

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHESCIENTIFIQUE
ECOLE NATIONALESUPERIEURE D'HYDRAULIQUE- ARBAOUI Abdallah-

DEPARTEMENT GENIE DE L'EAU

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

Option : Conception Des Systèmes d'Irrigation et de Drainage

THEME :

**DRAINAGE ET ASSAINISSEMENT AGRICOLE DES
PALMERAIS DE AOUGROUT
ZONE (OULED MAHMOUD) W.ADRAR**

Présenté par :

M^r MOBARKI Abdellah

DEVANT LES MEMBRES DU JURY

Nom et Prénom	Grade	Qualité
M^r T.KHETTAL	MC.A	Président
M^{me} A.AZIEZ	MA.A	Examinatrice
M^{me} D.DJODAR	MA.A	Examinatrice
M^{me} S.MEDJDOUB	MA.B	Examinatrice
M^r D.KOLIAI	Ing en chef	Examineur
M^r M.MESSAHEL	MC	Promoteur

Mars 2014

∞ Dédicace ∞

Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance et de respect a :

 *mes parents*

 *mes frères et sœurs*

 *à toute ma famille*

 *Mes amis et en particulier ABDELKAER FOUAD et YUCEF et le quaternaire gaieté de l'année passée et tous mes amis de ADRAR et de Blida.*

MOBARKI. ABDELLAH

Remerciements

Avant tout, je remercie DIEU qui a illuminé mon chemin et qui m'a armé de courage pour achever mes études.

Et « quiconque ne remercie pas les gens, ne remercie pas Dieu»

Je remercie fortement mon promoteur : M^r MESSAHIEL de m'avoir orienté par ses conseils judicieux dans le but de mener à bien ce travail.

Monsieur Ismail qui a bien voulu me confier ce thème.

Je remercie également M^r «ZANDRI» qui m'a donné les informations nécessaires pour réaliser ce mémoire, sans oublier le bureau d'étude ARTS : atelier régionale de technique saharienne qui m'a orienté et donné des informations.

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.*

MOBARKI. ABDELLEAH

ملخص

في إطار هذه المذكرة المساهمة في دراسة الصرف الزراعي لنخيل منطقة أولاد محمود بولاية أدرار . تعد ظاهرة صعود مياه الطبقة السطحية مؤثرة بدرجة كبيرة في هذه المنطقة ومعقدة حيث أن مستوى الطبقة السطحية في بعض المناطق يصل إلى 40 سم أو اقل من ذلك مما 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 d'OULED MAHMOUD (W.ADRAR).

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 40 cm sinon moins de la surface du sol, ce qui entraîne des graves conséquences au niveau de l'activité agronomique et même sur les eaux souterraine.

Le but de ce travail est la réduction du pourcentage de salinisation et la soustraction de 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.

Abstract:

The study undertaken within the framework of this dissertation represents a contribution to the study of the agricultural drainage of the palm plantations located in the zone of OULED MAHMOUD (State. ADRAR).The problem of the increase of water of the aquifer is very significant and severe; the level of this aquifer per place is less than 40 cm if not less than the surface of the ground, which entrains serious effects on the agronomic level and the same of underground water. This work aims at reducing the percentage of salinization and subtraction of water coming from the infiltration and this by comparing the current situation with that which should be theoretically.

SOMMAIRE

Page

Liste des tableaux
Liste des figures et photos
Liste des planches
Liste des abréviations

Introduction générale..... 1

Chapitre I : Analyse des conditions Naturelles

I.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE :	3
I.1.1- Localisation de la wilaya d'Adrar :	3
I.1.2 Situation géographique du projet :	3
I.1.3- Localisation du projet :	5
I.2 - ETUDE CLIMATOLOGIQUE :	5
I.2.1- Température :	5
I.2.2 -Insolation :	6
I.2.3 – La pluviométrie :	6
I.2.4 - L'humidité :	7
I.2.5 - Le vent.....	8
I.2.5.1 - Fréquence des directions des vents :	9
I.2.6 - L'évaporation :	9
I.2.7 - L'évapotranspiration de référence :	10
I.2.8 - Les indices climatiques:	11
I.3 - Etude Géomorphologique et Topographique :	13
I.3 .1-Géomorphologie :	13
I.3 .2- Topographie :	14
I.4 - Etude Géologique Et Hydrogéologique :	15
I.4.1- Etude géologique :	15
I.4 .2- Etude Hydrogéologique :	15
I.4.2.1-Lithologie et cartographie des épaisseurs utiles du CI :	16
I.4.2.2-Puissance utile de réservoir de CI :	17
I.4.2.3-Niveau statique de la nappe aquifère de CI :	17
I.4.2.5-Paramètres hydrodynamique :	18
I.4.2.6-Le sens d'écoulement des eaux de la nappe aquifère :	18
I.4.2.7-Calcul hydrogéologique :	19
I.5- Etude Agro-Pédologique :	20
I.5.1- Etude de sol :	20
I.5.2-LA PROSPECTION DE TERRAIN :	20
I.5.3-ASPECTS GEOMORPHOLOGIQUES :	21
I.5.4-Description pédologique :	21
I.5.5: Résultats des analyses des profils:	22
I.5.6-Description du sol :	23
Conclusion.....	25

