

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

**ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DE L'HYDRAULIQUE
ARBAOUI ABDALLAH**

DEPARTEMENT GENIE DE L'EAU

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

OPTION : Conception des systèmes d'irrigation-drainage

THEME:

**ETUDE D'AMENAGEMENT DES RESEAUX DE DRAINAGE
DE LA PALMERAIE DE TIMOKTEN (W.ADRAR)**

Présenté par :

M^r LAROUI ABDELHAK

Promotrice :

M^{me} W. AZIEZ

Devant le jury composé de :

Président: M^r T. KHETTAL

**Examineurs: M^{me} L. BAHBOUH
M^{me} S. LEULMI
M^{elle} D. HADJ BACHIR
M^r M. DJELLAB**

Octobre 2010

Dédicace



{قُلْ إِنَّ صَلَاتِي وَنُسُكِي وَمَحْيَايَ وَمَمَاتِي لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ لَا شَرِيكَ لَهُ وَبِذَلِكَ أُمِرْتُ وَأَنَا أَوَّلُ الْمُسْلِمِينَ}

Je rends un grand hommage à travers ce modeste travail, en signe de respect et de reconnaissance envers :

Ma mère fatiha

Mon père saïd

Pour tous les sacrifices et leur soutien moral et matériel dont ils ont fait preuve pour que je réussisse.

Je le dédie également à

Mes frères et ma sœur: yassine, youcef et nabila.

Mes amis: hamza, ,elhadj, abdelhamid, abdelkarim, salem, nabil, issa, bilal, amar, fathi ; amine et les autres qui sont nombreux.

En un mot, à toute ma famille, mes amis et ceux qui ont contribué de près ou de loin à ma formation.

abdelhak 2010

Remerciement

A l'issu de cette étude, Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à toutes les personnes qui m'ont aidé tout au long de mon travail.

Ma reconnaissance va plus particulièrement à :

Ma promotrice M^{eme} AZIEZ WAHIBA pour sa contribution à l'élaboration de ce mémoire.

Monsieur MOUMNI ABDERAHIM qui m'a donné les informations nécessaires pour réaliser ce mémoire

M^{eme} BAHBOUH pour ses appréciations et ses remarques.

*L'ensemble des enseignants qui m'ont suivi durant mon cycle d'étude.
Je tiens à remercier aussi :*

- * Les membres de jury pour avoir accepté d'évaluer mon travail*
- * Le corps enseignant et les étudiants de l'ENSH*
- * Tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de mon mémoire.*

abdellhak 2010

ملخص

في إطار هذه المذكرة المساهمة في دراسة الصرف الزراعي لنخيل منطقة تمقطن . تعد ظاهرة صعود مياه الطبقة السطحية مؤثرة بدرجة كبيرة في هذه المنطقة ومعقدة حيث أن مستوى الطبقة السطحية في بعض المناطق يصل إلى 30 سم أو أقل من ذلك الذي يشكل نتائج خطيرة على مستوى النشاط الزراعي وأيضاً على المياه الجوفية. إن الهدف من هذه الدراسة هو تخفيض نسبة الملوحة والتخلص من كمية المياه المساهمة في هذه الظاهرة الناتجة عن عملية غسل الأرض مع مقارنة الوضع الحالي بالوضع النظري اللازم.

Résumé.

L'étude menée dans le cadre de ce mémoire, représente une contribution à l'étude du drainage agricole des palmeraies situées dans la zone de TIMOKTEN.

Le problème de la remontée des eaux de la nappe est très important et sévère, le niveau de cette nappe par endroit est à moins de 30 cm sinon moins de la surface du sol, ce qui entraîne des graves conséquences au niveau d'activité agronomique et même sur les eaux souterraine.

Le but de ce travail c'est la réduction de pourcentage du salinisation et la soustraction l'apport d'eau provenant de l'opération de lessivage du sol et ce en comparant la situation actuelle à celle qui devrait l'être théoriquement.

Summary

The study undertaken within the framework of this memory, represents a contribution to the study of the agricultural drainage of the palm plantations located in the zone of TIMOKTEN..

The problem of the increase of water of the tablecloth is very significant and severe, the level of this tablecloth per place east with less than 30 cm if not less surface of the ground, which entraîne of serious effects on the agronomic level and the same of waters subterranean.

This work with for objective reduced the percentage of salinization and subtraction the water coming from the Leaching of soil and this by comparing the current situation with that which should be it theoretically.

SOMMAIRE

Page

Liste des tableaux

Liste des figures et photos

Liste des abréviations

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE I : Analyse des conditions naturelles

I.1 - Situation Géographique.....	2
I.1.1- Localisation de la wilaya d'Adrar2.....	2
I.1.2- Localisation du projet	3
I.2- Etude Climatologique	5
I.2.1- Température.....	6
I.2.2 -Insolation	6
I.2.3 – Pluviométrie.....	7
I.2.4 - L'humidité.....	8
I.2.5 - Le vent.....	9
I.2.6 - L'évaporation.....	11
I.2.7 - L'évapotranspiration de référence	12
I.2.8 - Les indices climatiques.....	13
a) L'indice d'aridité de MARTONE.....	13
b) Quotient pluviométrique d'EMBERGER.....	14
c) Climogramme pluviométrique de BAGNOULS ET GAUSSEN.....	15
I.3 Etude Géomorphologique et topographique.....	16
I.3.1-Géomorphologie	16
I.3.1- Topographie	17
I.4 - Etude Géologique Et Hydrogéologique.....	18
I.4.1- Etude géologique	18
I.4.2- Etude Hydrogéologique	18
I.4.2.1-Lithologie et cartographie des épaisseurs utiles du CI.....	19
I.4.2.2-Puissance utile de réservoir de CL.....	19
I.4.2.3-Toit, Substratum et épaisseurs « saturées » du CI.....	20
I.4.2.4-Niveau statique de la nappe aquifère de CL.....	22
I.4.2.5-Paramètres hydrodynamique	23
I.4.2.6-Le sens d'écoulement des eaux de la nappe aquifère.....	23
I.4.2.7-Calcul hydrogéologique.....	24
Conclusion	25

CHAPITRE II : ETUDE AGRO-PEDOLOGIQUE

II. 1-Etude de sol.....	27
II.2- Prospection de terrain.....	27
II.3- Aspects géomorphologique.....	28
II.4- Description pédologique.....	28
II.5-Description du sol.....	29
1. La profondeur.....	30
2. Texture et structure	30

3. Calcaire total et calcaire actif	30
4. Le pH et la Conductivité électrique	30
Conclusion.....	32

CHAPITRE III : Resource en eau

Introduction.....	34
III.1 Les ressource en eau	34
III 1.1-Les forages.....	34
III 1.2-Les puits.....	35
III 1.3-Les foggaras	36
III.1.3.1-Description et fonctionnement de la foggara	37
III.1.3.2-L'évolution des foggaras	38
III.1.3.3-La répartition des eaux de foggara	40
III.1.3.4-Le débit à apporté par les Foggara de la commune de TIMOKTEN.....	44
III.2 Caractéristique physique et chimique des eaux.....	44
III.2.1- Les limites admissibles	45
a)La conductivité électrique.....	45
b) Le SAR (Sodium Absorption Ration)	46
III.2.2- Classification des eaux	47
Conclusion.....	49

CHAPITRE IV : Analyse hydro-agricole et problématique

Introduction.....	51
IV.1- Organisation administrative	51
IV.2-Population.....	51
IV.3-Infrastructures hydrauliques	52
IV.3.1-les réseaux hydrauliques existants.....	52
IV.3.1.1-Réseau d'Assainissement.....	52
IV.3.1.2- Réseau d'AEP.....	52
IV.3.1.3- Réseau d'irrigation.....	52
IV.4- L'agriculture.....	53
IV.4.1-Répartition des terres agricoles.....	53
IV.4.2-La production agricole et leur superficie	53
IV.4.3-L'agriculture dans la région d'Aoulef.....	55
IV.5-l'irrigation de la palmeraie.....	57
IV.5.1-L'irrigation traditionnelle.....	57
IV.5.2-L'irrigation localisée	57
IV.5.3-L'irrigation par aspersion	57
IV.6-Description générale de problème	57
IV.6.1-Phénomène de salinisation.....	57
IV.6.2-Origine de la salinité	58
IV.6.2.1- La salinisation causée par l'irrigation.....	58
IV.6.3-Effet de salinité des sols.....	59
IV.6.4-Les Types de salinisation.....	59
IV.6.5-Caractéristiques des sols salés.....	59
IV.6.6-Solutions préventives et curatives possibles	61

<i>IV.7-Pollution des eaux des foggaras</i>	62
<i>IV.7.1-Pollution chimique</i>	62
<i>IV.7.2-Pollution bactériologique</i>	63
<i>Conclusion</i>	65

Chapitre V : Besoin en eau

<i>Introduction</i>	67
<i>V.1-définition</i>	67
<i>V.2- L'évapotranspiration potentielle de référence (ETo)</i>	68
<i>V.2.1- Formule de Blaney Cridle (USA)</i>	68
<i>V.2.2- Methode de Mr Penman&motheit modifiée</i>	69
<i>V.3- évapotranspiration réelle ou culture (ETR ou ETc)</i>	71
<i>V.3.1-Calcul des besoins nets (Bn)</i>	72
<i>V.3.2-La pluie efficace</i>	73
<i>V.3.3 -L'effet oasis</i>	73
<i>V.4-Efficience de l'irrigation</i>	76
<i>V.4.1-Efficacité de transport Et</i>	77
<i>V.4.2-Efficacité de distribution Ed</i>	77
<i>V.4.3-Efficacité de l'uniformité</i>	77
<i>V.5-Calcul dose d'irrigation par Foggara</i>	78
<i>V.6-Lessivage des sols</i>	78
<i>V.6.1-Le rôle du lessivage</i>	79
<i>V.6.2-Notions du bilan salin dans un sol</i>	79
<i>V.6.3-périodes et méthodes de lessivage des sols</i>	79
<i>V.6.4-Besoin en eau pour lessivage</i>	80
<i>V.6.5- Calcul la dose de lessivage</i>	81
<i>V.7- Calcul des pertes de l'irrigation</i>	82
<i>Conclusion</i>	83

Chapitre VI : Choix de variante de réseau de drainage

<i>Introduction</i>	85
<i>VI.1- Effets positifs de l'assainissement du sol</i>	85
<i>VI.2- Justification du réseau de drainage</i>	85
<i>VI.3- cause de drainage</i>	86
<i>VI.4-Description de réseau de drainage existant</i>	86
<i>VI.5-Variantes du réseau de drainage</i>	86
<i>VI.5.1- Variante1: Réseau de drainage avec des drains tranché a ciel ouvert</i> ...	86
<i>VI.5.1.1-Les avantages et les inconvénients</i>	87
<i>VI.5.2-Variante2: Réseau de drainage avec des par drains enterrés.</i>	89
<i>VI.5.2.1-Les avantages et les inconvénients</i>	90
<i>VI.6 - Choix des variantes du réseau de drainage</i>	92
<i>VI.7- Caractéristiques des drains projetés</i>	92
<i>VI.7.1- Calcul du débit caractéristique</i>	92
<i>VI.7.2- Choix de la profondeur des drains</i>	93
<i>VI.7.3- Profondeur de l'imperméable</i>	93

VI.7.4- Calcule de l'écartement des drains.....	93
Conclusion	95

Chapitre VII : calcul hydraulique

VII.1- Dimension des drains.....	97
VII.1.1- Longueur des files de drains.....	97
VII.1.2-Diamètre des drains.....	97
VII.2- calcul hydraulique des collecteurs.....	98
VII.3- Caractéristiques des collecteurs.....	104
VII.3.1-Les collecteurs primaires.....	104
VII.3.2- Les collecteurs secondaires.....	104
VII.3.3- Le Collecteur principal.....	104
VII.4- L'Exutoire (Rejet).....	105

Chapitre VIII : Gestion et entretien de système de drainage

VIII .1- Entretien et pérennité des systèmes de drainage	107
VIII .2-Causes de non-fonctionnement du drainage.....	107
VIII .2.1- Obstructions d'origine technique.....	107
VIII .2.1.1- Insuffisance de la section des drains.....	107
VIII .2.1.2- Insuffisance de la pente des drains.....	107
VIII .2.1.3- Mauvaise qualité des tuyaux.....	109
VIII .2.1.4- Défectuosités pendant l'exécution des travaux.....	109
VIII .2.2- Obstructions d'origine naturelle.....	110
VIII .2.2.1- Pénétration dans les drains de petits animaux.....	110
VIII .2.2.2-Dépôts de matières minérales.....	110
VIII .2.2.3-Colmatage par dépôts à réaction chimique.....	111
VIII .2.2.4-Blocage des tuyaux par des racines d'arbres.....	112
VIII .2.2.5-Développement dans les tuyaux d'algues spéciales.....	112
VIII.3-Méthodes d'entretien des réseaux enterrés	112
VIII.3.1-Raccordement drain- collecteur.....	113
VIII.4-Constataions et recommandations.....	113

Conclusion générale

Références Bibliographiques

Annexe

Liste des tableaux

Page

Chapitre I :

Tableau I.1 : Moyennes mensuelles des températures (C°) période 1975-1995.....	6
Tableau I.2 : Moyennes mensuelles d'Insolation période 1975-199.....	6
Tableau I.3 : Moyennes mensuelles des précipitations période 1975-1995.....	7
Tableau I.4 : Humidité relative à la station période 1975-1995.....	8
Tableau I.5 : Force du vent à la station d'Adrar.....	10
Tableau I.6 : vitesse du vent à la station d'Adrar.....	10
Tableau I.7 : Fréquence des directions des vents.....	10
Tableau I.8 : Évaporation à la station d'Adrar période 75-95.....	11
Tableau I.9 : Evapotranspiration de référence(ET0).....	12
Tableau I.10 : Classification du climat selon MARTON.....	13

Chapitre II :

Tableau II.1: Résultats des analyses des profils.....	29
---	----

CHAPITRE III

Tableau III.1 : Etat des forages durant les périodes distinctes 1998 et 2002.....	35
Tableau III.2: Caractéristiques du forage d'irrigation dans la région d'AOULEF.....	35
Tableau III.3 : Développement des puits	35
Tableau III.4: Evolution de la foggara du Tidikelt.....	40
Tableau III.5: les déférentes foggaras dans la région de Tidikelt.....	42
Tableau III.6: Le débit à apporté par Foggaras de la commune de TIMOKTEN.....	44
Tableau III.7: Coordonnés des prélèvements des analyses des eaux.....	45
Tableau III.8: Résultats des analyses des eaux.....	45
Tableau III.9: Classification des eaux en fonction de la conductivité électrique.....	46
Tableau III.10 : calcul de SAR pour chaque point.....	47
Tableau III.11: Les résultats de la classification des eaux.....	47

CHAPITRE IV :

Tableau IV.1 : Répartition de la population dans la région d'AOULEF.....	51
Tableau IV.2 : Inventaire des réseaux d'assainissement.....	52
Tableau IV.3 : Inventaire des réseaux d'AEP.....	52
Tableau IV.4 : Inventaire des foggaras.....	52
Tableau IV.5 : La répartition des terres agricole.....	53
Tableau IV.6 : Les déférentes cultures de la wilaya d'Adrar.....	53
Tableau IV.7 : état du palmier dans la wilaya d'Adrar.....	53
Tableau IV.8 : Statistique des superficies agricoles	55
Tableau IV.9 : Superficies agricoles dans la région d'AOULEF.....	56
Tableau IV.10 : Inventaire de la palmeraie d'AOULEF.....	56
Tableau IV.11 : les Catégories des sols salés.....	60
Tableau IV.12 : chute de rendement de certaines cultures sous l'effet des sels.....	60
Tableau IV.13 : Analyses bactériologiques des eaux des foggaras.....	64

Chapitre V

Tableau V.1: Les informations mensuelles de la station météorologique.....	70
Tableau V.2: résultats de l'évapotranspiration de référence.....	71
Tableau V.3: Calendrier cultural	72
Tableau V.4: Besoins en eau des palmiers dattiers.....	74
Tableau V.5: Besoins en eau des tomates.....	75
Tableau V.6: Besoins en eau des Culture de orge fourragé.....	76
Tableau V.7: Le tableau récapitulatif des besoins nets en eaux pour chaque culture.....	76
Tableau V.8: Calcule dose d'irrigation par Foggara.....	78
Tableau V.9: Calcul de la dose de lessivage.....	81
Tableau V.10: Estimation la dose de lessivage.....	82
Tableau V.11 : Estimation des pertes par percolation.....	82

Chapitre VI

Tableau VI.1 : calcul de l'écartement entre les drains.....	94
---	----

Chapitre VII

Tableau VII.1: Calcul hydraulique du chaque parcelle.....	100
Tableau VII.2 : Calcul hydraulique du collecteurs secondaire 1(CS1).....	102
Tableau VII.3 : Calcul hydraulique du collecteurs secondaire2(CS2).....	103
Tableau VII.4 : Calcul hydraulique du collecteur principal.....	103

<u>Liste des figures</u>	<u>page</u>
Fig.1: Situation générale de La wilaya d'Adrar.....	3
Fig.2: Situation générale de La région de Tidikelt.....	4
Fig.3: Localisation de la zone de TIMOKTEN.....	4
Fig.4:Image satellitaire de palmeraie de TIMOGTEN.....	5
Fig.5 :l'histogramme de Moyennes mensuelles des températures	6
Fig.6:l'histogramme de la pluviométrie.....	7
Fig.7 : Carte en isohyètes moyennes annuelles du Sahara algérien.....	8
Fig.8:l'histogramme de l'humidité relative.....	9
Fig.9:L'histogramme de la vitesse du vent.....	10
Fig.10: l'histogramme de l'Évaporation à la station d'Adrar.....	11
Fig.11 :L'histogramme d'évapotranspiration de référence (ET0).....	12
Fig.12: diagramme bioclimatique d'EMBERGER.....	15
Fig.13 : diagramme de BAGNOULS ET GAUSSEN.....	16
Fig.14 : Traits géomorphologique de la région d'Adrar.....	17
Fig.15 : Relief de la région d'Adrar.....	17
Fig.16 : Carte géologique de la région d'Adrar.....	18
Fig.17: les différentes couches de la nappe Continentale Intercalaire.....	19
Fig.18: Coupe hydrogéologique à travers le Sahara.....	20
Fig.19: carte des altitudes du toit du CI, en mètres.....	21
Fig.20: carte des altitudes du substratum du CI, en mètres.....	21
Fig.21: carte des épaisseurs « saturées » du CL.....	22
Fig.22 : Carte des iso pièzes des Continentale Intercalaire.....	23
Fig.23: Situation des forages exploités dans le bassin occidental.....	34
Fig.24: situation de l'ensemble des foggaras dans la région d'Adrar.....	37
Fig.25: Schéma de fonctionnement de la foggara.....	38
Fig.26 : Evolution des foggaras.....	39
Fig.27: Histogramme de l'évolution des foggaras	40
Fig.28: Kasria principale à la sortie des foggaras.....	41
Fig.29: diagramme de classification des eaux d'irrigation.....	48
Fig.30: carte agricole d'Algérie.....	54
Fig.31: superficies agricoles dans la région d'Aoulef.....	55
Fig.32: Le problème de salinité.....	58
Fig.33: Origines de la salinisation	61
Fig.34: Regard de séparation de pollution (foggara de Ben Draaou).....	63
Fig.35: schéma de bilan hydrique	67
Fig.36: Photo de logiciel de calcul (CROPWAT 8).....	70
Fig.37: la variation de KC.....	72
Fig.38: Drainage de surface par fossé.....	87
Fig.39: Schéma de Réseau de drainage avec des drains tranché a ciel ouvert.....	88

Liste des figures

<i>Fig.40: photo d'un drain enterré.....</i>	<i>89</i>
<i>Fig.41: Drainage par drains enterrés.....</i>	<i>90</i>
<i>Fig.42: Schéma de Réseau de drainage avec des drains fermés.....</i>	<i>91</i>
<i>Fig.43: Caractéristiques des drains.....</i>	<i>94</i>
<i>Fig.44: photo d'une machine draineuse.....</i>	<i>108</i>
<i>Fig.45: Schéma d'une draineuse à outil taupe.....</i>	<i>109</i>
<i>Fig.46: Drains annelés avec filtre.....</i>	<i>111</i>
<i>Fig.47: Colmatage ferrique des orifices d'un drain.....</i>	<i>111</i>

Liste des abréviations

<i>abréviations</i>	<i>signification</i>
<i>AEP</i>	<i>Alimentation en eau potable</i>
<i>CI</i>	<i>Continental intercalaire</i>
<i>CT</i>	<i>Complexe terminal</i>
<i>Cw</i>	<i>Conductivité électrique de l'eau d'irrigation</i>
<i>Ce</i>	<i>Conductivité électrique</i>
<i>DSA</i>	<i>Direction des services agricole</i>
<i>ETR</i>	<i>Evapotranspiration réel</i>
<i>ETP</i>	<i>Evapotranspiration potentiel</i>
<i>ESP</i>	<i>Le taux de sodium échangeable</i>
<i>ECe</i>	<i>Conductivité électrique du sol qui provoque une chute de rendement de 10%</i>
<i>Ha</i>	<i>Hectare</i>
<i>INSID</i>	<i>office national des sol et irrigation et drainage</i>
<i>J</i>	<i>Jour</i>
<i>LR</i>	<i>l eaching Requiment (fraction de lessivage)</i>
<i>mmhos/cm</i>	<i>millimhos par centimètre</i>
<i>per</i>	<i>Percolé</i>
<i>PH</i>	<i>Potentiel d'hydrogène</i>
<i>SAR</i>	<i>L'alcalinité d'une eau d'irrigation (sodium adsorption ratio)</i>

INTRODUCTION GENERALE

La salinité des sols est présente dans la plupart des grands systèmes d'irrigation à travers le monde, sous l'effet conjugué d'une mauvaise qualité des eaux d'irrigation de l'aridité et d'un drainage insuffisant du sol et des aquifères.

Le monde perd en moyenne 10 hectares de terres cultivables par minute dont 3 ha à cause de la salinisation. Aujourd'hui, on estime à près de 400 M ha les terres affectées par la salinisation .

La salinisation apparaît comme la conséquence de divers processus complexes de redistribution des sels liés au fonctionnement hydrologique du milieu sous l'influence de l'irrigation et du drainage.

La région de TIMOKTEN souffre actuellement d'un problème de drainage agricole lié étroitement aux conditions naturelles à savoir la topographie (dépression), l'Accumulation des sels solubles mais surtout à une mauvaise exploitation et gestion des ressources hydriques.

Pour diminué la concentration des sels, il faut faire une opération de lessivage du sol Le drainage, évacuent des eaux de surface ou souterraine excédentaires par des moyen naturels ou artificiels en vue de l'assèchement d'un terrain trop humide ou inondé, afin de le valoriser pour l'agriculture.

Le drainage permet de régler l'humidité excessive des sols, due à leur nature ou à la présence de sources ou de nappes d'eau près de la surface. Cette humidité entraîne nombre d'inconvénient, parmi lesquels une diminution de l'activité biologique de la terre, un manque d'oxygène entraînant une asphyxie racinaire, Les travaux agricoles en deviennent malaisés et les plantes sont moins bien alimentées ce qui a des conséquences négatives sur leur développement.

Notre objectif sera de définir quelle est la part de l'agriculture et l'irrigation des palmerais dans le bilan hydrique ; de déterminer le débit caractéristique et les dimensions ce réseau de drainage de la commune de évacué dans le réseau d'assainissement.

Chapitre I :
Analyse des conditions
Naturelles

I.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE :**I.1.1- Localisation de la wilaya d'Adrar :**

Notre zone d'étude est située au Sud-est par rapport au chef lieu de Wilaya d'Adrar, l'une des principales oasis du Sahara.

La Wilaya d'Adrar est située au Sud-ouest algérien A 1500 km d'Alger, à l'extrême sud du pays, se dresse Adrar. La ville, promue wilaya en 1974 à la faveur d'un nouveau découpage administratif, elle est limitée :

- Au nord par la wilaya d'El Bayadh.
- Au nord-ouest par Béchar
- À l'ouest par la wilaya de Tindouf
- Au sud par le Mali
- Au sud ouest par la Mauritanie
- Au sud-est avec la wilaya de Tamanrasset
- Le nord-est avec la wilaya de Ghardaïa

Ses coordonnées géographiques sont: longitudes $0^{\circ}17'$ et latitudes $27^{\circ}52'$ Nord

La wilaya d'Adrar s'étend sur une superficie considérable de 427 968 km² pour une population de 389 898 habitants avec Densité : 0,57 ha / km² répartis sur 11 daïra et 28 communes.

La région est formée par quatre zones géographiques majeures: Gourara, Tanezrouft, Tidikelt et Touat.



Fig.1: Situation générale de La wilaya d'Adrar

1.1.2- Localisation du projet :

Notre zone d'étude est située dans la région de Tidikelt dans la daïra d'Aoulef, plus précisément à 245 kilomètres de la ville d'Adrar donc à 100 kilomètres de la ville de Reggane.

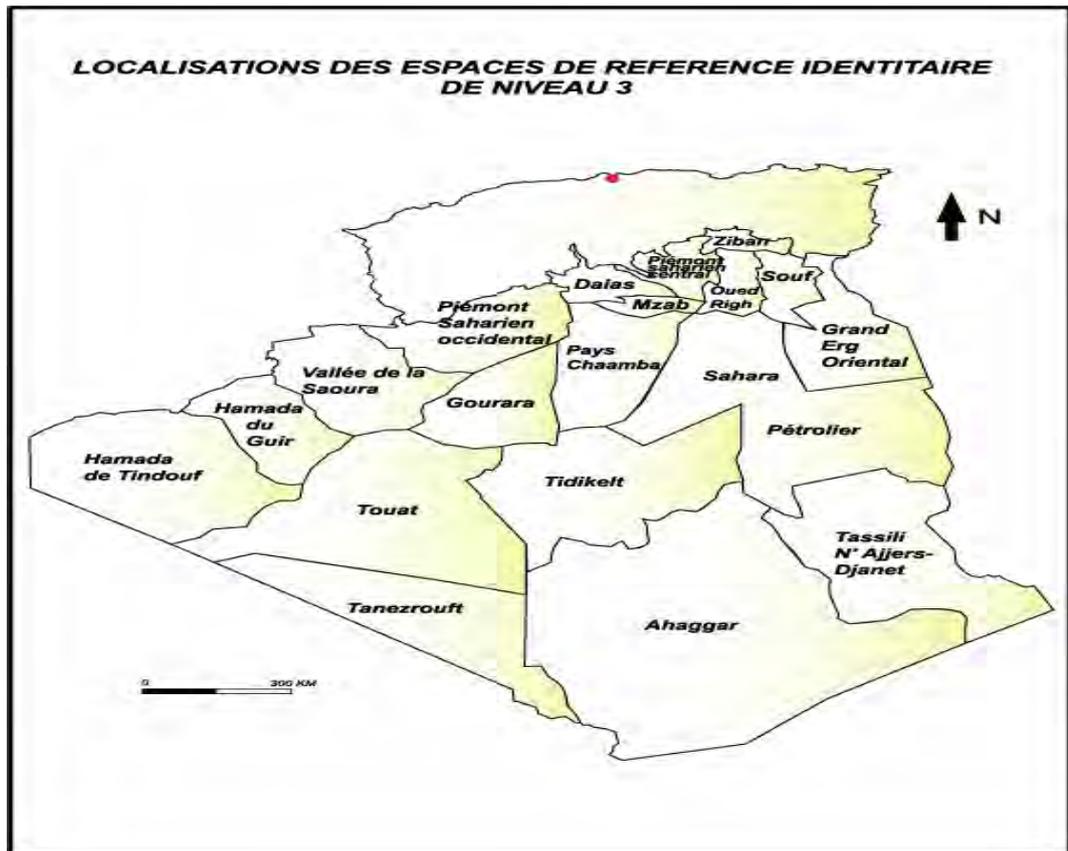


Fig.2: Situation générale de La région de Tidikelt

Commune de TIMOGTEN :

Lieu dite : Palmeraie de la commune de TIMOGTEN (Inner , Gasbate t djenna, Gao gao, El Mergube, Zaouet mouley hiba) située à 500m par rapport à la route wilaya d'Adrar TIMOGTEN et au sud- est du cheflieu de la commune.



Fig.3: Localisation de la zone de TIMOKTEN

Ses coordonnées géographiques sont: longitudes $1^{\circ}37'$ Est et latitudes $27^{\circ}1'$ Nord.



Fig.4:Image satellitaire de palmeraie de TIMOGTEN

I.2 - ETUDE CLIMATOLOGIQUE :

Le climat a travers les aires de TIMOGTEN comme dans toutes les zones de la Wilaya d'Adrar est de type saharien comme dans toutes les zones arides caractérisé par une pluviométrie quasi-nulle, qui n'a pratiquement pas de grande influence sur l'hygrométrie du sol ainsi que sur le calcul des doses d'irrigation spécifiques aux différentes cultures à introduire.

I.2.1- Température :

Nous disposons une série de mesures :

Tableau I.1 : Moyennes mensuelles des températures (C°) période 1975-1995

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuel
<i>m</i>	4.5	7.2	10.8	15.6	19.3	24.8	26.8	26.7	23.2	16.4	9.5	5.6	15.86
<i>M</i>	20.3	23.8	27.8	32.2	36.2	42.5	44.9	44.3	39.8	32.8	25.4	21.6	32.63
$\frac{m+M}{2}$	12.4	15.5	19.3	23.9	27.75	33.65	35.85	35.5	31.5	24.6	17.45	13.6	26.3

m : Moyennes mensuelles et annuelles des minima

M : Moyennes mensuelles et annuelles des maxima

$\frac{m+M}{2}$: Valeurs moyennes mensuelles des maxima et des minima

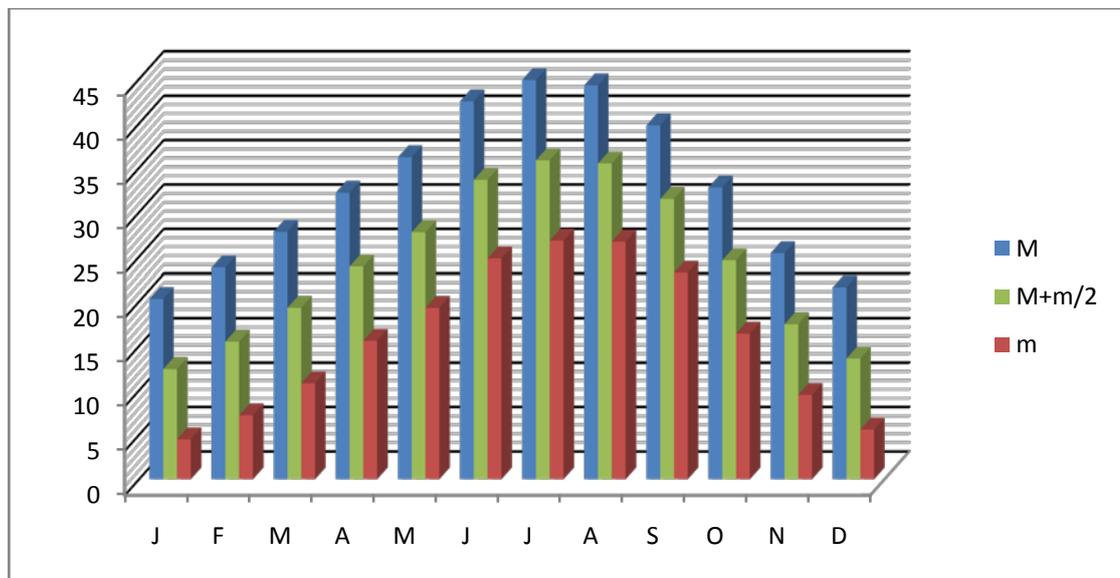


Fig.5 :l'histogramme de Moyennes mensuelles des températures (C°) période 1975-1995

I.2.2 -Insolation :

Nous disposons une série de mesures :

Tableau I.2 : Moyennes mensuelles d'Insolation période 1975-1995

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne
Insolation	8.4	9.4	9.3	9.6	10.6	11.1	10.9	10.1	9.4	9.1	9	8.2	9.6

I.2.3 – La pluviométrie :

La région de la wilaya d'Adrar est une zone où les précipitations sont irrégulières et différent d'une saison à une autre.

Pour les précipitations mensuelles nous avons les données de l'ONM pour la période précédemment citées.

Tableau I.3 : Moyennes mensuelles des précipitations période 1975-1995

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Période
Précipitation Moyen (mm)	5.4	0.4	2.3	1.95	0.1	0.1	0	0.1	1.5	0.35	0.9	0	75-95

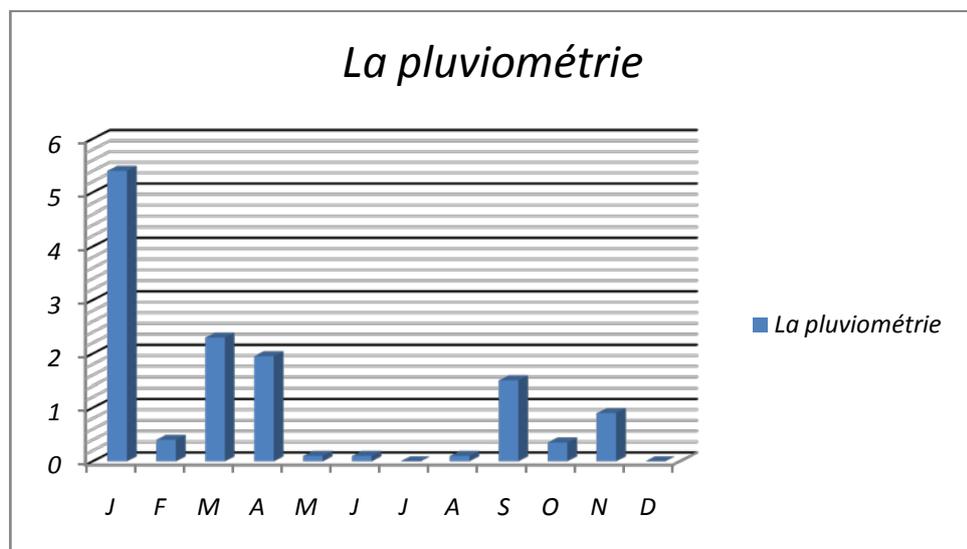


Fig.6:l’histogramme de la pluviométrie

D'après le tableau ci-dessus, les précipitations sont pratiquement rares et négligeables, d'où les apports apportés par ce facteur n'ont aucun effet sur le calcul des doses d'irrigation apportés aux différentes cultures introduites.

