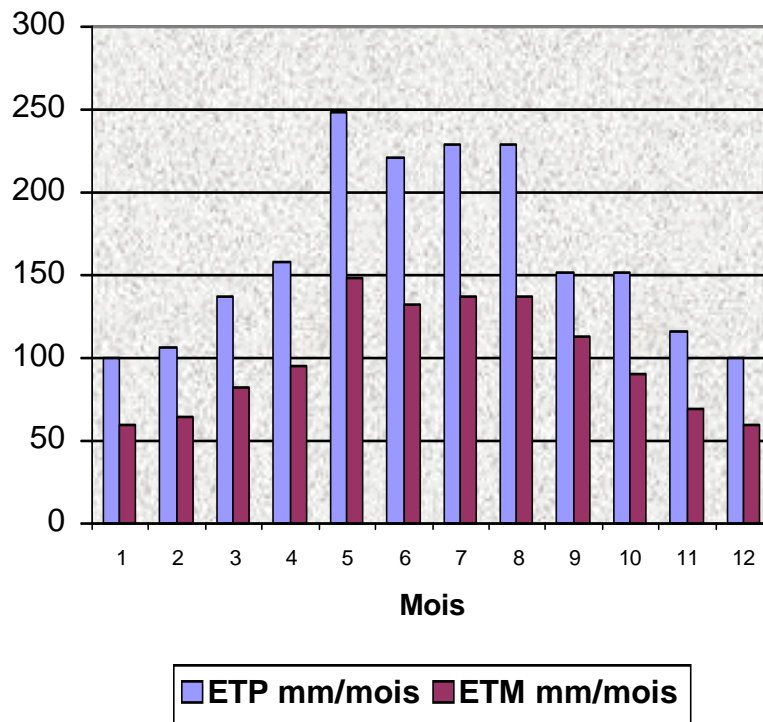


Figure 6.1 : Histogramme de la variation de l'ETP et l'ETM durant l'année 1997

L'analyse de l'histogramme montre que les besoins maximums en eau du palmier dattier correspond à la période chaudes, c'est-à-dire le mois de Mai, avec un ETM de 4,8 mm/ J, (17520 m³/ha.an).

Les services agricoles et de l'hydraulique du Sud algérien avaient estimé les besoins en eau d'irrigation à 5,8 mm/ J ou 21344 m³ d'eau par an et par hectare (Munier, 1973).

6.2 Le déficit pluviométrique

Le déficit pluviométrique est défini comme étant la différence entre l'évapotranspiration et le module pluviométrique de chaque mois, et ce déficit qui subissent les plantes doit être comblés par l'irrigation (Ollier, 1983), il est donné par la relation suivante :

$$DP = ETP - P \quad (6.2)$$

On calcul les déficits pluviométriques mensuels, dont la somme serait le déficit pluviométrique annuel, on peut ainsi établir le graphique des déficits

pluviométriques. Le tableau suivant nous présente la variation du déficit mensuel pluviométrique pendant l'année 1997.

Tableau 6.2 : Variation du déficit pluviométrique durant l'année 1997

Mois	Ja	Fr	Mr	Av	Ma	Ju	Jui	Ao	Sep	Oc	Nov	Dc
ETP mm/mois	98,81	106,29	136,96	158,77	248,32	221,56	238,59	228,33	187,68	151,54	115,5	99,62
P mm/mois	6	0	0	5	1	0	0	0	0	2	0	1
D mm/mois	92,81	106,29	136,96	153,77	247,32	221,56	238,59	228,33	187,68	149,54	115,5	98,62

D'après ce tableau on voit que notre région présente un déficit pluviométrique énorme durant presque toute l'année qui est due principalement à la sécheresse et à la faible hauteur tombée sur la région.

6.3 Calcul des besoins en eau

Pour une période de temps déterminé, les quantités d'eau consommées par une culture dans un intervalle de temps se calculent en enlevant aux pertes représentées par l'ETM, les valeurs des apports naturels. Ces apports sont constitués de la fraction des précipitations stockées dans la zone racinaire ou pluie efficace P_e , d'éventuels autres gains (remontées capillaires, apport latéraux, etc...), et d'une possible réserve en eau du sol R accumulée antérieurement à la période étudiée.

Les besoins nets B_n en eau d'irrigation (désignés souvent par le terme déficit agricole) (Mermoud, 1989) s'obtiennent donc par la relation suivante :

$$B_n = ETM - P_e - R \quad (6.3)$$

Ou encore

$$B_n = K_c \cdot r \cdot ETP - P_e - R \quad (6.4)$$

6.3.1 Estimation de la pluie efficace P_e

Les gains constitués par les précipitations ne profitent pas totalement au sol. Il faut tenir compte de l'élément suivant :

Les pluies trop faible (inférieur à (5 à 10 mm), comme notre cas) ne contribuent guère à réapprovisionner la réserve en eau du sol, car elles ne pénétrant que très peu (Mermoud, 1989).

6.3.2 Estimation de la réserve R

Au début d'une période de calcul, il se peut que les végétaux disposent d'une réserve en eau accumulée antérieurement. Cette réserve est fonction de la nature du sol, de la profondeur explorée par les racines et des apports naturels antérieurs.

Le sol est caractérisé par trois valeurs remarquables de l'humidité : la capacité de rétention θ_{cr} , le point de flétrissement permanent θ_{fp} et le point de flétrissement temporaire θ_{ft} .

Le volume d'eau stocké entre θ_{cr} et θ_{fp} dans la zone racinaire caractérise la limite supérieure de la réserve utilisable RU pour la culture considérée.

Toutefois, plus le dessèchement augmente, plus la disponibilité en eau pour les végétations diminue. on est donc amené à introduire la notion de la ' réserve facilement utilisable RFU ' qui caractérise la fraction de la réserve utilisable pouvant être consommée par la plante sans effort d'extraction excessif.

On obtient donc :

$$RU = (\theta_{cr} - \theta_{fp}) h \quad (6.5)$$

Et
$$RFU = (\theta_{cr} - \theta_{ft}) h \quad (6.6)$$

RU et RFU : réserve utilisable et facilement utilisable, en mm,

θ_{cr} , θ_{ft} , θ_{fp} : capacité de rétention , point de flétrissement temporaire et point de flétrissement permanent , exprimés en humidité relative ,

h : profondeur des racines, en mm.

On l'absence des valeurs précises de θ_{fp} et θ_{ft} , on fait appel aux relations empiriques suivantes :

$$\theta_{fp} = 0,55 \theta_{cr} \quad (6.7)$$

$$RFU = 2/3 RU \quad (6.8)$$

Pour notre cas, puisque on ne dispose pas de données précises, on va utiliser les valeurs tirées des tables spécialisées (Mermoud,1989).