Chapitre II : Ressource en eau

<i>Introduction:</i>	27
<i>II.1-Les ressources en eaux souterraines :</i>	27
<i>II.1.1-Les Forages :</i>	27
<i>II.1.2-Les foggaras :</i>	28
<i>II.1.2.1-Description et fonctionnement de la foggara :</i>	29
<i>II.1.2.2-L'évolution des foggaras :</i>	30
<i>II.1.2.3-La répartition des eaux de foggara :</i>	31
<i>II.2 -Le débit à apporter par les Foggaras et les Puits d'Ouled Mahmoud :</i>	32
<i>II.3-Caractéristique physique et chimique des eaux :</i>	33
<i>II.4- Les limites admissibles :</i>	34
<i>II.4.1.La conductivité électrique :</i>	34
<i>II.4.2.Le SAR (Sodium Absorption Ration) :</i>	35
<i>II.5: calcule de SAR pour chaque point :</i>	35
<i>II.5.1.calcule de SAR pour des Foggaras:</i>	35
<i>II.5.2.calcule de SAR pour des points d'eaux</i>	36
<i>II.6- Classification des eaux :</i>	36
<i>Conclusion</i>	38

Chapitre III : Analyse hydro-agricole et problématique

<i>Introduction:</i>	40
<i>III.1- Organisation administrative :</i>	40
<i>III.2-Population :</i>	40
<i>III.3-Infrastructures hydrauliques :</i>	40
<i>III.3.1-les réseaux hydrauliques existants :</i>	40
<i>III.3.1.1-Réseau d'Assainissement :</i>	41
<i>III.3.1.2- Réseau d'AEP :</i>	41
<i>III.3.1.3- Réseau d'irrigation :</i>	41
<i>III.4- L'agriculture.</i>	41
<i>III.4.1-Répartition des terres agricoles:</i>	41
<i>III.4.2-La production agricole et leur superficie :</i>	42
<i>III.4.3-L'agriculture dans la région d'Aougrout :</i>	42
<i>III.5-l'irrigation de la palmeraie :</i>	44
<i>III.5.1-L'irrigation traditionnelle :</i>	44
<i>III.5.2-L'irrigation localisée :</i>	44
<i>III.5.3-L'irrigation par aspersion :</i>	44
<i>III.6-Description générale de problème :</i>	45
<i>III.6.1-Phénomène de salinisation :</i>	45
<i>III.6.2-Origine de la salinité :</i>	45
<i>III.6.2.1- La salinisation causée par l'irrigation :</i>	45
<i>III.6.3-Effet de salinité des sols :</i>	46
<i>III.6.4-Les Types de salinisation :</i>	46
<i>III.6.5-Caractéristiques des sols salés :</i>	46
<i>III.6.6-Solutions préventives et curatives possibles :</i>	48
<i>Conclusion</i>	49

Chapitre IV : Besoin en eau

<i>Introduction</i>	51
<i>IV.1-définition</i> :	51
<i>IV.2- L'évapotranspiration potentielle de référence (ETo) :</i>	52
<i>IV.2.1- Formule de Blaney Cridle (USA) :</i>	52
<i>IV.2.2- Methode de Mr Penman&motheit modifiée:</i>	52
<i>IV.3 - évapotranspiration réelle ou culture (ETR ou ETC) :</i>	54
<i>IV.3.1-Calcul des besoins nets (Bn) :</i>	54
<i>IV.3.2-La pluie efficace:</i>	55
<i>IV.3.3 -L'effet oasis :</i>	55
<i>V.4-Efficience de l'irrigation :</i>	55
<i>IV.4.1-Efficacité de transport Et :</i>	56
<i>IV.4.2-Efficacité de distribution Ed :</i>	56
<i>IV.4.3-Efficacité de l'uniformité :</i>	56
<i>IV.6-Lessivage des sols :</i>	57
<i>IV .6.1-Le rôle du lessivage :</i>	57
<i>IV .6.2-Notions du bilan salin dans un sol :</i>	57
<i>IV .6.3-périodes et méthodes de lessivage des sols :</i>	57
<i>IV .6.4-Besoin en eau pour lessivage :</i>	58
<i>IV.6.5- Calcul de dose de lessivage:</i>	59
<i>IV.7- Calcul des pertes de l'irrigation :</i>	59
<i>Conclusion</i>	60