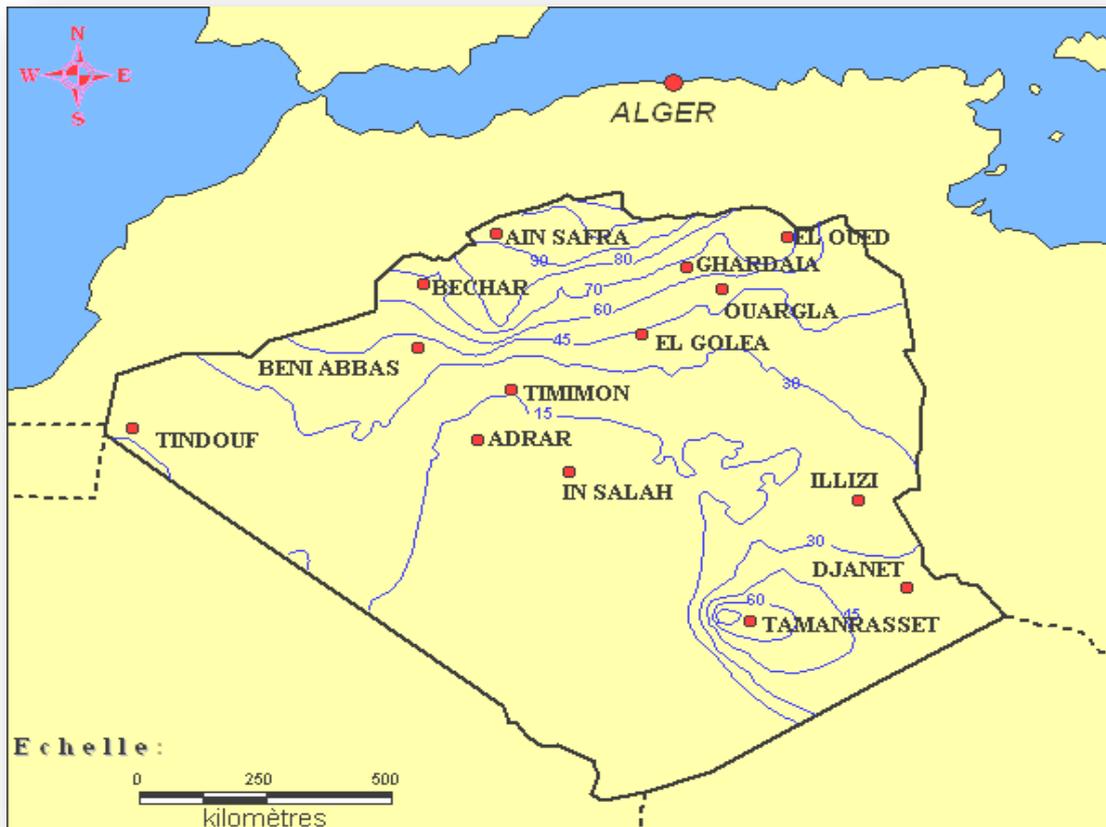


Fig.7 : Carte en isohyètes moyennes annuelles du Sahara algérien

I.2.4 - L'humidité :

Tableau I.4 : Humidité relative à la station période 1975-1995

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annu
Hr % Moyen	72	61	46	39	33	25	21	24	37	50	64	70	45
Hr % Moyen	25	19	14	13	11	9.5	9.1	10	14	18	25	26	16
Hr % Moyen	48	38	28	23	19	15	13	15	24	32	43	47	29

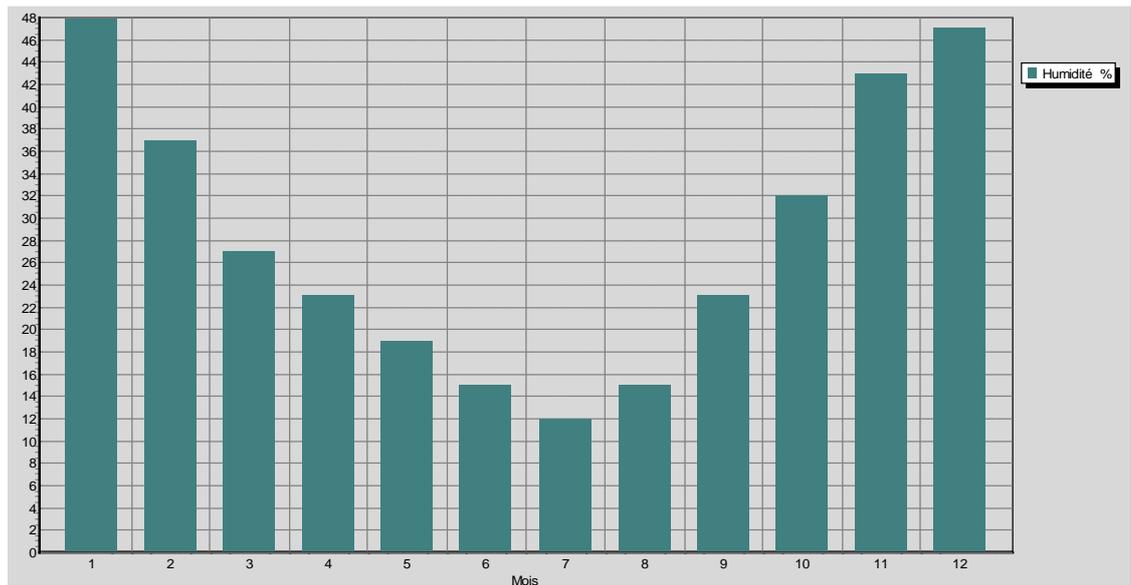


Fig.8:l'histogramme de l'humidité relative

L'humidité on état hygrométrique est le rapport exprimé en% de la tension de vapeur, à la tension maximum correspondant à la température « t » ;t étant la température lue sur thermomètre, Nous disposons des données de la période 1975-1995 voir tableau ci-dessus le déficit, hygrométrique va en augmentant de Juillet (htr=13%) à Janvier (htr=48%).

1.2.5 - Le vent

Dans notre secteur d'étude le bulletin climatologique à été fait par l'ONM pour la période 1975 -1995.

La force du vent est estimée d'après une échelle dite « Echelle télégraphique »

Qui est comme suit :

0 : Calme

1-2 : vent faible

3-4 : vent modéré

5-6 : vent assez fort

7-8 : vent fort

9 : vent violent, ouragan

Les moyennes mensuelles de la force du vent à la station d'Adrar pour la période 75-95 sont mentionnées dans le tableau suivant :

Tableau. I.5 : Force du vent à la station d'Adrar de la période 75-95

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	A	Période
Force des vents	5.7	5.6	6.6	6.3	6.0	5.5	5.8	5.6	5.6	5.5	5.3	4.8	5.7	75-95

Les données ci-dessus montrent un maximum de la force des vents au Mois de mars pour une valeur de 6.6 et un maximum au mois de décembre pour une valeur de 4.8 et cela pour l'année 1985-1995

Tableau I.6 : vitesse du vent à la station d'Adrar de la période 75-95

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Jui	Juil	Août	Sept	Oct.	Nove	Déc.	Moy
Vent km/jour	484	484	605	544	518	475	501	484	484	475	458	415	494



Fig.9:L'histogramme de la vitesse du vent

I.2.5.1 - Fréquence des directions des vents :

Les moyennes annuelles de fréquence des directions du vent sont résumées dans le tableau

Tableau I.7 : Fréquence des directions des vents

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	A	Période
direction des vents	N.E	N.E	N.E	N.W	N.S	N.S	E.S	N.E	N.E	E	E	E	N.E	75-95
Fréquence	3	4	3	5	9	11	9	5	6	8	7	8	6.8	75-95

A partir du tableau, nous déduisons que les vents plus au moins dominants à Adrar sont ceux du NE-E. La fréquence des vents annuel d'après l'Atlas climatologique national et pour le période (75-95) est de direction NE est de fréquence 6,8%.

I.2.6 - L'évaporation :

L'évaporation est la restitution de l'eau à l'atmosphère sous forme de vapeur à partir des végétaux, des sols, des nappes libres.

Dans notre aire d'étude elle est très importante, elle dépend des conditions climatiques (température libres, précipitation, vents, humidité de l'air, nature du sol, rayonnement solaire et végétation.

Les données de l'évaporation mensuelle à la station d'Adrar sont indiquées dans le tableau suivant :

Tableau I.8 : Évaporation à la station d'Adrar période75-95

Mois	J	F	M	A	M	J	J	Â	S	O	N	D	Annuel
Evaporation (mm)	207	261	333	358	512	535	648	649	522	332	352	376	362.5

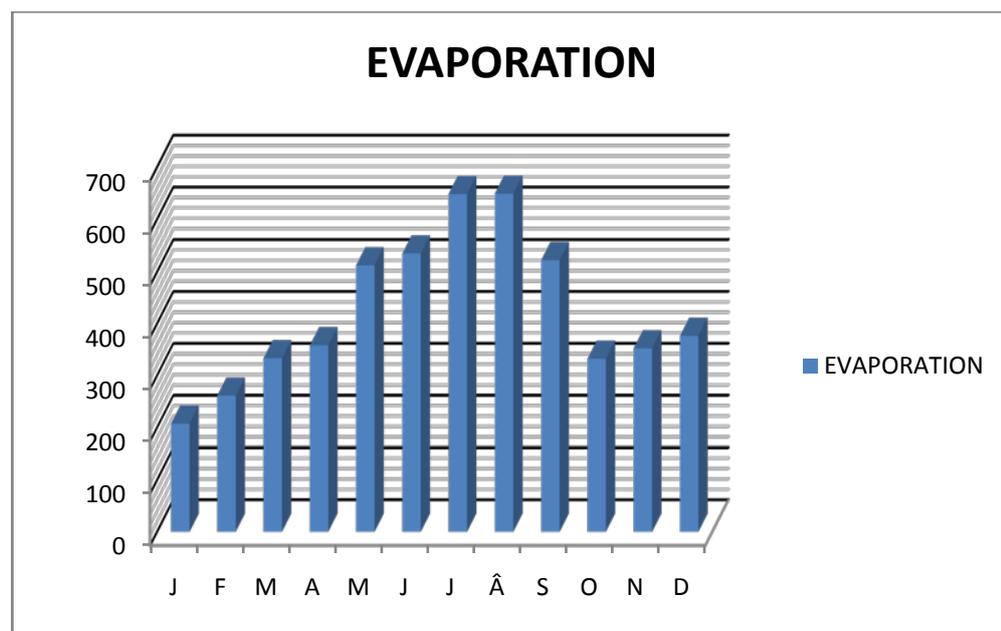


Fig.10: l'histogramme de l'Évaporation à la station d'Adrar période75-95

Le diagramme de la figure (1) montre un maximum de l'évaporation s au Mois de Juin et Août pour une valeur dépasse le 600 et un minimum au mois de Janvier et Février pour une valeur ne dépasse pas le300mm.

On générale l'évaporation dans la région d'Aoulef est très élevé.

1.2.7 - L'évapotranspiration de référence :

L'évapotranspiration de référence est calculée par le biais du logiciel CROPWAT version 8 en utilise la méthode de penman-monteith.

Le tableau suivant donne les valeurs moyennes mensuelles en mm/mois calculée dans une période de 20 année (1975-1995) :

Tableau I.9 : Evapotranspiration de référence(ET0)

Mois	Temp Moy °C	Humidité %	Vent m/s	Insolation heures	Ray. MJ/m ² /jour	ET0 mm/mois
Janvier	12.4	48	5.6	8.4	15	117.35
Février	15.5	37	5.6	9.4	18.4	147.41
Mars	19.3	27	7	9.3	21	242.11
Avril	23.9	23	6.3	9.6	23.4	284.99
Mai	27.7	19	6	10.6	25.8	343.31
Juin	33.6	15	5.5	11.1	26.7	385.08
Juillet	35.8	12	5.8	10.9	26.2	438.07
Août	35.5	15	5.6	10.1	24.4	413.44
Septembre	31.5	23	5.6	9.4	21.7	333.95
Octobre	24.6	32	5.5	9.1	18.7	247.74
Novembre	17.4	43	5.3	9	16.1	152.52
Décembre	13.6	47	4.8	8.2	14	116.96
Moyenne	24.2	28	5.7	9.6	21	268.58

On applique les donné de l'évapotranspiration dans l'histogramme suivant

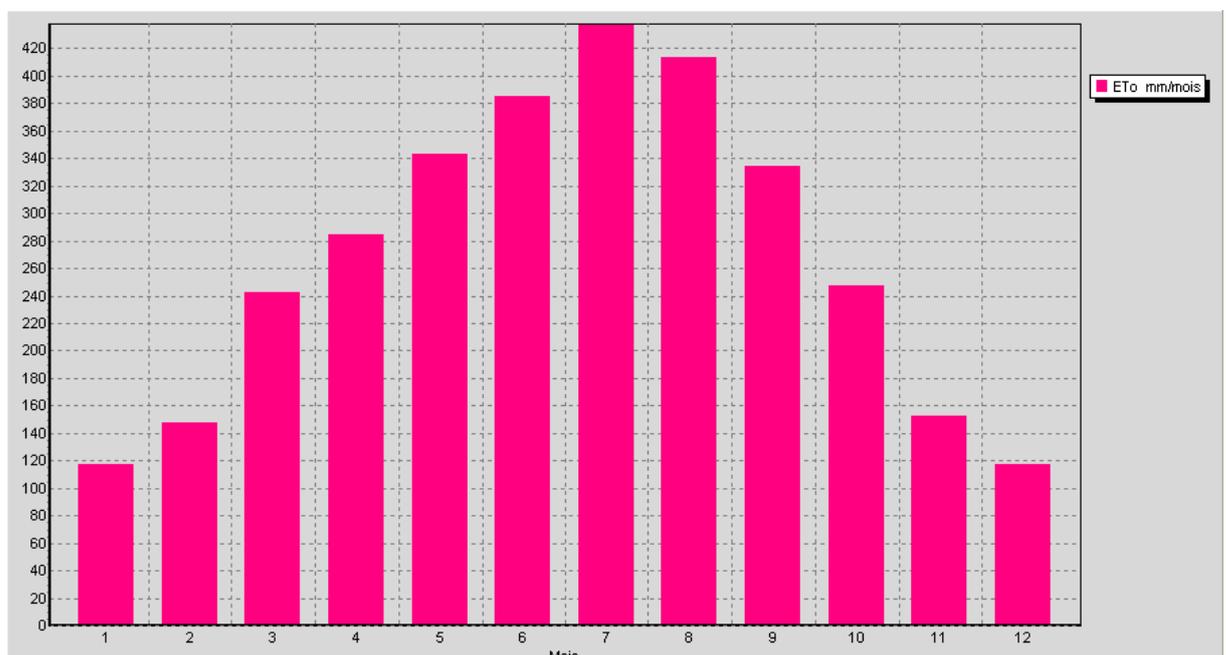


Fig.11 :L'histogramme d'évapotranspiration de référence (ET0)

L'histogramme de l'évapotranspiration de référence ET_0 donne une décroissance de la valeur 438.07mm au mois de juillet jusqu'à 116.96mm au mois de décembre. Deux périodes sont distinguées.

Période à fort évapotranspiration entre les mois de mars et septembre.

Période à faible évapotranspiration d'octobre à février.

I.2.8 - Les indices climatiques:

Par indices, nous entendons une codification du climat par des formules dans le but de voir l'interférence des différentes variables de ce climat et leur action sur les plantes. Ces formules se basent principalement sur deux facteurs essentiels :

Pluviométrie et température

Les indices les plus connus sont ceux de MARTONE (1926) et EMBERGER (1932)

a) L'indice d'aridité de MARTONE :

Cet indice permet de préciser le degré de sécheresse de la région et par conséquent de renseigner sur l'indisponibilité de l'irrigation.

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

Avec :

P : précipitation moyenne annuelles en (mm)

T : température moyenne annuelle en (°C).

IA : indice d'aridité.

Les limites des climats d'après l'indice climatique de MARTONNE sont donnée dans le tableau ci-dessous :

Tableau I.10 : Classification du climat selon MARTON

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

Pour :

$$P = 15 \text{ mm} \quad T = 26.3^\circ\text{C}$$

$$IA = \frac{15}{26.3+10} = 0.413$$

Selon l'indice d'aridité calculé, on constate d'après la classification ci-dessus, que la région est soumise à un régime du climat est Désertique et l'irrigation est souvent indispensable.

b) Quotient pluviométrique d'EMBERGER :

Cet indice à pour but la détermination de l'étage bioclimatique :

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

Où

Q : coefficient pluviométrique d'EMBERGER.

P : précipitation moyenne annuelle en (mm).

M : moyenne des maximas du mois le plus chaud (en °K).

m : moyenne des minimas du mois le plus froid (en °K).

Pour :

$$P = 15 \text{ mm} ; \quad M = 44.9^\circ\text{C} ; \quad m = 4.5^\circ\text{C} .$$

$$D'où : \quad Q = 15.03$$

En portant la valeur de (Q) dans le diagramme bioclimatique d'EMBERGER, et en fonction de la température moyenne minimale du mois le plus froid, on peut confirmer que notre région se situe dans :

L'étage bioclimatique : Aride

Sous étage : Hiver tempéré.

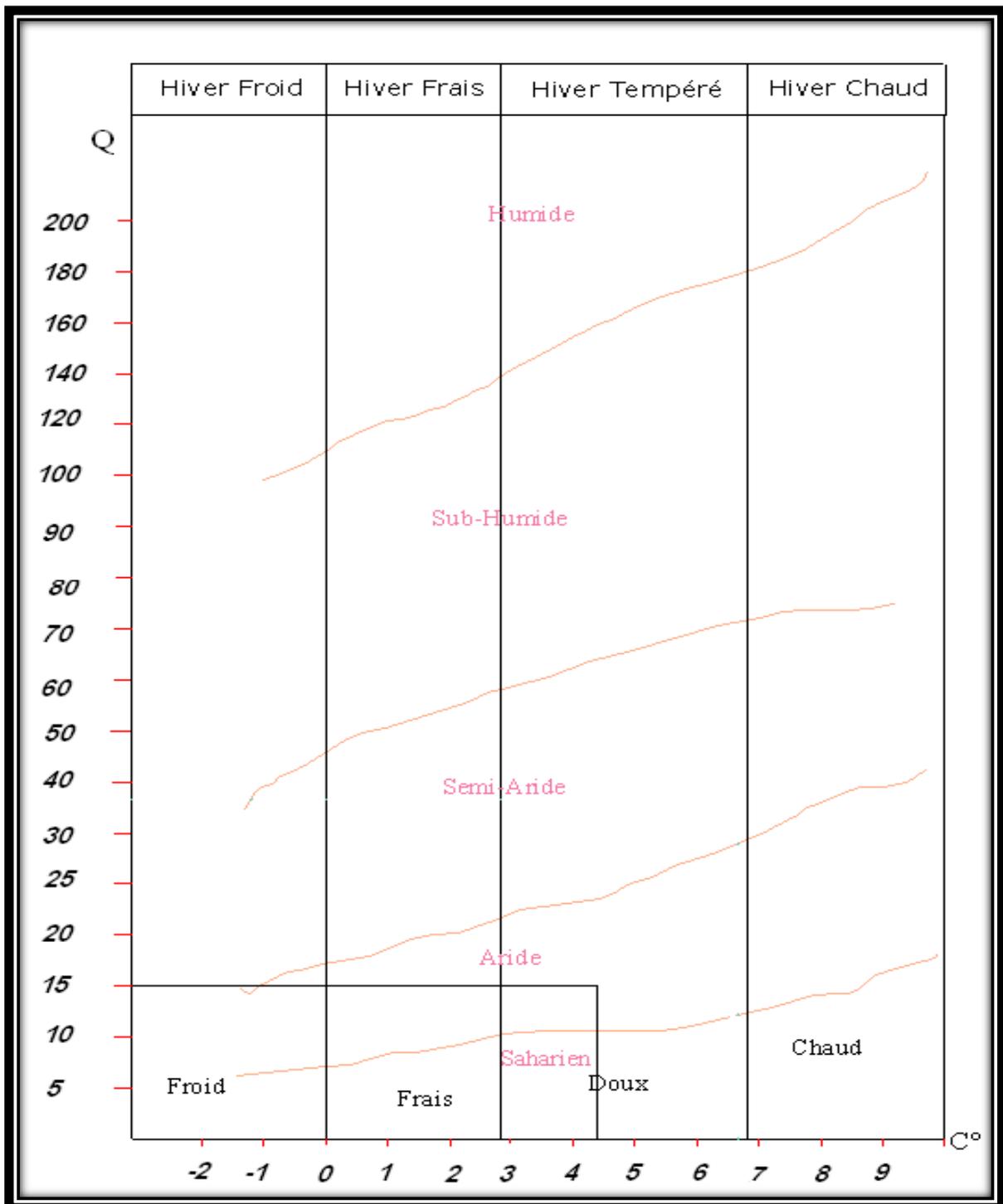


Fig.12: diagramme bioclimatique d'EMBERGER

c) Climogramme pluviométrique de BAGNOULS ET GAUSSEN :

Il est établi selon la méthode mise au point par F .BAGNOULS et H.GAUSSEN Ce diagramme nous permettra donc d'évaluer l'intervalle de saison sèche et humide, et sa position dans le temps, en faisant intervenir la pluviométrie et la température sur un même graphique.

Description du graphe :

La différence des abscisses nous donne la durée de la saison.

Les deux courbes ne croisent pas ; donc il y a 1 seul saison durant l'année c'est la saison sèche (janvier jusqu' a décembre).

La saison humide n'existe pas dans la région d'AOULEF.

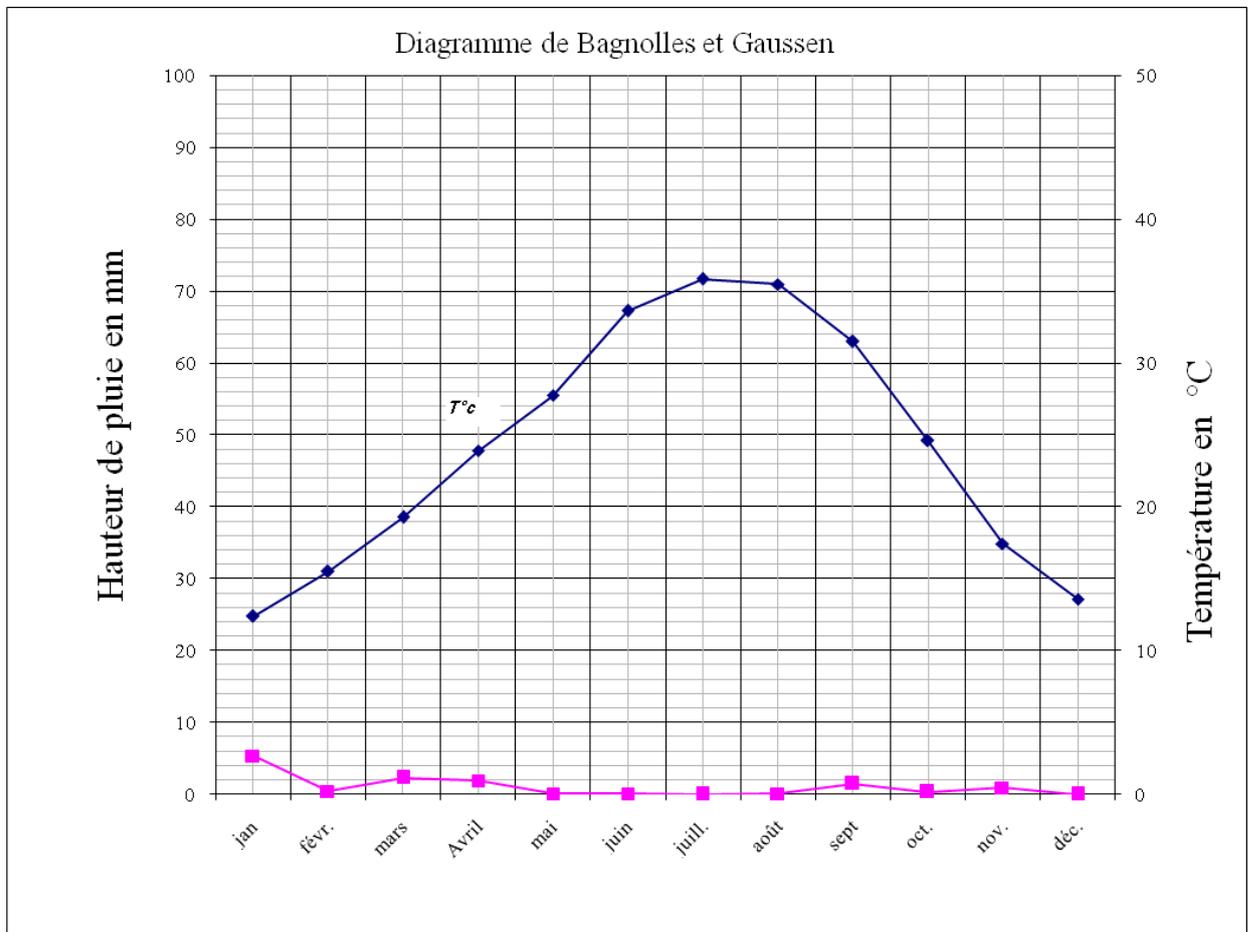


Fig.13 : diagramme de BAGNOULS ET GAUSSEN

I.3 - Etude Géomorphologique et Topographique :**I.3.1-Géomorphologie :**

La région d'Adrar fait partie d'une grande zone allongée sensiblement orientée N – S. Elle renferme trois traits géomorphologique distingués.

LA PLAINE.

LA DEPRESSION.

LES SEBKHAS.

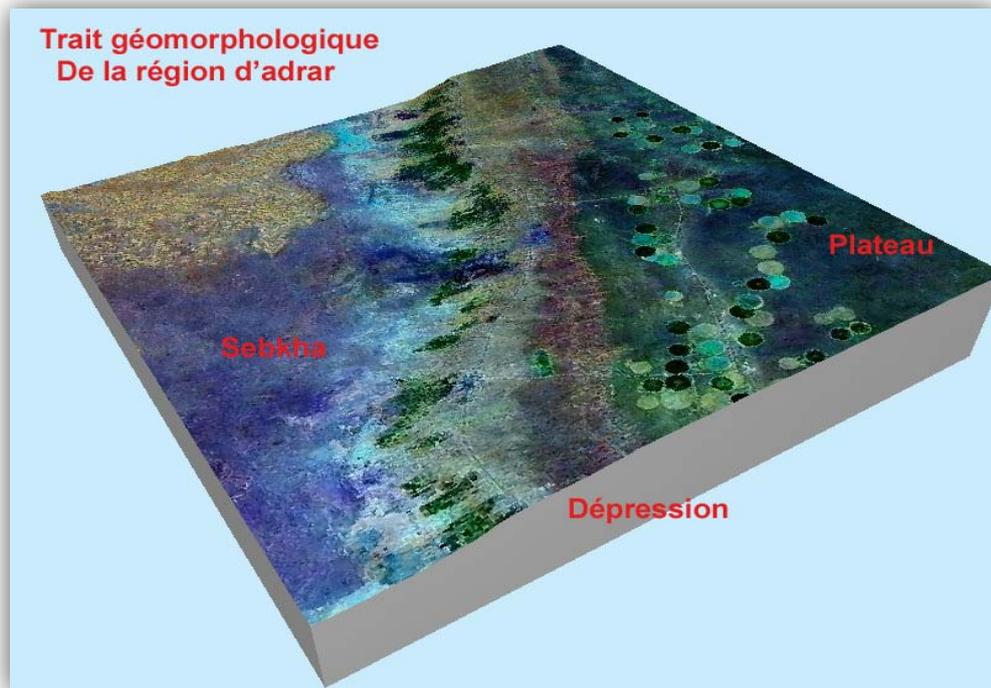


Fig.14 : Traits géomorphologique de la région d'Adrar

I.3 .2- Topographie :

La topographie de la palmeraie de TIMOGTEN est caractérisé par une topographie plane à légèrement ondulée, la pente varie de 0 à 1% (Moyenne 0.32%) environ, sous forme d'une cuvette ver la sebkha .

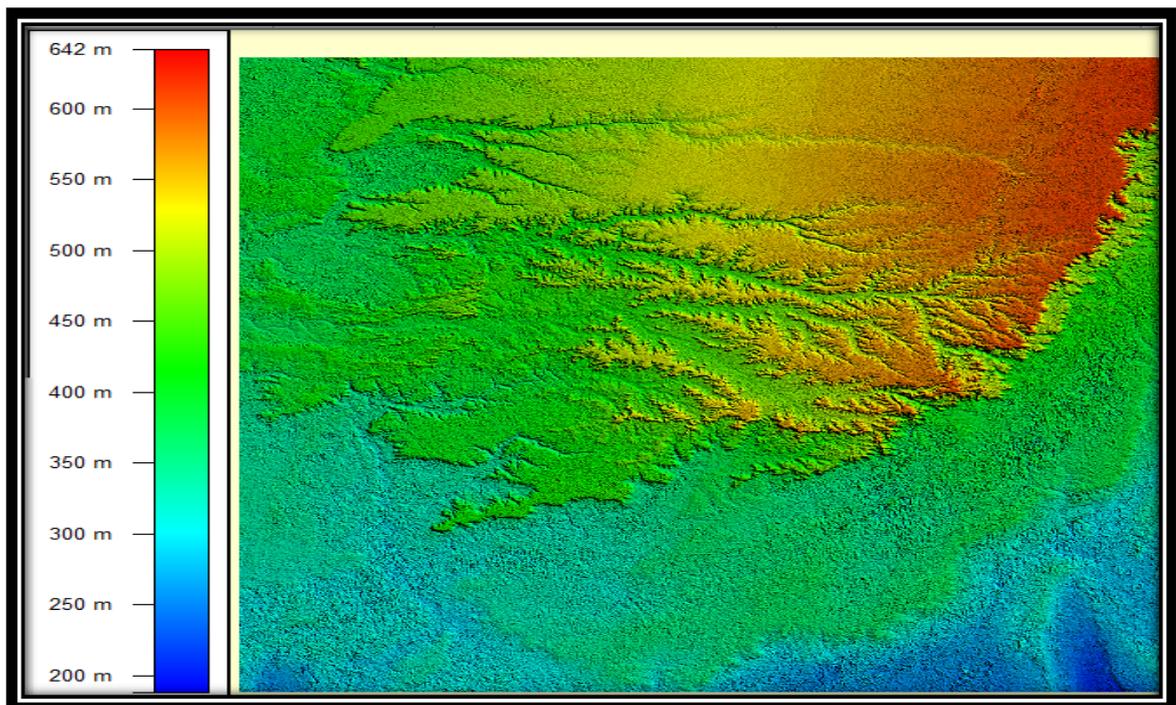


Fig.15 : Relief de la région d'Adrar

I.4 - Etude Géologique Et Hydrogéologique :

I.4.1- Etude géologique :

La région d'Adrar se situe dans la limite sud occidentale d'un grand bassin sédimentaire D'âge mésozoïque qui repose sur un substratum primaire est infracambrien les ensembles géologiques important sont:

MP : miopliocène (néogène) : Calcaire gréseux salicifié, grès argilo-dolomitique

C.I : crétacé inférieur : Argile, gré et grés quartzite.

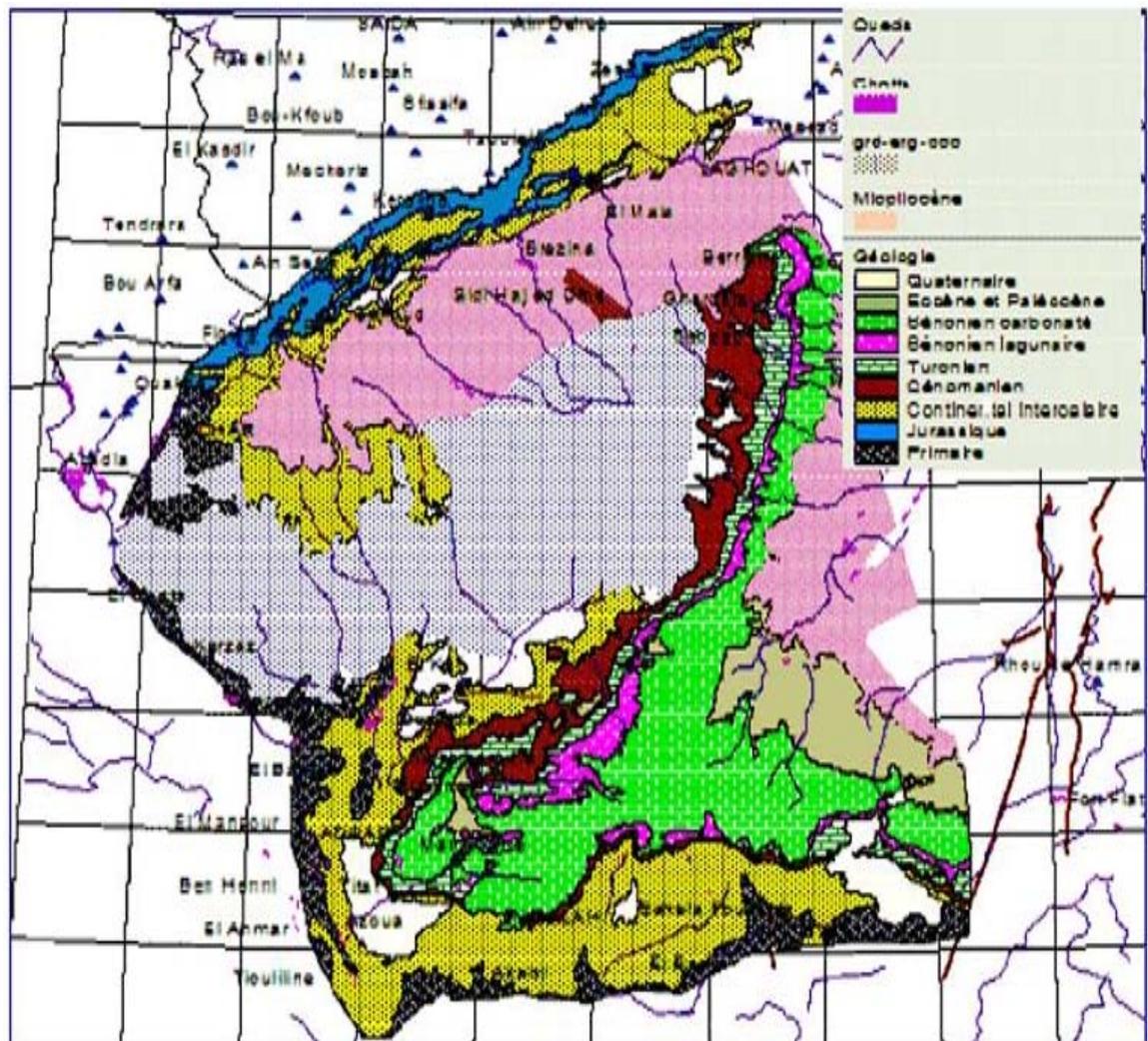


Fig.16 : Carte géologique de la région d'Adrar

I.4.2- Etude Hydrogéologique :

La palmerai de TIMOGTEN est alimenté par la nappe phréatique qui fait l'exutoire de la nappe du Continental Intercalaire (CI) qui est appelé « Nappe Albiennaise » les eaux sont contenues dans les dépôts salio-gréseux.

La partie occidentale la plus importante occupe une superficie de l'ordre de 280 000 km².

I.4.2.1-Lithologie et cartographie des épaisseurs utiles du CI [13] :

La très grande majorité des logs de forages enregistrés ont fait l'objet d'une description lithologique, élaborée suivant l'échelle des neuf classes présentée plus haut, échelle récapitulée dans la légende accompagnant la fig.17 Cette figure représente une corrélation stratigraphique entre trois forages, forages à l'endroit desquels est figurée une coupe lithologique conforme à la légende.

On peut notamment observer, sur cet exemple (mais tous les autres forages au CI le confirment), que le Continental Intercalaire n'est pas formé uniquement de sables et de grès, mais que l'on y trouve également des sables argileux, des argiles sableuses, ainsi que des argiles franches.