6.4 Calcul des besoins net en eau

Les besoins net Bn, est donc s'obtiennent par la relation :

$$Bn = ETM - Pe - R \quad (6.9)$$

Pe : pluies efficace , en examinant les données de la série pluviométrique de l'année 1997 de la région d'Igli , on remarque que les pluies tombé sont de faible hauteurs , donc ils sont négligeables . Pe = 0, pour tous les mois de l'année.

R : la réserve en eau accumulée, qui est fonction de la nature du sol, de la profondeur explorée par les racines et des apports naturels antérieurs.

Puisque RFU = 2/3 RU, on opte pour un RU de 2 mm/ 10cm de sol, la profondeur explorée par les racines est de 1,2 m. Donc RFU = 16 mm/mois

Le tableau suivant présente les différentes valeurs de Bn calculées pour l'année 1997.

Tableau 6.3 : Variation des besoins net en eau du palmier dattier pour l'année 1997

Mois	J	Fv	Mr	Av	Ma	Ju	Jui	Ao	Sep	Oc	Nov	Dec
ETM mm/j	1,93	2,19	2,65	3,17	4,8	4,43	4,42	4,41	3,75	2,93	2,3	1,92
Pe mm/j	0											
R mm/j	0,51	0,55	0,53	0,53	0,51	0,55	0,51	0,51	0,57	0,51	0,53	0,51
Bn mm/j	1,42	1,64	2,12	2,67	4,29	3,88	3,91	3,9	3,18	2,42	1,77	1,41

Le tableau ci-dessous montre que les besoins net Bn sont maximales au mois de Mai avec une valeur de 4,29 mm/ J.

6.5 Efficience de l'irrigation

L'efficience de l'irrigation se caractérise par le rapport entre les volumes d'eau effectivement utilisés par les plantes et les volumes d'eau délivrés en tête de réseau.

La différence entre ces deux volumes est constituée par les pertes qui peuvent se produire :

a) à la parcelle :

- par ruissellement superficielle et par percolation profonde, surtout avec l'irrigation par submersion,
- par évaporation directe, pendant l'aspersion notamment.

b) dans le réseau :

- fuites dans les conduites, ruptures des canalisations, vidange, etc....,
- infiltration à travers le fond et les berges des canaux.

Pour l'irrigation au goutte à goutte la valeur de E est comprise entre $85\% < E < 90\%$, pour notre cas on fixe une valeur de E égale à 85%.

6.6 Comparaison entre l'irrigation gravitaire et la micro irrigation

- Economie de l'eau

L'efficience dans l'économie en eau des différentes méthodes d'irrigation étant différentes. Au début de ce chapitre, nous avons évalué les besoins mensuelles en eau du palmier dattier pour le mode d'irrigation au goutte à goutte, nous allons les comparées avec ceux de l'irrigation gravitaire.

Les besoins en eau mensuelle du palmier dattier pour l'irrigation gravitaire sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau 6.4 : Besoin en eau d'irrigation pour le palmier dattier
(Irrigation gravitaire)

Mois	Ja	Fe	Mr	Av	Ma	Ju	Jui	Ao	Sep	Oc	Nov	Dec
Evapotranspiration de référence mm/mois	99,8	106,29	136,9	158,7	248,3	221,5	228,5	228,3	187,3	151,5	115,5	99,62
Besoin en eau mm/j	2,41	2,74	3,31	3,96	6,0	5,53	5,53	5,52	4,68	3,66	2,88	2,41
Volume d'eau m³/j	24,1	27,4	33,1	39,6	60	55,3	55,3	55,2	46,8	36,6	28,8	24,1
Volume d'eau m³/mois	748,5	797,1	1027,2	1190,7	1862,4	1661,7	1714,4	1712,4	1404,9	1136,2	866,2	747,1
Volume annuel m³/an	14869 m³/an											

Le tableau ci-dessus, montre que les besoins de pointe du palmier dattier sont de 6 mm/J correspondant au mois de Mai.

Les besoins en eau du palmier dattier déjà évaluée pour la méthode d'irrigation au goutte à goutte se résume dans le tableau ci-dessous

Tableau 6.5 : Besoins en eau d'irrigation du palmier dattier
(Irrigation au goutte à goutte)

Mois	Ja	Fe	Mr	Av	Ma	Ju	Jui	Ao	Sep	Oc	Nov	Dec
Evapotranspiration de référence mm/mois	99,8	106,29	136,9	158,7	248,3	221,5	228,5	228,3	187,3	151,5	115,5	99,62
Besoin en eau mm/j	1,93	2,19	2,65	3,175	4,8	4,43	4,42	4,41	3,75	2,9	2,30	1,92
Volume d'eau m³/j	19,3	21,9	26,5	31,75	48,06	44,31	44,24	44,19	37,5	29,32	23,09	19,27
Volume d'eau m³/mois	598,8	637,6	821,7	952,5	1489,9	1329,3	1371,5	1369,9	1126	909,2	692,9	597,6
Volume annuel m³/an	11897 m³/an											

L'analyse des deux tableaux précédents, montre un volume d'écart annuel de 2972 m³/an entre les deux modes d'irrigation, et qui se traduit par une efficacité de 80%.

Certain chercheur (Mermoud, 1989) dit que cette économie d'eau peut atteindre 90% si le réseau d'irrigation au goutte à goutte est bien dimensionné, et qu'il fonctionne très bien.

6.7 Eléments fondamentaux de l'étude du projet

Les besoins en eau d'appoint des végétaux (ou besoins nets) déterminé par la méthode évoquée au début de ce chapitre constitue le paramètre fondamental de l'étude du projet d'irrigation.

Maintenant, les modalités de distribution des volumes d'eau nécessaire aux cultures selon les propriétés hydrodynamiques des sols, la méthode d'arrosage (goutte à goutte), etc. En n'arrose pas de façon continue, mais de façons intermittente. Il s'agit donc d'établir un certain nombre d'éléments fondamentaux tels que le débit à fournir, la dose à apporter, la durée des arrosages, la fréquence des irrigations, la dimension de l'unité d'arrosages, etc. Ces paramètres définissent ce que l'on pourrait appeler les modalités pratiques d'arrosages.

6.7.1 Modalités pratiques d'arrosage

6.7.1.1 Besoins effectifs

L'étude fréquentielle des besoins donne la quantité d'eau d'appoint nécessaire aux végétaux. Pratiquement, il y a lieu de fournir plus d'eau qu'il n'est théoriquement nécessaire pour faire face aux pertes dans le réseau et à la parcelle. Ces pertes sont caractérisées par l'efficacité E.

Les besoins en eau effectifs (volumes d'eau qu'il faut réellement apporter) se calculent donc par :

$$B = \frac{100B_n}{E} \quad (6.10)$$

B : besoins effectifs, en mm/j ou m³.ha⁻¹ ;

B_n : besoins nets, en mm/j ou m³.ha⁻¹ ;

E : efficacité, en %.