Chapitre V : Choix de variante de réseau de drainage

<i>Introduction</i>	62
<i>V.1- Effets positifs de l'assainissement du sol:</i>	62
<i>V.2- cause de drainage</i>	62
<i>V.3-Description de réseau de drainage existant :</i>	63
<i>V.4-Variantes du réseau de drainage :</i>	63
<i>V.4.1- Variante1 : Réseau de drainage avec des drains tranché a ciel ouvert :</i>	63
<i>V.4.1.1-Les avantages et les inconvénients :</i>	63
<i>V.4.2-Variante2: Réseau de drainage avec des par drains enterrés :</i>	64
<i>V.4.2.1-Les avantages et les inconvénients :</i>	65
<i>V.5- Choix des variantes du réseau de drainage :</i>	65
<i>V.6- Justification du réseau de drainage:</i>	65
<i>V.7- Caractéristiques des drains projetés :</i>	66
<i>V.7.1- Calcul du débit caractéristique :</i>	66
<i>V.7.2- Choix de la profondeur des drains :</i>	67
<i>V.7.3- Profondeur de l'imperméable :</i>	67
<i>V.7.4- Calcul de l'écartement des drains :</i>	67
<i>Conclusion</i>	70

Chapitre VI : Calcul hydraulique

<i>VI.1-Calcul hydraulique :</i>	72
<i>VI.1.1- Débit du drain :</i>	73
<i>VI.1.2-Calcul de vitesse V:</i>	73
<i>VI.2- Caractéristiques des drains et collecteurs:</i>	73
<i>VI.2.1- Caractéristiques des collecteurs secondaires:</i>	73
<i>VI.2.2- Caractéristiques des collecteurs principales:</i>	74
<i>VI.3- Caractéristique de L'Exutoire (Rejet) :</i>	74

Chapitre VII : Gestion et entretien de système de drainage

<i>VII .1- Entretien et pérennité des systèmes de drainage :</i>	78
<i>VII .2- Exploitation et entretien d'un réseau de fossés ouverts :</i>	78
<i>VII .2.1-Entretien des fossés :</i>	79
<i>VII .2.2-Le fauchage :</i>	79
<i>VII .3- Les méthodes d'entretien des fossés :</i>	79
<i>VII .3.1- La méthode d'entretien traditionnelle :</i>	79
<i>VII .3.2- La méthode d'entretien du tiers inférieur :</i>	80
<i>VII .4-Causes de non-fonctionnement du drainage :</i>	81
<i>VII .4.1- Obstructions d'origine technique:</i>	81
<i>VII .4.1.1-La conception des fossés :</i>	81
<i>VII .4.1.2-Lors de la construction :</i>	82
<i>VII .4.1.3-Mesures de prévention durant les travaux :</i>	82
<i>VII .4.2- Obstructions d'origine naturelle:</i>	82
<i>VII .4.2.1- Les plantes exotiques envahissantes :</i>	82
<i>VII .4.2.2- Stabilisation des zones sensibles :</i>	83
<i>VII .4.2.3- L'ensablement ou l'envasement :</i>	84
<i>VII .4.2.4-Colmatage des drains :</i>	84
<i>VII.5-Constataions et recommandations :</i>	85
Conclusion générale :	87
<i>Référence bibliographique</i>	
<i>Annexe</i>	

Liste des tableaux

page

Tableau I.1 : Moyennes mensuelles des températures (C°) période 1990-2010	5
Tableau I.2 : Moyennes mensuelles d'Insolation période 1990-2010	6
Tableau I.3 : Moyennes mensuelles des précipitations période 1990-2010	6
Tableau I.4 : Humidité relative à la station période 1990-2010	7
Tableau I.5 : Force du vent à la station d'Adrar de la période 1990-2010	8
Tableau I.6 : vitesse du vent à la station d'Adrar de la période 1990-2010	8
Tableau I.7 : Fréquence des directions des vents	9
Tableau I.8 : Évaporation à la station d'Adrar période 1990-2010	9
Tableau I.9 : Classification du climat selon MARTOE	11
Tableau I.10: Résultats des analyses des profils:	22
Tableau II.1 : Le débit à apporter par Foggaras d'Ouled Mahmoud	32
Tableau II.2: Résultats des analyses des eaux des Foggaras:	33
Tableau II.3: Résultats des analyses des eaux des points d'eaux:	34
Tableau II.4: Classification des eaux en fonction de la conductivité électrique	34
Tableau II.5: calcul de SAR pour des Foggaras:	35
Tableau II.6 : calcul de SAR pour des points d'eaux	36
Tableau II.7: Les résultats de la classification d'eaux	36
Tableau III.1: Inventaire des réseaux d'Assainissement	41
Tableau III.2: Inventaire des réseaux d'AEP	41
Tableau III.3 IV.3 : Inventaire des foggaras	41
Tableau III.4: La répartition des terres agricole	41
Tableau III.5: Les différentes cultures de la wilaya d'Adrar	42
Tableau III.6: état du palmier dans la wilaya d'Adrar	42
Tableau III.7: Statistiques des superficies agricoles:	42
Tableau III.8: Superficies agricoles:	43
Tableau III.9: les Catégories des sols salés	47
Tableau III.10: chute de rendement de certaines cultures sous l'effet des sels	47
Tableau IV.1: Les informations mensuelles de la station météorologique	53
Tableau IV.2: résultats de l'évapotranspiration de référence	53
Tableau IV.3: Calendrier cultural	54
Tableau IV.4: Le tableau des besoins nets en eaux pour chaque culture :	55
Tableau IV.5: Calcul de la dose de lessivage	59
Tableau V.1: Les valeurs de σ est donnée par le tableau suivant :	69
Tableau VI.1 : Calcul hydraulique du collecteur principal A :	75
Tableau VI.2 : Calcul hydraulique du collecteur principal B :	75
Tableau VI.3 : Calcul hydraulique du collecteur principal C :	76