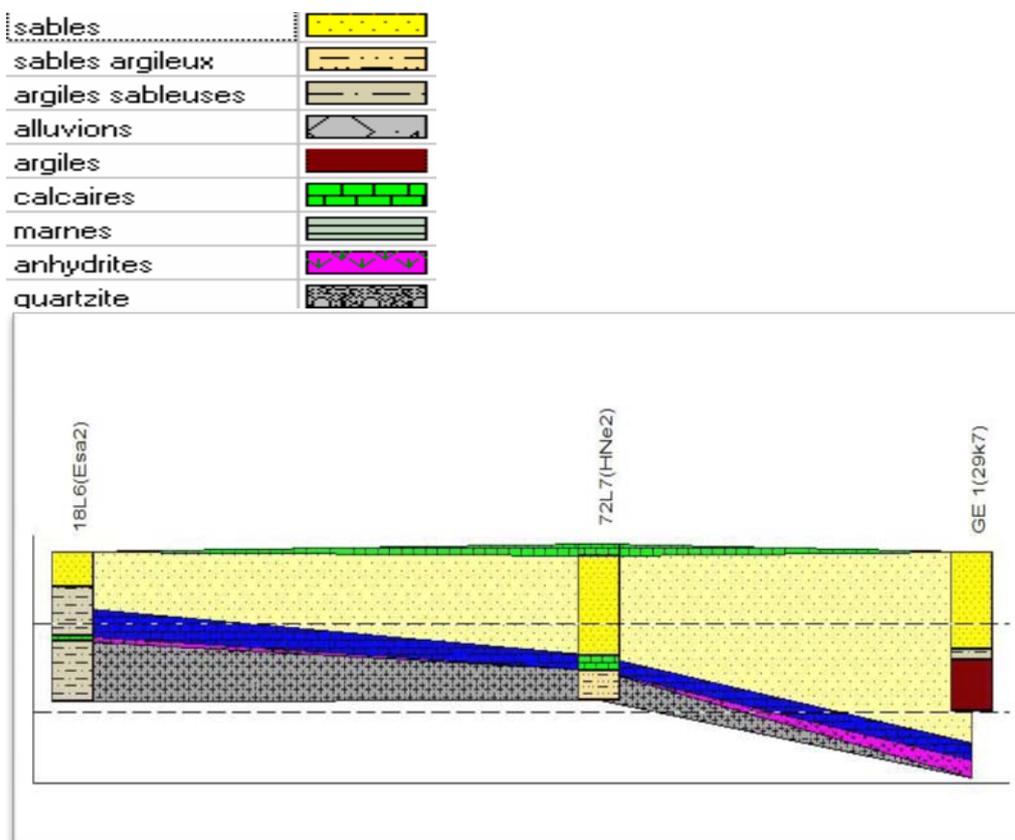


Fig.17: les différentes couches de la nappe Continentale Intercalaire

I.4.2.2-Puissance utile de réservoir de CL :

L'épaisseur de la formation du continental intercalaire varie du Nord vers le Sud et de l'Est vers l'Ouest, selon les données des forages semi profonds son épaisseur oscille entre 150 et 400 m. Notons que l'épaisseur diminue progressivement de l'Est vers l'Ouest et du Nord vers le Sud et échoue en biseau sur le substratum du primaire.

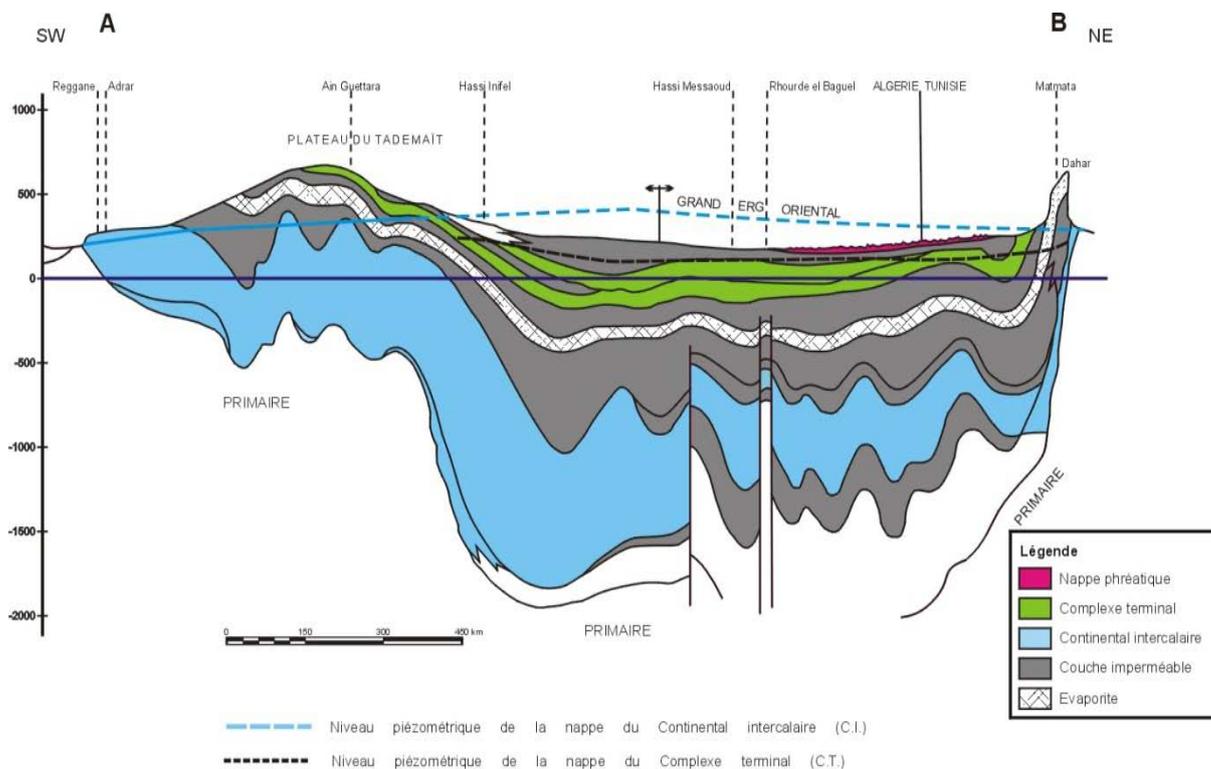


Fig.18: Coupe hydrogéologique à travers le Sahara

1.4.2.3-Toit, Substratum et épaisseurs « saturées » du CI :

L'exploitation des logs de forages a également permis d'établir la carte du toit du Continental Intercalare (fig.19) ; ainsi que celle du substratum du CI (fig.20) obtenue à partir de celle du toit par soustraction de l'épaisseur totale du CI.

Une autre carte intéressante sur le plan structural, et qui sera très utile lorsqu'on voudra définir des indices pour guider l'implantation de forages de reconnaissance pour éprouver les meilleures capacités de l'aquifère, c'est la carte des épaisseurs saturées de la nappe (fig.21), obtenue en soustrayant le substratum à partir de la carte des niveaux piézométriques du CI [13].

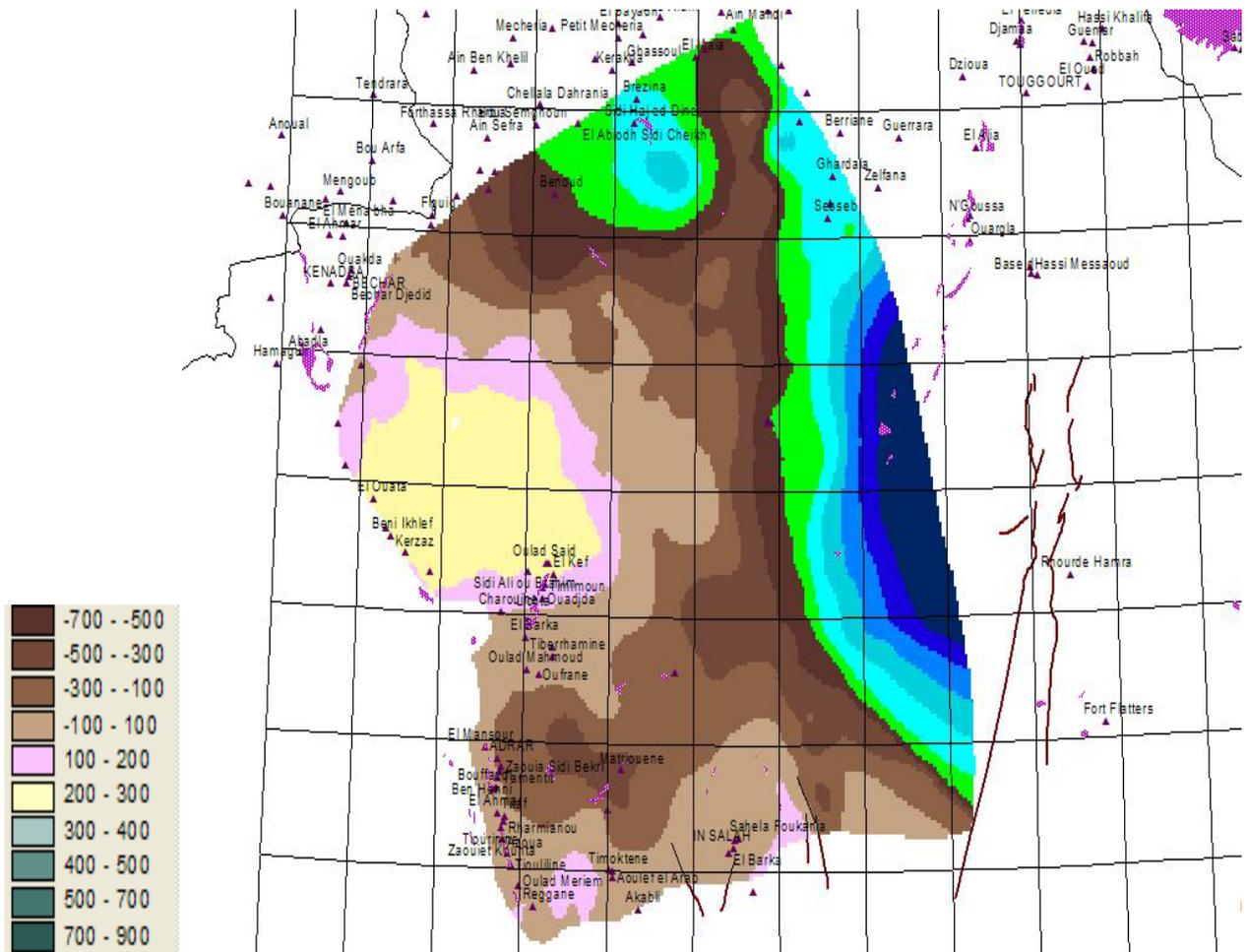


Fig.19: carte des altitudes du toit du CI, en mètres

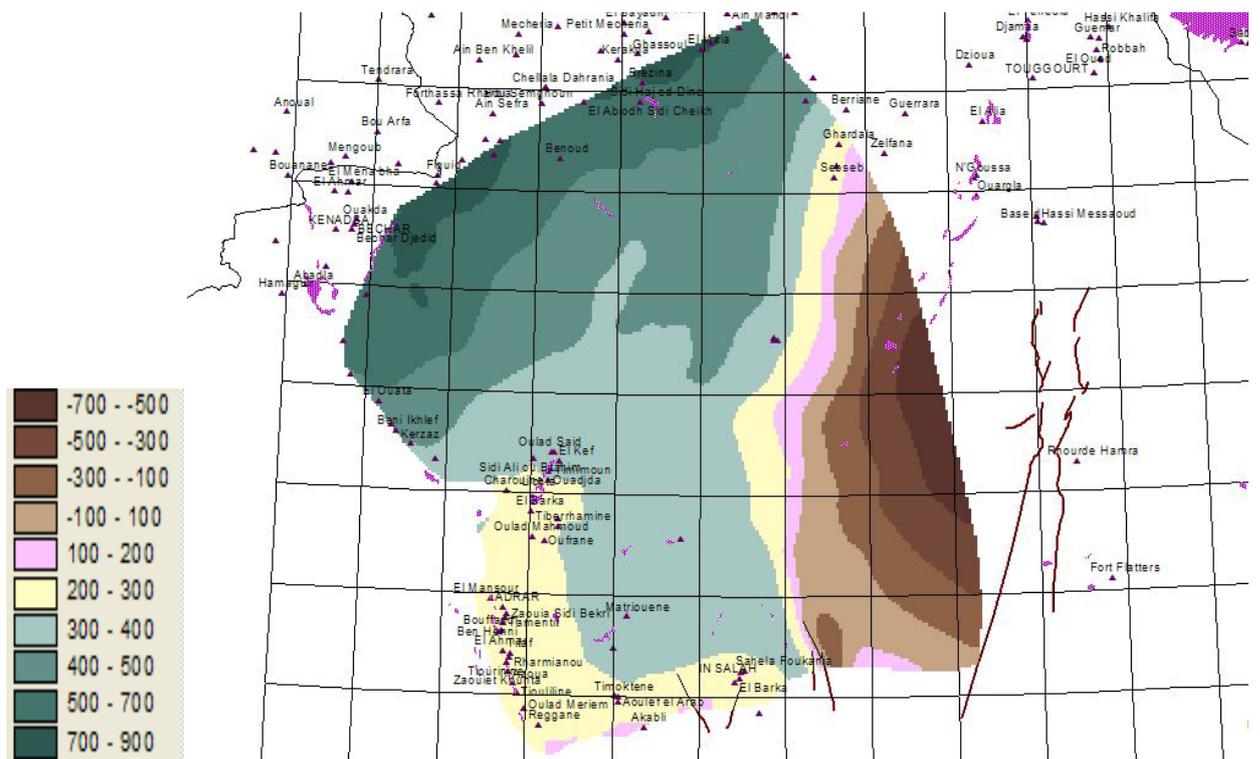


Fig.20: carte des altitudes du substratum du CI, en mètres

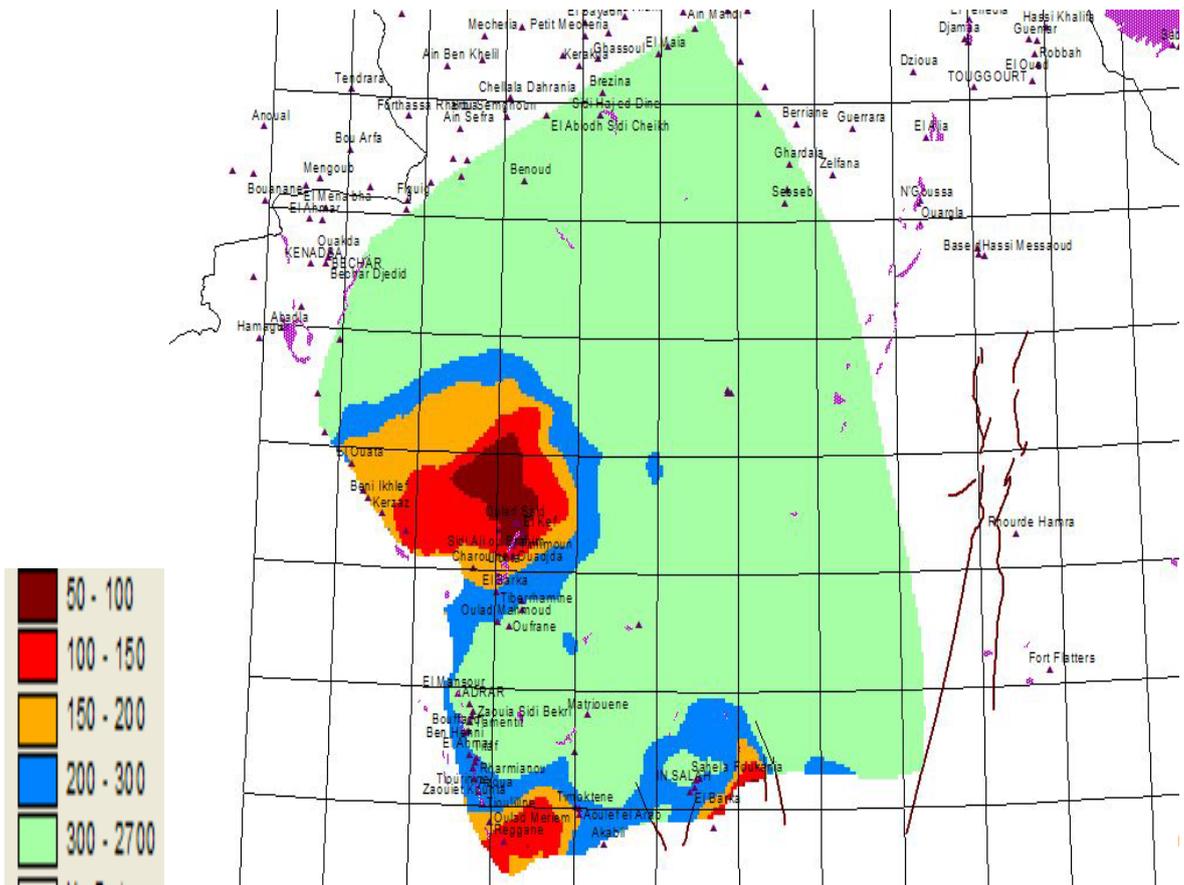


Fig.21: carte des épaisseurs « saturées » du CL

I.4.2.4-Niveau statique de la nappe aquifère de CL :

Ce système hydraulique encore souvent appelé "nappe albiennne" est en réalité installé dans les couches détritiques de l'albien et du Barrémien souvent séparées par des bancs calcaires aptiens.

Le niveau statique de la nappe aquifère du C.I oscille entre 13 à 30 m par rapport à la cote du sol et peut atteindre 100 m au niveau du plateau de Tadmaït (Forages d'Ain bel bel).

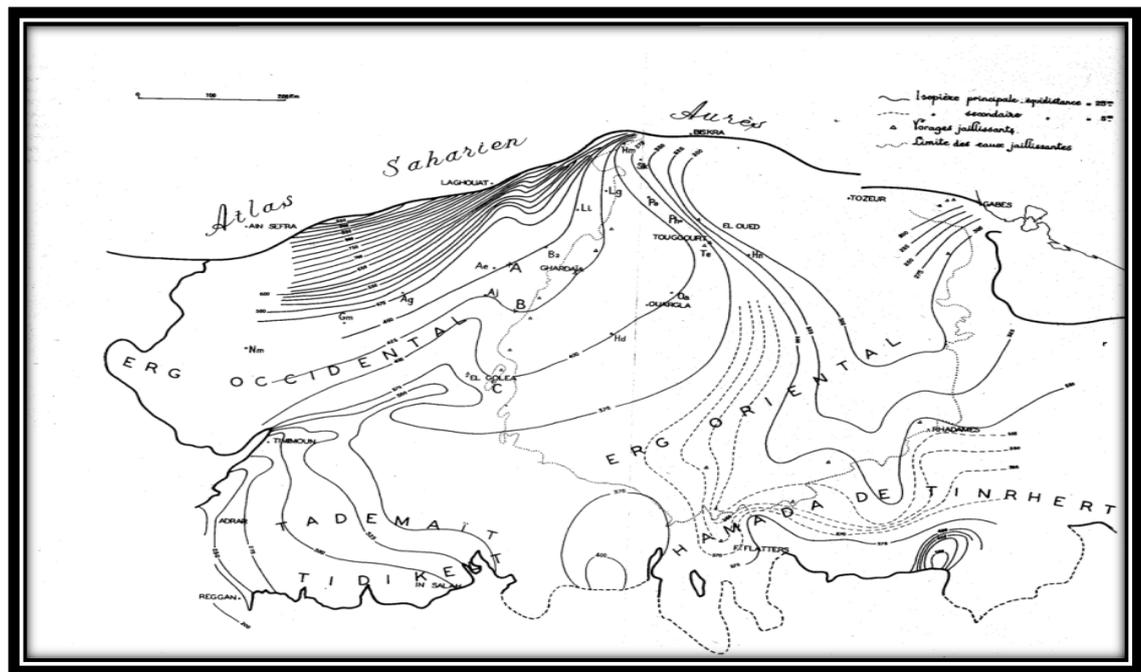


Fig.22 : Carte des iso pièzes des Continentale Intercalaire

Les affleurements, apparaissant au pied des plateaux post cénomaniens du Tademait et Tinnert, forment un croissant dont le sud-ouest est exploité par les foggaras du Tidikelt (TIMOGIEN).

Par contre, le plateau limitant la palmerai est composé généralement de formation de sable-limoneux limité en profondeur avec une couche d'argile rouge.

1.4.2.5-Paramètres hydrodynamique :

Vu la grande superficie de continentale intercalaire (CI), les paramètres hydrodynamique varient d'une zone à l'autre suivant les types de formations géologiques qui prédominent :

- ✓ **La porosité efficace** : $n_e = 20\%$
- ✓ **La porosité totale (n)** : varie entre 22% et 28%.
- ✓ **La transmissivité** : varie entre 0.1 et 0.001 m^2/s

1.4.2.6-Le sens d'écoulement des eaux de la nappe aquifère :

Les axes d'écoulement des eaux de la nappe aquifère de continentale intercalaire (CL) sont généralement :

nord-sud, nord-est et sud-ouest c.à.d. vers le Gourara. Le Touat et le Tidikelt.

L'autre partie s'écoule vers l'exutoire tunisien et libyen.

I.4 .2.7- Calcule hydrogéologique :**Détermination du coefficient de filtration (K):**

Pour déterminer les coefficients de filtration des différentes couches on utilise la loi de Darcy

$$Q = k \cdot i \cdot A$$

Avec :

Q - débit

K - Coefficient de perméabilité A - Surface (Section)

i - Gradient hydraulique

$$K = v / i \text{ avec } i = \frac{h}{l} \text{ et } v = \frac{Q}{A} ;$$

K : Dépend de nombreux facteurs et principalement de la dimension, de la forme et de la granulométrie des particules de terre ; de la densité c'est-à-dire de l'indice des vides du matériau; de la température de l'eau qui modifie sa viscosité (k augmente avec la température)

K : peut varier considérablement dans les directions de l'écoulement ; la perméabilité dans la direction horizontale soit jusqu'à vingt fois supérieure à celle existant dans la direction verticale.

Si nous avons des différentes couches avec des coefficients de perméabilité K_1 ,

K_2, K_n ; et e_1, e_2, \dots en étant les épaisseurs de ces couches ; le coefficient de perméabilité moyen dans une direction parallèle aux plans de stratification est donné par l'expression :

$$\sum m = \frac{\sum \ln k_n}{\sum \ln e_n}$$

Le coefficient de perméabilité varie d'une façon très importante avec la forme de la courbe granulométrique.

N.B : D'après les constats sur terrain les sols de la palmeraie de TIMOGTEN sont formés de sable. K_1 ; et sable argileux K_2 .

D'ou:

$$K_1 = 28.9.10^{-6} \text{ m/s}; K_2 = 8.1.10^{-6} \text{ m/s}$$

$$K_{\text{Moy}} = 18.5.10^{-6} \text{ m/s}$$

C'est le coefficient de perméabilité moyen des sables de la palmeraie de TIMOGTEN.

CONCLUSION :

De l'examen des données, La région d'AOULEF, située au sud-est de la Wilaya fait partie du Tidikelt occidental, d'une superficie de 30 000 km², caractérisée par un climat saharien à hiver Chaud, contient deux saisons bien distinctes : L'été avec une température très élevée pouvant atteindre jusqu'à 49 °C et l'hiver avec des précipitations quasi nulles et les vents de sable dominants.

La région d'aoulef est alimentée par la nappe phréatique qui fait l'exutoire de la nappe du Continentale Intercalaire (CI), Le niveau statique de cette nappe oscille entre 13 à 30 m par rapport à la cote du sol.

Chapitre II :
Etude
Agro-Pédologique

II. 1- Etude de sol [7]:

Des études de semi-détail (échelle 1/20.000) ont porté sur un nombre limité de périmètres (Aoulef: 2.000 ha et Ait Messaoud : 2.300 ha). Entre 50 et 75% des terres prospectées à ce niveau ont été considérées aptes à l'agriculture irriguée.

Les zones des palmeraies localisées sur le rebord concave d'une terrasse quaternaire d'érosion et d'apport, les sols y sont généralement sableux et profonds. Les sables ont le plus souvent une origine éolienne.

La palmeraie de TIMOGTEN présente des sols qui paraissent profonds et poreux, sans obstacles majeurs à la percolation de l'eau, avec la présence d'une nappe phréatique proche de la surface (2m environ) nécessitent des aménagements particuliers comme le drainage et une surveillance de l'évolution de la salinité des sols et des eaux.

Les sols des nouvelles zones de mise en valeur sont essentiellement des sols peu évolués superficiels, éolisés en reg qui sont inaptes à l'agriculture irriguée et des sols halomorphes à structure non dégradée, salins dont les aptitudes sont liées principalement à des contraintes de profondeur, salinité et charge en éléments grossiers.

La description des profils représentatifs des sols halomorphes très répandus sur la palmeraie de TIMOGTEN permet de quantifier le niveau des contraintes qui affectent la plus grande partie des sols de cette région.

II.2 -LA PROSPECTION DE TERRAIN [7]:

La prospection pédologique à travers six zones test, a permis à partir de la description des caractéristiques morphologiques et physico- chimiques des sols et de leur environnement, de donner une classification taxonomique et de déterminer leurs aptitudes à l'irrigation en soulignant les différentes contraintes à la mise en valeur et en proposant des aménagements en mesure de corriger les facteurs qui limitent l'utilisation des sols.

Du point de vue pédogénèse, les sols étudiés présentent des grandes similitudes, car ils sont constitués le plus souvent d'une texture grossière (sable) dont le pourcentage dépasse 80 % dans certaines zones et évoluent sous un climat aride à hyperaride ($P/ETP < 0,20$).

Dans les zones basses et endoréiques, les sols halomorphes à encroûtement salin, gypso-salin et à efflorescence saline prédominent. Chimiquement tous les sols étudiés sont calcaires et se caractérisent par des pH compris entre 9, par une fraction organique très faible et par un très faible pouvoir de rétention en eau et en éléments fertilisants.

Cette prospection qui a contribué à la caractérisation de zones test et à la détermination

des contraintes à la mise en valeur devra être relayée par des phases ultérieures qui permettront une appréciation détaillée des processus de formation et d'évolution des sols sahariens en cas de mise en valeur, par la prise en compte de facteurs non accessibles au cours de cette phase, et en particulier liés à l'irrigation avec des eaux de qualité très variable, parfois médiocre pouvant entraîner une dégradation rapide des conditions de production.

II.3 -ASPECTS GEOMORPHOLOGIQUES

Cette zone test se situe entre le plateau de Tadmaït à l'Est et la série de dépression plus ou moins continue le long de laquelle se localisent les Ksars et les palmeraies du Gourara et du Touat. Schématiquement il s'agit d'un plateau avec une pente très faible caractérisé par :

- *Des encroûtements gypso-calcaires dans les zones relativement basses,*
- *Les vestiges d'une croûte superficielle de calcaire gréseux complètement fragmentée dans les zones hautes du plateau générant une charge de surface très grossière (paysage de reg),*
- *Des traces de sel et de gypse à travers les fissures des niveaux compacts (dalle gréso-calcaire) et dans les interstices de sable limoneux et les niveaux graveleux,*
- *Des dépressions, qui dans certains cas semblent évoluer vers des Sebkhas (forte concentration des sels et du gypse).*

II. 4-Description pédologique [7]:

Dans la zone d'Adrar, six transects jugés représentatifs (séquences parcourant l'ensemble des unités morphologiques ainsi qu'un nombre maximum d'unités reconnues homogènes par la classification préliminaire) ont été étudiés. Ils ont été caractérisés par 13 profils qui ont fait l'objet d'une description (voir synthèse dans le (tableau N° II.1).

L'étude de ces transects fait ressortir une couverture pédologique assez variée composée principalement par :

- *des sols minéraux bruts xériques inorganisés d'apport,*
- *des sols minéraux bruts xériques organisés d'apport,*

■ *Sols minéraux bruts xériques inorganisés d'apport éolien*

Ces sols profonds à très profonds et sans niveau limitant apparent, se caractérisent par un aspect de surface sableux (sable résultant d'un apport éolien), une texture dominée par la fraction sableuse qui leur confère une bonne perméabilité et un bon drainage interne, un pH légèrement alcalin et une salinité inférieure à 2 dS/m. De ces caractéristiques il en ressort que ces sols ne présentent aucune contrainte majeure pour leur utilisation, néanmoins, ils nécessitent quelques aménagements (drainage, brise-vent,) pour pouvoir espérer des rendements optimum.

Tableau N° II.1: Résultats des analyses des profils

<i>N° Profil</i>	<i>CE</i>	<i>PH</i>
01	3.1	7.9
02	4.16	7.8
03	3.14	8.3
04	4.75	8.4
05	3.21	8.3
06	3.79	8.4
07	3.34	8.3
08	3.74	8.2
09	6.22	8.4
10	9.11	8.6
11	3.22	8.5
12	2.8	8.4

II.5-Description du sol [7]:

0 - 16 cm : *Sec, couleur 10 YR 7/4 jaune pâle, texture sableuse structure particulière, présence de nombres efflorescences gypseuses à aspect farineux, poreux, très friable, faible effervescence à HCl transition peu nette et régulière.*

16 - 80 cm : *Sec, couleur 10 YR 7/6 jaune, texture sableuse, structure particulière, présence de quelques cristaux de gypse, friable, matière organique non directement décelable, très faible effervescence à HCl, transition nette.*

> **80 cm** : Fragments des argiles rouges occupant plus de 90 % le volume de l'horizon.

Les principales caractéristiques de ces unités sont :

1. La profondeur :

La profondeur du sol est la tranche du sol accessible aux racines et leur permettant un développement optimal, les sols de notre périmètre sont en générale moyennement profond.

Une profondeur comprise généralement entre 50 et 80 cm.

2. Texture et structure :

Sur l'ensemble de la zone étudiée, la texture étant grossier.

Un aspect de surface légèrement sableux (accumulation sableuse par piégeage autour d'une végétation halophyte dont le recouvrement varie entre 5 et 30 %).

3. Calcaire total et calcaire actif :

Le calcaire actif est la fraction fine du calcaire total lorsqu'il est présent à des taux élevés peut provoquer le blocage et l'assimilation du fer qui entraîne un jaunissement des feuilles (chlorose), une fragilité des cultures aux différentes maladies et par la même une réduction des rendements, c'est un facteur très important dans le choix des cultures il est la cause de la chlorose de plusieurs espèces.

Teneur faible : $0 < \text{CaCO}_3 < 7 \%$.

Teneur moyenne : $7 < \text{CaCO}_3 < 12 \%$.

Teneur riche : $12 < \text{CaCO}_3 < 25 \%$.

Teneur très riche : $\text{CaCO}_3 > 25 \%$.

Les résultats d'analyses indiquent que les sols sont calcaires surtout en surface.

Au niveau du périmètre le taux du calcaire est extrêmement élevé dépasse même les 25 %.

4. Le pH et la Conductivité électrique :

La conductivité électrique :

Est aussi un facteur très important dans le choix des espèces, les sels par leurs pouvoir asphyxiant blocs les espaces poreux des sols, ni l'eau ni l'air ne peuvent y circuler ils doivent être constamment irrigués il donc préférable d'avoir des sols salé que des sols sodique ou l'ion Na démantèles complètement la structure et la rend poudreuse son estimation a été faite sous la base de l'échelle de l'extrait aqueux rapport 1/5

CE : conductivité électrique :

Non salé : $CE < 0.6$ mmhos/cm.

Peu salé : $0.6 < CE < 1.2$ mmhos/cm.

Salé : $1.2 < CE < 2.4$ mmhos/cm.

Très sale : $2.4 < CE < 6$ mmhos/cm.

Extrêmement salé : $CE > 6$ mmhos/cm

Les résultats d'analyses montrent une conductivité électrique comprise entre 1 et 9 mmhos/cm très élevée, D'une manière générale les sols du périmètre sont Très salés.

Le pH :

Il exprime l'acidité actuelle qui est définie par la concentration des ions H^+ libre existant dans la solution du sol, le pH supérieur à 7 est considéré comme basique inférieur acide est égale à 7 neutre. Une grande majorité des sols de la vallée leur pH est supérieur à 7, il est aussi important dans le choix des engrais

pH 3.5-5.....5-6.5.....6.5-7.5.....7.5-8.5..... > 8.5

Très acide acide neutre basique très basique

Dans notre cas, est variable compris entre 7.9 et 8.6.

CONCLUSION

Du point de vue pédogénèse, les sols étudiés présentent des grandes salinités, car ils sont constitués le plus souvent d'une texture grossière (sable) à encroûtement salin, gypso-salin

Le développement des végétaux en milieux salé présente quelques problèmes spécifiques:

La pression osmotique de la solution du sol qui peut devenir telle que les végétations ne puissent plus absorber l'eau, En effet, sur même sol, le point de flétrissement est atteint plus rapidement en milieu salé. La contribution du potentiel osmotique au potentiel total de l'eau dans le sol est plus élevé en milieu salé ce potentiel osmotique est lié à la pression osmotique de la solution du sol

La salure globale, mesurée sur extrait de pâte saturé, est la première caractéristique des milieux salés. La réaction des végétaux à cette salure est variable en fonction des natures des cultures.

Les phénomènes de toxicité : les toxicités sont principales dues au chlore et au bore en solution de sodium échangeable

L'éventuelle dégradation des caractéristiques physique des soles sous l'effet du sodium échangeable. Les signes de dégradation de la structure apparaissent plus tôt dans les sols argiles gonflantes que dans les sols à argiles non gonflantes

Dans certains cas des amendements chimiques, organiques, ou organochimiques sont nécessaires pour compléter l'action des eaux d'irrigation dans l'élimination de ces contraintes.

Le supplément d'eau à apporter doit être suffisant pour éliminer les sels solubles d'une part et, d'autre part, doit être le plus petit possible.

On conclut générale l'installation d'un réseau de drainage est indispensable, sinon la salinisation secondaire est à craindre.

Chapitre III :
Ressources en eau

INTRODUCTION :

Les principales ressources en eau dans la région d'Aoulef sont les eaux souterraines ; il y a un grand réservoir de la nappe du continental intercalaire, les eaux superficielles sont presque nul ; donc on basant dans ce chapitre sur les eaux souterraines.

III.1-Les ressources en eaux souterraines :

Avant d'entamer une étude de drainage il faut d'abord l'origine des utilisés pour l'irrigation.

La ressource en eau principale de la zone d'étude sera les eaux souterraines.

On distingue :

- 1- Les forages.
- 2- Les puits.
- 3- Les foggaras

III.1.1-Les Forages :

Au niveau de la Wilaya, il y a 250 forages à usage domestique et 529 forages à usage agricole.