Les valeurs de B (besoins effectifs) sont données au tableau suivant :

Tableau 6.6 : Variation des besoins effectifs durant l'année 1997

Mois	J	Fv	Mr	Av	Ma	Ju	Jui	Ao	Sep	Oc	Nov	Dec
Bn mm/j	1,42	1,64	2,12	2,67	4,29	3,88	3,91	3,9	3,18	2,42	1,77	1,41
E %	85											
B mm/j	1,67	1,92	2,49	3,14	5,04	4,56	4,6	4,58	3,74	2,84	2,08	1,65

6.7.1.2 Débit de pointe

Le débit de pointe, c'est-à-dire celui nécessaire à la couverture des besoins maximum des végétaux est à la base du dimensionnement des installations (canaux, conduite, etc.) qui doivent permettre de faire face aux périodes critiques. Il serait par conséquent judicieux d'estimer les débits de pointe pour des périodes relativement courtes (la décade, par exemple). En pratique, on se contente souvent d'un calcul effectué sur une base mensuelle.

On peut passer ensuite aux débits instantanés de pointe en appliquant aux résultats obtenus un coefficient de correction, à déterminer pour chaque cas, mais compris généralement entre 1 et 1,5. On peut également se ménager quelques heures de réserve par jour pour faire face aux besoins de pointe (Mermoud, 1989).

Le débit spécifique de pointe se calcul par la formule suivante :

$$q_p = \frac{B}{NJ3600} \quad (6.11)$$

q_p : débit spécifique de pointe, en $m^3 \cdot s^{-1} \cdot ha^{-1}$,

B : besoins effectifs de la période de pointe, $m^3 \cdot ha^{-1}$,

N : nombre d'heures d'irrigation journalière,

J : nombre de jour d'irrigation de la période considéré J=31 jours.

Si on opte pour une durée d'irrigation journalière de 11h/J.

Le débit de pointe se calcul sur la base des besoins effectifs du mois de Mai.

$$q_p = \frac{50,4}{11 \cdot 3600} = 12,7 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{ha}$$

$$q_p = 1,27 \text{ l/s} \cdot \text{ha}$$

Le débit de pointe Q_p pour une surface S vaut donc :

$$Q_p = q_p \cdot S \quad (6.12)$$

Q_p : débit de pointe, $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,

S : surface desservie, en hectare $S=2$ ha.

$$\begin{aligned} Q_p &= 12,7 \cdot 10^{-4} \cdot 2 = 25,4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 2,54 \text{ l/s} \end{aligned}$$

6.7.1.3 Débit fictif continue

C'est le débit fourni de façon continue 24 heures sur 24, permettrait de satisfaire les besoins en eau d'une surface unitaire pendant une période donnée :

$$q = \frac{B}{J86400} \quad (6.13)$$

q : débit fictif continue de la période considéré, en $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$,

J : nombre de jour de la période considéré,

B : besoins effectifs de la période considéré, en $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$

$$q = \frac{50,4}{31 \cdot 86400} = 1,80 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{ha}$$

$$q = 0,018 \text{ l/s} \cdot \text{ha}$$

6.7.1.4 Dose d'irrigation

La dose d'irrigation est la quantité d'eau à apporter à chaque arrosage, elle dépend essentiellement de la nature du sol et de la profondeur d'enracinement de la plante, cette dose maximale correspond donc à la RFU (RFU= 0,52 mm/J).

6.7.1.5 Fréquence des arrosages

Connaissant la dose D et les besoins mensuels B , on peut calculer le nombre n minimal d'irrigation dans le mois.

$$n = \frac{B}{D} = \frac{156,24}{0,5} \quad (6.14)$$

$$n = 306$$

On en déduit immédiatement l'intervalle de temps entre deux arrosages successifs de la même parcelle, ou la rotation R qui est donné par la relation suivante :

$$R_t = \frac{24J}{n} \quad (6.15)$$

R_t : rotation, en heures,

J : nombre de jours du mois considéré.

$$R_t = \frac{24 \cdot 31}{306} = 2\text{h } 24 \text{ min}$$

Donc la rotation se fait chaque 2 heures et 24 min.

6.7.1.6 Main d'eau

La quantité totale d'eau à apporter à chaque arrosage étant connu (dose), il reste encore à déterminer avec quel débit la dose sera fournie à l'irrigant. Il ne faut pas que ce débit soit trop élevé, sans quoi l'utilisateur risque d'être débordé, ni qu'il soit trop faible car la répartition de l'eau serait difficile.

Ce débit délivré par les prises de dernier ordre des réseaux est appelé main d'eau (Me). Il doit être tel que l'irrigant puisse le manipuler aisément, sans perte de temps ni d'eau excessive.

Sa valeur dépend :

- de la nature du sol et de la topographie,
- du type d'irrigation,
- de la dimension des parcelles.

En générale : $10 < Me < 100 \text{ l.s}^{-1}$.

Vu la nature de notre sol aussi que la superficie de la parcelle et le procédé d'irrigation choisi (goutte à goutte) on opte pour une main d'eau Me égale à 10 l.s^{-1} .

6.7.1.7 Unité parcellaire d'arrosage

Le débit délivré en tête de chaque parcelle étant connu et égale à la main d'eau, il faut encore qu'il soit réparti sur une surface telle que, compte tenu de la conductivité hydraulique du sol, il puisse être absorbé en totalité.

En d'autres termes, il faut qu'il y ait équilibre entre le débit d'alimentation Me et le débit d'infiltration Ks , soit :

$$S = \frac{Me}{Ks} \quad (6.16)$$

S : surface de la zone que l'on peut desservir avec un module, en m^2 .

Cette zone est dite unité parcellaire d'arrosage,

Me : main d'eau, en $m^3 \cdot s^{-1}$

Ks : conductivité hydraulique du sol, en $m \cdot s^{-1}$.

Selon l'étude pédologique (chp2), et d'après les tables spécialisées (Ollier,1986), on prend $Ks = 10^{-5} m \cdot s^{-1}$ ce qui nous permet d'avoir une superficie $S = 10^3 m^2$.

6.7.1.8 Nombre de goutteur nécessaire

Notre site d'étude présente une surface totale $S = 2$ hectares, soit $20000m^2$, si on prévoit 3 goutteurs par palmier, et on considère un espacement de $(10m \times 10m)$ entre palmier. Le nombre de goutteurs installé serait 600 goutteurs.

Les goutteurs utilisés est de type non auto régulant dont l'équation de fonctionnement est $q = 9,14 \cdot 10^{-7} H^{0.5}$ (en m^3/s), son choix est arbitraire (Zella, 2003).