Fig.2: Situation générale de La région d'AOUGROUT.	4
Fig.3:Image satellitaire de palmeraie d'Ouled Mahmoud.	5
Fig.4 :l'histogramme de Moyennes mensuelles des températures (C°) période 1990-2010.	6
Fig.5:l'histogramme de la pluviométrie.....	7
Fig.6:l'histogramme de l'humidité relative	7
Fig.7:L'histogramme de la vitesse du vent	8
Fig.8: l'histogramme de l'Évaporation à la station d'Adrar période1990-2010	9
Fig.9 : L'évapotranspiration de référence ET0 par le biais du logiciel Cropwat 8.0.....	10
Fig.10 :L'histogramme d'évapotranspiration de référence (ET0)	10
Fig.11: diagramme bioclimatique d'EMBERGER.....	12
Fig.12 : diagramme de BAGNOULS ET GAUSSEN.....	13
Fig. 13: Traits géomorphologique de la région d'Adrar	14
Fig. 14: Relief de la région d'Adrar.	14
Fig.15 : Carte géologique de la région d'Adrar.....	15
Fig.16: les différentes couches de la nappe Continentale Intercalaire.....	16
Fig.17: Coupe hydrogéologique à travers le Sahara.....	17
Fig.18 : Carte des iso pièzes des Continentale Intercalaire.....	18
Fig.19: Situation des forages exploités dans le bassin occidental.....	27
Fig.20: situation de l'ensemble des foggaras dans la région d'Adrar	29
Fig.21: Schéma de fonctionnement de la foggara.....	30
Fig.22 : Evolution des foggaras.....	31
Fig.23: Kasria principale à la sortie des foggaras.....	32
Fig.24: diagramme de classification des eaux d'irrigation.....	37
Fig.25: superficies agricoles de la région d'Aougrount.....	43
Fig.26: Le problème de salinité	45
Fig.27: Origines de la salinisation	48
Fig.28: schéma de bilan hydrique.....	51
Fig.29: la variation de KC	54
Fig.30: Drainage de surface par fossé.....	63
Fig.31: Drainage par drains enterrés.....	64
Fig.32 : Schéma de calcul d'écartement du drain tranché	67
Fig.33 : Schéma fossés à ciel ouvert.....	69
Fig.34: Section transversale trapézoïdale du drain.....	72
Fig.35 : Photo du logiciel de calcul canal (21)	74
Fig.36:Pelle hydraulique de petit gabarit	80
Fig.37:Méthode du tiers inférieur en comparaison avec la méthode traditionnelle.....	80
Fig.38 : Illustration de la méthode du tiers inférieur	81
Fig.39 : Plantes envahissantes	83
Fig.40 : Chantier réalisé dans de mauvaises conditions. Sol hydro morphe limitant la pénétration de l'eau vers les drains.....	84

Liste des planches

Echelle

- Planche 01 : Plan de situation de la palmeraie Echelle 1/2000
OULED MAHMOUD (W.ADRAR) Echelle 1/2000*
- Planche 02 : Réseau de drainage projeté de la zone Echelle 1/2000
OULED MAHMOUD (W.ADRAR) Echelle 1/2000*
- Planche 03 : Profil en long de collecteur principal (A) Echelle H 1/1000 V1/100
de la zone OULED MAHMOUD (W.ADRAR)*
- Planche 04 : Profil en long de collecteur principal (C) Echelle H 1/1000 V1/100
de la zone OULED MAHMOUD (W.ADRAR)*

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>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.

La salinisation est produite par des divers processus complexes de redistribution des sels liés au fonctionnement hydrologique du milieu sous l'influence de l'irrigation et l'évaporation, et la solution proposée le drainage.

La région d'AOUGROUT de la zone OULED MAHMOUD souffre actuellement d'un problème crucial d'assainissement urbain et de drainage agricole liés étroitement aux conditions naturelles à savoir la topographie (légèrement plain), l'Accumulation des sels solubles mais surtout à une mauvaise exploitation et gestion des ressources hydriques.

Le réseau d'assainissement et de drainage parfois inexistant ou sous dimensionné, ou n'ayant pas des caractéristiques hydrauliques exigées surtout en matière de pente et d'exutoire.