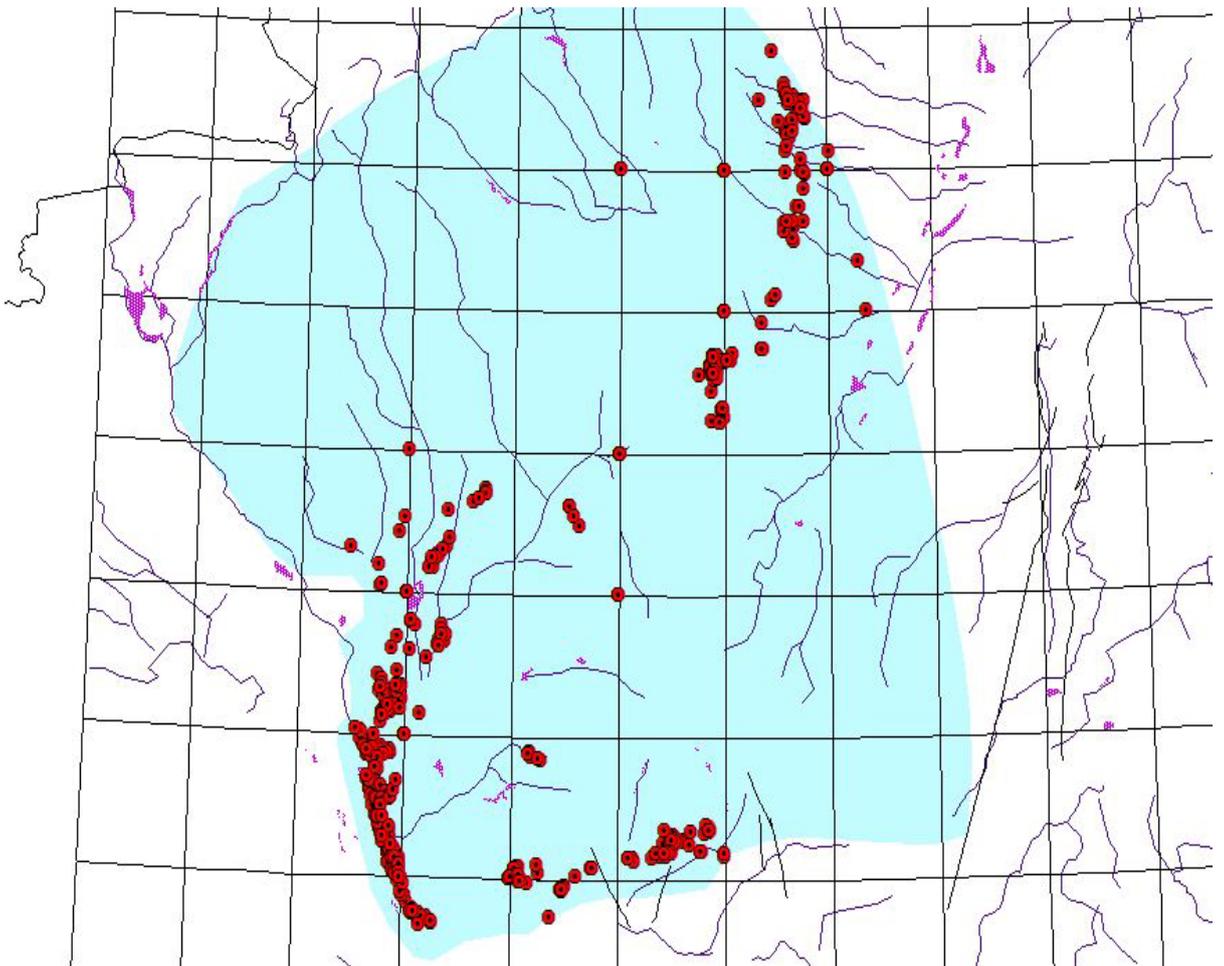


Fig.23: Situation des forages exploités dans le bassin occidental

Dans la région d'Aoulef, il y a 68 forages d'irrigation affectés aux périmètres de grande mise en valeur.

Le tableau suivant donne l'état des forages affectés à l'irrigation, au niveau de la région d'Aoulef durant deux périodes distinctes : 1998 et 2002.

Tableau III.1 : Etat des forages durant les périodes distinctes 1998 et 2002

Communes	Réalisé				Equipé				Electrique				Exploité			
	Nombre		Débit l/s		Nombre		Débit l/s		Nombre		Débit l/s		Nombre		Débit l/s	
	98	2002	98	2002	98	2002	98	2002	98	2002	98	2002	98	2002	98	2002
Aoulef	37	36	1400	1389	29	25	1085	1066	37	36	1400	1389	3	7	100	260
Timokten	19	21	709.6	714	7	8	155	204	9	19	166	670	5	7	85	160
Akabli	12	0	399.3	0	7	0	162	0	11	0	336	0	7	0	162	0
Tit	0	11	0	380	0	4	0	234	0	4	0	194	0	5	0	105
Total	66	68	2508.9	2483	43	37	1402	1504	57	59	1902	2253	15	19	347	525

Source DSA d'Adrar

Le tableau N° III.1 montre une augmentation des forages d'irrigation exploités durant la période entre 1998 et 2002 dans la plupart des communes de la daïra d'Aoulef, ce qui exprime une création des nouveaux périmètres, surtout de grande mise en valeur. Le tableau suivant représente les caractéristiques des forages d'irrigation.

Tableau III.2: Caractéristiques du forage d'irrigation dans la région d'Aoulef

Périmètre	Superficie (ha)	Caractéristiques des forages				
		Profondeur Moy (m)	NS Max - min	ND Max- min	Débit (Max) L/s	Minéralisation Moy. (g/l)
Med Boudiaf	10.000	150	12 - 32	33 - 55	45	1.6 – 2.3

Source DSA d'Adrar

D'après le tableau, la zone d'Aoulef est possède des potentialités hydrique assez considérable. Les eaux souterraine ont généralement de pH = 7,5 à 8,5.

III.1.2-Les Puits [2]:

Dans le cadre du programme ANRH, les ressources hydriques des petits périmètres de mise en valeur sont des puits et la distribution se fait par pompage.

Tableau III.3 : Développement des puits

Année	2000	2001	2002	2003
Nombre des puits	3417 puits	3783 puits	4436 puits	4898 puits
Débit Q (l/s)	5125	6305	8434	9820

Source D.H.W.d'Adrar

La zone la plus riche en eau, est située au plateau de Tademaït vers le sud-ouest et sud-est.

III.1.3-Les foggaras [10]:

La foggara, existe notamment dans la région du Touat-Gourara et Tidikelt est de contribuer, aussi peu que cela à la mise en évidence de l'opportunité et de l'urgence de la sauvegarde de ce monument hydraulique, séculaire et culturel. En Algérie, ce système traditionnel de captage et de canalisation des eaux dans les Oasis a survécu depuis des siècles, mais malheureusement pour une multitude de causes, notamment anthropiques, aujourd'hui sa survie s'amenuise et son déclin s'approche inéluctablement, sauf dans le cas où un plan de sauvetage est mis en œuvre très rapidement. Dans les Oasis Algériennes, la foggara s'est développée principalement dans la région du Touat, Gourara et de Tidikelt, elle réalise à la fois le captage et l'adduction d'eau de la nappe aquifère et ce, par un système de galeries drainantes en pente très douce, avec des puits d'aération et d'évacuation de remblais. L'eau débitée se situe à un niveau légèrement supérieur à celui des jardins, permettant ainsi une irrigation par gravité. Le choix de ce mode de captage et d'irrigation est déterminé par des considérations, socio-économique, édaphique et climatique. Il faut reconnaître aussi que l'hydrogéologie spécifique à la région a concouru à cette ingénieuse réalisation.

Cette idée d'exploiter l'eau souterraine par des foggaras, montre ce que les premiers habitants de ces lieux, aux moyens limités, étaient capables de faire.

Les foggaras ont atteint dans cette partie du Sahara un développement considérable - plus de 3 000 km de galeries - et apparemment paradoxal eu égard à l'énorme investissement en travail qu'elles représentent dans ces régions sous-peuplées : d'après certaines estimations, le creusage d'une foggara de 4 km de long, une profondeur moyenne de 12 mètres nécessiterait environ 48000 journées de travail, soit le travail ininterrompu (à raison de 6 jours sur 7) de 40 ouvriers pendant 4 ans ! Or, si leur taille est extrêmement variable.

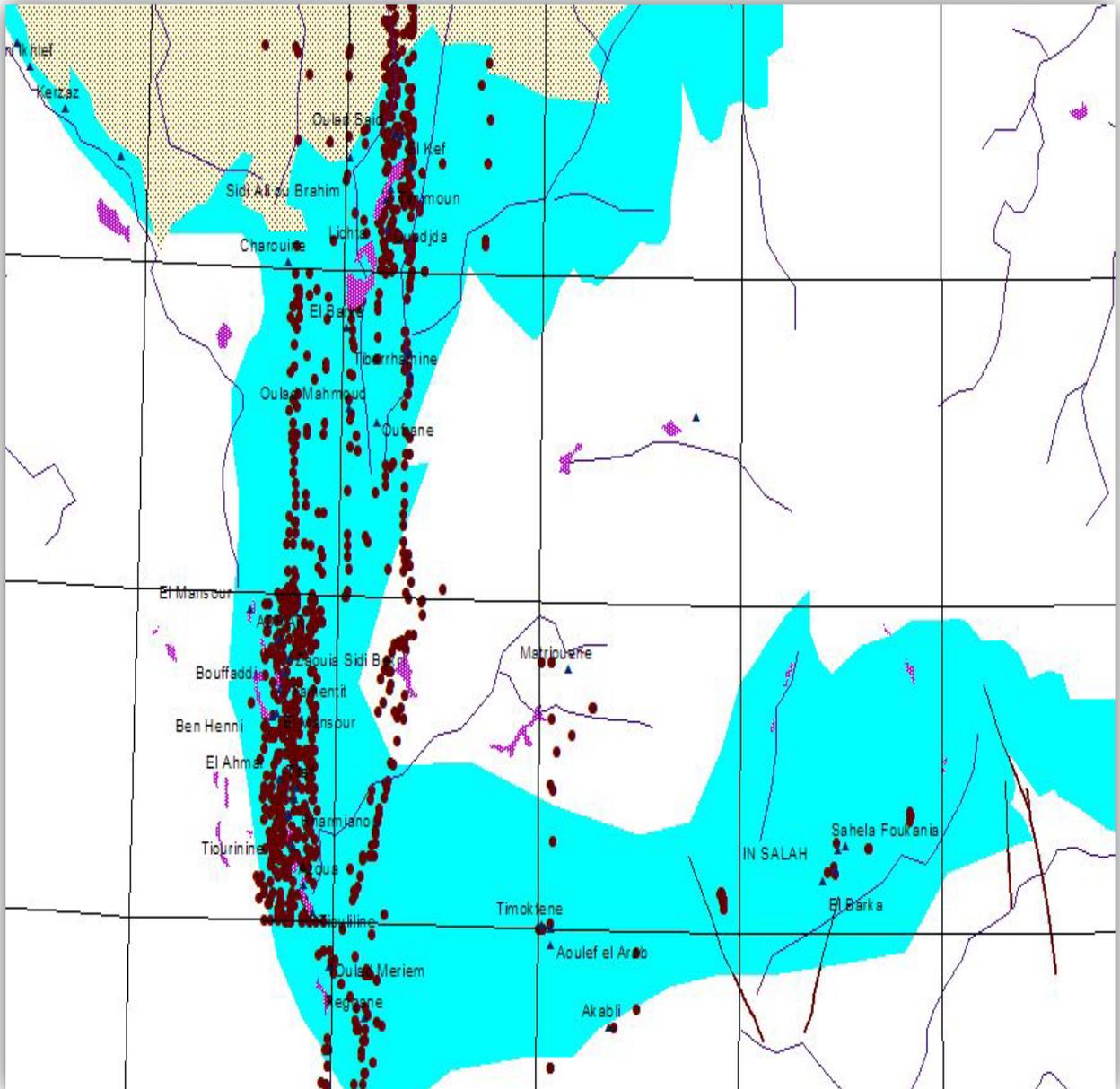


Fig.24: situation de l'ensemble des foggaras dans la région d'Adrar

III.1.3.1-Description et fonctionnement de la foggara :

La foggara est une galerie drainante creusée en ligne droite de l'amont en aval, qui capte et amène de l'eau souterraine vers le terrain à irriguer et ce, grâce à une pente appropriée. L'arrosage se fait par écoulement gravitaire, il est favorisé par les conditions topographiques favorables, dont le niveau du sol est inférieur au niveau piézométrique de la nappe du continental Intercalaire.

La partie drainante ou essentielle de la foggara est la partie poreuse du canal ou appelé également, galerie drainante, elle est creusée en sorte qu'elle puisse faire circuler l'eau et permet le passage de l'ouvrier en phase de réalisation.

Les puits creusés le long de la foggara, permettent de visiter la galerie pour des éventuels entretiens et curage. Il est à préciser que le canal situé en dehors de la nappe, ne sert que de transporter l'eau et ce, contrairement à la galerie située à l'intérieur de la nappe, qui est la partie utile de la foggara.

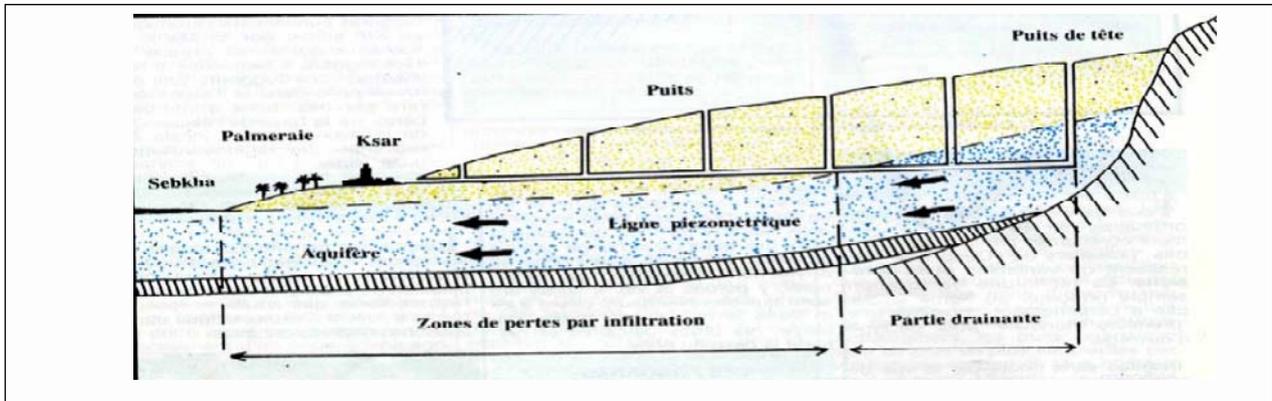


Fig.25: Schéma de fonctionnement de la foggara

III.1.3.2-L'évolution des foggaras :

La foggara est née, l'eau parvient dans les jardins. Son évolution dans le temps est dictée par l'augmentation des besoins en eau et l'extension des cultures. On tend à ce moment-là à multiplier les puits. Mais la progression est limitée par la falaise terminale du plateau, par ailleurs les difficultés augmentent avec la profondeur croissante des puits. Le puisatier essaiera alors d'approfondir le drain où suinte l'eau des grès.

Là aussi la difficulté consiste à maintenir une pente suffisante afin d'obtenir l'écoulement de l'eau.

Parallèlement, et c'est un fait, l'appauvrissement de la nappe vient compliquer considérablement la situation. On se trouve alors placé dans l'alternative suivante :

- Approfondir la foggara et déplacer en conséquence quand la chose est possible, les jardins vers le bas de la dépression.
- Ou bien abandonner la foggara et elle meurt. Dans la région d'Aoulef certaines foggaras présentent, quand on suit leurs parcours souterrains, plusieurs galeries superposées.

En surface, on observe des vestiges des jardins abandonnés qui correspondent au niveau d'irrigation des différentes galeries. La palmeraie se déplace et suit les mouvements de l'eau. [10].

Mais il y a des cas où les jardins ne peuvent plus émigrer dans la dépression. Les bassins collecteurs finissent alors par se trouver au-dessous du niveau des jardins et

l'irrigation se fait par puisage.

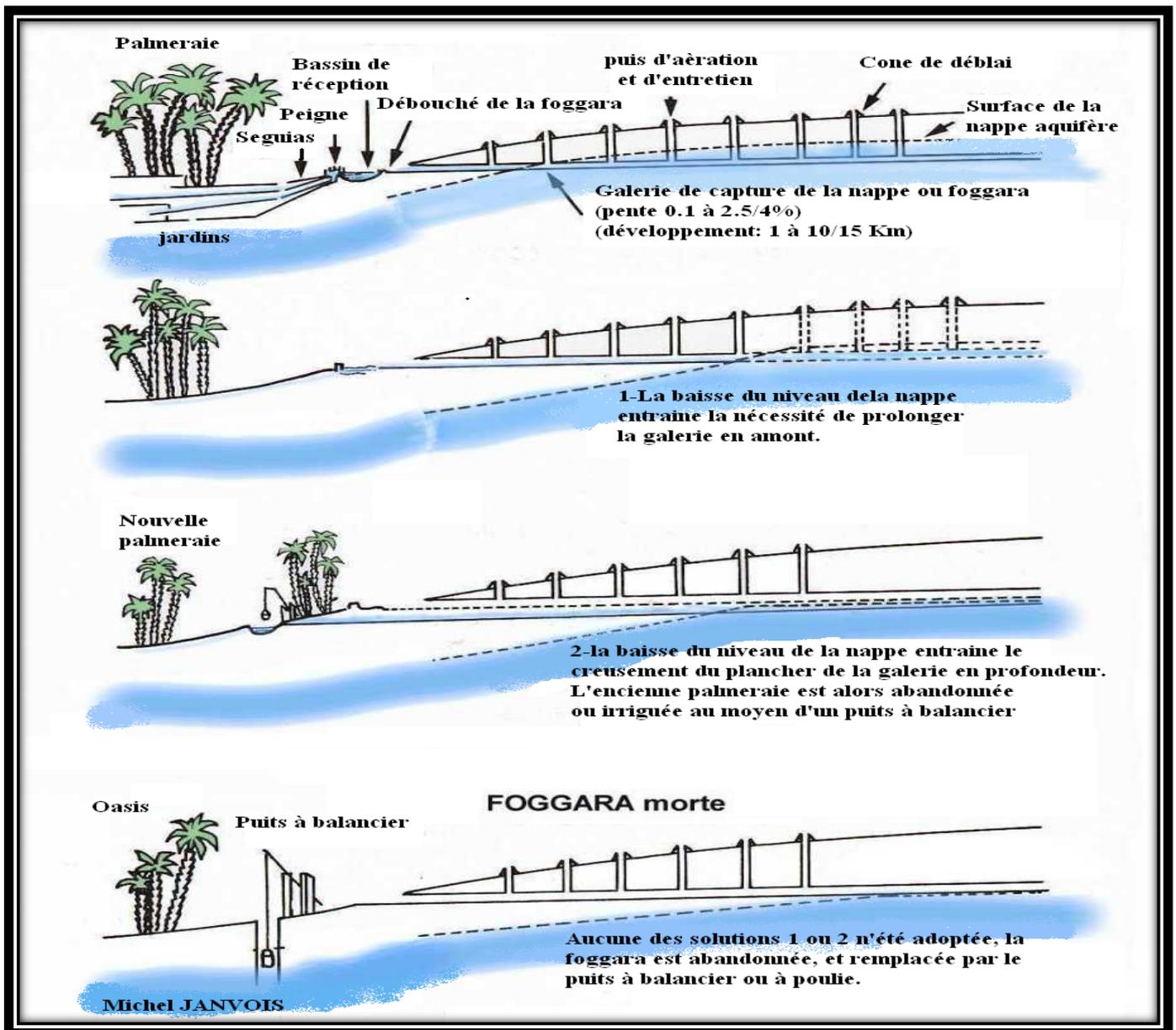


Fig.26 : Evolution des foggaras

Un autre sens en résume l'évolution de cet appareil hydraulique que constitue la foggara, ainsi que les efforts accomplis pour assurer la permanence d'un système dont dépend la vie de plusieurs centaines d'oasis.

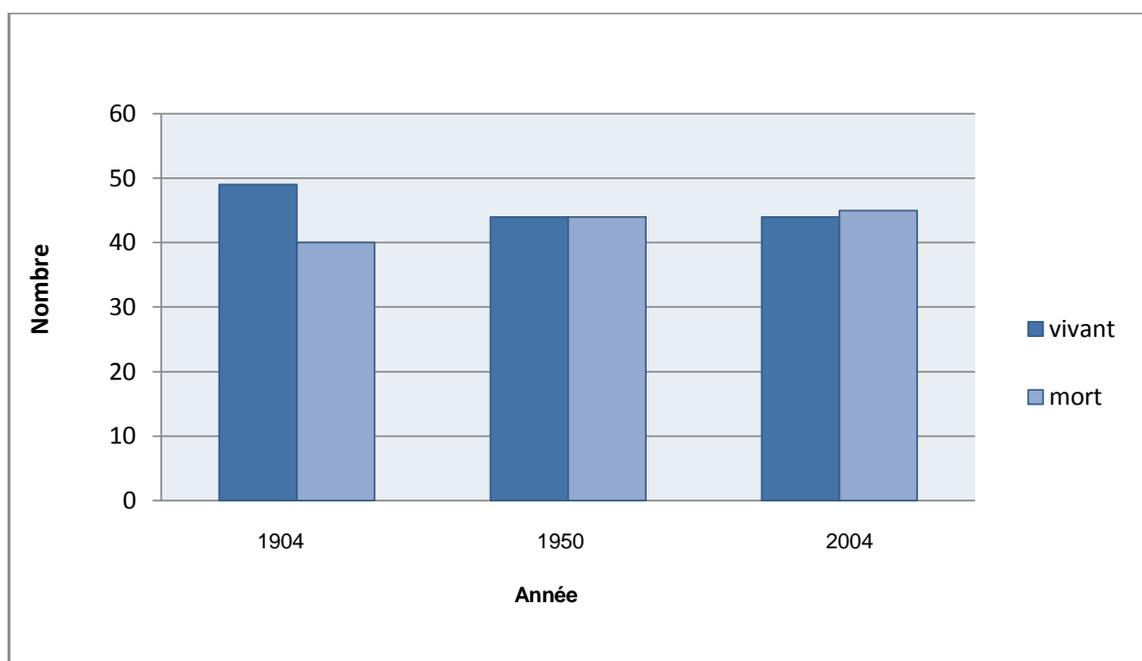
On représente l'évolution de la foggara du Tidikelt dans le tableau suivant :

Tableau III.4: Evolution de la foggara du Tidikelt

Année	1904		1950		2004	
	Vivant	Mort	Vivant	Mort	Vivant	Mort
Palmeraie						
Aoulef El Arab	9	6	8	7	8	7
Aoulef Ech-cherfa	8	10	10	8	9	9
Timokten	13	8	11	10	11	10
Akabli	13	8	11	10	13	8
Tit	6	8	4	10	3	11
Total	49	40	44	44	44	45

Source DSA Adrar

On applique les données du tableau dans l'histogramme suivant :

**Fig.27: Histogramme de l'évolution des foggaras**

D'après l'histogramme, Le nombre des foggaras vivantes est supérieur à celui des foggaras mortes en 1904, cette tendance tend à s'inverser durant les dernières années (entre 1950 et 2004).

III.1.3.3-La répartition des eaux de foggara :

La répartition se fait à travers un genre de peigne en pierre tendre et facile à gratter, c'est la « kasria ». Pour faciliter la mesure et éviter un gros débit à la fois, la kasria doit avoir un nombre suffisant d'ouvertures par lesquelles l'eau s'échappe facilement sans faire retour en arrière. Ces ouvertures qui permettent à l'eau de couler dans les rigoles ne sont

pas obligatoirement égales. Il arrive même d'avoir plusieurs ouvertures qui déversent à la fois l'eau dans le même majra.

L'eau d'une foggara est répartie par de nombreuses « kasrias ». La première qui reçoit la totalité du débit de la foggara est la « kasria-lak'bira » (le partiteur principal). Cette kasria principale répartit le débit de la foggara généralement en trois, quatre ou cinq grandes rigoles qui sont des « majras » au singulier « majra ». A partir d'el-kasria lak'bira, les majras vont en éventail dans toutes les directions de la palmeraie.

Le schéma suivant représente la kasria principale à la sortie des foggaras Nezoi et Fguiguira.

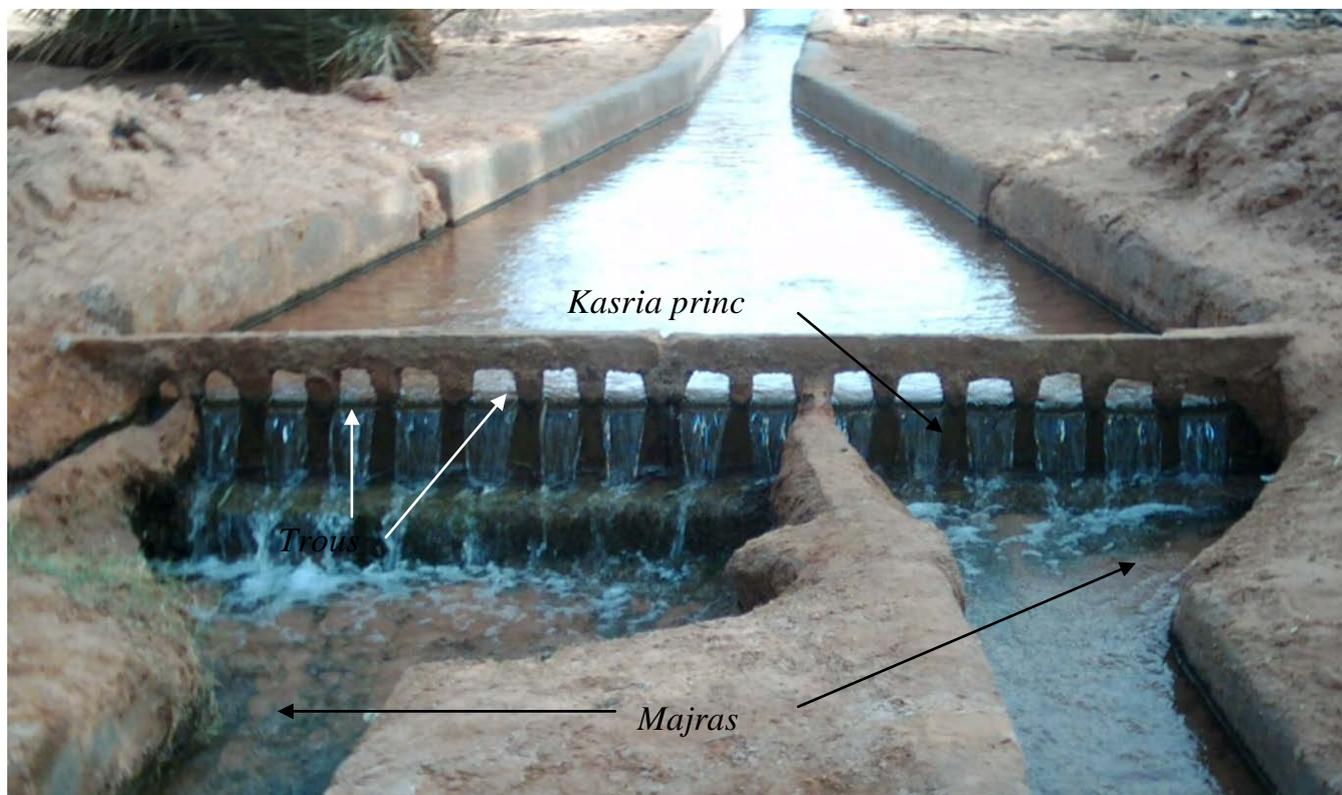


Fig.28: Kasria principale à la sortie des foggaras

Tableau III.5: les déférentes foggaras dans la région de Tidikelt

<i>Commune</i>	<i>N°</i>	<i>Nom de foggara</i>	<i>Débit ancien L/s</i>	<i>Débit actuel L/s</i>	<i>long ancien km</i>	<i>long actuel km</i>	<i>Nombre de puits</i>	<i>diff. débit l/s</i>	<i>caractère l/s/km</i>
<i>TIMOKTEN</i>	<i>1</i>	<i>MAINAU</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>2,364</i>	<i>3</i>	<i>150</i>	<i>1</i>	<i>1</i>
<i>TIMOKTEN</i>	<i>2</i>	<i>TIMINOUTE</i>	<i>4</i>	<i>10</i>	<i>3,66</i>	<i>3,7</i>	<i>180</i>	<i>6</i>	<i>2,7</i>
<i>TIMOKTEN</i>	<i>3</i>	<i>OUKENINE</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>5,58</i>	<i>6</i>	<i>370</i>	<i>1</i>	<i>1,67</i>
<i>TIMOKTEN</i>	<i>4</i>	<i>ADJEDID</i>	<i>5</i>	<i>1,5</i>	<i>1,86</i>	<i>4</i>	<i>250</i>	<i>-3,5</i>	<i>0,38</i>
<i>TIMOKTEN</i>	<i>5</i>	<i>SAHLE TIMOKTEN</i>	<i>2,5</i>	<i>11,5</i>	<i>3,204</i>	<i>7,5</i>	<i>320</i>	<i>9</i>	<i>1,53</i>
<i>TIMOKTEN</i>	<i>6</i>	<i>EL ISTISLAH</i>	<i>0,4</i>	<i>0,4</i>	<i>*</i>	<i>1,5</i>	<i>82</i>	<i>0</i>	<i>0,27</i>
<i>TIMOKTEN</i>	<i>7</i>	<i>AMEGHIARE</i>	<i>*</i>	<i>0,4</i>	<i>*</i>	<i>3,58</i>	<i>215</i>	<i>*</i>	<i>0,11</i>
<i>TIMOKTEN</i>	<i>8</i>	<i>INNER</i>	<i>4</i>	<i>5,8</i>	<i>3,9</i>	<i>4</i>	<i>400</i>	<i>1,8</i>	<i>1,46</i>
<i>TIMOKTEN</i>	<i>9</i>	<i>SAHLE MOULAY HIBA</i>	<i>4</i>	<i>9,5</i>	<i>2,7</i>	<i>3</i>	<i>250</i>	<i>5,5</i>	<i>3,17</i>
<i>TIMOKTEN</i>	<i>10</i>	<i>SIDI HMADOU</i>	<i>30</i>	<i>30</i>	<i>2,7</i>	<i>3</i>	<i>450</i>	<i>0</i>	<i>10</i>
<i>TIMOKTEN</i>	<i>11</i>	<i>DEGHGAMCHA</i>	<i>16,5</i>	<i>9</i>	<i>6,54</i>	<i>6,5</i>	<i>350</i>	<i>-7,5</i>	<i>1,38</i>
<i>TIMOKTEN</i>	<i>12</i>	<i>EL HAMRA</i>	<i>21</i>	<i>17,5</i>	<i>7,344</i>	<i>8</i>	<i>500</i>	<i>-3,5</i>	<i>2,19</i>
<i>TIMOKTEN</i>	<i>13</i>	<i>EL BIDHA</i>	<i>21,5</i>	<i>27</i>	<i>8,204</i>	<i>9</i>	<i>900</i>	<i>5,5</i>	<i>3</i>
<i>TIMOKTEN</i>	<i>14</i>	<i>EL GARA</i>	<i>43</i>	<i>37</i>	<i>6,048</i>	<i>6</i>	<i>500</i>	<i>-6</i>	<i>6,17</i>
<i>TIMOKTEN</i>	<i>15</i>	<i>MEFTAH</i>	<i>5</i>	<i>19,5</i>	<i>3,9</i>	<i>5</i>	<i>400</i>	<i>14,5</i>	<i>3,9</i>
<i>TIMOKTEN</i>	<i>16</i>	<i>ADJEDIDA</i>	<i>5</i>	<i>2</i>	<i>1,86</i>	<i>0,8</i>	<i>40</i>	<i>-3</i>	<i>2,5</i>
<i>TIMOKTEN</i>	<i>17</i>	<i>METRAIONE</i>	<i>3</i>	<i>2,5</i>	<i>1,86</i>	<i>1</i>	<i>112</i>	<i>-0,5</i>	<i>2,5</i>
<i>TIMOKTEN</i>	<i>18</i>	<i>SOUILHA</i>	<i>2</i>	<i>0</i>	<i>1,86</i>	<i>0,7</i>	<i>70</i>	<i>-2</i>	<i>0</i>
<i>AOULEF</i>	<i>19</i>	<i>HAZHOUZ</i>	<i>2</i>	<i>3,3</i>	<i>3</i>	<i>2,5</i>	<i>450</i>	<i>1,3</i>	<i>1,32</i>
<i>AOULEF</i>	<i>20</i>	<i>FEGUIGUIRA</i>	<i>2</i>	<i>2</i>	<i>2,7</i>	<i>4,5</i>	<i>500</i>	<i>0</i>	<i>0,44</i>

Chapitre III**Ressource en eau**

AOULEF	21	NAZOI	9	3	10	10	700	-6	0,3
AOULEF	22	HADJ AHMED	18	15	5	5	400	-3	3
AOULEF	23	TOURFINE	14	11	12	12	770	-3	0,92
AOULEF	24	BEN DRAAOU	13	14	8	8	562	1	1,75
AOULEF	25	TENFA	22	20	7	7	650	-2	2,86
AOULEF	26	DJENET SEG HAR	15	10	8	8	562	-5	1,25
AOULEF	27	AGHEDJER	15	2	5	5	365	-13	0,4
TIT	28	RAOUDA	3	3,5	4	4	1000	0,5	0,88
TIT	29	EL GASBA	*	17	*	*	160		
AKBLI	30	AKBOURE	14	11	4	4	450	-3	2,75
AKBLI	31	DJERMEKANE	6	3,5	3,9	3,9	150	-2,5	0,9
AKBLI	32	AIDA	6,5	5	4	4	450	-1,5	1,25
AKBLI	33	TESENKALE (gharat)	4	2	3	3	120	-2	0,67
AKBLI	34	AMISANE	6,5	4,5	2,22	2,22	350	-2	2,03
AKBLI	35	ADJEELAOUANE	9	6	2,7	2,7	380	-3	2,22
AKBLI	36	ABENKOUR	3,5	2	2,46	3	320	-1,5	0,67
AKBLI	37	HABABOU	3	7,5	3,06	5	600	4,5	1,5
AKBLI	38	ARSOULE	1,5	0,8	2,82	6,7	354	-0,7	0,12
AKBLI	39	MALHA	*	0,8	*	2,6	300		0,31
AKBLI	40	TADMINE	2	0	2,7	5	500	-2	0
AKBLI	41	TAGHAJEMET	6,5	4	2,04	5	500	-2,5	0,8
<i>total</i>			353,4	344,5	161,184	189,4	16132	-27,1	Moy 1,75675

III.1.3.4-Le débit à apporté par les Foggaras de la commune de TIMOKTEN :

On a fait un tableau qui représente le débit à apporté par les Foggaras de la commune de TIMOKTEN

Tableau III.6 : Le débit à apporté par Foggaras de la commune de TIMOKTEN

Nom de la foggara	Débit L/s	Superficie
Mefrah	5,2	765ha
Gara	3,8	
Hama	18	
Beida	24	
Dghamcha	21	
Nahcla	2	
Sahel	5	
Oualenien	7	
Timimout	6	
Manion	2	
Djadiala	1,5	
limer	1,5	
Sid Ahmed	30	
Total	127 L/S	

Le débit total des foggaras :

$$Q=127 \text{ L/S} = 0.127 \text{ m}^3/\text{s} \quad 457.2\text{m}^3/\text{h}=1972\text{m}^3/\text{Jour}$$

$Q= 329184 \text{ m}^3/\text{mois}$

III.2- Caractéristique physique et chimique des eaux :

Pour déterminé les caractéristiques physiques et chimique des eaux d'irrigation (Eau de foggara et les eaux de drainage nous avons procédé a des prélèvements sur site comme l'indique le tableau suivant :

Tableau III.7: la nature des prélèvements des analyses des eaux

N° Point	Désignations
01	Eau de drainage
02	Eau de Foggara
03	Eau de drainage
04	Eau de Foggara
05	Eau de drainage
06	Eau de Foggara
07	Eau de Foggara

Les résultats des analyses des prélèvements sont mentionnés dans le tableau suivant :

Tableau III.8: Résultats des analyses des eaux

N°	PH	CE (mmho/cm)	Re.Sec	NO3- (mg/l)	Ca++ (mg/l)	Mg++ (mg/l)	Na+ (mg/l)	K+ (mg/l)	CL- (mg/l)	Miné. (mg/l)
1	7.02	51.9	37800	5	627	1863	8000	610	8500	32178
2	7.59	2.87	1800	28	86	110	270	22	1220	1779
3	7.07	49.4	35600	30	588	1691	7500	400	7500	30628
4	7.32	2.58	1600	37	94	88	270	16	1280	1600
5	7.09	65.5	50300	2	824	1936	10000	610	12000	40610
6	7.72	2.64	1700	35	82	88	260	23	450	1637
7	7.59	2.36	1500	25	82	81	230	20	1250	1463

III.2.1- Les limites admissibles :

La classification des eaux suivant la qualité chimique a été établie selon le diagramme de classification des eaux d'irrigation, en fonction de deux paramètres, celui de la conductivité électrique CE, et le rapport d'absorption du Sodium SAR.

a) La conductivité électrique :

La conductivité électrique est une propriété associée à la mobilité des ions, elle est mesurée à 25°C et exprimée en mmhos/cm

On distingue quatre classes de danger de salinité de l'eau en fonction de la conductivité électrique :

Tableau III.9: Classification des eaux en fonction de la conductivité électrique

Classe	Conductivité électrique CE (mmhos/cm) à 25°C	Qualité des eaux
C1	$CE \leq 0,25$	Eau de risque faible
C2	$0,25 < CE \leq 0,75$	Eau de risque moyen
C3	$0,75 < CE \leq 2,25$	Eau de risque élevé
C4	$CE > 2,25$	Eau de risque très élevé

Remarque :

- C1: convient pour toutes les cultures.
- C2: convient pour les plantes moyennement tolérantes.
- C3: ne convient qu'à des sols bien drainés et des plantes tolérantes
- C4: eau difficilement utilisable sur sol bien drainé

b) Le SAR (Sodium Absorption Ration) :

Si l'eau est riche en Sodium, celui-ci peut se fixer sur le complexe du sol et exercer alors une action défloculante. Pour apprécier le risque alcalin, on compare donc la concentration en ions Na^+ et celle en ions Ca^{++} et Mg^{++} .