6.7.2 Eléments d'un réseau de goutte à goutte

Une installation d'irrigation de goutte à goutte comprend :

De l'amont vers l'aval on trouve (figure 6.2) :

- un point d'eau qui est selon le cas, soit une borne d'un réseau collectif sous pression, soit une station particulière de pompage et de mise en pression, l'eau étant prise soit dans un cours d'eau, ou dans un bassin constituant une réserve, ou encore dans un puits ,

- une installation en tête destinée à conditionner le débit d'eau sous différents aspects grâce aux appareils suivantes :
 - une vanne d'arrêt,
 - un régulateur de pression,
 - un limiteur de débit,
 - un compteur d'eau,

Et ensuite on trouve :

- un injecteur d'engrais (ou une pompe d'engrais liquide),
- une unité de filtration (équipé de un ou plusieurs filtres),
- un réseau de conduites principales qui amène l'eau sur le périmètre et la distribue aux différentes porte-rampes. Les conduites peuvent être en PVC (chlorure de polyvinyle), en PE (polyéthylène), en acier galvanisé, en amiante ciment, etc....,
- un réseau de poste rampes ou conduites secondaires qui alimentent les rampes sur un ou deux cotés. Les conduites principales et secondaires sont généralement enterrées. Elles peuvent comporter des vannes, des dispositifs de régulation de la pression. (Mermoud , 1989).

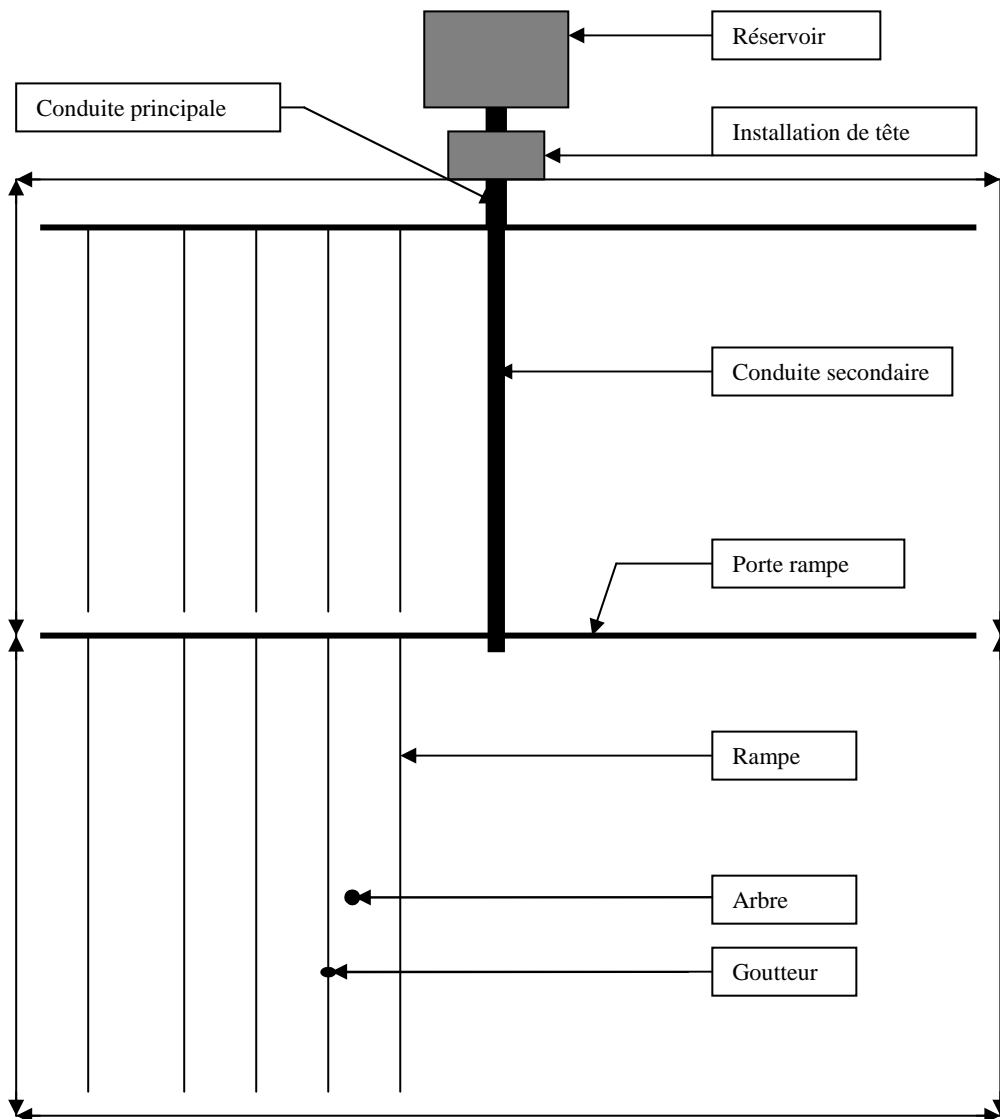


Figure (6.2) : Schéma type d'un réseau d'irrigation en goutte à goutte

6.7.2.1 Goutteurs

Le goutteur est l'organe le plus important et le plus délicat du réseau ; réalisé généralement en PVC ou en matériaux dérivés du PVC, il assure la distribution de l'eau qui diffuse ensuite dans le sol.

Les caractéristiques essentielles d'un bon goutteur sont les suivantes :

- le débit distribué doit être faible et régulier (le débit unitaire varie de 1 à 10 l/h, suivant le modèle et le diamètre des orifices). Un goutteur est caractérisé par la valeur moyenne de son débit à la pression normale de fonctionnement,

- les orifices d'écoulement doivent être suffisamment grandes pour diminuer les risques d'obstruction,

Actuellement sur le marché ils existent de très nombreux modèles de goutteurs qui sont classé par apport à trois critères principaux,

- le mode de montage sur les rampes,
- le nombre de sortie,
- le mode de dissipation de la pression.

6.7.2.2 Choix des goutteurs

La sélection des goutteurs doit être adapté à chaque situation particulière. Le choix dépendra du type de culture de la nature du sol, du climat, de la topographie, de la qualité de l'eau, etc.

a) loi débit pression :

La loi qui lie le débit q d'un goutteur à la pression H à l'entrer est calculée sur la base de la loi d'écoulement à travers un orifice :

$$q = CS\sqrt{2gH} \quad (6.17)$$

S : surface de l'orifice,

H : charge de pression,

C : coefficient.

6.7.2.3 Rampes

Les rampes sont généralement en matériel souple, ce qui facilite leur manipulation. Elles doivent être opaques au rayonnement solaire afin de présenter une bonne résistance au vieillissement et de prévenir le développement d'algues dans le réseau.

6.7.2.3.1 Installation des rampes

L'installation des rampes est conditionnée par différents facteurs (type de culture à irriguer, nature du sol, etc.), les dispositions les plus utilisées sont les suivantes :

- rampe simple : chaque rangée de culture est desservie par une seule rampe rectiligne. Les goutteurs placés en ligne ou en dérivation sont assez rapprochés (entre 0,5 et 2 m). Ce système est surtout utilisé pour les cultures à faible écartement (culture maraîchères, vignes),

- rampes double : deux rampes disposé en parallèle,
- Rampe à dérivation latérale : ce système permet d'augmenter la surface irriguée,
- Rampe à boucles : cette disposition extrêmement flexible permet de regrouper les goutteurs autour des arbres.