Le problème actuel comment diminuer la concentration des sels accumulés dans le sol par terrain trop humide il faut faire une projection de réseaux d'assainissements et de drainage

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 du réseau du drainage.

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 Nord-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 à 1500 km d'Alger. La ville, promue wilaya en 1974 à la faveur d'un nouveau découpage administratif, elle est limitée :

- Au nord par la wilaya d'El Bayyadh.
- 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 la wilaya de Tamanrasset
- Le nord-est 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.

I.1.2 Situation géographique du projet :

Le site proposé par l'étude de drainage objet de la présente étude situe au Nord par rapport au chef-lieu de la Wilaya d'Adrar, la daïra d'Aougrou, plus précisément à 110 kilomètres de la ville d'Adrar donc à 100 kilomètres de la ville de Timimoune.

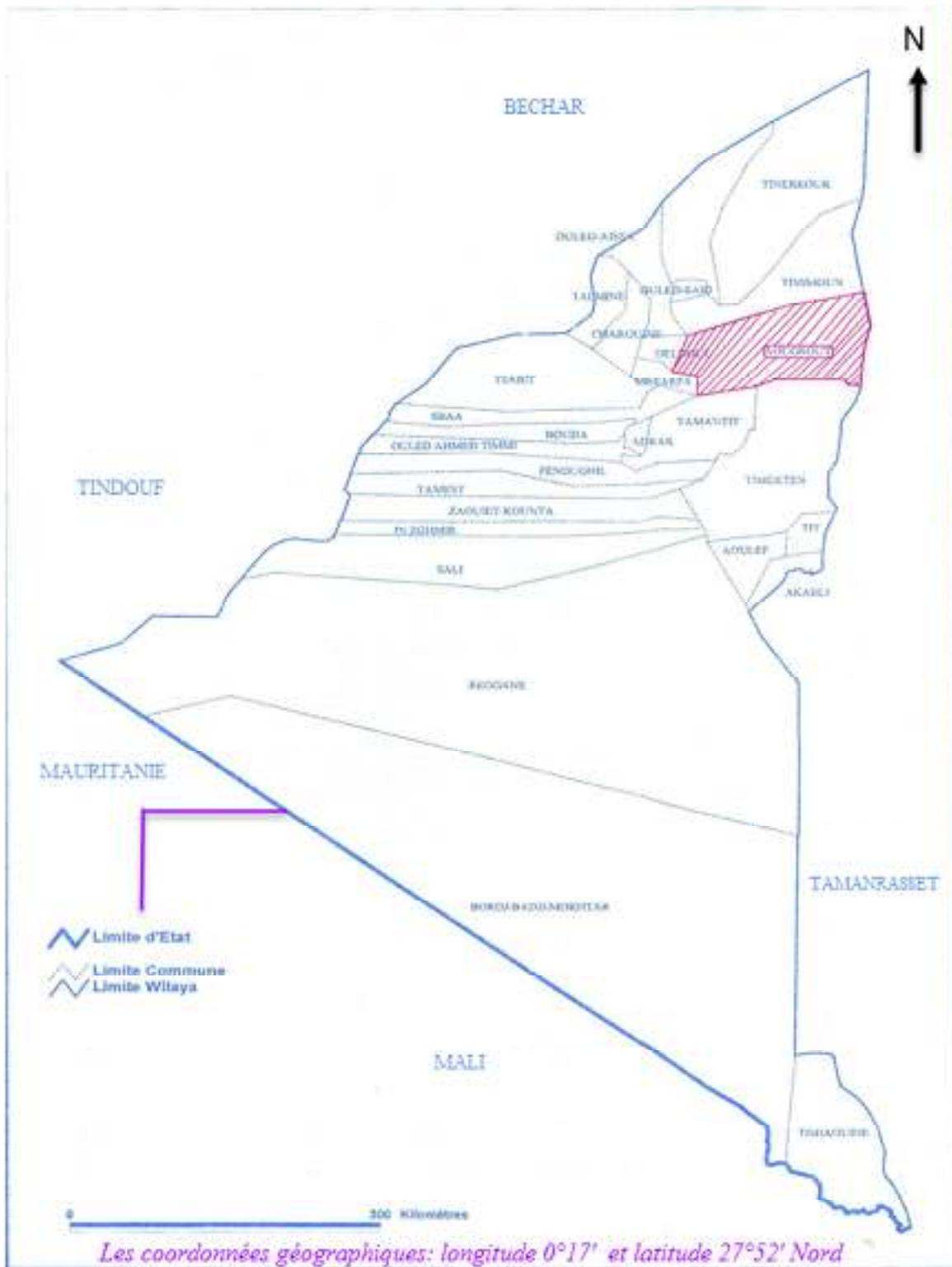


Fig.2: Situation générale de La région d'AOUGROUT.

I.1.3- Localisation du projet :



Fig.3:Image satellitaire de palmeraie d'Ouled Mahmoud.