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

Quatre classes de risque alcalin ont été définies, en relation avec le risque salin :

- * S1 : Risque faible $S.A.R \leq 10$;
- * S2 : Risque moyen $10 < S.A.R \leq 18$;
- * S3 : Risque élevé $18 < S.A.R \leq 26$;
- * S4 : Risque très élevé $S.A.R > 26$.

Tableau III.10: calcul de SAR pour chaque point

N°	Ca ⁺⁺ (mg/l)	Mg ⁺⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	SAR
1	627	1863	8000	80.16
2	86	110	270	9.64
3	588	1691	7500	78.55
4	94	88	270	10.01
5	824	1936	10000	95.17
6	82	88	260	9.97
7	82	81	230	9.01

III.2.2- Classification des eaux :

A l'aide de diagramme de classification des eaux d'irrigation on trouve les résultats suivant :

Tableau III.11: Les résultats de la classification des eaux

N°	Ca ⁺⁺ (mg/l)	Mg ⁺⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	SAR	CE	classe de l'eau
1	627	1863	8000	80.16	51.9	C5- S4
2	86	110	270	9.64	2.87	C4- S2
3	588	1691	7500	78.55	49.4	C5- S4
4	94	88	270	10.01	2.58	C4- S2
5	824	1936	10000	95.17	65.5	C5- S4
6	82	88	260	9.97	2.64	C4- S2
7	82	81	230	9.01	2.36	C4- S2

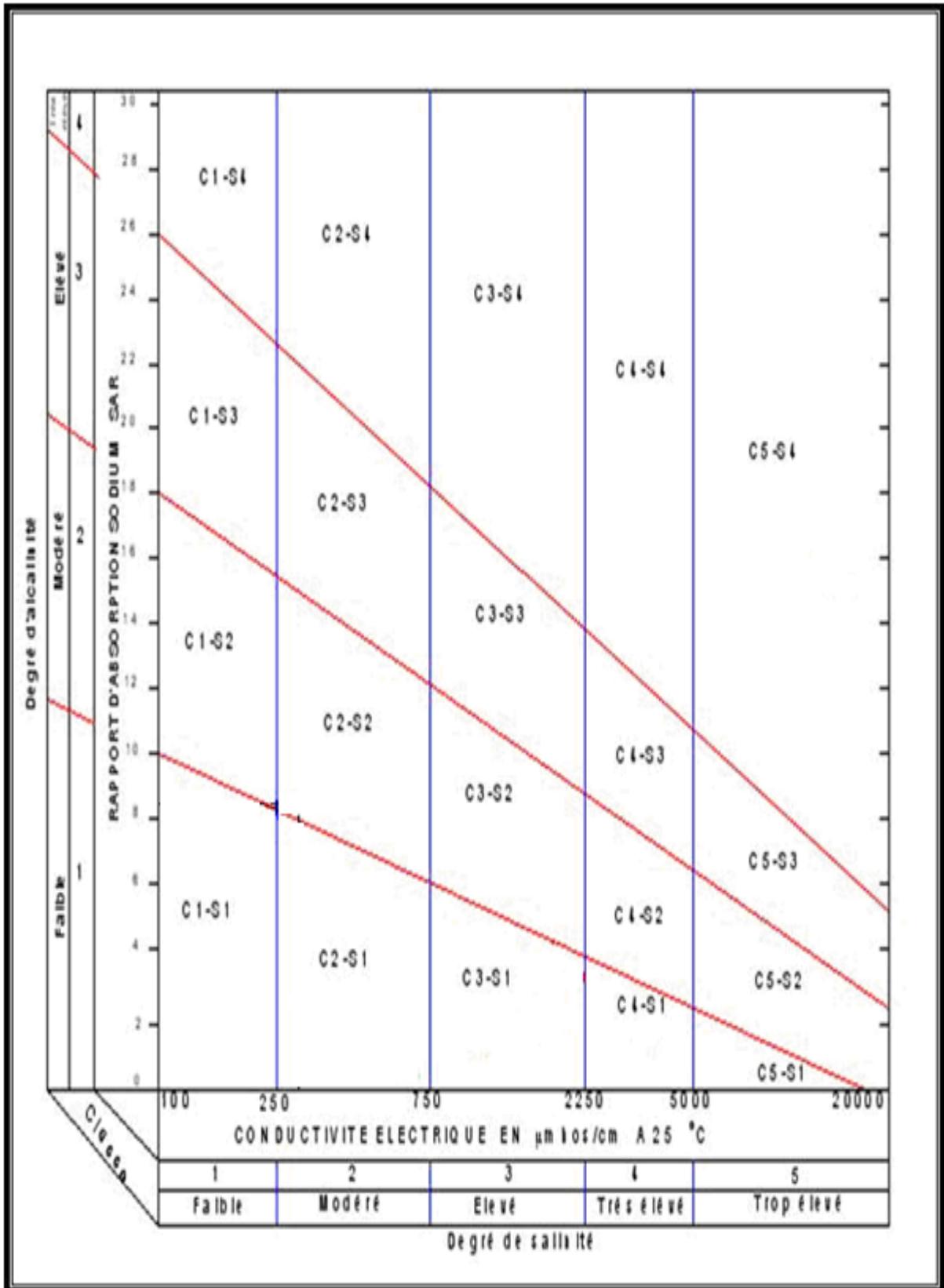


Fig.29: diagramme de classification des eaux d'irrigation

Conclusion :

L'activité principale dans la région d'étude est l'agriculture des palmiers dattiers avec une superficie totale des palmeraies de 2125 ha, le réservoir hydrique naturel est la nappe de l'albien (CI) exploité par deux manières, les foggaras et les forages. Les foggaras irriguent une superficie très importante de 1278 ha (concernant surtout le secteur traditionnel), et les forages quant à eux sont affectés à une superficie des grands périmètres de mise en valeur de 314 ha. Les puits assurent l'arrosage d'une superficie de 447 ha.

D'après les résultats des analyses des eaux on conclut que, les eaux d'irrigation (eau de foggara) sont bonnes pour l'agriculture et les eaux de drainages sont de mauvaise qualité d'où l'évacuation de ces eaux est indispensable.

Chapitre IV:
Analyse hydro-agricole
Et problématique

Introduction :

Le problème de la salinité est lié à plusieurs facteurs. Il est indispensable de connaître parmi lequel la situation hydraulique et agronomique actuelle ainsi que toutes les caractéristiques de la région qui peuvent nous donner une vue globale sur ce problème.

IV.1- Organisation administrative :

Issue du découpage Administratif de 1974, la Wilaya d'ADRAR s'étend sur la partie du Sud Ouest Algérien et comprend quatre grandes zones à savoir :

• **Le GOURARA** : région de Timimoun composé de 10 Communes situées en bordure de la grande SEBKHA de Timimoun :

-TINERKOUK, KSAR KADDOUR, OULED SAÏD, TIMIMOUN, OULED AISSA, TALMINE, CHAROUINE, METARFA, DELDOUL et AOUGROUT.

- Superficie (km²) = 65.203

• **Le TOUAT** : région d'Adrar composé de 12 Communes situées tout à le long d'Oued Messaoud :

-TSABIT, SBAA, BOUDA, ADRAR, TIMMI, TAMENTIT, FENOUGHIL, TAMEST, ZAOUJET KOUNTA, IN-ZEGHMIR, SALI et REGGANE.

- Superficie (km²) = 205.623

• **Le TIDIKELT** : région d'Aoulef composé de 04 Communes = AOULEF, TIMOKTEN, AKABLI et TIT.

- Superficie (km²) = 24.536

• **Le Tanezrouft** : région de Bordj Badji Mokhtar composé de 02 Communes = BORDJ BAJIMOKHTAR et TIMIAOUINE.

- Superficie (km²) = 132.579

IV.2-Population :

Une population totale de la wilaya d'Adrar estimée au 30 avril 2008 à 389.898 habitants.

La densité est de 0,89 habitant /km².

Tableau IV.1 : Répartition de la population dans la région d'AOULEF

Commune	Timokten	Tit	Akabli	Aoulef	Total
Nombre d'habitants	7750	33360	14744	16889	72740

IV.3-Infrastructures hydrauliques :**IV.3.1-les réseaux hydrauliques existants :**

Nous présentons dans les tableaux ci-dessous les nouveaux recensements sur les réseaux hydrauliques à travers toute la wilaya d'Adrar.

IV.3.1.1-Réseau d'Assainissement :**Tableau IV.2 : Inventaire des réseaux d'Assainissement**

WILAYAS	Racc. Moy (%)	Longueur du réseau (Km).			Volume rejeté (m ³ /j)
		Primaire	Secondaire	Total	
ADRAR	83,0	100	240	340	15 262

Source: DHW

IV.3.1.2- Réseau d'AEP :**Tableau IV.3 : Inventaire des réseaux d'AEP**

Wilaya	Volumes distribués (m ³ /j)	Dotation (l/j/h)	Taux de raccordements en %
Adrar	71 744 000	202	95

Source : DHW

IV.3.1.3- Réseau d'irrigation :

Le système d'irrigation traditionnel « Foggara », c'est le système principal d'irrigation, les recensements de ce système sont donnés par le tableau suivant :

Tableau IV.4 : Inventaire des foggaras

Nbre. de foggaras actives en 2000	920
Nbre. de foggaras tarées en 2000	473
Longueur totale des galeries	2236 km
Débit total en 2000	2840 l/s
Débit total en 1960	3670 l/s

Source : DSA

IV.4- L'agriculture.**IV.4.1-Répartition des terres agricoles:**

Le tableau suivant représente la répartition de surface agricole dans la wilaya d'Adrar :

Tableau IV.5 : La répartition des terres agricole

<i>Désignation</i>	<i>Unités</i>	<i>surface</i>
<i>Superficie agricole total</i>	<i>ha</i>	<i>337650</i>
<i>Superficie utilisée</i>	<i>ha</i>	<i>32272</i>
<i>Superficie irriguée</i>		<i>23814</i>
- Par gravité	<i>ha</i>	<i>18814</i>
- Par aspersion		<i>2742</i>
- Par goutte à goutte		<i>2258</i>

Source DSA 2003/2004

IV.4.2-La production agricole et leur superficie :**Tableau IV.6 : Les différentes cultures de la wilaya d'Adrar**

<i>Maraichères(ha)</i>	<i>palmiers (ha)</i>	<i>Cultures Intercalaires (ha)</i>	<i>Grandes cultures (ha)</i>
<i>1 000</i>	<i>23532</i>	<i>6 363</i>	<i>5 945</i>

L'activité principale des habitations est l'agriculture, basée essentiellement de la culture de palmier dattier qu'occupe une superficie globale de 23 532ha, le tableau suivant présente l'état de la palmeraie d'après les statistiques de l'année 2003/2004.

Tableau IV.7 : état du palmier dans la wilaya d'Adrar

<i>Désignation</i>	<i>Unités</i>	<i>Quantité</i>
<i>Superficie général</i>	<i>ha</i>	<i>23532</i>
<i>Le nombre total</i>	<i>Unités</i>	<i>2993450</i>
<i>Le nombre de palmier productif</i>	<i>Unités</i>	<i>2076984</i>
<i>Production total</i>	<i>Tonne</i>	<i>573500</i>
<i>Production moyenne</i>	<i>Kg/palmier</i>	<i>28</i>

Source DSA 2003/2004

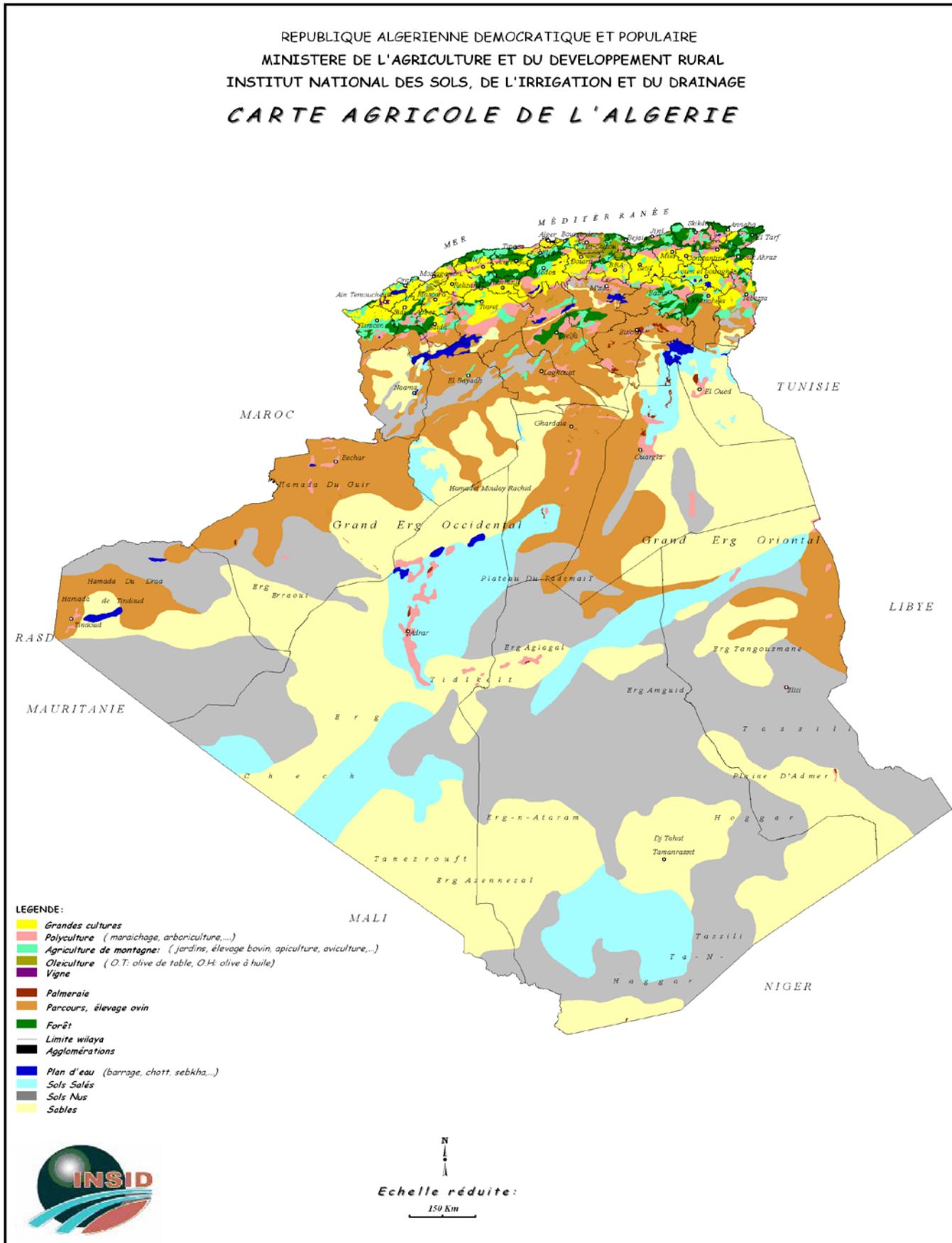


Fig.30: carte agricole d'Algérie

IV.4.3-L'agriculture dans la région d'Aoulef :

L'inventaire des superficies agricoles de la région d'Aoulef est résumé dans le tabl.0 suivant :

Tableau IV.8 : Statistique des superficies agricoles

communes	superficie agricole totale ha	superficie agricole utilisée ha	Superficie Agricole irriguée ha	superficie du palmier dattier ha
Aoulef	10903	703	548	582
Timokten	2696	858	858	889
Akabli	550	174	163	280
Tit	553	304	286	375
Total	14702	2039	1854	2125

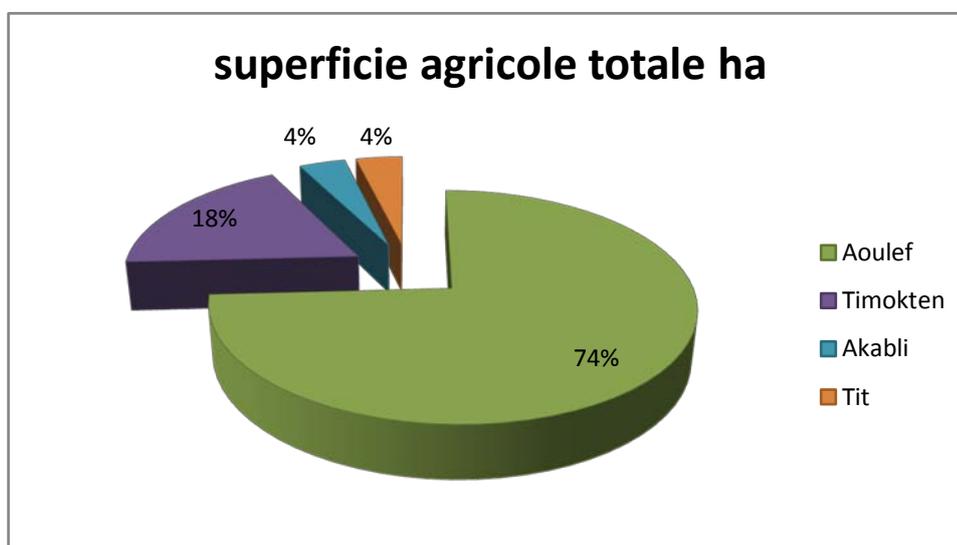


Fig.31: superficies agricoles dans la région d'Aoulef

Les principales conclusions qu'on peut tirer de cet inventaire sont les suivantes :

- Plus de la moitié (55%) de la superficie totale de la région est utilisée pour l'agriculture, la commune de Timokten utilise que 18% de la superficie agricole totale.
- Plus de 90% de la superficie agricole utile de la région est irriguée, alors que la commune de Timokten enregistre 100% de la SAU en irriguée. Le statut juridique des terres cultivées est du domaine soit privé traditionnel, soit de grande mise en valeur, soit de petite mise en valeur. Le tableau suivant donne un récapitulatif de ces affectations.

Tableau IV.9 : Superficies agricoles dans la région d'AOULEF :

communes	superficie ha			Total
	secteur traditionnel	grand mise en valeur	petit mise en valeur	
AOULEF	315	203	185	703
TIMOKTEN	618	90	150	858
AKABLI	187	21	96	304
TIT	158	0	16	174
Total	1278	314	447	2039

Ces données montrent que la majorité des terres (62,68 %) sont exploitées de façon traditionnelle, la commune d'Aoulef est celle qui a reçu un programme de mise en valeur le plus conséquent avec une occupation du sol de plus de la moitié (55,12 %) de la superficie agricole utile.

La principale activité agricole dans la zone d'Aoulef est la culture du palmier dattier. Le tableau suivant présente les statistiques relatives à la palmeraie d'Aoulef.

Tableau IV.10 : Inventaire de la palmeraie d'AOULEF

commune	nombre total des palmiers	nombre des palmiers productifs	la production
unité	ped	ped	quintaux
AOULEF	64920	32860	8675
TIMOKTEN	129710	64830	18072
AKABLI	31920	17722	4457
TIT	39080	20390	5756
Total	265630	135802	36960

Cet inventaire montre que plus de la moitié de la palmeraie n'est pas productive et donc nécessite un renouvellement des palmiers improductifs. Quant à la production moyenne par palmier dattier, elle se situe aux alentours de 27,2 kg. Aoulef est la commune dont la production par unité est la plus importante avec 29,4 kg par palmier [10]

IV.5-l'irrigation de la palmeraie :

Les ressources en eau utilisé dans le domaine agricole sont :

Les foggaras : au nombre de 918 et d'un débit total de 3680 l/s.

Les forages : au nombre de 529 et d'un débit total de 9120 l/s.

Les puits : au nombre de 4898 et d'un débit total de 3680 l/s.

Les trois systèmes d'irrigation pratiqués dans la région sont :

IV.5.1-L'irrigation traditionnelle :

La foggara est une ressource essentielle dans ce type d'irrigation, car elle irrigue la plupart des secteurs agricoles, l'irrigation se fait au niveau de la parcelle à partir d'un réservoir d'accumulation vers un canal principal qui alimente les canaux secondaires, et qui irrigue les petites carrées des exploitations.

On peut dire que le canal principal est juste pour le transport de l'eau dans certains jardins, d'autre, pour le transport et distribution.

IV.5.2-L'irrigation localisée :

L'irrigation par goutte à goutte est pratiquée surtout au niveau des nouvelles palmeraies dans les grands périmètres de mise en valeur. Les caractéristiques principales de l'irrigation à la goutte à goutte sont :

- *Ecartement entre palmiers 8 m soit une densité de 144 arbres /ha.*
- *Nombre de goutteurs par palmier : 02.*
- *Débit du goutteur 4 l/h.*
- *Diamètre de la conduite principale : 60 mm.*
- *Diamètre des rampes : 16 ou 20 mm.*

IV.5.3-L'irrigation par aspersion :

L'irrigation par aspersion est pratiquée surtout au niveau des nouvelles palmeraies dans les grands périmètres de mise en valeur, ce type d'irrigation utilise les pivots. L'énergie élevée demandée par cette technique engendre beaucoup des problèmes notamment le payement des factures d'électricité très salées.

IV.6-Description générale de problème :**IV.6.1-Phénomène de salinisation :**

Processus d'accumulation de sels à la surface du sol et dans la zone racinaire qui occasionne des effets nocifs sur les végétaux et le sol; il s'en suit une diminution des rendements et, à terme, une stérilisation du sol.



Fig.32: Le problème de salinité

IV.6.2-Origine de la salinité :

L'accumulation des sels dans les sols a pour origine plusieurs facteurs dont les principaux sont :

- ✓ *Les eaux d'irrigation*
- ✓ *Les roches parentales plus ou moins salées*
- ✓ *La très forte évaporation et surtout la concentration des sels, dans le temps et ce en présence d'un plan d'eau en relation étroite avec la dynamique des nappes saumâtres ces plan d'eau (nappe phréatique) impose par les conditions géomorphologique (manque d'exutoire et topographié plan) et climatique saharienne ce phénomène d'halomorphisme est aggravé également par l'absence de réseau de drainage (dessalage)*

IV.6.2.1- La salinisation causée par l'irrigation :

En quoi l'irrigation participe-t-elle à la salinisation des sols?

L'irrigation diminue les flux d'eau sans diminuer les flux de sels, elle génère donc un processus de concentration des sels.

L'irrigation altère le bilan hydrique du sol en générant un apport d'eau supplémentaire ; cet apport est toujours associé à un apport de sels. En effet, même une eau douce de la meilleure qualité contient des sels dissous et, si la quantité de sels apportée par cette eau peut sembler négligeable, les quantités d'eau apportées au fil du temps entraînent un dépôt cumulé de sels dans les sols qui peut s'avérer considérable. L'eau pure est perdue par évaporation mais les sels restent et s'accumulent.

IV.6.3-Effet de salinité des sols [12]

La salinisation entraîne:

- ✓ *Un accroissement de la pression osmotique qui rend l'eau plus difficilement mobilisable par les plantes.*
- ✓ *Une toxicité de certains ions pour les végétaux (Cl⁻, Na⁺, etc.);*
- ✓ *Une dégradation du sol (modifications de l'état structural, diminution de la conductivité hydraulique, etc.) .*

IV.6.4-Les Types de salinisation :

a) Salinisation primaire ou naturelle: *due aux sels se formant lors de l'altération des roches ou à des apports naturels externes:*

- *Dans les régions côtières. Intrusion d'eau salée ou submersion des terres basses.*
- *Inondations périodiques par de l'eau de mauvaise qualité.*
- *Remontée d'une nappe phréatique salée près de la zone racinaire.*

b) Salinisation secondaire :

Induite par l'activité humaine; liée fréquemment à des pratiques agricoles inappropriées.

IV.6.5-Caractéristiques des sols salés :

Les sols affectés de problèmes de salinité présentent des concentrations excessives en sels solubles (sols salins), en sodium adsorbé (sols sodiques ou alcalins) ou les deux (sols alcalino-salins).

Les sels solubles concernés sont essentiellement : Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺, Na⁺, Cl⁻, SO₄⁻, HCO₃ (bicarbonates), CO₃ et NO₃.

Si l'eau d'irrigation appliquée contient des quantités relativement significatives d'ions sodium (Na⁺) par rapport aux quantités présentes d'ions magnésium (Mg²⁺) et d'ions calcium (Ca²⁺), et en particulier si l'ion bicarbonate (HCO₃⁻) est aussi présent ; les ions sodium peuvent alors saturer la majeure partie des sites d'échanges colloïdaux, ce qui est à l'origine de la formation de sols sodiques. C'est un type de sol extrêmement peu fertile

a) Les différentes catégories des sols salés :

On distingue 3 catégories de sols salés résumés dans le tableau suivant :

Tableau IV.11 : les Catégories des sols salés

	CE à 25 °C	mS.cm ⁻¹	ESP
Sols salins	>4		< 15
Sols alcalins (sodique)	< 4		> 15
Sols alcalino-salins	>4		> 15

Avec :

CE : la conductivité électrique

ESP : c'est le pourcentage de sodium échangeable

$$ESP = 100ES / CEC$$

ES : quantité des ions sodium échangeables (meq/100g de sol)

CEC : capacité d'échange cationique (meq/100g de sol)

b) Tolérance des cultures aux sels :

L'impérativité de développer des critères appropriés pour juger la convention d'une eau saline à l'irrigation et la nécessité de contrôler l'évolution de la salinité des sols, exigent de connaître comment les sels affectent les sols et les plantes.

Pour le plan cultural adopté, les tolérances des principales cultures sont données dans le tableau IV.12 elles correspondent à des niveaux de rendement pour différents seuils de conductivité électrique de sol [4].

Tableau IV.12 : chute de rendement de certaines cultures sous l'effet des sels

	directives préconisées dans (qualité de l'eau en agriculture) (FAO N°29)		Essais et valeurs adoptées dans l'étude PNUD - TUNISIE (1970)		Valeurs retenues par TOUTAIN
	Rendement 100%	Rendement 0%	Rendement 100%	Rendement 0%	Rendement 0%
Carotte	<1.0	> 8.0	--	--	>11.5
(pastèque)	--	--	<1.3	>11	>14.5
Oignon	<1.2	>7.5	--	--	>11
Piment	--	--	--	--	>31
Palmier	<4	>32	--	--	>14.5

IV.6.6-Solutions préventives et curatives possibles [12] :

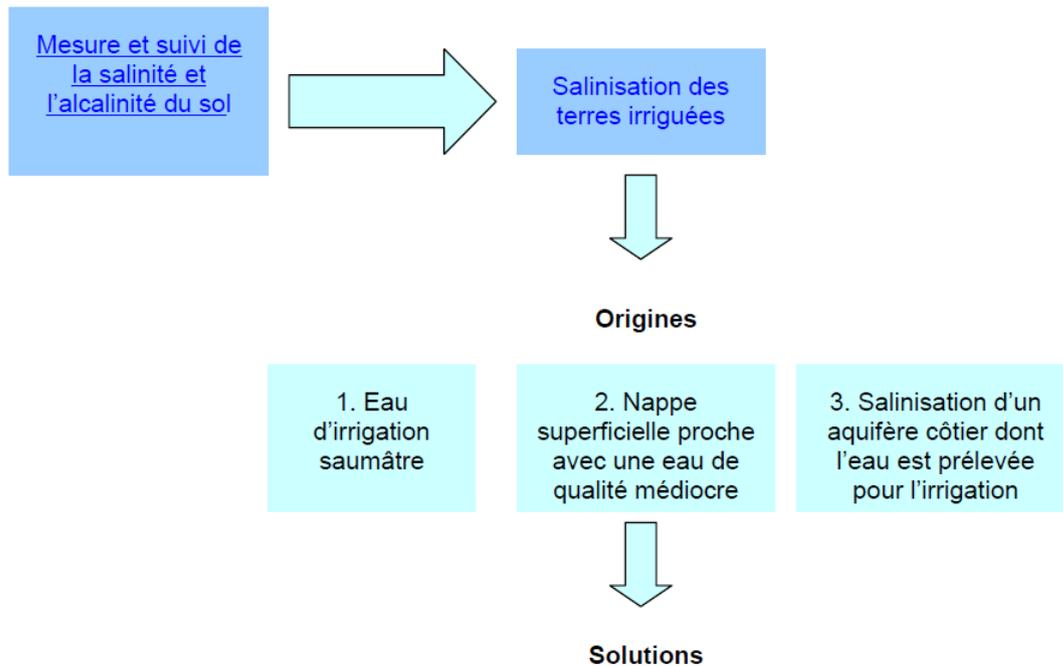


Fig.33: Origines de la salinisation

A. *Lorsque l'eau d'irrigation utilisée est saumâtre :*

B. *Quelles solutions curatives, comment faire face à une eau d'irrigation saumâtre ?*

- . *Augmentation de la fréquence des irrigations, accroissement de l'apport d'eau aux plantes en considérant les besoins de lessivage et/ou association de différentes sources d'eau*
- . *Réhabilitation par modification des pratiques culturales:*
- . *Drainage de surface:*
- . *Drainage artificiel souterrain vertical:*
- . *Drainage artificiel souterrain horizontal.*

C. *Lorsque la nappe superficielle est proche, avec une eau de qualité médiocre*

- ✓ *Abaissement du niveau de la nappe.*
 1. *Par la surélévation des terres.*
 2. *Un système de drainage artificiel souterrain horizontal.*
- ✓ *Réhabilitation par modification des pratiques culturales: jachère et travail du sol, utilisation de plantes résistantes à la salure.*

3. **Biodrainage** : Le bio-drainage utilise le pouvoir évapotranspiratif de la végétation, en particulier des arbres pour conserver en profondeur le niveau des nappes.

D. Lorsque l'on est en présence d'un aquifère côtier dont l'eau est prélevée pour l'irrigation :

- ✓ Limitations des prélèvements dans la nappe.
- ✓ Recharge de la nappe.

IV.7-Pollution des eaux des foggaras:

L'eau étant sans doute le meilleur solvant liquide. C'est le véhicule le plus actif de déplacement des matières lorsqu'il est en mouvement. C'est pour cette raison que l'eau pure n'existe pas à l'état naturel, même l'eau de pluie, car elle entraîne des poussières, dissout des gaz carboniques et absorbe de la fumée au voisinage des villes. Au niveau du sol, l'eau est exposée à des pollutions de toute sorte : chimique et bactériologique, son état devient alors plus compliqué.

IV.7.1-Pollution chimique[10] :

Les analyses chimiques des eaux des Foggaras ont montré la présence d'une faible teneur en nitrates (NO_3^-) comprise entre 23 et 33,5 mg/l. La présence de ces derniers est due probablement à la décomposition de la matière organique ou les produits chimiques utilisés en agriculture (engrais). Les valeurs trouvées demeurent acceptables (<40 mg/l).

La pollution des eaux de la foggara de Ben Draaou est due à l'infiltration des hydrocarbures (l'essence) de l'ancienne Centrale de Sonelgaz. Ce type de pollution est dangereux, car il est très difficile à éliminer. Elle menace gravement l'agriculture surtout durant ces dernières années, plusieurs palmeraies sont mortes.

Pour éviter ce problème, une solution a été proposée depuis 1985 il s'agit de construire un obstacle en béton armé de profondeur suffisante entre la foggara et la source du combustible, mais malheureusement la commune ne le prend pas en considération.

Un agriculteur soucieux de sauver son jardin, trouve une bonne solution pour diminuer le taux de cette pollution. Monsieur Hammadi Ahmed El Hadj, dans son petit jardin a construit des regards pour séparer l'eau du combustible (gasoil dans ce cas) par un simple procédé de séparation, la technique consiste à construire quelques regards de même hauteur et liés entre eux (voir figure ci-dessous). Comme le gasoil est plus léger, il

se trouve au dessus de l'eau, en grande quantité sur le premier regard. Cette quantité superficielle du gasoil est enlevée au moyen d'une louche. L'eau continue son trajet sur le deuxième regard et le même procédé se répète jusqu'à réduction maximum (le teneur du gasoil.)

Par ce simple système, il arrive à des résultats encourageants. Nous souhaitons qu'il soit appliqué dans tous les jardins ou à la sortie de la foggara parce qu'il a un certain nombre d'avantages :

- Système simple qui ne demande aucune énergie.
- Donne des quantités importantes de gasoil que l'on peut exploiter.

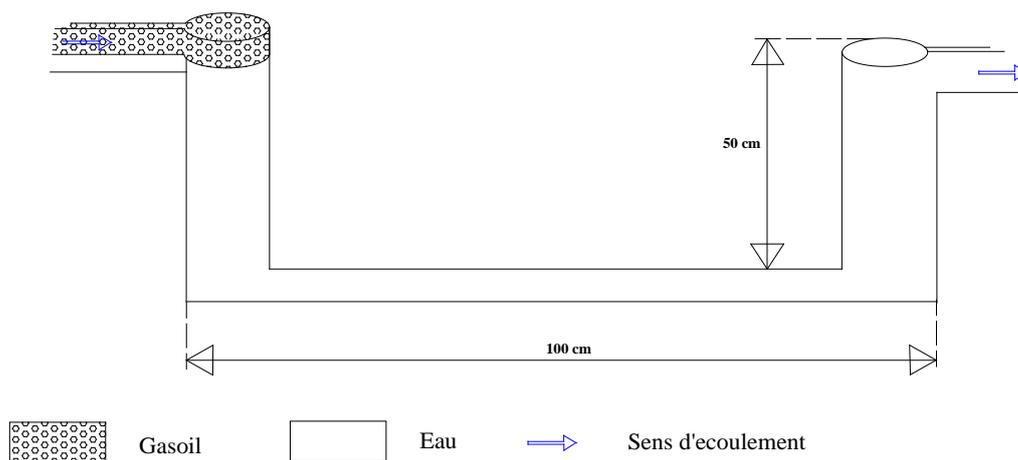


Fig.34: Regard de séparation de pollution (foggara de Ben Draaou)

IV.7.2-Pollution bactériologique:

A l'aide des anciennes analyses déjà faites et des analyses déjà effectuées au niveau du laboratoire sanitaire d'Aoulef (tableau ci-dessous), nous pouvons mieux voir l'évolution de la qualité bactériologique des eaux des foggaras.