6.7.2.4 Unité de filtration

Le problème le plus courant en irrigation au goutte à goutte résulte de l'obstruction des goutteurs et parfois de l'obstruction des conduites (Mermoud, 1989). Les causes peuvent être diverses :

- obstruction physique par des particules solides minérales ou organiques (sable, limon, argile, matière en suspension, etc.) ;
- obstruction chimique due a des dépôts et précipitation de carbonates ou bicarbonates, d'oxydes de fer et de manganèse, de sulfures, etc. ;
- obstruction biologique par des accumulations d'algues, dépôts bactériens, pénétration des racines, etc.

a) un filtre à sable pour retenir les particules légères en suspension telles que les algues ou les autres matières organiques, le sable fin et le limon. Le filtre est constitué de sable spéciale (quartz ou roche volcanique) de granulométrie régulière (1 à 2mm) limité, de part et d'autre, par une couche de gravier.

- b) un filtre a tamis constitué d'un cylindre à l'intérieur duquel est placé un tamis dont les mailles varient de 80 à 150 microns. Il est caractérisé par la valeur des débits pour lesquels il est conçu, par la dimension des mailles et par sa surface total.

6.7.3 Données relatives à la parcelle

La parcelle d'étude s'étend sur une superficie de 2 hectares, de longueur 200m et de largeur 100m. Sur cette superficie plane et rectangulaire sont disposé 4 postes d'irrigation. Chaque poste comporte 5 rampes dotées de 30 goutteurs par rampe. Les besoins de pointes sont estimés à $5,04 \text{ mm.J}^{-1}$ soit $100,8 \text{ m}^3.\text{J}^{-1}$ pour la totalité de la parcelle.

6.7.4 Calcul des caractéristiques hydrauliques du réseau

Chaque rampe est d'une longueur de 100 m et porte 30 goutteurs. Le débit du goutteur étant fonction de la pression, il est égal à 14,4 l.h⁻¹ sous une pression de 20mce ou 20,8 l.h⁻¹ pour une pression de 40m ou 25,5 l.h⁻¹ pour 60m. Il est important pour choisir la pression H de connaître les limites de pression donc le débit de goutteur.

Pour notre cas on a choisi un goutteur avec un débit de 14,4 l.h⁻¹, donc notre rampe doit transporter un débit égal à 12. 10⁻⁵ m³.s⁻¹.

6.7.4.1 Calcul des différents diamètres

La formule utilisée est la suivante :

$$Q = V.S \quad (6.18)$$

Q : débit, en m³.s⁻¹ ,

V : vitesse, en m.s⁻¹ ,

S : section du tuyau, en m².

6.7.4.2 Pour la rampe

Le débit transité par cette rampe est égal à 12. 10⁻⁵ m³s⁻¹, sous une vitesse de 0,38 m.s⁻¹, le diamètre est égal à 20 mm.

6.7.4.3 Pour la porte rampe

Q = 60 .10⁻⁵ m³.s⁻¹, si on admet une valeur de vitesse v = 0,47 m.s⁻¹, le diamètre vaut alors 40 mm.

6.7.4.4 Pour la conduite secondaire

Q = 120.10⁻⁵ m³.s⁻¹, le diamètre est égale à 50 mm sous une vitesse de 0,61 m.s⁻¹

6.7.4.5 Pour la conduite principale

Q = 240.10⁻⁵ m³.s⁻¹, sous une vitesse de 0,54 m.s⁻¹, le diamètre est de 75mm

6.7.5 La durée d'arrosage

Pour satisfaire les besoins en eau des cultures, qui sont estimé à 100,8 m³.J⁻¹, avec le réseau projeté qui doit garantir un débit de 240.10⁻⁵ m³.s⁻¹, soit 8,64 m³.h⁻¹, notre réseau doit fonctionner pendant une durée de **11 heures par jour**.

6.7.6 Calcul des pertes de charges dans le réseau

Le calcul des pertes de charges se fait habituellement par la formule de HAZEN-WILLIAMS qui s'écrit :

$$j = 2,78 \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{Q}{C} \right)^{1,85} \cdot D^{-4,87} \quad (6.19)$$

j : perte de charge unitaire, en m/m ,

Q : débit de la conduite, en m³/h ,

C : coefficient de pertes de charges $C = 140$,

D : diamètre intérieur du tuyau, en m.

Et ΔH la perte de charge totale égale à :

$$\Delta H = j \cdot L \quad (6.20)$$

ΔH : pertes de charge totale, en m ,

j : perte de charge unitaire, en m/m ,

L : la longueur de la conduite, en m.

- **Pour la rampe**

La pertes de charge unitaire dans la rampe est égale à $j = 0,0118$ m /m. Donc la perte de charge totale sera égale à $\Delta H = 1,18$ m.

Sachant que la rampe est horizontal et de section uniforme, et si on admet une pression au dernier goutteur égale à 20 m. La pression à l'entrée de la rampe doit être égale à 21,18 m.

- **Pour la porte rampe**

La perte de charge totale calculée pour la porte rampe est égale à 0,79 m. La pression à l'entrée de la porte rampe ce n'est que la pression à l'enter de la rampe plus la perte de charge de la porte rampe. Cette dernière est égale à 21,97m

- **Pour la conduite secondaire**

La perte de charge totale est égale à 0,96 m. Il reste maintenant de calculer la perte de charge dans la conduite principale et par la suite la charge totale de pression qu'il faut assurer en amont du réseau.

Pour une perte de charge de 0,048 m, la pression en amont du réseau doit être égale à 23 m. Cette pression peut être garantie à l'aide d'une pompe qui doit débité $0,24 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Les caractéristiques hydrauliques de notre réseau sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 6.7 : Caractéristiques hydrauliques du réseau

	Debit m³/s	Perte de charge total en m	Diamètre mm	Vitesse m/s
Rampe	12.10 ⁻⁵	1,18	20	0,38
Porte rampe	60.10 ⁻⁵	0,79	40	0,47
Conduite secondaire	120.10 ⁻⁵	0,96	50	0,61
Conduite principale	240.10 ⁻⁵	0,048	75	0,54

6.8 Choix de la pompe

6.8.1 Généralité

Les pompes sont des engins destinées à élever l'eau à des hauteurs plus ou moins grandes, il existe plusieurs type tel que les pompes volumétrique ou pompe a piston, mais les plus utilisées actuellement sont les pompes centrifuges. Une pompe centrifuge est constituée par un organe mobile qui est la roue ou le rotor et des organes fixe comme le diffuseur (stator), et les canaux de retour.

Elles sont constituées pour répondre à des conditions précises de fonctionnement :

Débit Q à élever à une hauteur H .