La palmeraie d'Ouled Mahmoud a été située dans Daïra d'Aougrou la Commune Metarfa a une superficie de 1.417 km² de densité de population égale à 5.69 (Hab /km²).

I.2 - ETUDE CLIMATOLOGIQUE :

Le climat a travers les aires de AOUGROUT 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 1990-2010

Station	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Année	
Adrar	m	23.2	16.4	9.5	5.6	4.5	7.2	10.8	15.6	19.3	24.8	26.8	26.7	15.9
	M	39.8	32.8	25.4	21.6	20.3	27.8	32.2	36.2	36.2	42.5	44.9	44.3	32.6
	T	31.5	24.6	17.45	13.6	12.4	17,5	21,5	25,9	27,75	33,65	35,85	35,5	24.25

m : Moyennes mensuelles et annuelles des minima

M : Moyennes mensuelles et annuelles des maxima

T: Valeurs moyennes mensuelles des maxima et des minima

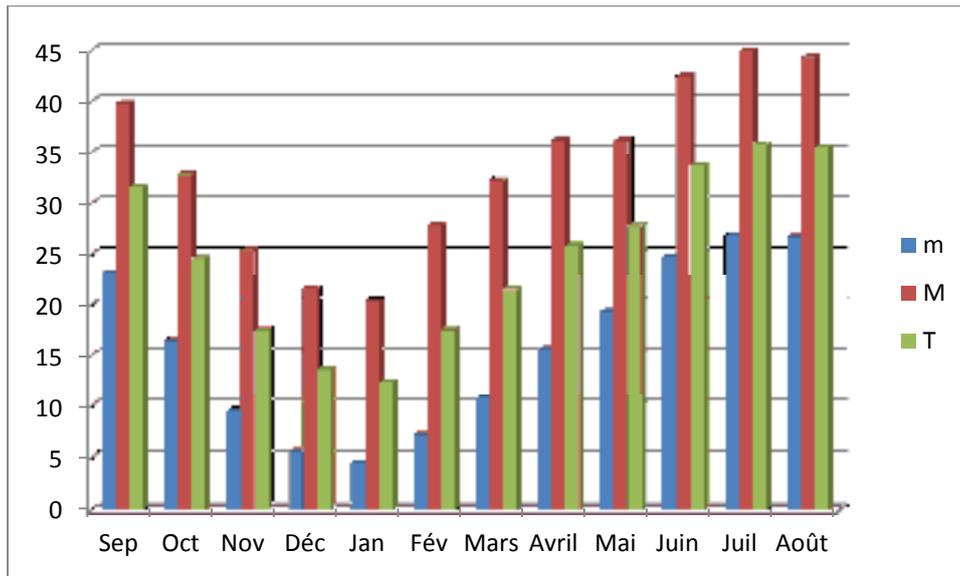


Fig.4 :l'histogramme de Moyennes mensuelles des températures (C°) période 1990-2010

I.2.2 -Insolation :

Nous disposons une série de mesures :

Tableau I.2 : Moyennes mensuelles d'Insolation période 1990-2010

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	At	ANNEE
Heure/J	9.4	9.1	9.0	8.2	8.4	9.4	9.3	9.6	10.6	11.1	10.9	10.1	9.59

I.2.3 – La pluviométrie :

La région de la wilaya d'Adrar est une zone ou 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 1990-2010

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	At	ANNEE
P(mm)	0.2	0.4	0.4	0.3	7.6	2.1	1.2	0.9	0.2	0.1	0.1	0.05	13.2

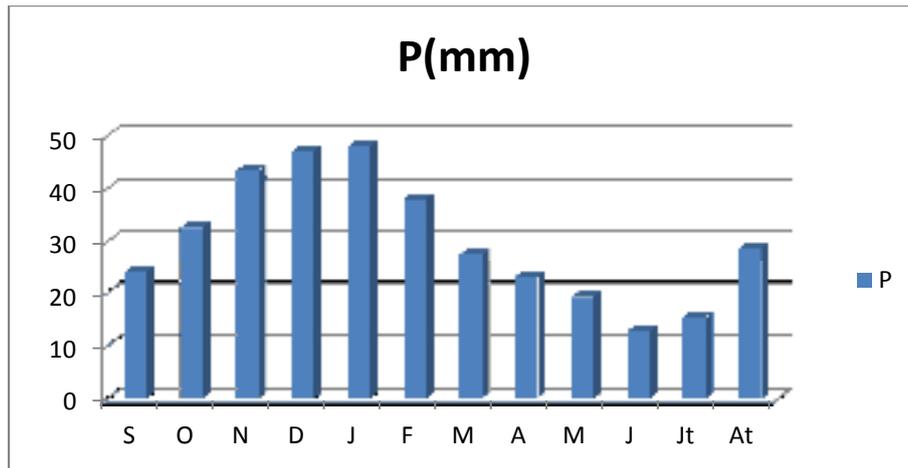


Fig.5:l'histogramme de la pluviométrie

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.