Tableau IV.13 : Analyses bactériologiques des eaux des foggaras

<i>Date de prélèvement</i>	<i>26 - 11 - 1993</i>		<i>13 - 03 - 2002</i>
<i>Foggara</i>	<i>Nezoi</i>	<i>Hazhouz</i>	<i>Tenfa</i>
<i>coliformes</i>	<i>240 cellule / ml</i>	<i>240 cellule / ml</i>	<i>> 240 cellule / ml.</i>
<i>colibacilles</i>	<i>240 cellule / ml</i>	<i>240 cellule / ml</i>	<i>240 cellule / ml</i>
<i>Streptocoques Fécaux</i>	<i>240 cellule / ml</i>	<i>240 cellule / ml</i>	<i>> 240 cellule / ml.</i>
<i>Conclusion</i>	<i>Eau de mauvaise qualité bactériologique (non potable)</i>		

Ce tableau montre que les eaux des foggaras sont largement contaminées par de nombreuses bactéries, donc son utilisation domestique est strictement interdit car elle peut entraîner des maladies infectieuses telles que le Choléra, la Variole, la Tuberculose... .Etc.

Conclusion :

Le phénomène salinisation représente un grand risque sur les sols agricoles et sur les eaux souterrains.

Pour réduire ce problème il faut Prendre en considération

- ❖ Vérification de la qualité de l'eau d'irrigation.*
- ❖ Gestion optimale de l'irrigation de façon à éviter la percolation hors périodes de lessivage.*
- ❖ Limitation des pertes d'eau dans les canaux et les apports externes.*
- ❖ Contrôle du niveau de salinité du sol (CE, ESP, etc.).*

Les sources principales de la pollution des eaux sont :

- Les ordures ménagères jetées dans les foggaras (par les enfants surtout).*
- Les fosses perdues à cote des foggaras, sans oublier les rejets de réseau d'assainissement sans aucun traitement qui jettent à la surface libre pour atteindre finalement la nappe phréatique.*

Enfin pour éviter ce genre de pollution, la mise en place d'un réseau d'assainissement bien contrôlé, suivi par un système d'épuration bien étudié (lagunage naturel) s'avère indispensable.

Chapitre V:
Besoin en eau

Introduction :

Dans notre travail, nous avons quantifié les besoins en eau des cultures sur la base des informations définies auparavant, conditionnant la conception de notre projet tels que : les conditions climatiques, systèmes agronomiques, potentialités des sols, l'eau disponible et la fertilité des sols

Le but de l'estimation de besoins en eau de culture c'est la détermination de la dose de lessivage pour le dimensionnement de réseau de drainage.

V.1-définition:

Le besoin en eau d'irrigation ou la consommation en eau de la culture définie comme la hauteur d'eau (mm) consommé par l'évapotranspiration de la culture.

Les cultures pour se développer, puisent du sol l'eau et les éléments nutritifs. La quantité d'eau donnée à la culture n'est pas entièrement absorbée par la culture, une partie percole et se per en profondeur [3].

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

Le calcul des besoins en eau d'irrigation repose sur un bilan hydrique, représenté dans le schéma qui suit :

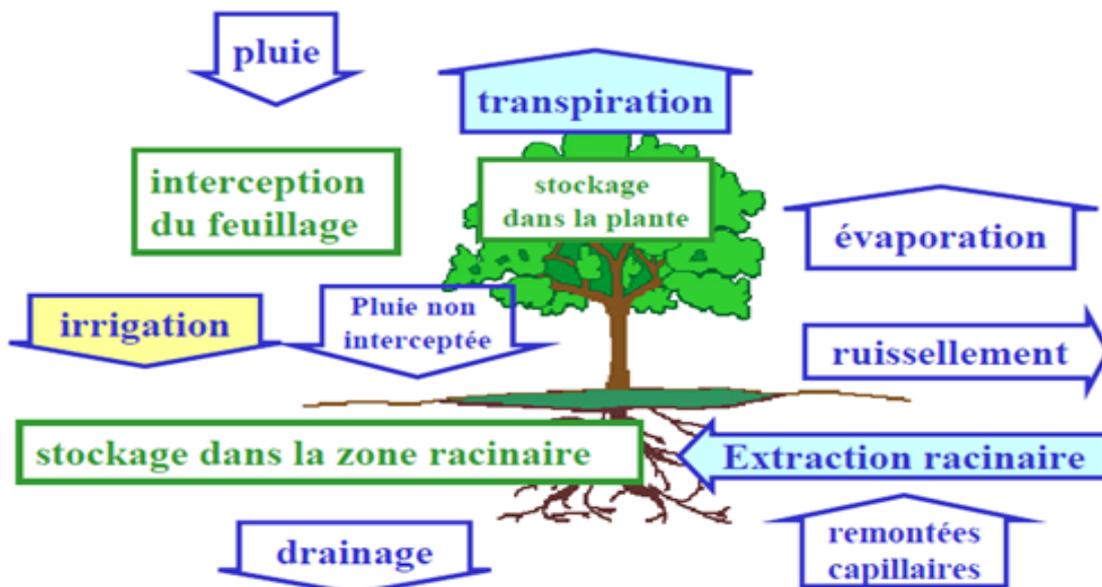


Fig.35: schéma de bilan hydrique

Pour déterminer l'évapotranspiration de la culture (ET_c) on utilise l'évapotranspiration de référence (ET_o) d'une culture de référence conduite dans des conditions de référence, de telle sorte que le taux d'évapotranspiration (mm/j) représente les conditions climatiques locales.

V.2- L'évapotranspiration potentielle de référence (ET_o) :

C'est l'évapotranspiration maximale (c.à.d. le sol est à sa capacité de retentions) d'un gazon ras couvrant complètement le sol, bien alimenté en eau, en phase active décroissance et situé au sein d'une parcelle suffisamment étendue (Perrier, 1977).

Pour prédire l'évapotranspiration de référence on utilise des méthodes basées sur des variables climatiques, parmi les plus communiquements employés sont:

- Méthodes de lysimètre
- Méthodes des stations expérimentales
- Méthodes directes de l'évaporation
- Méthodes empiriques

En ce qui concerne les méthodes empiriques, il existe des formules de calcul dont les principales sont:

- Prinstley- Taylor
- Makkink
- Turc
- Hargreaves
- Blaney – Cridle
- Thornthwaite
- Penman et Monteith modifiée.

La formule la plus utilisée dans les régions arides et semi aride est celle de Blaney Cridle.

V.2.1- Formule de Blaney Cridle (USA) :

$$ETP = P (0.457t + 8.13) ; mm$$

Avec :

ETP : Evapotranspiration mensuelle en mm ou m³/ha.

T : température moyenne mensuelle en c°.

P : Pourcentage d'heure d'éclairement pour le mois considéré.

Comme nous sommes dans une région aride, nous opterons donc pour la formule de Blaney-Cridle pour l'estimation des besoins en eau théorique (Evapotranspiration) des

cultures de l'assolement considéré, mais à cause de manque des données on utilise la méthode de Mr Penman & Motheit modifiée

V.2.2- Méthode de Mr Penman & Motheit modifiée:

La formule de Mr Penman & Motheit modifiée, prend en compte l'effet du paramètre vent, ainsi que les corrections supplémentaires qui tiennent compte des conditions météorologiques diurnes et nocturnes.

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

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

Où :

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

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

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

$F(u)$: Fonction liée au vent.

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

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

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

Pays <input type="text" value="algerie"/>		Station <input type="text" value="timokten"/>				
Altitude <input type="text" value="190"/> m.	Latitude <input type="text" value="27.00"/> °N	Longitude <input type="text" value="0.58"/> °E				
Mois	Temp Moy	Humidité	Vent	Insolation	Ray.	ETo
	°C	%	m/s	heures	MJ/m ² /jour	mm/mois
Janvier	12.4	48	5.6	8.4	15.0	117.35
Février	15.5	37	5.6	9.4	18.4	147.41
Mars	19.3	27	7.0	9.3	21.0	242.11
Avril	23.9	23	6.3	9.6	23.4	284.99
Mai	27.7	19	6.0	10.6	25.8	343.31
Juin	33.6	15	5.5	11.1	26.7	385.08
Juillet	35.8	12	5.8	10.9	26.2	438.08
Août	35.5	15	5.6	10.1	24.4	413.46
Septembre	31.5	23	5.6	9.4	21.7	333.96
Octobre	24.6	32	5.5	9.1	18.7	247.74
Novembre	17.4	43	5.3	9.0	16.1	152.53
Décembre	13.6	47	4.8	8.2	14.0	116.96
Moyenne	24.2	28	5.7	9.6	21.0	3222.98

Fig.36: Photo de logiciel de calcul (CROPWAT 8)

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

Tableau V.1: Les informations mensuelles de la station météorologique

Température :	Les températures moyennes sont données en degré Celsius.
Humidité de l'air :	L'humidité relative de l'air exprimé en pourcentage de (10 à 100).
Insolation journalière	L'insolation journalière donnée en heures d'insolation de (1 à 20).
Vitesse de vent. :	La vitesse du vent peut être introduite en m/sec de (0 à 10).

Les résultats de l'évapotranspiration de référence sont récapitulés dans le tableau:

Tableau V.2: résultats de l'évapotranspiration de référence

Mois	Temp Moy °C	Humidité %	Vent m/s	Insolation heures	Ray. MJ/m ² /jour	ET ₀ mm/mois
Janvier	12.4	48	5.6	8.4	15	117.35
Février	15.5	37	5.6	9.4	18.4	147.41
Mars	19.3	27	7	9.3	21	242.11
Avril	23.9	23	6.3	9.6	23.4	284.99
Mai	27.7	19	6	10.6	25.8	343.31
Juin	33.6	15	5.5	11.1	26.7	385.08
Juillet	35.8	12	5.8	10.9	26.2	438.07
Août	35.5	15	5.6	10.1	24.4	413.44
Septembre	31.5	23	5.6	9.4	21.7	333.95
Octobre	24.6	32	5.5	9.1	18.7	247.74
Novembre	17.4	43	5.3	9	16.1	152.52
Décembre	13.6	47	4.8	8.2	14	116.96
Moyenne	24.2	28	5.7	9.6	21	3222.93

V.3 - évapotranspiration réelle ou culture (ETR ou ET_c) :

L'évapotranspiration réelle dépend de nombreux facteurs (type de culture, stade végétatif, état sanitaire, disponibilité de l'eau, fertilité de sol, etc.).

En matière d'irrigation, on cherche à placer les plantes dans des conditions de production optimales et on base d'irrigation sur la valeur de l'évapotranspiration maximale ET_M.

$$ET_c = K_c \cdot ET_0$$

Avec : K_c coefficient cultural

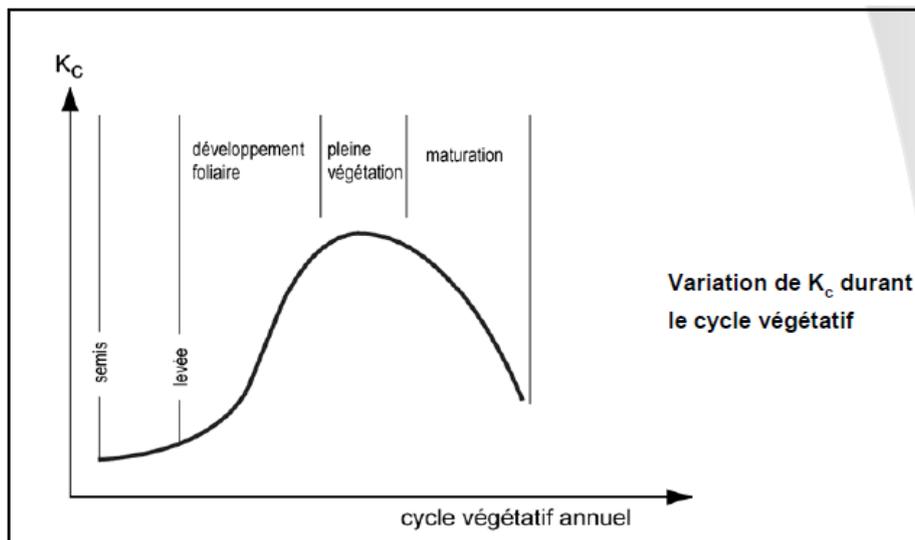


Fig.37: la variation de KC

Le calcul de l'évapotranspiration de référence est réalisé à l'aide d'un logiciel appelé CROPWAT8, fondé sur la méthode de Mr Penman&Montheit modifiée et recommandée par la consultation des experts de la FAO tenue à Rome en Mai 1990.

V.3.1-Calcul des besoins nets (Bn) :

$$Bn = ETM - Pe - R$$

ETM : l'évapotranspiration maximale

Pe : pluie efficace

R : réserve disponible au début de la période de calcul

$$Bn = Kc ET0 - \alpha P - R$$

Ou :

Kc : coefficient cultural

ET0 : évapotranspiration de référence

α : coefficient d'abattement des pluies

P : pluie totale

Tableau V.3: Calendrier cultural

MOIS	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOUT
Palmier	S											R
tomate					S				R			
Orge fourragé	S				R							

V.3.2-La pluie efficace:

La pluie efficace est définie comme étant la fraction des précipitations contribuent effectivement à la satisfaction des besoins de l'évapotranspiration de la culture après déduction des pertes par ruissellement de surface, et par percolation en profondeur etc....

Ces pertes sont estimées de 20 % de la pluie tombée .Pour l'appréciation de la pluie efficace on distingue deux (2) cas:

1) Pluie efficace (P_{eff}) = 0 pour les mois où la pluie ne dépasse pas les 5 mm.

2) Pluie efficace (P_{eff}) = 80 % de la pluie moyenne mensuelle dans les autres cas.

Pour notre cas la pluie ne dépasse pas 5 mm donc : (P_{eff}) = 0.

V.3.3 -L'effet oasis :

d'après l' étude faite par TOUTAIN il ya réduction de consommation des cultures sous palmeraies, les cultures conduites sous palmiers demandent moins d'eau que les cultures en plein champ , et ceci d'autant plus que le couvert de la palmeraie est dense , en raison de l'amélioration des paramètre climatique sous ce couvert , qui conduit à une réduction de l'ETR.

Les besoins net de chaque culture sont résumés dans les tableaux suivant :

Les Palmiers :

Tableau V.4: Besoins en eau des palmiers dattiers

Mois	Décade	Phase	Kc coeff	ETc mm/jour	ETc. mm/dec	Pluieeff. mm/dec	Bes.Irr. mm/dec	Bes.Irr. mm/mois
Sep	1	Init	0.9	10.74	107.4	0	107.4	299.9
Sep	2	Init	0.9	10.11	101.1	0	101.1	
Sep	3	Init	0.9	9.14	91.4	0	91.4	
Oct	1	Init	0.9	8.13	81.3	0	81.3	222.7
Oct	2	Init	0.9	7.19	71.9	0	71.9	
Oct	3	Init	0.9	6.32	69.5	0	69.5	
Nov	1	Init	0.9	5.39	53.9	0	53.9	140
Nov	2	Init	0.9	4.49	44.9	0	44.9	
Nov	3	Init	0.9	4.12	41.2	0	41.2	
Déc	1	Init	0.9	3.73	37.3	0	37.3	107.1
Déc	2	Init	0.9	3.31	33.1	0	33.1	
Déc	3	Init	0.9	3.34	36.7	0	36.7	
Jan	1	Init	0.9	3.34	33.4	0	33.4	108
Jan	2	Crois	0.9	3.32	33.2	0	33.2	
Jan	3	Crois	0.89	3.76	41.4	0	41.4	
Fév	1	Crois	0.88	4.16	41.6	0	41.6	129.3
Fév	2	Mi-sais	0.88	4.53	45.3	0	45.3	
Fév	3	Mi-sais	0.88	5.29	42.4	0	42.4	
Mar	1	Mi-sais	0.88	6.1	61	0	61	210.1
Mar	2	Mi-sais	0.88	6.84	68.4	0	68.4	
Mar	3	Mi-sais	0.88	7.33	80.7	0	80.7	
Avr	1	Mi-sais	0.88	7.82	78.2	0	78.2	249.2
Avr	2	Mi-sais	0.88	8.32	83.2	0	83.2	
Avr	3	Mi-sais	0.88	8.78	87.8	0	87.8	
Mai	1	Mi-sais	0.88	9.24	92.4	0	92.4	301.7
Mai	2	Mi-sais	0.88	9.7	97	0	97	
Mai	3	Mi-sais	0.88	10.21	112.3	0	112.3	
Jui	1	Mi-sais	0.88	10.73	107.3	0	107.3	335.9
Jui	2	Mi-sais	0.88	11.24	112.4	0	112.4	
Jui	3	Mi-sais	0.88	11.62	116.2	0	116.2	
Jui	1	Mi-sais	0.88	12.11	121.1	0	121.1	380.6
Jui	2	Arr-sais	0.88	12.54	125.4	0	125.4	
Jui	3	Arr-sais	0.87	12.19	134.1	0	134.1	
Août	1	Arr-sais	0.87	11.82	118.2	0	118.2	352.7
Août	2	Arr-sais	0.86	11.55	115.5	0	115.5	
Août	3	Arr-sais	0.85	10.82	119	0	119	
					2837	0	2837	

Culture de la tomate :

Semis : Abrisés dès fin d'hiver ou en été.

Récolte : Au fur et à mesure de l'arrivée à maturité des fruits (stade 25% rouge, 75 % vert).

Tableau V.5: Besoins en eau des tomates

Mois	Décade	Phase	Kc coeff	ETc mm/jou r	ETc mm/dec	Pluieeff mm/dec	40 % IRR	Bes.Irr. mm/dec	Bes.Irr. mm/dec
Jan	1	Init	0.6	2.23	22.3	0	0.6	13.4	43.4
Jan	2	Init	0.6	2.21	22.1	0	0.6	13.3	
Jan	3	Crois	0.6	2.53	27.9	0	0.6	16.7	
Fév	1	Crois	0.69	3.23	32.3	0	0.6	19.4	71.9
Fév	2	Crois	0.82	4.22	42.2	0	0.6	25.3	
Fév	3	Crois	0.94	5.66	45.3	0	0.6	27.2	
Mar	1	Crois	1.06	7.35	73.5	0	0.6	44.1	159
Mar	2	Mi-sais	1.13	8.81	88.1	0	0.6	52.9	
Mar	3	Mi-sais	1.13	9.45	104	0	0.6	62.3	
Avr	1	Mi-sais	1.13	10.1	101	0	0.6	60.5	192
Avr	2	Mi-sais	1.13	10.7	107	0	0.6	64.3	
Avr	3	Arr-sais	1.11	11.1	111	0	0.6	66.8	
Mai	1	Arr-sais	1	10.6	106	0	0.6	63.4	149
Mai	2	Arr-sais	0.88	9.74	97.4	0	0.6	58.4	
Mai	3	Arr-sais	0.79	9.19	46	0	0.6	27.6	

Culture de orge fourragé :

Semis : Epoques favorables entre le 15 septembre et le 15 octobre, on peut semer jusqu'à début novembre avec une baisse de production acceptable dans le cadre d'une rotation intensive.

Récolte : La récolte se fait à la fin de mois de janvier.

Tableau V.6: Besoins en eau des Culture de Orge fourragé :

Mois	Décade	Phase	Kc coeff	Etc mm/jour	Etc mm/dec	Pluie eff.mm/dec	40% IRR	Bes.Irr. mm/dec	Bes.Irr .mm/mois
Sep	2	Init	0.3	3.37	3.4	0	0.6	2.04	20.34
Sep	3	Init	0.3	3.05	30.5	0	0.6	18.3	
Oct	1	Init	0.3	2.71	27.1	0	0.6	16.26	53.1
Oct	2	Crois	0.3	2.42	24.2	0	0.6	14.52	
Oct	3	Crois	0.48	3.38	37.2	0	0.6	22.32	
Nov	1	Crois	0.75	4.51	45.1	0	0.6	27.06	86.64
Nov	2	Mi-sais	1	5	50	0	0.6	30	
Nov	3	Mi-sais	1.08	4.93	49.3	0	0.6	29.58	
Déc	1	Mi-sais	1.08	4.46	44.6	0	0.6	26.76	76.5
Déc	2	Mi-sais	1.08	3.95	39.5	0	0.6	23.7	
Déc	3	Arr-sais	1.06	3.94	43.4	0	0.6	26.04	
Jan	1	Arr-sais	0.86	3.18	31.8	0	0.6	19.08	38.94
Jan	2	Arr-sais	0.6	2.2	22	0	0.6	13.2	
Jan	3	Arr-sais	0.38	1.59	11.1	0	0.6	6.66	

On a résumé le calcul des besoins en eaux des cultures dans les tableaux ci-dessous

Tableau V.7: Le tableau récapitulatif des besoins nets en eaux pour chaque culture

mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc	besoins total (mm)
Palmeraie	108	129	210	249	302	336	381	353	300	223	140	107	2838
tomate	43.4	71.9	159	192	149								615
Orge fourragé	38.9								20.3	53.1	86.6	76.5	276
total	190	201	369	441	451	336	381	353	320	276	227	184	3729

V.4-Efficience de l'irrigation [3]:

Les besoins bruts du périmètre, dépendent de l'efficacité de l'irrigation, c'est à dire des pertes d'eau qui se produisent à partir du point du captage, jusqu'à la satisfaction des besoins du rapport plante/sol. L'efficacité d'un réseau d'irrigation est définie par le rapport entre le besoin d'eau strictement nécessaire à la culture et le volume d'eau à introduire dans ce réseau.

La différence entre les deux volumes indique les pertes, qui évidemment devront être les plus limitées, afin d'éviter le gaspillage plus particulièrement, si les ressources en eau s'avéraient rares.

La formule communément employée pour l'estimation de l'efficacité d'un réseau d'irrigation, est donnée par l'expression :

$$E_i = E_t * E_a$$

Certains auteurs font une distinction ultérieure, tel que la formule

$$E_a = E_d * E_u.$$

Dans la quelle

Ed: Efficacité de type de distribution en %.

Eu: Efficacité de l'uniformité de la distribution en %.

La thématique développée ci-après se base sur la formule:

$$E_i = E_t * E_d * E_u.$$

Avec :

V.4.1-Efficacité de transport *E_t* :

On entend par transport, le trajet parcouru par l'eau du point de prélèvement (barrages, réservoirs, puits, etc...), au point de livraison à la parcelle (borne ou prise), qui peuvent être de nature diverses et avoir une incidence plus au moins forte en fonction des caractéristiques de l'adduction.

V.4.2-Efficacité de distribution *E_d* :

L'efficacité de la distribution de l'eau à la parcelle, varie très sensiblement en fonction des modalités de la desserte adoptée, qui peuvent se grouper en cinq grandes catégories :

*Irrigation par submersion.

*Irrigation par ruissellement.

*Irrigation par aspersion.

*Irrigation localisée

*Irrigation souterraine.

V.4.3-Efficacité de l'uniformité :

Elle est indépendamment liée à la méthode de distribution adoptée. C'est la livraison égale, par une quantité d'eau optimale en tout point de la superficie irriguée, ce qui se produit très rarement. Pour assurer une bonne répartition, il faudra apporter un volume supérieur, dont l'excédent par rapport à la quantité nécessaire, se traduit par une perte.

L'évaluation exacte des pertes (efficacité d'un réseau d'irrigation) est très difficile et même presque impossible, suite des multiples variables qui interviennent dans ces conditions.

En se basant sur le mode d'irrigation et les cultures envisagées, il est possible d'avoir en

moyenne, les degrés d'efficacité suivants :

*Céréales, Luzernes, Vesce-avoines et Pommes de terre $\approx 75,0$.

*Cultures Maraîchers $\approx 80,0$.

*Agrumes, Arbres fruitiers et Vignes $\approx 85, 0$.

*Plasticultures $\approx 85,0$

V.5- Calcule dose d'irrigation par Foggara:

Le débit à apporté par les Foggaras

Tableau V.8: Calcule dose d'irrigation par Foggara

Nom de la foggara	Débit L/s	Superficie
Mefrah	5,2	765ha
Gara	3,8	
Hama	18	
Beida	24	
Dghamcha	21	
Nahcla	2	
Sahel	5	
Oualenien	7	
Timimout	6	
Manion	2	
Djadiala	1,5	
limer	1,5	
Sid Ahmed	30	
Total	127 L/S	

Le débit total des foggaras :

$$Q = 127 \text{ l/s} = 0.127 \text{ m}^3/\text{s} = 457.2 \text{ m}^3/\text{h} = 10972.8 \text{ m}^3/\text{jour.}$$

$$Q = 329184 \text{ m}^3/\text{mois.}$$

V.6-Lessivage des sols :

Le lessivage est une pratique qui consiste à appliquer des doses d'eau supplémentaires, en dehors des besoins en eau des plantes, cela, afin d'entraîner tout ou une partie des sels dissout dans le sol en profondeur, hors de la zone racinaire des cultures.

Il permet le maintient de la salinité du sol à un seuil souhaité. Un lessivage ne peut être efficace que s'il est accompagné d'un drainage, surtout en présence de la nappe phréatique

V.6.1-Le rôle du lessivage [8] :

En culture irriguée, l'objectif de lessivage du sol est d'éliminer les sels qui se sont accumulés sous l'effet de l'évapotranspiration dans la partie du sol exploitée par les racines (sels préexistants ou apportés par les eaux d'irrigation)

Le lessivage implique donc :

- La connaissance de la dose (excès) d'eau à apporter pour abaisser la salinité à un niveau satisfaisant.
- Les conditions de drainage interne suffisantes pour permettre l'évacuation des sels en excès hors de la zone racinaire ou au minimum de leur maintien à une profondeur telle qu'ils soient sans effets sur la culture

V.6.2-Notions du bilan salin dans un sol [8] :

Le bilan salin dans le sol permet d'évaluer la quantité des sels stockés au bout d'un certain nombre d'irrigation, il s'écrit sous l'expression

$$\Delta S = I_w \times C_i - D_w \times C_d + S_a + S_s + S_p + S_e$$

ΔS : La variation du stock de sels dans le sol.

I_w : Le volume d'eau d'irrigation.

C_i : La concentration en sels de l'eau d'irrigation.

C_d : Concentration en sels de l'eau de drainage.

S_a : La quantité de sels apportés par les engrais ou amendement.

S_p : La quantité de sels mise en solution par l'eau traversant le sol.

S_e : La quantité de sels consommés par les plantes.

L'idéal serait de parvenir à un modèle où ΔS serait égale à zéro, c'est-à-dire supposé.

$$S_a + S_s + S_p + S_e = 0$$
V.6.3-périodes et méthodes de lessivage des sols :

Dans les zones humides où les précipitations sont abondantes, le problème de lessivage ne se pose pas, car il se fait naturellement. Cependant dans les zones arides ou semi-arides, les doses de lessivage doivent être apportées comme doses d'irrigation.

Il est important de signaler qu'avec les systèmes d'irrigation à faible efficacité, les pertes d'eau par percolation peuvent souvent suffire à lessiver les sels du sol. Il existe deux formes de lessivage, selon la manière d'apporter les doses :*

V.6.4-Besoin en eau pour lessivage :

Dans les sols salés, il faut non seulement couvrir les besoins d'évapotranspiration de la culture et les besoins d'humectation et d'évaporation du sol avec une quantité d'eau, mais il faut ajouter une quantité supplémentaire pour dissoudre les sels solubles, et qui seront évacués en dehors de la zone racinaire par un réseau de drainage.

On appelle la quantité supplémentaire la dose de lessivage.

Cette méthode de lutte contre la salinité a pour but de limiter l'extension des terres salées, de récupérer les sols, ainsi d'améliorer les rendements des cultures.

Les besoins en eau pour le lessivage seront évalués à 20% des besoins bruts d'irrigation.

Le lessivage est envisagé lorsque:

- L'eau d'irrigation est salée ($C_{ew} > 1,5 \text{ ds/cm}$)
- Le sol a est tendance saline ($C_{es} > 4 \text{ ds/cm}$)

On distingue deux types de lessivage:

- **Lessivage capital (ou initial):**

Il consiste à ramener une grande quantité d'eau pour lessiver le sol.

- **Lessivage continus (ou lessivage d'entretien):**

Pour ce mode, la dose de lessivage est apportée par fraction en même temps que les doses d'irrigation, c'est à dire qu'on ne laissera pas les sels s'accumuler dans le sol, ils seront progressivement lessivés.

Le système d'irrigation en place sert donc à l'application des doses de lessivage avec les doses d'irrigation.

La formule la plus simple pour l'estimation de la fraction de lessivage d'entretien serait:

$$LR = \frac{D_w}{I_w} = \frac{C_i}{C_d} = \frac{CE_{iw}}{CE_{dw}}$$

Ainsi, plusieurs auteurs ont travaillé sur la détermination de la fraction de lessivage par des formules empiriques, qui dépendent essentiellement ; de la salinité de l'eau d'irrigation, de la salinité de sol que l'on voudrait obtenir et de la tolérance des plantes aux sels.

En 1972 Mr Rhodes a présenté la formule, qui permet l'appréciation de la fraction de lessivage d'entretien d'une manière plus raisonnable [14]

$$LR = \frac{EC_w}{5EC_e - EC_w}$$

Suivant la quelle :

LR : Fraction minimal de lessivage d'entretien en%.

EC_w : Conductivité électrique de l'eau d'irrigation ($EC_w = 2.16 \text{ mmhos/cm}$).

EC_e : Conductivité électrique du sol qui provoque une chute de rendement de 10% (d'après la table de FAO)

Donc: pour $EC_e = 4.75 \text{ mmhos/cm}$

Contrairement à celui capital, ce type consiste à ramener de l'eau sous forme de doses supplémentaires avec ceux d'irrigation et ce type de lessivage la qu'on va utiliser dans notre projet.

V.6.5- Calcule de dose de lessivage:

En utilisant la formule de RHOADS (Leaching Requirement)

$$\Rightarrow LR = \frac{2.16}{5 \cdot 4.75 - 2.16} = 0.10$$

$$V = \frac{LR \cdot ETM}{1 - LR}$$

On a résumé le calcul de la dose de lessivage des cultures dans les tableaux ci-dessous :

Tableau V.9: Calcul de la dose de lessivage

mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc	besoins total (mm)
Palmier	11.9	14.2	23.1	27.4	33.2	37	41.9	38.8	33	24.5	15.4	11.8	312
tomate	4.77	7.91	17.5	21.1	16.4								67.7
Orge fourragé	4.28								2.24	5.84	9.53	8.42	30.3
total	20.9	22.1	40.6	48.5	49.6	37	41.9	38.8	35.2	30.4	24.9	20.2	410

On prend la valeur la plus important

Ce qui implique que les besoins en eau de lessivage sont :

$$V = BL \cdot S = 41.9 \cdot 10 \cdot 500 = 209500 \text{ m}^3.$$

Donc les besoins totaux seront :

$$V = 1905000 + 209500 = 2114500 \text{ m}^3$$

$$VT = 211450 \text{ m}^3$$

Tableau V.10: Estimation la dose de lessivage

LR	besoin net	lessivage	(irrigation +lessivage)
	m^3	m^3	m^3
0,1	1905000	209500	2114500

V.7- Calcule des pertes de l'irrigation :

Efficiencie de l'irrigation dans notre cas est de 50%, donc les pertes est de 30% du volume total des besoins d'irrigation :

Tableau V.11 : Estimation des pertes par percolation

méthode d'irrigation	pratique d'irrigation	rendement		% de percolation	
		texture lord	texture lège	texture lord	texture Legé
aspersion	mal	60	60	30	30
	bien	70	70	25	25
localisé		80	80	15	15
bassin	mal	60	45	30	40
	bien	75	60	20	30
sillon et planche	mal	55	40	30	40
	bien	65	50	25	35

Pour notre cas on a :

Rendement =50%

Percolation=30%

$$\text{Donc } Id = \frac{B \text{ net} * 100}{50} = \frac{381 * 100}{50} = 762 \text{ mm}$$

La quantité d'eau percolé :

$$Q_{\text{per}} = 762 * 0.3 = 228.6 \text{ mm.}$$

On remarque que la quantité d'eau percolée est supérieure la quantité de lessivage ; donc le lessivage se fait automatiquement, alors le dimensionnement de réseaux de drainage se fait a la base de la quantité d'eau percolé.

Conclusion :

D'après le calcul de l'évapotranspiration et les besoins en eau à apporter pour les différentes cultures nous avons trouvé que la quantité délivrée réellement pour l'irrigation est deux fois plus grande que la quantité théorique pour raison de mauvaise efficacité (50%).

Pour éviter ce problème il faut faire un entretien sur le système d'irrigation ou changer la technique d'arrosage utilisée.

Chapitre VI:
Choix de variante de
réseau de drainage

Introduction :

L'objet du système de drainage est le lutte contre la salinisation des terres irriguées et d'augmenter le rendement de la terre par l'élimination de l'excès d'eau évacué dans les réseaux d'assainissement.

L'assainissement agricole comporte 3 phases :

Captage : *collecte des eaux excédentaires (drainage à la parcelle)*

Acheminement : *par un réseau de collecteurs ou fossés.*

Restitution : *au réseau hydrographique naturel (exutoire)*

Le dimensionnement d'un réseau de drainage consiste à déterminer en tenant compte de différents paramètres : les écartements des drains, leurs débits unitaires, débits caractéristiques, débits maximaux et longueurs maximales.

Il est à signaler que les formules utilisées pour le dimensionnement d'un réseau de drainage sont en majeure partie empiriques qui s'appuie sur l'observation, l'expérience et les statistiques.

VI.1- Effets positifs de l'assainissement du sol:

- ✓ *Meilleur aération du sol.*
- ✓ *Pénétration plus profonde des racines.*
- ✓ *Échauffement plus rapide du sol.*
- ✓ *Diminution des mauvaises herbes et maladies des cultures.*
- ✓ *Travail du sol facilité.*
- ✓ *Accès possible aux parcelles en tempe opportun.*
- ✓ *Augmentation du rendement des cultures et amélioration de la qualité des récoltes.*

VI.2- Justification du réseau de drainage:

De ce qui précèdent dans l'étude préliminaire il y a. beaucoup de problèmes telle que :

1. *La salure globale mesurée sur extrait de pâte saturé, est la première caractéristique des milieux salés.*
2. *La réaction des végétaux à cette salure est variable en fonction des natures des cultures.*
3. *Le phénomène de toxicité : les toxicités sont principales dues au chlore et au bore en solution de sodium échangeable*
4. *L'éventuelle dégradation des caractéristiques physique des soles sous l'effet du sodium échangeable.*

5. *Les signes de dégradation de la structure apparaissent plus tôt dans les sols argiles gonflantes que dans les sols à argiles non gonflantes*
6. *Stagnation des eaux d'irrigation excédentaires, ce qui crée une saturation dans la plus part des palmeraies de Timokten.*

Pour remédier à tous ces problèmes le drainage de la palmeraie est indispensable.