- Les pompes peuvent être classé soit selon le nombre de cellule qu'elle comporte (monocellulaire ou multicellulaire), ou selon la position de leur axe, horizontal correspondant au type le plus répandu, soit à axe vertical pour ceux destinées à équipés les forage et les puits.

6.8.2 Courbes caractéristiques d'une pompe

Il y a trois courbes qui caractérisent une pompe centrifuge pour une vitesse de rotation donnée :

- la courbe débit hauteur, ou courbe QH , qui exprime les variations des différentes hauteurs de relèvement en fonction du débit.

- La courbe du rendement pour différents débits.
- La courbe des puissances absorbées pour différents débits (Dupont, 1979).

6.8.3 Hauteur manométrique total

C'est la somme de la hauteur géométrique dans les niveaux du liquide et les pertes de charge causées par des frottements intérieurs qui se forment au passage du liquide dans les tuyaux, dans la pompe et les accessoires hydrauliques (figure 6.3).

Elle est donnée par l'expression suivante :

$$\text{HMT} = h'r - h'c + J'a + J'r \quad (6.21)$$

$h'r$: Hauteur géométrique de refoulement ,

$h'c$: Hauteur géométrique en charge $h'c$,

$J'a$: perte de charge due a l'aspiration,

$J'r$: pertes de charge due au refoulement.

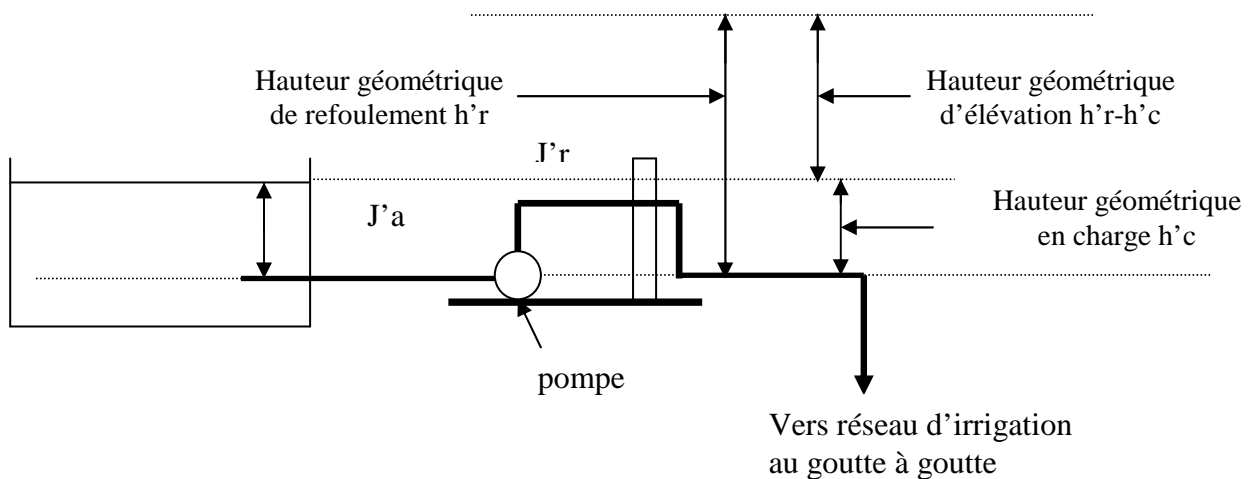


Figure (6.3) : Schéma de l'installation du pompage

Pour la conduite d'aspiration de 90 mm de diamètre (PVC), et une longueur de 3m, qui transite un débit de $8,64 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. J'a égale a 0.015 m (voir figure 4.1 en annexe4).

Les pertes de charge due au refoulement se calcul comme suit (voir figure4.1, tableau ,annexe 4)

$$03 \text{ Coude } 90^\circ = 4,2\text{m}$$

$$\text{vanne} = 0,9\text{m}$$

$$\text{longueur de la conduite} = 7\text{m}$$

$$12,1 \text{ m}$$

La conduite de refoulement de 90 mm de diamètre (PVC) , assure un débit de $8,64 \text{ m}^3/\text{h}$ avec une perte de charge de 0,5m/100m de longueur de la conduite, la perte de charge due au refoulement se calcul comme suit :

$$J'r = \frac{0,5 \cdot 12,1}{100} \quad (6.21)$$

$$J'r = 0,06 \text{ m} ,$$

$$\text{donc HMT} = 20 - 0,8 + 0,015 + 0,06$$

$$\text{HMT} = 19,27\text{m}$$

Dans le réseau d'irrigation la perte de charge linéaire égale à 2,978m, plus les pertes de charge singulière qui représente 15% des pertes linéaires, ce que veut dire que les pertes de charge total sont égale à 3,42 m. Et par la suite la hauteur manométrique total sera égale à 22,69 m.

6.8.4 Détermination du point de fonctionnement de la pompe

Le point de fonctionnement de la pompe débitant sir un réseau d'irrigation se trouve a l'intersection de la courbe du réseau (caractéristique du réseau) avec la courbe caractéristique $H=f(Q)$ de la pompe. On en déduit le rendement (Védie, 1996) (voir annexe 4, figure4.2).

6.8.5 La puissance absorbé par une pompe

C'est la puissance nécessaire pour son entraînement mécanique, donné par la relation :

$$P = \frac{Q \cdot HMT}{367 \cdot \eta} \quad (6.22)$$

P : puissance absorbée, en Kw,

Q : débit, en $m^3 \cdot h^{-1}$,

HMT : hauteur manométrique total,

η : rendement de la pompe.

La puissance absorbée par la pompe tient compte du rendement de cette dernière.

$$Q = 8,64 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}, \text{ HMT} = 22,69 \text{ m}, \eta = 0,59$$

La valeur de la puissance absorbé pour notre cas est égale à **P=0,9 Kw**.

6.8.6 Identification de la pompe

La consultation des catalogues techniques des fabricants de pompe centrifuge nous a permis de sélectionner une pompe centrifuge répondant aux exigences techniques spécifiées dont les caractéristiques sont comme suit (Poval, 2003) :

$$P = 905,37 \text{ w}$$

$$\text{HMT} = 22,69 \text{ m}$$

$$Q = 8,64 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

$$N = 2900 \text{ tr/min.}$$

La pompe est montée sur bêche d'aspiration d'une capacité de 200 m^3 , qui peut assurer deux jours d'irrigation, l'aspiration se fait en dépression.

6.8.7 Calcul du coût de l'énergie électrique

Le coût de l'énergie électrique peut être calculé sur la base de la puissance utile de la pompe qui est de 0,9 Kw, en une journée de (11h) d'irrigation, la dépense énergétique est de 9,9 Kwh ce qui correspond à un coût de 36,63 DA sur la base d'un prix unitaire d'électricité de 3,7 DA/Kwh, la dépense de 10 mois d'irrigation s'élèvera à 10989 DA pour une énergie de 2970 Kwh.