I.2.4 - L'humidité :

Tableau I.4 : Humidité relative à la station d'Adrar période 1990-2010

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	At	ANNEE
HR(%)	23.9	32.6	43.4	47.1	48.0	38.0	27.5	23.1	19.2	15.0	12.7	15.4	28.8

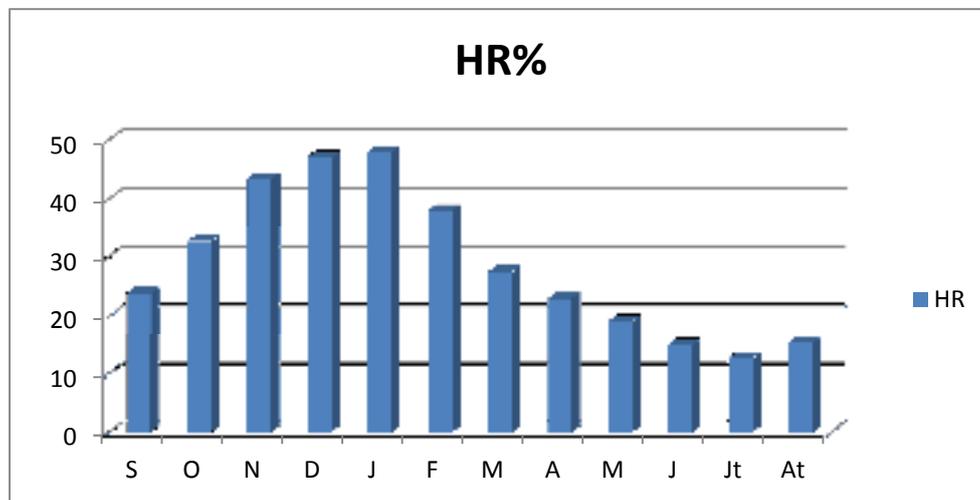


Fig.6:l'histogramme de l'humidité relative

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 1990-2010 voir tableau ci-dessus le déficit, hygrométrique va en augmentant de Juillet (htr=12.7%) à Janvier (htr=48%).

I.2.5 - Le vent

Dans notre secteur d'étude le bulletin climatologique à été fait par l'ONM pour la période 1990 -2010.La force du vent est estimée d'après une échelle dite « Echelle télégraphique »

Qui est comme suit :

Tableau. I.5 : Force du vent à la station d'Adrar de la période 1990-2010

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	1990-2010

- 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 1990-2010 sont mentionnées dans le tableau suivant :

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 1990-2010

Tableau I.6 : vitesse du vent à la station d'Adrar de la période 1990-2010

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	At	Année
Vitesse (m/s)	5.6	5.5	5.3	4.8	5.7	5.6	7.0	6.3	6.0	5.5	5.8	5.7	5.7

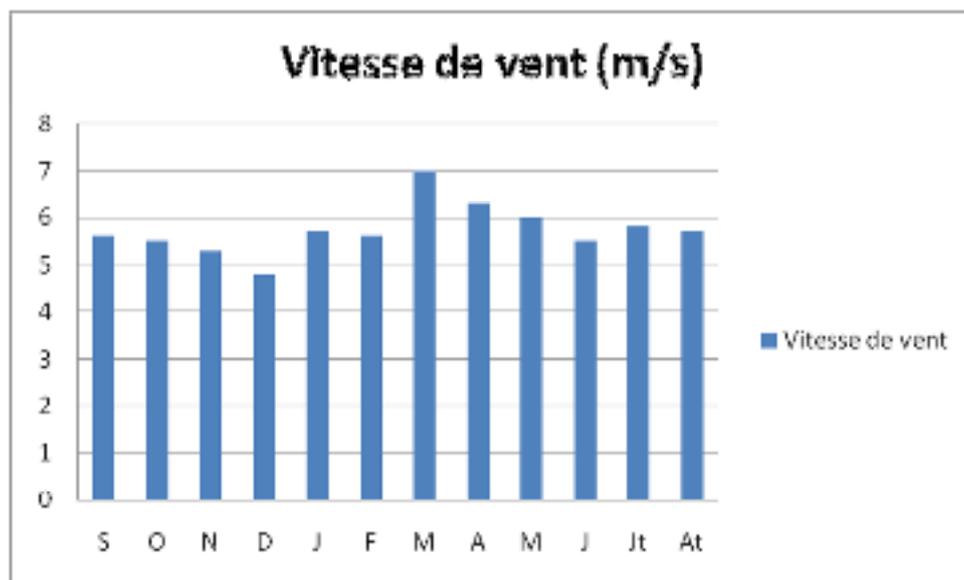


Fig.7:L'histogramme de la vitesse du vent

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	Annuel	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	1990-2010
Fréquence	3	4	3	5	9	11	9	5	6	8	7	8	6.8	1990-2010

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 (1990-2010) 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 période1990-2010