VI.3- cause de drainage :

Si les terres agricoles se trouvent dans les zones plates, à très faible pente ou à surface irrégulière, en présence de défauts d'infiltrabilité ou de drainage interne.

Si les terres agricoles ne disposent pas d'un bon drainage naturel elles sont presque saturées en eau. Dans ce cas, la terre se gorge d'eau, il faut impérativement installer un système de drainage artificiel de type ; Horizontal, Vertical ou bien combiné [14]

VI.4-Description de réseau de drainage existant :

Le réseau de drainage existant est formé d'un émissaire et quelques collecteurs secondaires et de type de drainage par fossés ; l'inconvénient major de ce réseau a une faible pente ils suivent la pente de terrain naturel ce qui ramène l'exutoire au milieu de la palmeraie, plus l'entretien très difficile a cause des parois du canal qui formé de terrain naturel.

VI.5-Variantes du réseau de drainage :

VI.5.1- Variante1 : Réseau de drainage avec des drains tranché a ciel ouvert :

C'est une technique consistant à creuser dans le sol à intervalles réguliers des fossés de profondeur pouvant atteindre 2 m ou plus et de largeur entre 0.3 et 0.5 m ou plus

Le rôle des fosses

- ✓ *Intercepter le ruissellement superficiel et évacuer ainsi un excès d'eau de surface*
- ✓ *Créer un gradient hydraulique et provoquer ainsi un écoulement souterrain depuis le sol vers le fossé drainé.*

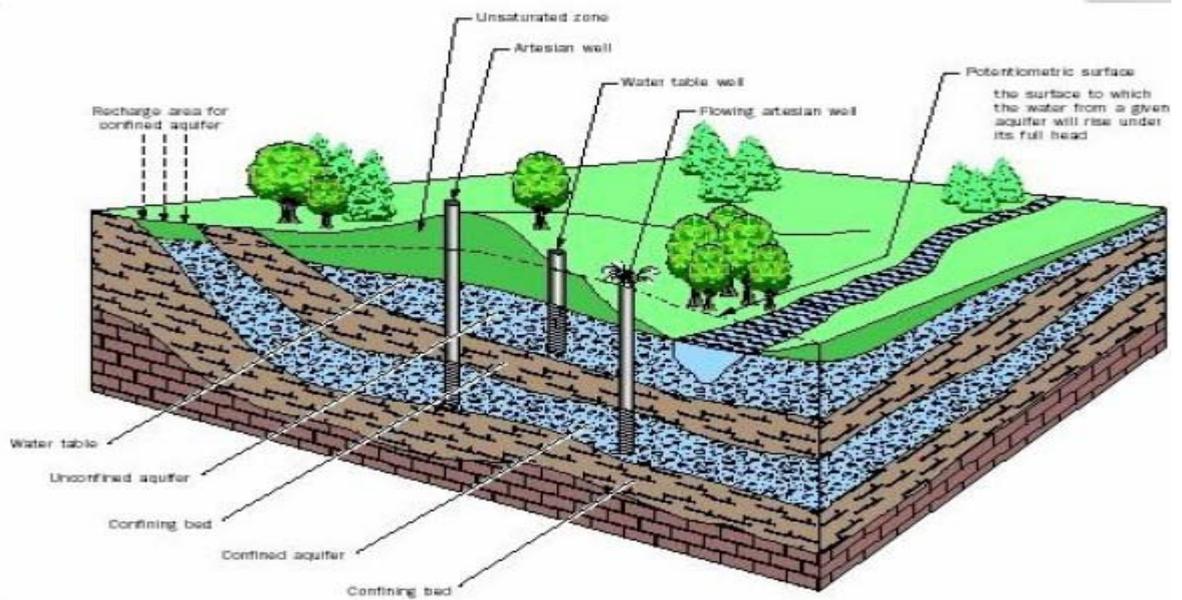


Fig.38: Drainage de surface par fossé

VI.5.1.1-Les avantages et les inconvénients :

Les avantages :

1. Réalisation simple.
2. Les dimensions des drains permettent d'évacuer du débit maximum.
3. Entretien facile.

Les inconvénients :

1. Perte de surface cultivable.
2. Difficulté d'accès.
3. Entretien onéreux.
4. Maladies hydriques.
5. Risques élevés de colmatage chimique.
6. Raisons financières.
7. Sols tourbeux.

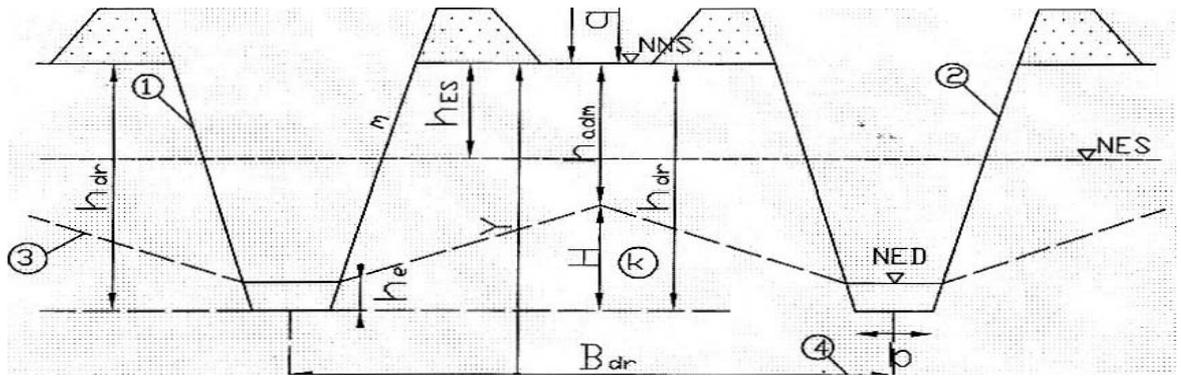


Fig.39: Schéma de Réseau de drainage avec des drains tranché a ciel ouvert

Où:

1- 2 : Drain en tranché à c ciel ouvert

3 : Courbe des eaux souterraines dans les conditions de drainage

4 : Couche imperméable.

NNS : Niveau naturel du sol.

NES : Niveau des eaux souterraines.

NED : Niveau des eaux dans le drain.

Hdr : Profondeur de la fosse (drain).

h_e : Profondeur de l'eau dans le drain.

B_{dr} : Ecartement entre les drains.

Y : Profondeur de la couche imperméable.

b : Longueur du fond du fossé.

K : Coefficient de filtration.

m : Pente des talus du fossé.

Ah : Rabattement des eaux de drainage.

VI.5.2-Variante2: Réseau de drainage avec des par drains enterrés :



Fig.40: photo d'un drain enterré

- *Installation dans le sol de drains: tuyaux perforés de 4 à 10 cm de diamètre*
- *Les drains se jettent dans un réseau de collecteurs qui évacuent l'eau vers un émissaire (rivière, lac... etc.).*
- *Les collecteurs recueillent également souvent les eaux de ruissellement de surface par l'intermédiaire de sacs (regards couverts d'une grille).*
- *En cas de pente insuffisante pour évacuer les eaux par gravité, les eaux sont relevées par une station de pompage.*
- *Aux points névralgiques (jonctions entre collecteurs, changements de direction et de pente.etc) on place des chambres de visite .*

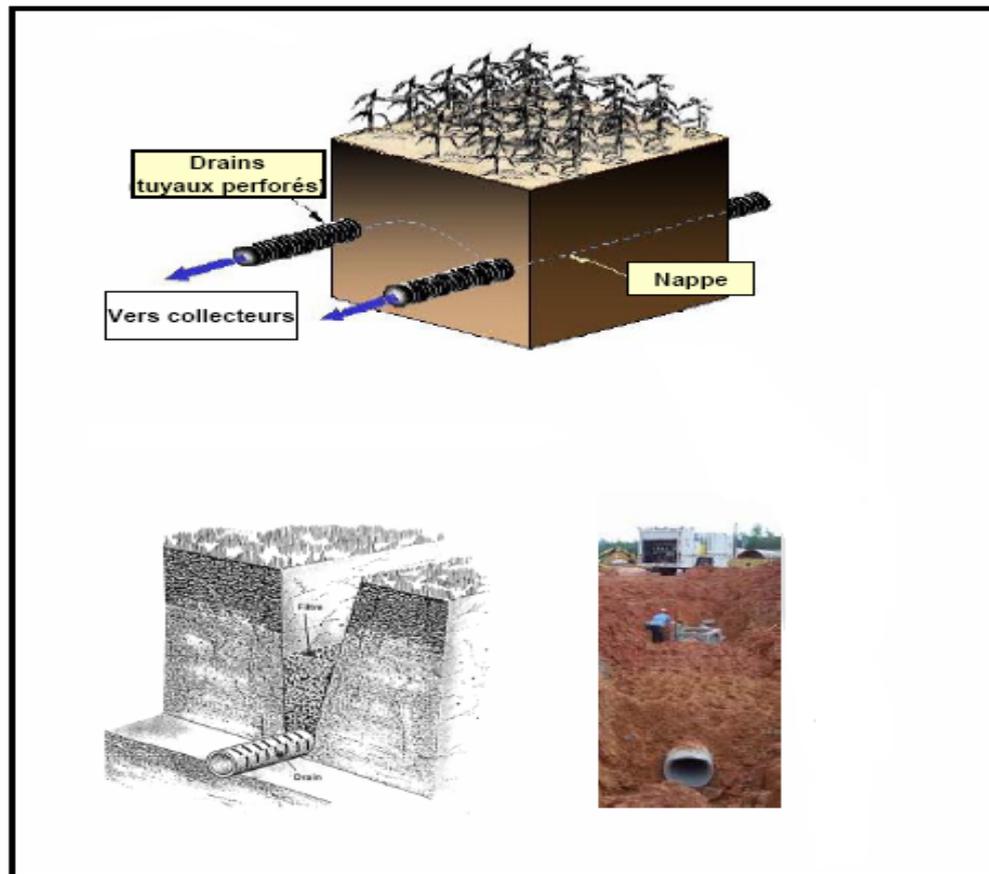


Fig.41: Drainage par drains enterrés

VI.5.2.1-Les avantages et les inconvénients :

Les avantages :

1. Facilité de pose.
2. Résistance à L'écrasement.
3. Réduction des contraintes d'exploitation, accès facile
4. Econome de surface cultivable.

Les inconvénients :

1. Vu la faible pente pour évacuer les eaux par gravité, les eaux sont relevées par station de pompage.
2. Aux point névralgique (jonctions entre collecteurs, changement de direction et de pente, etc.) on place des chambres de visite.
3. Infiltration profonde par la faible profondeur.
4. Défaut de colmatage.
5. Frais d'entretien très élevé.

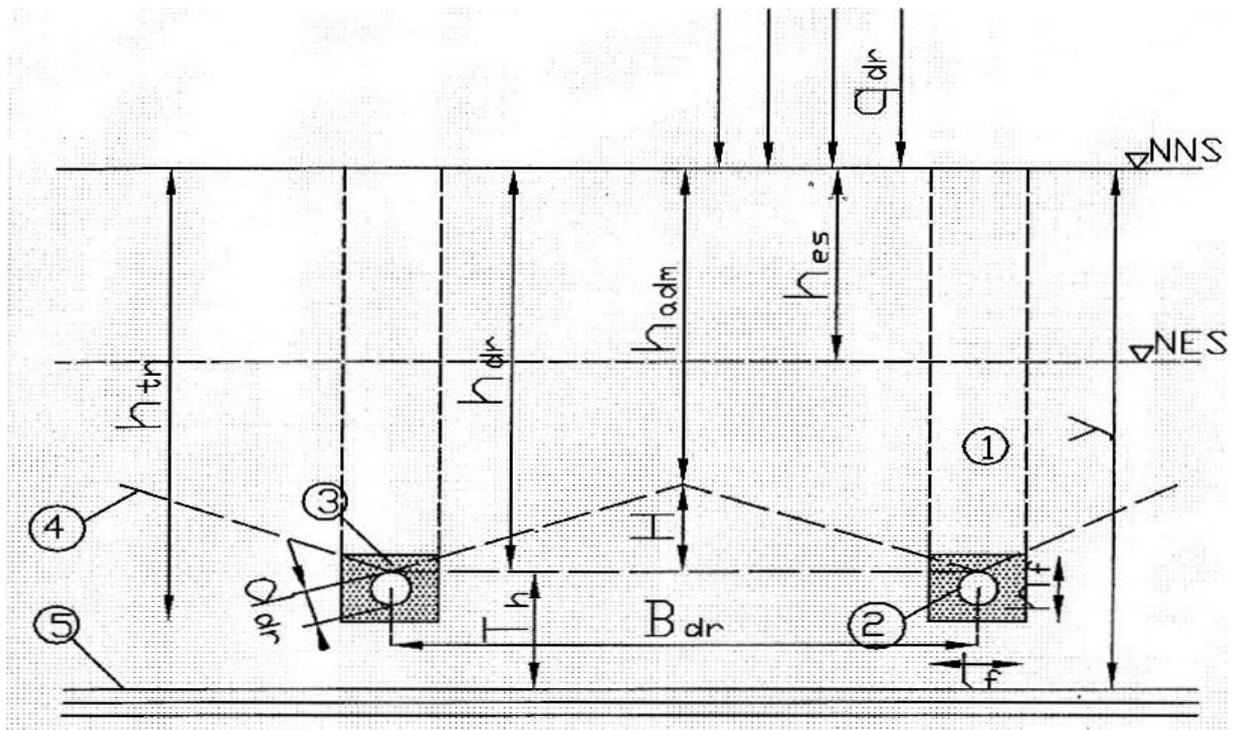


Fig.42: Schéma de Réseau de drainage avec des drains fermés

Où:

- 1 : Tranché du drain fermé.
- 2 : drain fermé.
- 3 : Filtre du drain.
- 4 : Courbe des eaux souterraines dans les conditions de drainage.
- 5 : Couche imperméable.
- NNS : Niveau naturel du sol.
- NES : Niveau des eaux souterraines.
- Hdr : Profondeur de la pose des drains.
- htr : Profondeur du tranché pour les drains.
- Bdr : Ecartement entre les drains.
- Y : Profondeur de la couche imperméable.
- Ddr : Diamètre du drain.
- K : Coefficient de filtration.
- Ah : Rabattement des eaux par drainage.
- Hadm : Profondeur admissible (critique) du niveau d'eau souterraine.
- Lf, hf : Dimensions du filtre du drain ; Longueur et Hauteur.

VI.6 - Choix des variantes du réseau de drainage :**Variante 1: Réseau de drainage avec des drains tranché à ciel ouvert :**

Cette variante à été écarté a cause des défauts suivants :

- perte de surface cultivable
- gêne les façons culturales ,labour et autre travail mécanise

Variante2: Réseau de drainage avec des drains fermés:

Nous avons opté le chois de cette variante pour le tracé du réseau a cause des avantages suivantes :

Facilité de pose.

Facteurs d'économie (surface cultivable, matériaux....)

VI.7- Caractéristiques des drains projetés :

Pour dimensionner un drain, il faut d'abord déterminer les Paramètres suivant :

- Le débit caractéristique
- Profondeur de la pose des drains.
- Profondeur de l'imperméable
- Ecartement entre les drains.

VI.7.1- Calcul du débit caractéristique :

Le débit caractéristique de drain c'est le débit ou le volume d'eau qu'il doit être capable d'évacuer.

Le débit caractéristique est calculé sur la base des pertes d'eau par percolation des eaux d'irrigation due à une mauvaise efficience (50%).

$$\text{Pertes} = \text{besoins bruts} - \text{besoins nets} = \Delta V$$

$$\text{Avec besoins bruts} = (\text{besoins nets} / 0.5)$$

On admet que 50% constitue des pertes, soit par percolation, ruissellement ou évaporation, donc

ΔV pertes, on prendra comme volume percolé ou 30% besoins brut

Les20% représentent l'évaporation), et le ruissellement est négligeable vue les faible pentes et la nature de sol (sableux).

D'après les calcule dans le chapitre précédent on trouve que la quantité d'eau percolé :

$$Q_{per} = 7620 * 0.3 = 2286 \text{ m}^3/\text{ha}.$$

Le calcul de q_c se fait suivant la formule suivante :

$$q_c = (\text{volume percole}) / N$$

N : période entre deux irrigations = 10 jours

$$q_c = 2286/10 = 228.6 \text{ m}^3/\text{j}/\text{ha} = 22.86 \text{ mm}/\text{j}.$$

VI.7.2- Choix de la profondeur des drains :

Le coût d'installation et de l'entretien d'un système de drains enterrés horizontaux est étroitement lié à la profondeur de drains choisie. Les profondeurs de drains sont comprises entre 0,8 et environ 3 m. du point de vue hydraulique, une augmentation de la profondeur de drainage conduit à l'augmentation des écartements, et à la réduction proportionnelle des linéaires de drains. L'augmentation de la profondeur des drains nécessite cependant la construction d'émissaires plus profonds et plus coûteux, ou parfois la construction de stations de relevage ; l'entretien de ces émissaires est également plus difficile et plus onéreux. Un compromis entre profondeur et coût du drainage est en conséquence à trouver en fonction des contraintes techniques et économique locales.

Nous avons opté pour une profondeur des drains de 1.5 m car le niveau des racines des palmiers est de 1.2m.

VI.7.3- Profondeur de l'imperméable :

On considère que la couche imperméable est loin donc on prend une profondeur de 6.5 m Au-dessous de niveau du sol.

VI.7.4- Calcul de l'écartement des drains :

Pour le calcul de l'écartement nous avons utilisé la formule de "HOOGHOUDT"

$$E = \sqrt{\frac{4K_1h^2 + 8K_2dh}{q}}$$

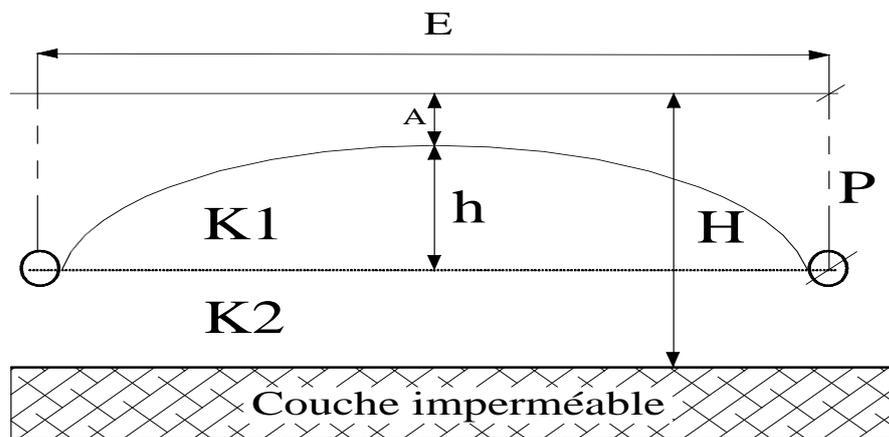


Fig.43: Caractéristiques des drains

Avec :

- E Ecartement des drains m
- $K1$ Perméabilité au-dessus des drains $=2.4m/j$
- $K2$ Perméabilité au-dessous des drains $=0.7 m/j$
- q Module de drainage ou débit à évacuer $=22.86 mm/j$
- d Epaisseur de la couche équivalente $=5m$
- A Epaisseur de la tranche supérieur du sol à assainir $=0.55m$
- P Profondeur des drains $=1.5m$
- H Profondeur de l'imperméable $=6.5m$
- h $(P-A)$ ou charge $=0.95(m)$

D'après les calculs d'itération à l'aide de l'abaque nous avons trouvés les résultats suivant

Tableau VI.1 : calcul de l'écartement entre les drains

E	D	d	E'
20	5	1.9	28.93
25	5	2.15	29.9
30	5	2.4	30.87

D'après le tableau on trouve que l'écartement est compris entre 30 et 31m.

On prend une valeur moyenne de 30m.

Conclusion :

D'après l'étude des différentes variantes de réseau de drainage on trouve que le drainage par drains enterrés est la plus favorable dans la région de TIMOKTEN à cause des conditions hydraulique, topographique et économique.

On remarque que le débit évacué est important à cause de mauvaise efficacité de réseau d'irrigation.

Parmi les conséquences de ce problème sont :

- Un dimensionnement est plus important.*
- Le coût de projet est plus élevé.*

Un calcul

Chapitre VII :
Calcul hydraulique

VII.1- Dimension des drains :**VII.1.1- Longueur des files de drains :**

✓ fréquemment imposée (topographie, emplacement des collecteurs, surface à drainer, etc.)

✓ écoulement à surface libre (débit collecté, pente, diamètre, type de drains, etc.).

Longueur max. entre 150 et 300 m.

On prend une longueur max de 300 m.

Débit max à évacuer

Le débit en extrémité de drain est fonction de la surface drainée, on a :

$$Q = qc.S$$

Et

$$S = E.L$$

Avec :

qc : débit caractéristique en mm/j.

L : longueur du drain en mètre.

E : Ecartement en mètre.

$$Q = 22.86 * 10 * 300 * 30 * 10^{-4} = 205.74 \text{ m}^3/\text{j} = 2.38 \text{ l/s.}$$

$$Q = 2.38 \text{ l/s}$$

VII.1.2-Diamètre des drains :

On considère que l'écoulement est uniforme ; donc le débit de drain est exprimé par la formule de CHEZY MANINGE :

$$Q = 22 * d^{2.67} * i^{0.5}$$

Q : débit le long de drain (m³/s).

d : diamètre intérieur m.

i : pente hydraulique

$$\Rightarrow d = \sqrt[2.67]{\frac{Q}{22 \cdot i^{0.5}}}$$

, on prend une pente des drains 0.05%.

$$\text{Donc : } d = \sqrt[2.67]{\frac{0.00238}{22 \cdot (0.0005)^{0.5}}} = 0.135 \text{ m}$$

$$d=135 \text{ mm.}$$

Les drains sont implantés selon la plus grande pente et débouchent sur fossés secondaires ou sur collecteurs.

Les drains seront construits en tuyaux en polyvinyle chloride (PVC). Ces tuyaux sont souples, pour faciliter leur pose, et annelés, pour augmenter leur résistance mécanique. Ce type de drain présente une bonne résistance au colmatage ; livrés en couronne de grande longueur (300 m), il se pose mécaniquement.

Au préalable à la pose des drains, la terre végétale sera décapée et la surface nivelée sur toute la largeur de la machine de pose.

Les drains avec leur filtre de gravier seront mis en place au moyen d'une trancheuse-poseuse spéciale. L'ouverture des tranchées se fera de l'aval vers l'amont. L'alignement et le niveau des tuyaux seront établis soit à l'aide de jalons, soit en utilisant une machine télécommandée par rayon laser ou autre mécanisme.

VII.2- calcul hydraulique des collecteurs [5] :

Le calcul hydraulique des collecteurs est effectué en se basant sur la formule suivante :

$$Q = V \cdot S$$

Avec :

$$Q : \text{ le débit que reçoit le collecteur. } Q_i = q_c \cdot S_i$$

q_c : débit caractéristique [l/s/Ha]

S_i : surface assainie par le collecteur en Ha

V : vitesse d'écoulement de l'eau dans le collecteur [m/s]

S : section du collecteur

$$S = \frac{\pi D^2}{4}$$

D : diamètre du collecteur [m]

\Rightarrow

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}}$$

On considère que l'écoulement est uniforme donc on utilise la formule de DARCY WEISBAK :

$$Q = 50 * d^{2.77} * i^{0.57}$$

Avec :

Q : débit le long de drain (m³/s).

d : diamètre intérieur m.

i : pente hydraulique

Donc :

$$d = \sqrt[2.77]{\frac{Q}{50 * i^{0.57}}}$$

Les résultats de calcul hydraulique sont résumés dans les tableaux suivant :

Tableau VII .1: Calcul hydraulique du chaque parcelle

Parcelles			drains			Collecteur primaires						
N° de la parcelle	Surface (Ha)	Débit du chaque parcelle (l/s)	E	qc (l/s/ha)	Diamètre (mm)		Longueur (m)	Débit de chaque collecteur (l/s)	Pente (%)	diamètre (mm)	diamètre normalisé (mm)	vitesse (m/s)
1	6.76	17.85	30	2.64	135	cp1	155.55	17.85	0.22	200.59	200	0.56
2	9.68	25.56	30	2.64	135	cp2	403.8	25.56	0.3	214.23	220	0.71
3	10.66	28.14	30	2.64	135	cp3	484.1	28.14	0.63	190.41	200	0.99
4	14.43	38.10	30	2.64	135	cp4	616.53	55.94	0.22	303.00	300	0.53
5	17.56	46.36	30	2.64	135	cp5	633.74	102.30	0.37	338.54	338	0.52
6	15.07	39.78	30	2.64	135	cp6	583.24	39.78	0.16	286.06	280	0.62
7	7.47	19.72	30	2.64	135	cp7	441.51	19.72	0.34	190.14	200	0.69
8	8.1	21.38	30	2.64	135	cp8	587.14	21.38	0.52	179.39	180	0.85
9	11	29.04	30	2.64	135	cp9	662.19	29.04	0.5	201.96	200	0.91
10	14.4	38.02	30	2.64	135	cp10	486.22	38.02	0.4	233.05	230	0.89
11	16.77	44.27	30	2.64	135	cp11	745.06	44.27	0.7	219.44	220	1.17
12	14.75	38.94	30	2.64	135	cp12	689.67	38.94	0.8	203.83	200	1.19
13	12.5	33.00	30	2.64	135	cp13	489.06	62.04	0.43	274.01	280	0.56
14	18.73	49.45	30	2.64	135	cp14	700.7	87.46	0.71	279.77	280	0.80
15	4.08	10.77	30	2.64	135	cp15	524.2	10.77	0.53	139.50	140	0.70

16	17	44.88	30	2.64	135	cp16	453.22	44.88	0.34	255.85	250	0.87
17	12.16	32.10	30	2.64	135	cp17	440	32.10	0.41	218.14	220	0.86
18	10.4	27.46	30	2.64	135	cp18	513	27.46	0.28	223.00	220	0.70
19	13.45	35.51	30	2.64	135	cp19	508.86	133.74	0.36	375.04	380	0.32
20	6.7	17.69	30	2.64	135	cp20	617.24	17.69	0.23	198.13	200	0.57
21	20.3	53.59	30	2.64	135	cp21	468.7	98.47	0.42	325.32	320	0.64
22	8.5	22.44	30	2.64	135	cp22	473.43	54.54	0.2	306.19	300	0.30
23	15.14	39.97	30	2.64	135	cp23	556.36	39.97	0.33	246.89	250	0.83
24	14.11	37.25	30	2.64	135	cp24	490.83	188.68	0.36	424.66	420	0.26
25	21.25	56.10	30	2.64	135	cp25	792.34	56.10	0.13	337.98	350	0.63
26	20.13	53.14	30	2.64	135	cp26	633.68	53.14	0.16	317.58	300	0.67
27	7.329	19.35	30	2.64	135	cp27	598.45	19.35	0.45	178.25	180	0.78
28	17.19	45.38	30	2.64	135	cp28	587.13	45.38	0.27	269.36	260	0.80
29	10.7	28.25	30	2.64	135	cp29	355.36	28.25	0.5	199.96	200	0.90
30	15.98	42.19	30	2.64	135	cp30	309.59	70.44	0.4	291.16	300	0.63
31	14.29	37.73	30	2.64	135	cp31	298.24	37.73	0.6	213.80	200	1.05
32	19.53	51.56	30	2.64	135	cp32	1164.12	104.70	0.35	345.32	350	0.55
33	9.28	24.50	30	2.64	135	cp33	538.7	24.50	0.9	168.30	160	1.10
34	12.8	33.79	30	2.64	135	cp34	619.4	58.29	0.14	337.51	340	0.38
35	13.82	36.48	30	2.64	135	cp35	593.68	36.48	0.2	264.82	260	0.66
36	14	36.96	30	2.64	135	cp36	438.65	36.96	0.72	204.41	200	1.13
37	26.37	69.62	30	2.64	135	cp37	878.86	212.04	0.8	375.82	380	0.63
total	502.389	1326.31					20532.6					

Tableau VII.2 : Calcul hydraulique du collecteurs secondaire 1(CS1)

<i>collecteurs secondaire 1</i>						
<i>tronçon</i>	<i>Longueur (m)</i>	<i>Débit (l/s)</i>	<i>Pente (%)</i>	<i>Diamètre (mm)</i>	<i>diamètre normalisé (mm)</i>	<i>Vitesse (m/s)</i>
<i>N1-N2</i>	<i>442.15</i>	<i>43.40</i>	<i>0.59</i>	<i>225.68</i>	<i>250</i>	<i>1.09</i>
<i>N2-N3</i>	<i>168.87</i>	<i>83.19</i>	<i>0.20</i>	<i>356.59</i>	<i>360</i>	<i>0.83</i>
<i>N3-N4</i>	<i>317.15</i>	<i>185.49</i>	<i>0.32</i>	<i>432.40</i>	<i>450</i>	<i>1.26</i>
<i>N4-N6</i>	<i>389.80</i>	<i>226.59</i>	<i>0.52</i>	<i>420.61</i>	<i>450</i>	<i>1.63</i>
<i>N6-N7</i>	<i>201.20</i>	<i>288.63</i>	<i>0.27</i>	<i>525.29</i>	<i>550</i>	<i>1.33</i>
<i>N7-N8</i>	<i>208.63</i>	<i>327.57</i>	<i>0.31</i>	<i>534.43</i>	<i>550</i>	<i>1.46</i>
<i>N8-N9</i>	<i>588.80</i>	<i>355.03</i>	<i>0.28</i>	<i>561.83</i>	<i>550</i>	<i>1.43</i>
<i>N9-N10</i>	<i>128.55</i>	<i>409.57</i>	<i>0.13</i>	<i>692.76</i>	<i>700</i>	<i>1.09</i>
<i>N10-N11</i>	<i>228.72</i>	<i>449.54</i>	<i>0.07</i>	<i>813.77</i>	<i>820</i>	<i>0.86</i>
<i>N11-N12</i>	<i>170.23</i>	<i>638.22</i>	<i>0.05</i>	<i>989.74</i>	<i>1000</i>	<i>0.83</i>
<i>N12-N13</i>	<i>314.50</i>	<i>694.32</i>	<i>0.08</i>	<i>926.24</i>	<i>1000</i>	<i>1.03</i>
<i>N13-N15</i>	<i>458.67</i>	<i>764.76</i>	<i>0.10</i>	<i>916.08</i>	<i>1000</i>	<i>1.16</i>
<i>N15-N16</i>	<i>189.52</i>	<i>801.72</i>	<i>0.30</i>	<i>743.28</i>	<i>750</i>	<i>1.85</i>
<i>N16-N17</i>	<i>419.39</i>	<i>1013.76</i>	<i>0.30</i>	<i>808.99</i>	<i>800</i>	<i>1.97</i>
<i>moyenne</i>	<i>301.87</i>	<i>448.70</i>	<i>0.25</i>	<i>639.12</i>	<i>650</i>	<i>1.27</i>

Tableau VII .3 : Calcul hydraulique du collecteurs secondaire2(CS2)

<i>collecteur secondaire 2</i>						
<i>tronçon</i>	<i>Longueur (m)</i>	<i>Débit (l/s)</i>	<i>Pente (%)</i>	<i>Diamètre (mm)</i>	<i>diamètre normalisé (mm)</i>	<i>vitesse (m/s)</i>
<i>N18-N19</i>	<i>995.44</i>	<i>44.27</i>	<i>0.25</i>	<i>271.23</i>	<i>280</i>	<i>0.77</i>
<i>N19-N20</i>	<i>493.41</i>	<i>142.74</i>	<i>0.38</i>	<i>379.72</i>	<i>380</i>	<i>1.26</i>
<i>N20-N21</i>	<i>464.18</i>	<i>207.47</i>	<i>0.12</i>	<i>550.94</i>	<i>550</i>	<i>0.87</i>
<i>N21-N17</i>	<i>234.45</i>	<i>302.25</i>	<i>0.8</i>	<i>427.12</i>	<i>420</i>	<i>2.11</i>
<i>moyenne</i>	<i>546.87</i>	<i>174.19</i>	<i>0.3875</i>	<i>407.254</i>	<i>400</i>	<i>1.25</i>

Tableau VII .4 : Calcul hydraulique du collecteur principal

<i>collecteur principal</i>						
<i>tronçon</i>	<i>Longueur (m)</i>	<i>Débit (l/s)</i>	<i>Pente (%)</i>	<i>Diamètre (mm)</i>	<i>Diamètre normalisé (mm)</i>	<i>vitesse (m/s)</i>
<i>N18-prin</i>	<i>806.55</i>	<i>1316.01</i>	<i>0.43</i>	<i>825.44</i>	<i>850</i>	<i>2.46</i>

VII.3- Caractéristiques des collecteurs :**VII.3.1- Les collecteurs primaires :**

Les collecteurs primaires sont constitués des tuyaux enterrés, les caractéristiques de ces collecteurs sont les suivant :

Diamètre variée entre 200et 300mm.

Profondeur moyen est de 1.5m.

La Pente des collecteurs est variée généralement entre 0.2 et 0.7%.

VII.3.2- Les collecteurs secondaires :

Collectent les eaux drainées par les collecteurs primaires ; On distingue deux collecteurs secondaires (CS1 et CS2) que rejeté dans un collecteur principale, les caractéristiques de chaque collecteur sont :

Canalisation secondaire 1(CS1) :

Longueur total 4226 ml

Débit à évacué 1013.76 l/s

Une pente moyenne de 0.26%.

Diamètre variée entre 200 et 950 mm.

Profondeur moyenne : 2 m

Canalisation secondaire(CS2):

Longueur total 2187.45 ml

Débit à évacué 302.25 l/s.

Une pente moyenne de 0.16%.

Diamètre variée entre 250 et 500 mm.

Profondeur moyenne : 2.5m.

VII.3.3- Le Collecteur principal :

Longueur total 806.55 ml.

Débit à évacué1316.01l/s.

Diamètre : 850 mm.

VII.4- L'Exutoire (Rejet) :

Des problèmes de salinisation de l'aquifères par les eaux de drainage sont apparus dans nombreux périmètres irrigués, faute de précaution, suffisants concernant le rejet. Dans notre cas le rejet ce fait avec le rejet des eaux usées de la ville d'INNER vers la sebkha.

Les caractéristiques du collecteur exutoire sont les suivantes :

Section circulaire conduite en PVC —PN6 diamètre 1200mm

Profondeur de 1,30 m -3,3m.

Regard de visite en béton armé chaque 100m.

Chapitre VIII :
Gestion et entretien de
système de drainage

VIII .1- Entretien et pérennité des systèmes de drainage :

L'entretien des réseaux de drainage ne reçoit pas toute l'attention qu'il mérite. Pour une raison simple ; le drainage est perçu comme moins crucial que l'irrigation, les eaux de drainage comme des pertes pour le système. Ces eaux sont généralement de piètre qualité car, à la suite de leur passage dans le sol, elles se sont enrichies en sels, en nutriments et en éléments minéraux ou organiques à l'état de traces.

Deux autres aspects conduisent à négliger l'entretien :

L'influence de l'entretien du réseau sur les performances du système n'est pas immédiatement perceptible ;

Les gestionnaires du périmètre trouvent plus facilement des crédits pour réaliser des équipements que pour les entretenir.