Mais ce coût peut être revue à la baisse en respectant certaines consignes : le maximum de pompage est réalisé durant la nuit car le coût du Kwh étant le plus bas.

6.9 Utilisation de l'énergie solaire pour le pompage d'eau d'irrigation

6.9.1 Introduction

L'énergie solaire est une source d'énergie disponible et propre. Les problèmes rencontrés dans les régions isolées dans le sud Algérien, éloignement des réseaux électriques, et la difficulté d'approvisionnement en carburant, et le coût élevé de raccordement à un réseau électrique de haute tension, ont laissé croire que l'utilisation de l'énergie solaire (voir annexe 5) dans l'alimentation en eau et l'irrigation peut constituer une solution adéquate pour le développement de l'activité agricole dans ces régions, surtout caractérisées par un ensoleillement important dépassant la moyenne de 6000 Wh/m².jour.

L'Algérie a connu l'utilisation du photovoltaïque depuis 1985, elle compte plus de 50 sites équipés par le système de pompage solaire dans la région du sud ouest (W.Adrar) (Messaitfa,2001) .

6.9.2 La nécessité du pompage photovoltaïque

Notre site d'étude présente plusieurs facteurs qui favorisent l'utilisation du pompage solaire, le critère majeur est l'importance de la valeur d'ensoleillement, ainsi que ce choix est justifié par le coût important du raccordement à un réseau électrique éloigné.

L'étude qui a été faite par Djafour (2001) surtout pour répondre à la question de la rentabilité d'un investissement dans le pompage photovoltaïque contre le pompage par électricité traditionnelle, montre que le coût du mètre cube pompé par le système (photovoltaïque)(voir annexe5) est supérieur à celui du système alimenté par réseau électrique. Mais ce résultat est peut être inversé suite à la baisse des prix du générateur dans les années à venir, qui représente plus de 42 % du prix total du système photovoltaïque.

Des études comparatives de ce genre sont d'une grande importance pour vaincre les autorités administratives de lancer dans un programme d'investissement de grande échelle surtout dans les zones arides et isolées.

CONCLUSION

Les zones arides caractérisées par une grande pénurie d'eau, et par des évaporations importantes ne permettant pas toutes activités agricoles sans irrigation.

Cette contribution abordant l'utilisation d'eau usée traité issu d'une laiterie au Sud Ouest Algérien (W.Béchar) dans le domaine agricole pour l'irrigation, peut aider à diminuer la gravité de la rareté de l'eau, pour notre cas nous avons considéré une parcelle de deux hectares de superficie cultivé de palmier dattier connu pour sa valeur commerciale et qui peut aider au développement de la région.

En effet, ce travail s'inscrit dans un contexte à double intérêt, le premier vise la protection de l'environnement et l'autre une réutilisation adéquate de l'eau c'est à dire son économie. Donc ce travail s'articule sur deux parties. La première concerne les analyses des eaux usées et épurées de l'usine, et l'autre l'irrigation du palmier dattier par ces eaux traitées.

En ce qui concerne la première partie, nous avons procédé à une série d'analyse physico-chimiques au laboratoire sur les eaux usées et épurées du Sudlait (Igli), pour notre cas et comme nous avons fixé lors de notre étude la valorisation des eaux de rejet de la laiterie à des fins agricole (irrigation), nous nous sommes intéressé plus particulièrement aux résultats d'analyse des eaux traitées (épurées) par la station d'épuration et qui seront éventuellement en irrigation. Les résultats analytiques indiquent un fonctionnement satisfaisant de la station d'épuration, et l'eau issu de celle-ci est valable à l'irrigation du faite que les paramètres physico-chimiques qui peuvent altérées le développement des végétaux ont des valeurs acceptable par apport au norme locale.

La deuxième partie concernant l'irrigation est composé de plusieurs éléments qui sont :

- l'estimation des besoins en eau du palmier dattier, qui a été faite sur la base des calculs de l'évapotranspiration, et pour notre cas on a choisi la formule de Blaney et Criddle qui s'adapte bien avec nos conditions climatiques. Cependant le mois de Mai est celui ou

l'évapotranspiration atteint son maximum durant tout l'année avec une valeur de 4,8 mm/J, ce qui implique une forte demande en eau d'irrigation.

- pour bien choisir le procédé d'irrigation qui nous convient, nous avons fait une comparaison entre le mode d'irrigation gravitaire et le mode d'irrigation au goutte à goutte, et nous avons retenue le deuxième procédé et c'est grâce à l'économie d'eau qu'il garantie, à savoir 80% environ.
- l'irrigation au goutte à goutte est peut être le procédé le plus favorable préconisé dans les zones arides, suite aux avantages qu'il présente, surtout en matière d'économie d'eau d'irrigation.

Dans cette contribution nous avons essayé de dimensionner un réseau d'irrigation au goutte à goutte pour la parcelle d'étude de deux hectares de superficie cultivé par le palmier dattier.

Sur cette parcelle un réseau composé de quatre postes d'irrigation, muni chacun de cinq rampes doté de 30 goutteurs par rampe couvrant les besoins en eau de pointe estimé à 5,04 mm/J soit 100,8 m³/J pour la totalité de la parcelle.

Chaque goutteur fournie un débit de 14,4 l/h, sur le quel une durée d'arrosage de 8 heures est nécessaire pour couvrir la totalité des besoins en eau d'irrigation du palmier dattier. Nous avons également étudié (dimensionner) la pompe assurant le débit.

Et enfin nous avons essayé de connaître le coût de l'énergie électrique dépensé par le pompage d'eau afin de pouvoir proposer un système de photovoltaïque puisqu'on est dans une région où l'ensoleillement est très élevé. C'est vrai que l'utilisation de la technique du pompage photovoltaïque reste très faible en Algérie à cause de son coût onéreux mais elle est très bénéfique en zone rural (cas de notre site d'étude). Le coût de l'installation est peut être amortie au bout de quelques années suite à la baisse des prix du matériel.

Ce travail est en fait multidisciplinaire car nous avons abordé un grand aspect écologique à savoir le traitement des eaux usées qui seront utilisées dans l'irrigation ou l'énergie issue de centrale à énergie fossile reste cher et

polluante, on recommande l'utilisation d'énergie solaire et ceci permet de valoriser les ressources des régions rurales (des régions arides) en commercialisant les dattes ce qui permet de créer une dynamique dans l'activité économique dans la région

En perspectives, nous espérons de pouvoir élargir la recherche sur l'impact de l'irrigation par les eaux usées sur le sol et la plante par l'expérimentation.