VIII .2-Causes de non-fonctionnement du drainage [9]:

Il y a plusieurs causes possibles qui peuvent réduire ou bloquer le fonctionnement du système de drainage : obstructions ayant pour origine des malfaçons d'exécution dès l'étude ou à l'exécution des travaux, ou des causes naturelles.

VIII .2.1- Obstructions d'origine technique:**VIII .2.1.1- Insuffisance de la section des drains:**

Même si un projet de drainage a été bien étudié et les sections des drains et collecteurs calculées suivant les règles et normes, les calculs sont théoriques et soumis aux conditions naturelles très variées. Par conséquent, les résultats d'étude ne sont qu'une base d'orientation en ce qui concerne la définition des paramètres du projet, à savoir diamètre, profondeur et écartement du drainage.

Seule l'expérience pratique peut déterminer la solution la plus adaptée. Pour cette raison, il est fortement recommandé de réaliser parallèlement à la préparation du dessin des projets pilotes ou champs de test pour simuler la réalité avec divers systèmes de drainage et des filtres sous conditions d'irrigation appliquées.

VIII .2.1.2- Insuffisance de la pente des drains:

Si la pente est insuffisante la vitesse de l'eau sera inférieure à la vitesse minimale admissible, ce qui peut entraîner la formation de dépôts de sable ou d'argile. Cela ne doit pas se produire si le paramètre de drainage a été correctement étudié et le travail convenablement exécuté.

L'irrégularité de la pente d'exécution des travaux peut avoir deux origines, la machine de

drainage et l'opérateur.

La machine porte déjà des erreurs dans sa configuration qui doit être équilibrée en considération de l'installation du guidage laser et de l'hydraulique de la machine. Cela doit être fait dès la réception de la machine en usine par un spécialiste. Une fois arrivée sur le site du projet, la draineuse (excavatrice ou draineuse à outil taupe), doit être améliorée et adaptée aux conditions locales. Des tests conduits par des experts doivent adapter par expérimentation les outils et le système de guidage aux conditions du sol et du climat.



Fig.44: photo d'une machine draineuse

Les erreurs humaines sont les plus fréquentes dans la qualité des travaux, notamment avec un guidage par nivelettes ou commande radio. Même l'utilisation du guidage laser ne peut résoudre le problème automatiquement.

La vitesse de travail de la draineuse est souvent source d'erreurs de pose. Spécialement la vitesse de travail de la draineuse à outil taupe peut être tellement élevée que la longue fréquence du laser rotatif peut dévier la machine.

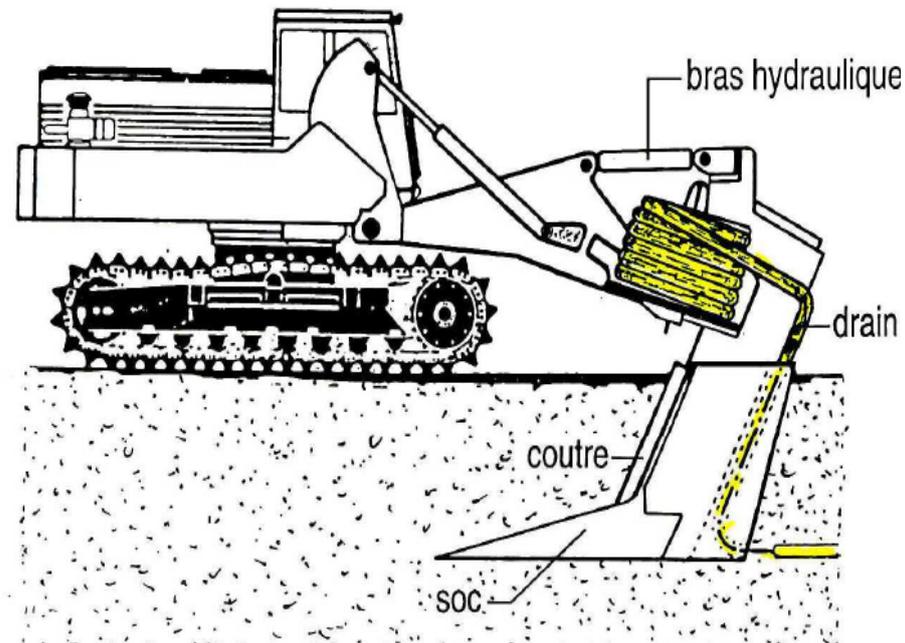


Fig.45: Schéma d'une draineuse à outil taupe

VIII .2.1.3- Mauvaise qualité des tuyaux:

Aujourd'hui presque tous les projets de drainage sont construits en tuyau en polyéthylène (PE) ou polyvinylchloride (PVC). On peut donc éliminer les problèmes qui peuvent se poser par l'utilisation de tuyaux de poterie ou en béton de mauvaise qualité (sable/ciment), souvent fabriqués sur le chantier.

Les tuyaux en PE ou PVC sont généralement de bonne qualité mais le matériau PVC est sensible aux rayons ultraviolets. Le matériau perd sa stabilité s'il est exposé longtemps sans protection. En outre, le matériau est sensible aux grandes chaleurs et se déforme à partir d'une température d'environ 80°C.

VIII .2.1.4- Défectuosités pendant l'exécution des travaux:

L'endommagement du système peut ressortir des casses de tuyaux pendant la construction (par exemple pendant le remblaiement), la rupture des connexions des tuyaux ou le déracordement drain/collecteur, par exemple par un tirage trop fort de la machine.

VIII .2.2- Obstructions d'origine naturelle:**VIII .2.2.1- Pénétration dans les drains de petits animaux**

Le colmatage de drains par les animaux peut être éliminé par l'utilisation de pièces spéciales de sortie en matériel rigide, avec une grille à la bouche.

VIII .2.2.2-Dépôts de matières minérales:

L'ensablement ou l'envasement est très souvent observé dans les sols de faible stabilité (par exemple sols sableux ou argileux), notamment si l'exécution des travaux de drainage a été réalisée dans les sols saturés d'eau. L'ensablement ou l'envasement se produit généralement immédiatement après la pose du tuyau, pour continuer d'une façon atténuée, Si les conditions sont favorables à l'envasement, le drain doit être protégé par un filtre ou un matelas de couverture.

Une protection complète du tuyau par un filtre est notamment nécessaire dans les sols sableux.

Les collecteurs ne sont normalement pas destinés à drainer l'eau mais à collecter l'eau des drains et à transporter celle-ci au système de décharge. Pour ces raisons les drains non perforés sont recommandés comme collecteurs,

Toutes les connexions, boîtes de jonction, regards d'inspection sont des sources potentielles d'ensablement ou d'envasement Afin de prévenir au maximum ces dangers, le raccord doit être étanché soigneusement.

Quand il y a un risque d'ensablement ou d'envasement dans le collecteur un dessableur est recommandé dans la boîte de jonction ou le regard d'inspection.

Colmatage des drains [14] :**Typologie:**

Type de colmatage.

Colmatage externe.

Colmatage interne.

Moment d'apparition:

Colmatage primaire.

Colmatage secondaire.

Cas le plus fréquent: colmatage secondaire externe, d'origine minérale

Prévention:

Évaluation des risques.

Choix d'un filtre efficace.



Fig.46:Drains annelés avec filtre

VIII .2.2.3-Colmatage par dépôts à réaction chimique [9]

Le fer, le fer-sulfure, et le manganèse sont normalement responsables de cet effet.

Quand le Fe^{++} situé dans le sol entre dans le drain, il réagit avec l'oxygène à Fe^{+++} , ce qui produit ce dépôt. Souvent le problème s'arrête après quelques années d'opération dans le cas extrême, par contre.

Les mesures préventives sont difficiles. Il existe un moyen qui consiste à réduire l'aération du système par une pièce spéciale à la sortie du drain.

Mais le curage est toujours la mesure la mieux adaptée.



Fig.47:Colmatage ferrique des orifices d'un drain

Le curage [9]:

Le curage s'effectue à l'aide d'une machine à curage. L'opération consiste à pomper de l'eau dans le drain au moyen d'un tuyau muni d'un jet. Le dépôt est mis en solution sous l'action du jet et expulsé avec l'eau injectée.

La demande d'eau pour le curage est très haute, variant entre 50 à 250 l/min.

Il existe deux systèmes d'évacuation, à haute et à basse pression.

La machine d'évacuation à haute pression travaille à 80/120 atmosphères de pression de pompe tandis que la pompe d'évacuation à basse pression travaille seulement à 20/30 atmosphères environ. Les deux systèmes peuvent servir pour des drains jusqu'à une longueur de 350 m. Même des dépôts difficiles et limoneux dus à l'envasement peuvent être éliminés par récurage [9].

L'élimination de sable est très difficile.

VIII .2.2.4-Blocage des tuyaux par des racines d'arbres :

Les racines de plantes qui poussent dans le drain dépendent des espèces des plantes avoisinant le système de drainage, de la profondeur des drains et des collecteurs, et des conditions climatiques.

Les racines entrent dans le drain par la perforation ou l'ouverture des connexions et des raccordements. Elles peuvent former un bouchon dans toute la section du drain. Ce sont les espèces de plantes qui sont utilisées comme brise-vents qui causent ce problème, plus que les arbres fruitiers. Les racines peuvent atteindre 10 à 20 mètres.

VIII .2.2.5-Développement dans les tuyaux d'algues spéciales:

Ces algues vivent dans l'obscurité et forment de longs et volumineux paquets. Ces algues naissent surtout dans les sols acides où se forment des dépôts ferrugineux et dans les terrains plats où l'eau n'a pas une vitesse suffisante.

VIII.3-Méthodes d'entretien des réseaux enterrés :

Des inspections régulières des réseaux de drainage enterrés sont nécessaires, tout particulièrement aux points névralgiques que sont les bouches de décharges. Les regards doivent également être visités : ils sont généralement placés en des points importants du réseau comme les jonctions ou les changements de diamètre des tuyaux.

Au besoin, des nettoyages sous pression des drains enterrés peuvent être réalisés. Cette pratique ne devrait toutefois pas être systématique car elle présente le risque de déstabiliser le sol au voisinage du tuyau.

VIII.3.1-Raccordement drain- collecteur:

Si pour des raisons diverses un collecteur en tuyau enterré doit être choisi, l'impact d'entretien se complique à cause de la non accessibilité directe au drain, L'observation du fonctionnement du drain individuel n'est possible qu'en creusant au raccordement drain-collecteur, Ce raccordement est le point faible du système drain-collecteur en tuyau.

Il existe plusieurs sortes de raccordement:

- *pièces en PVC pour le raccordement drain flexible/collecteur flexible, souvent avec un tuyaux de curage.*
- *pièces en PVC rigide en T ou Y pour le raccordement du drain flexible au collecteur rigide ou flexible.*
- *boite de raccordement pour la connexion des drains flexibles aux collecteurs ou tuyauteries rigides.*
- *regard d'inspection pour le raccordement du drain-collecteur au collecteur principal.*

VIII.4-Constataions et recommandations [16]:

Notre travail nous a permis de comprendre et d'élaborer les différentes étapes nécessaires au dimensionnement d'un réseau de drainage.

Le drainage agricole dans les régions de sud Algérien est assez spécifique et complexe, d'une part il ya un manque d'eau (climat aride), d'autre part il ya un surplus du à une surexploitation des différentes nappes existantes.

Dans notre aire d'étude la principale difficulté réside dans le manque d'exutoires qui topographiquement pourraient accueillir gravitairement les eaux drainées.

- ✓ *La présence de certaines stations de relèvement s'avère parfois nécessaire ceci entraine un surplus dans le cout du projet, mais surtout un problème de maintenance car les eaux sont Salée et agressives.*
- ✓ *La densité des drains existante actuellement ne permet pas un rabattement de la nappe à un niveau optimal.*
- ✓ *L'enquête auprès des agricultures fait ressortir que ces derniers n'est pas favorable à une baisse très importante de la nappe car elle participe à alimentation en eau par capillarité de leurs cultures. Comment gérer ce compromis ?*

Suite à ces constatations et observations. On pourrait recommander aux agricultures une meilleure gestion de l'irrigation.

Dans nos calculs on s'aperçoit que les volumes alloués sont supérieurs aux besoins réels des cultures de ce fait une quantité importante d'eau percole en profondeur qui va élever le niveau de la nappe phréatique. La submersion étant le système d'irrigation le plus utilisé, or celui-ci est fort consommateur en eau.

En été l'agriculture procède à 3 ou 4 fois la submersion de ces parcelles, on comprend que les volumes d'eau percolés soient très importants.

Il faut rendre plus efficient le système d'irrigation :

- ✓ *En donnant le volume exact des besoins en eau des cultures plus ceux du lessivage.*
- ✓ *Nivellement des parcelles*
- ✓ *Moins de pertes au transport de l'eau du forage à la parcelle (par conduites ou canaux revêtus)*
- ✓ *Opter pour un système d'irrigation plus performant telle que l'irrigation localisée.*

Les cultures intercalaires irriguées par planche ont des besoins plus réduits à cause de l'effet 'oasis.

Une expérimentation s'avère intéressante pour l'exploitation de la nappe phréatique.

Exemple l'utilisation pour l'irrigation de certaines plantes servant à maintenir les Dunes (en dehors des palmeraies)

- ✓ *Planter des végétations capables d'absorber beaucoup d'eau il faut aussi qu'elles soient tolérantes aux sels.*
- ✓ *Lutte contre l'envahissement des fossés par les végétaux : revêtir ces fossés par des membranes, en pierre ou remblayer carrément les fosses.*
- ✓ *Utilisation des drains enterrent ?*
- ✓ *Réutiliser les eaux de drainage ? elle est trop Salée mais mélangée avec des proportions en eau du complexe terminal on pourrait l'utiliser.*

Beaucoup d'expérimentation pourraient être lancées en vue de trouver à l'avenir des solutions durables.

Conclusion générale

Au terme de ce travail, nous avons constaté que le dimensionnement d'un réseau de drainage n'est pas si simple, car la difficulté réside dans la détermination d'une valeur de bilans hydrique exacte et dans le regroupement des données.

Le problème de salinité des eaux qui percolent, lessivent le sol entraînant les sels en profondeur donc vers la nappe. La concentration en sels augmente induisant une augmentation de la pression osmotique en plus du manque d'oxygène pour les racines des palmiers. tout ceci entraîne peu à peu une faible rentabilité et une détérioration progressive de la palmeraie.

En effet beaucoup de contraintes aussi bien techniques qu'administratives peuvent influencer sur le tracé du réseau.

Les surfaces prises en compte ne coïncident pas avec la réalité, il ya des divergences entre la réalité et les chiffres avancés par la direction de service agricole (DSA), Certaines palmeraies n'existent plus, elles sont urbanisées actuellement.

Nous avons choisi un tracé qui à pu gravitairement nous disposer donc d'une pente suffisant aux niveaux de chaque collecteur.

L'aspect économique demeure aussi un point essentiel car minimiser le tracé de ce réseau permet de faire des économies sur le coût du projet.

Ces constatations font qu'il impératif de reprendre en main le drainage agricole et cela pour deux objectifs bien distincts.

L'existence des palmeraies ne permet pas d'avoir une autosuffisance alimentaire (toutes cultures confondues) de la région, mais permettra d'avoir une production locale assez conséquente. Elle permettra de même de maintenir en place la population et créer des emplois.

En effet le maintien et l'extension des palmeraies, permet d'avoir pour les populations des espaces verts et de fraîcheur indispensable à l'équilibre humain.

Références bibliographiques

- [1]- **A. khadraoui** : *Sols et hydraulique agricole dans les oasis algériennes*
- [2]- **ANRH d'Adrar 2002** : *Annexe des foggaras du Tidikelt. Différentes type de foggaras.*
(Agence Nationale des Ressources Hydrauliques).
- [3]- **AZEIZ** : *Cours de drainage 5^{ème} année / ENSH – Blida 2010*
- [4]- **AZEIZ** : *Cours d'irrigation 4^{ème} année / ENSH – Blida 2009*
- [5]- **DARNOUNI** : *Cours d'assainissement 4^{ème} année / ENSH – Blida 2009.*
- [6]- **DHW d'Adrar 2006** : *données climatologie.*
- [7]- **D.S.A. d'Adrar 2002** : « *Situation des forages d'irrigation arrêté au 31/12/2002* »
- [8]- **EPFL** : *Ecole national polytechnique fédéral e de Lausanne*
- [9]- **G.F. WESTLAND** : *Entretien et réparation des systèmes de drainage couverts*
- [10]- **HADDADI M.2006** : *Irrigation par système fogara dans la région d'aoulef*
(WILAYA D ADRAR) *Memoire de fin d'étude. ENSH*
- [11]- **INSID** : *office national du sol et irrigation et drainage*
- [12]- **IPTRID** : (Programme International pour la Technologie et la Recherche en
Irrigation et Drainage)
«*Extension de la salinisation et stratégies de prévention et réhabilitation*»
- [13]- **M.BESBES, A.LARBES, M.BABASY, B.MERZOUGUI 2005** : *modélisation du*
système aquifère du bassin occidental du sahara septentrional (Première Phase :
Hydrogéologie et Modèle conceptuel)
- [14]- **MERMOUD A.2006** : «*Elément de drainage des sols agricoles*». *Travaux de l'EPFL*
(*école polytechnique fédérale de Lausanne*)
- [15]- **Richards L. A. 1954** : «*Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*». *United*
States Salinity Laboratory Staff
- [16]- **ROBERT BEAULIEU 2001** : «*Drainage souterrain et drainage de surface*». *Edition*
du Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation Sainte-Martine

Les sites

WWW.ABHS.DZ

WWW.EPFL.CH

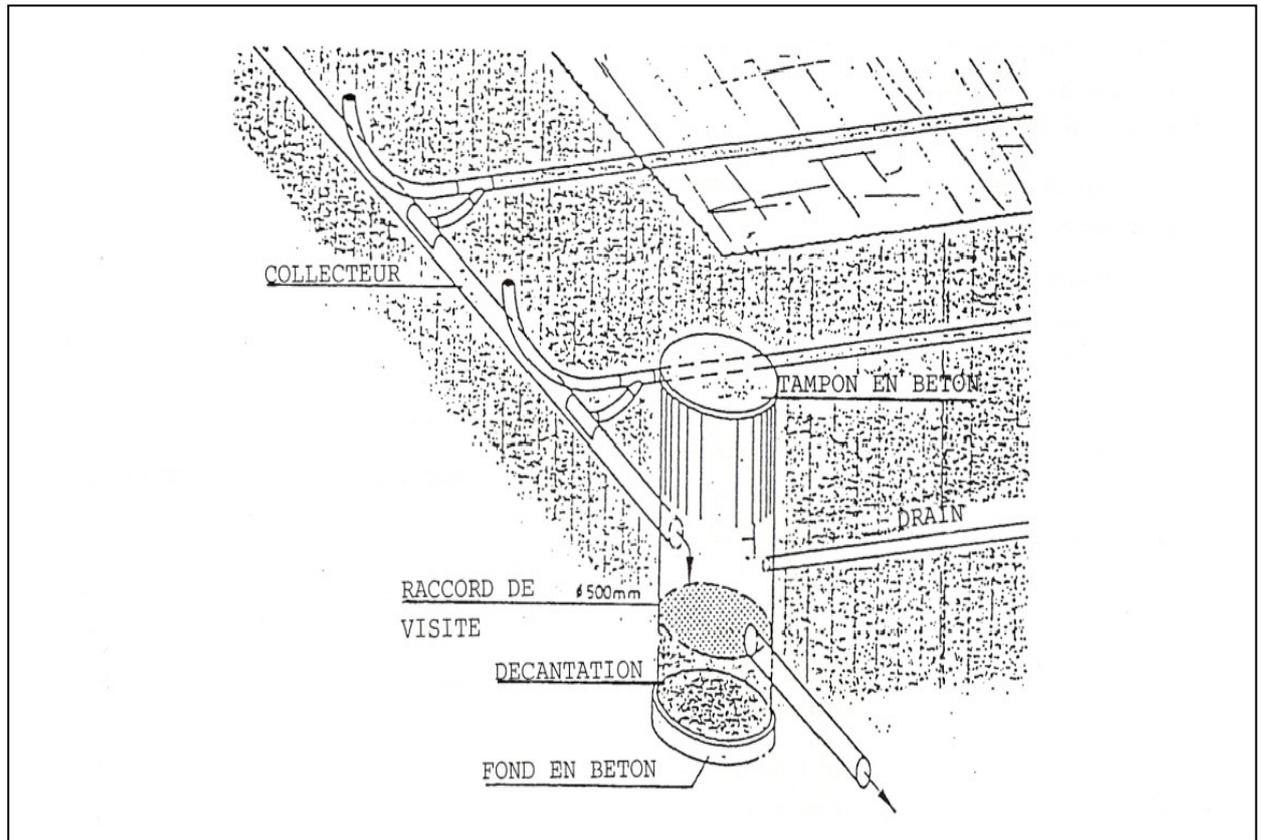
WWW.FAO.COM

WWW.INRA.FR

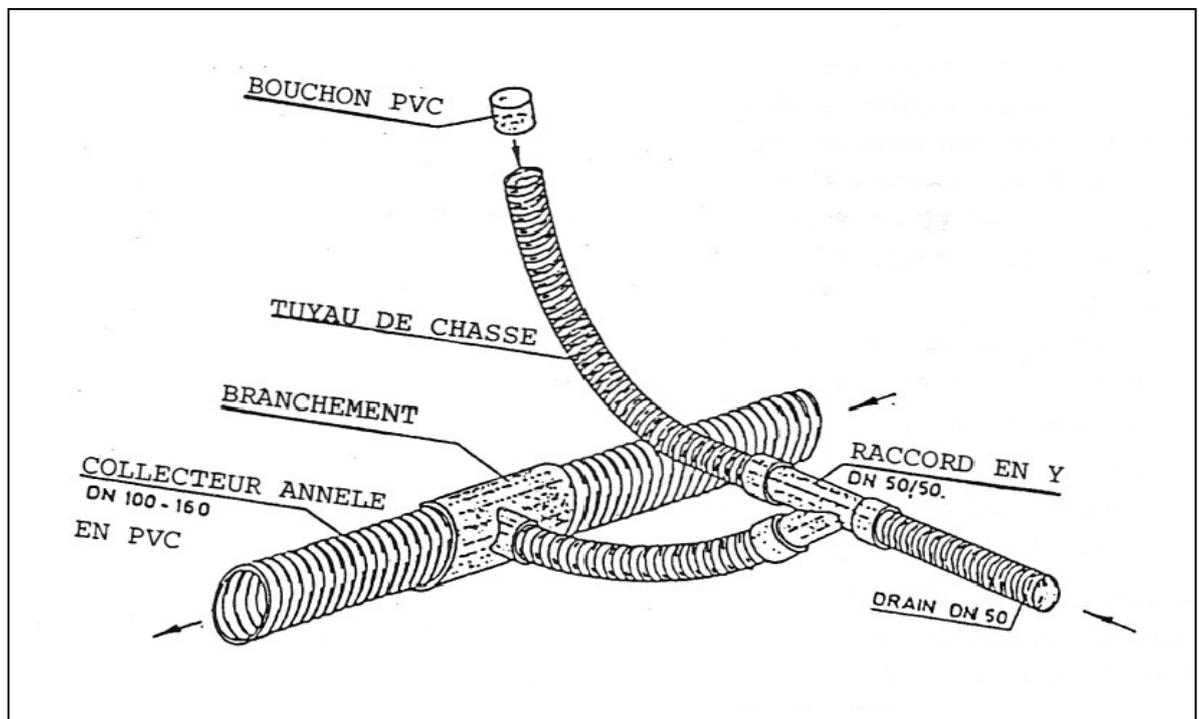
WWW.USDA.GOV

LES ANNEXES

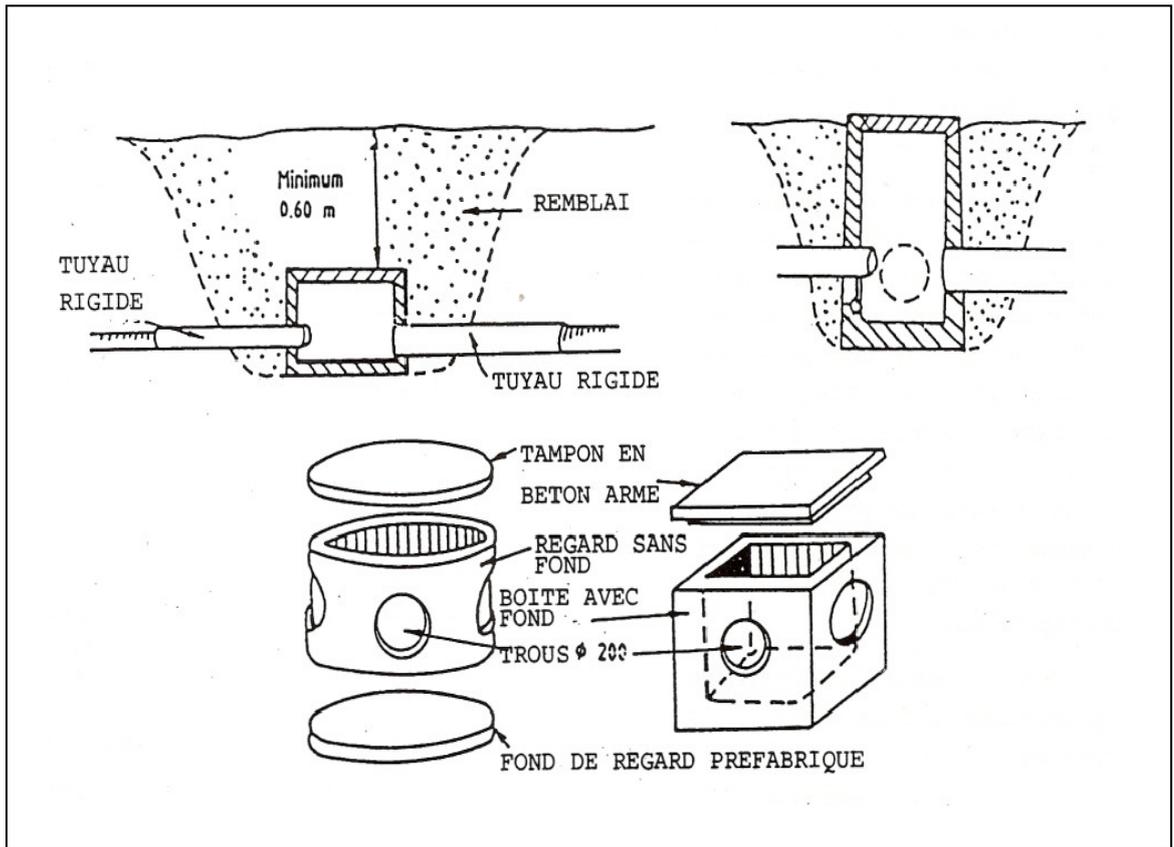
1. *Système de drainage en collecteur enterré :*



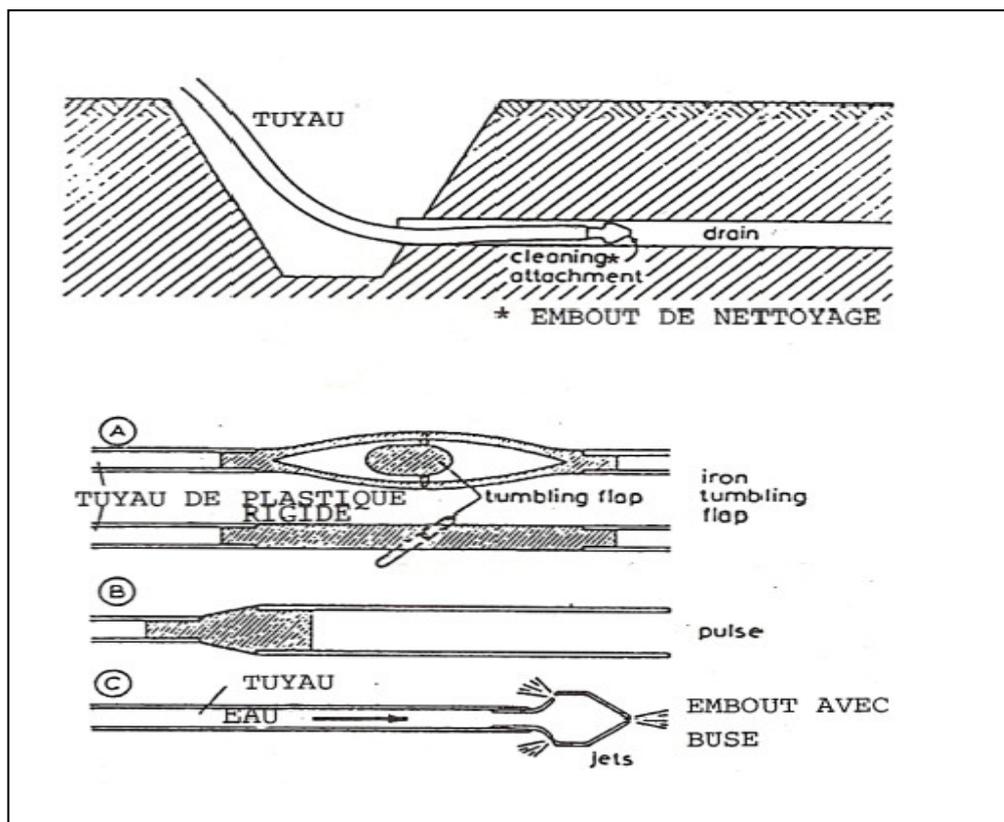
2. *Raccordement drain- collecteur :*



3. Boîte se raccordement drain/collecteur :



4. Outils de curage :

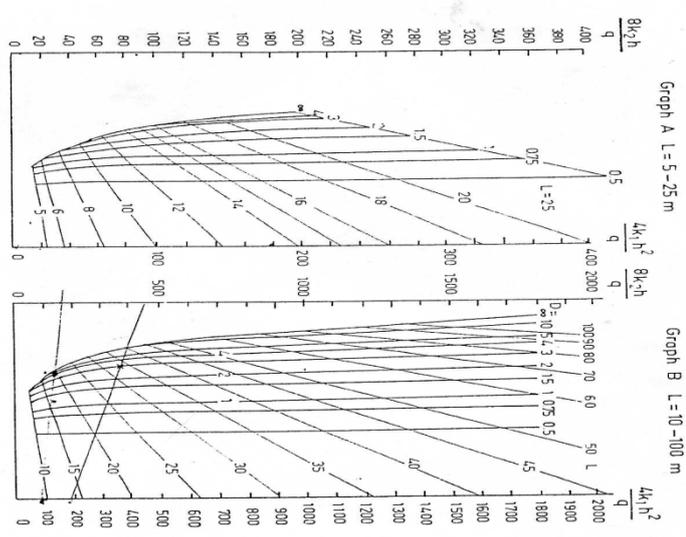


5. Abaque pour la détermination de l'écartement entre les drains :

TABLE 7.1 Equivalent depth 'd' for commonly used pipe drains ($r_0 = 4-10$ cm; $u \geq 0.3$ m)

D(m)	L (m) →																		
	5	7.5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	75	80	85	90	100	150	200	250
0.50	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.95	0.95	0.95	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.75	0.60	0.65	0.70	0.70	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.95	0.95	0.95	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.00	0.65	0.75	0.80	0.85	0.90	0.90	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
1.25	0.70	0.80	0.90	1.00	1.05	1.10	1.10	1.15	1.15	1.15	1.15	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
1.50	0.90	0.95	1.10	1.20	1.20	1.25	1.30	1.30	1.30	1.35	1.35	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55
1.75	0.90	1.00	1.20	1.30	1.40	1.45	1.50	1.50	1.50	1.55	1.55	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
2.00	0.90	1.10	1.30	1.40	1.50	1.55	1.60	1.60	1.60	1.65	1.65	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80
2.25	0.90	1.15	1.35	1.50	1.60	1.70	1.70	1.75	1.80	1.85	1.85	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
2.50	0.90	1.15	1.40	1.55	1.70	1.80	1.80	1.85	1.95	2.00	2.00	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15
2.75	0.90	1.15	1.40	1.65	1.75	1.90	2.00	2.05	2.10	2.15	2.15	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30
3.00	0.90	1.15	1.45	1.65	1.85	1.95	2.10	2.15	2.25	2.25	2.30	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45
3.25	0.90	1.15	1.50	1.70	1.90	2.05	2.15	2.25	2.35	2.35	2.40	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55
3.50	0.90	1.15	1.50	1.75	1.95	2.10	2.25	2.35	2.45	2.45	2.55	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70
3.75	0.90	1.15	1.50	1.80	1.95	2.15	2.30	2.45	2.55	2.55	2.65	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80
4.00	0.90	1.15	1.50	1.80	2.00	2.20	2.30	2.50	2.65	2.75	2.85	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
4.50	0.90	1.15	1.50	1.85	2.10	2.30	2.50	2.75	2.85	2.90	3.00	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15
5.00	0.90	1.15	1.50	1.90	2.15	2.40	2.60	2.75	2.90	3.00	3.00	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15
5.50	0.90	1.15	1.50	1.90	2.15	2.40	2.60	2.75	2.90	3.00	3.00	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15
6.00	0.90	1.15	1.50	1.90	2.15	2.40	2.60	2.75	2.90	3.00	3.00	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15
7.00	0.90	1.15	1.50	1.90	2.15	2.40	2.60	2.75	2.90	3.00	3.00	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15
8.00	0.90	1.15	1.50	1.90	2.15	2.40	2.60	2.75	2.90	3.00	3.00	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15
9.00	0.90	1.15	1.50	1.90	2.15	2.40	2.60	2.75	2.90	3.00	3.00	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15
10.00	0.90	1.15	1.50	1.90	2.15	2.40	2.60	2.75	2.90	3.00	3.00	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15
12.50	0.90	1.15	1.50	1.90	2.15	2.40	2.60	2.75	2.90	3.00	3.00	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15
15.00	0.90	1.15	1.50	1.90	2.15	2.40	2.60	2.75	2.90	3.00	3.00	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15
17.50	0.90	1.15	1.50	1.90	2.15	2.40	2.60	2.75	2.90	3.00	3.00	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15
20.00	0.90	1.15	1.50	1.90	2.15	2.40	2.60	2.75	2.90	3.00	3.00	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15
25.00	0.90	1.15	1.50	1.90	2.15	2.40	2.60	2.75	2.90	3.00	3.00	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15
30.00	0.90	1.15	1.50	1.90	2.15	2.40	2.60	2.75	2.90	3.00	3.00	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15
35.00	0.90	1.15	1.50	1.90	2.15	2.40	2.60	2.75	2.90	3.00	3.00	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15
40.00	0.90	1.15	1.50	1.90	2.15	2.40	2.60	2.75	2.90	3.00	3.00	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15
45.00	0.90	1.15	1.50	1.90	2.15	2.40	2.60	2.75	2.90	3.00	3.00	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15
50.00	0.90	1.15	1.50	1.90	2.15	2.40	2.60	2.75	2.90	3.00	3.00	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15
60.00	0.90	1.15	1.50	1.90	2.15	2.40	2.60	2.75	2.90	3.00	3.00	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15

Roughly
d = constant for D > 1L



For pipedrain with $r_0 = 0.04-0.10$ m, $u = 0.30$ m*
FIGURE 7.8 Nomograph for the solution of the Hooglandt drain spacing formula (VAN BEER, 1965)

* For all practical purposes, the graph is valid for all pipes installed in 20-25cm wide trench

Graphically: the nomograph in figure 7.8 covers most conditions normally encountered in pipe drainage design ($h = 0.1-1.2$ m, $q = 1-10$ m/day $^{-1}$).