Simulation et optimisation des réseaux d'irrigation au goutte à goutte dans les régions arides.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abu-Rizaiza, OS. (1998).** Modification of the standards of wastewater reuse in Saudi Arabia, water research, Vol.33.issue11, p 2601-2608.
- Alexeev, V. (1980).** Analyse quantitative, Edition Mir,500p.
- André, M. (2001).** Maîtrise de la consommation d'eau et des rejets des IAA, printed by BIALEC, imprimerie SA , Nancy, France,170p.
- Asano, T. (2001).** Water from (waste) water-the dependable water research. Stockholm water symposium, Stockholm, Sweden, p1-13.
- Badri, A. Zahraoui, B. Kaid-Omar, Z. Cheriti, A. Addou, A.(2001).** Corrélation lithiase urinaire-eau potable dans le sud Ouest Algérien: Cas de la région de Béchar', J.E.Chem.Envi, Tiaret, pp 19.
- Badri, A. (1998).** Contribution à l'établissement et à l'analyse des résultats de la carte de pollution de la région de Tlemcen, mémoire de Magister, Université de Mostaghanem, 150 p.
- Bontoux, J.(1993).** Introduction à l'étude des eaux douces : qualité et santé ,2^{ème} édition, Cedoc éditeur, p 118.
- Cheverry, Cl. Robert, M.(1998).** La dégradation des sols irrigués et de la ressource en eau, Étude et gestion des sols, 5,4, p 217-226.
- Cheriti, A . Sekkoum, K. Zahraoui, B. Talhi, M.F. Addou, A. (2003).** Corrélation lithiase urinaire-eau potable dans le sud ouest Algérien : cas de la région d'El Bayadh , Sem.Na.Eau Envi, Béchar, pp 32.
- Charlot, G.(1978).** Dosage absorptiométriques des éléments minéraux. Edition Masson, 380 p
- Dieter, P. Anupam. Singh, K.(2000).** Water resources in arid regions and their sustainable management. Annals of Arid Lands, special issue on search.pp1-19
- Dupont, A. (1979).** Hydraulique urbaine, tome II, Edition Eyrolles, 475p.
- Djafour, A. Aida, M. (2001).** Séminaire des énergies renouvelables, Adrar, p28.
- Drouart, E. Vouillamoz, J-M. (1999).** Alimentation en eau des populations menacées, Edition Hermann, France. 566 p
- Faruqui, N. (2002).** Wastewater treatment and reuse for food and water security, international development research center (IDRC), Canada, p1-12.
- Jiménez, B, Chavez, A. Hermadez, C. (1999).** Alternative treatment for wastewater destined for agriculture use, water reseach.Vol.40, p 355-365.

Journal officiel de la R.A.D.P. (1993).N° 46, p7.

KADI, A. (1998). Données bioécologiques de l'entomofaune dans quelques stations à Béchar, Mémoire d'ingénieur, Ins .Nat. Agronomique d'EL-Harrach. Alger,140 p.

Lascombe, C. (1981). Impact sur le milieu naturel, dossier spécial textile. ABR, Paris.

Lin, W. Jemest. (1998) . Studies of recycled water irrigation and effects of elevated mineral nutrient concentrations on growth and uptake of landscape plant species and ornamental grasses. Slosson Report.95-98, p1-6.

Mermoud, M .(1989). Méthode et technique d'irrigation, Ecole polytechnique Fédérale de Lausanne. Dept de Génie rural, 219 p.

Munier, P. (1973). Le palmier dattier, Edition Maisonneuve et laroze, Paris, 221p.

Messaitfa, (2001). Séminaire des énergies renouvelables, Adrar,pp36.

Norme AFNOR T 90-14. (1952). Essai des eaux, dosage des ions chlores.

Norme AFNOR T 90. (1954). Essai des eaux, dosage des sulfates.

Norme AFNOR T 90-10. (1971). Essai des eaux, détermination de la DCO.

Norme AFNOR T 90-100. (1972). Echantillonnage, précaution à prendre pour effectuer, conserver et traiter les prélèvements.

Norme AFNOR T 90-12. (1975). Essai des eaux, dosage des nitrites méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire.

Norme AFNOR T 90-103. (1975). Essai des eaux, détermination de la DBO

Norme AFNOR T 90-13. (1985). Essai des eaux, dosage des nitrites méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire.

Norme AFNOR T90-350. (1985). Détermination de l'indice biologique global.

Norme AFNOR T 90-23. (1986). Essai des eaux, dosage des orthophosphates.

Norme AFNOR T 2. (1999). Qualité des eaux.

Ollier, C. Poirée, M. (1983). Irrigation-les réseaux d'irrigation théorie, technique et économie des ouvrages, Edition Eyrolles. Paris,503p

Ollier, C. (1986). Irrigation, les réseaux d'irrigation, théorie, technique et économie des arrosages. Edition Eyrolles. Paris, 510p

Peterson, H. (2000). Agriculture and agro food Canada, prairie farm rehabilitation administration. Water quality requirement for Saskatchewan's AgroFood Industry. Water research.

- Pollution Water Quality.** Water-Related Technologies for Agriculture in US. Arid and Semiarid Lands. Chapter IV Water Quality, p85-101.
- Poval. (2003).** Document technique des pompes centrifuges a axe horizontale, Unité pompe. BERROUAGHIA ,plies.
- Ramade, F. (1989).** Elément d'écologie ; écologie fondamentale, Edition Mac. Grow HILL, Paris, 403p.
- Richard, C. (2000).** Public health implication of water reuse in the food and beverage industry., WHO, Geneva, Switzerland, p 7-40.
- Rodier, J. (1996).** Analyse De l'Eau.eau naturelles.eau résiduaire.eau de mer ,8^{ème} édition, Edi, Dunod, Paris,1364p.
- Stuart, A. Bengson. (1977).** Drip Irrigation to revegetate mine wastes in an arid environment. Journal of Range Management, p144-147.
- Simonneau, P. Durani, J, H (1958).** Les périmètres irrigables expérimentaux du Sahara Occidental. Rapport d'étude des services de l'hydraulique et de l'équipement rural, p 69-88.
- Talhi, M.F. Cheriti, A. Sekkoum, M. Draoui, B. Girol, N.N. (2003).** Etude d'installation combinée de décanteurs à couches minces, de filtres à charge flottante et de charge à charbon activé pour l'épuration d'eau des sources superficielles , Sem.Na.Eau Envi. Béchar. pp 42.
- Toutain, G. (1978) .**Agriculture Saharienne, Edition Eyrolles,276p.
- Vandevenne, L. (1989).** Gestion des eaux usées urbaine et industrielle. Technique et documentation Lavoisier, France,503p.
- Vaillant, J.R. (1974).** Perfectionnement et nouveauté par l'épuration des eaux résiduaire, des eaux usées urbaines et eaux résiduaire industrielles.
- Vedie, H (1996).** les stations de pompage individuelles pour l'irrigation, Edition Cemagref, France, 103p.
- Zella, I. (2003).** Optimisation d'un réseau de micro irrigation. Sem.Na.Eau Envi. Béchar. pp 18-26.