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	At	total
L'évaporation(mm)	504	354	248	194	206	241	339	425	560	570	638	616	4895

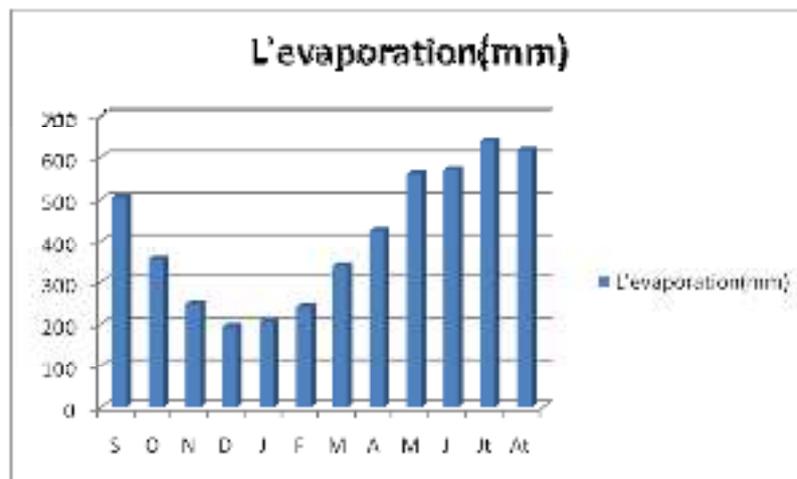


Fig.8: l'histogramme de l'Évaporation à la station d'Adrar période1990-2010

Le diagramme de la figure (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 le 200mm.

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

I.2.7 - L'évapotranspiration de référence :

L'évapotranspiration de référence ET_0 en mm/mois est calculée dans un période de 20 années (1990-2010) par le biais du logiciel **Cropwat 8.0** utilise la méthode de penman-monteith dans la photo suivant :

Month	Min Temp °C	Max Temp °C	Humidity %	Wind m/s	Sunshine hours	Radiation MJ/m ² /day	ET0 mm/month
January	4.5	20.3	48	5.7	8.4	14.6	146.69
February	7.2	27.8	38	5.6	9.4	18.1	201.73
March	10.8	32.2	28	7.0	9.3	20.7	319.26
April	15.1	36.2	23	6.3	9.8	23.4	354.12
May	19.3	36.2	19	6.0	10.6	25.8	379.73
June	24.0	42.5	15	5.5	11.1	26.7	419.73
July	26.8	44.9	13	5.8	10.9	26.3	469.93
August	26.7	44.3	15	5.7	10.1	24.4	446.51
September	23.2	39.8	24	5.6	9.4	21.6	355.65
October	16.4	32.0	33	5.5	9.1	18.6	270.26
November	9.5	25.4	43	5.3	9.0	15.0	176.33
December	5.6	21.6	47	4.8	8.2	13.7	140.99
Average	15.9	33.7	29	5.7	9.6	20.8	3680.94

Fig.9 : L'évapotranspiration de référence ET_0 par le biais du logiciel Cropwat 8.0

On applique les donnés de l'évapotranspiration dans l'histogramme suivant :

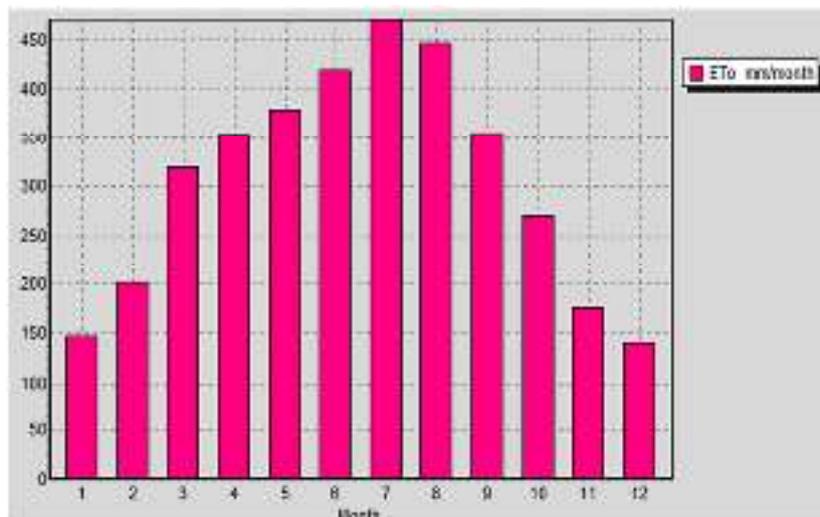


Fig.10 :L'histogramme d'évapotranspiration de référence (ET_0)

L'histogramme de l'évapotranspiration de référence ET_0 donne une décroissance de la valeur 469.93mm au mois de juillet jusqu'à 140.99mm 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.

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

P : précipitation moyenne annuelle en (mm)

T : température moyenne annuelle en ($^{\circ}C$). IA : indice d'aridité.

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

Tableau I.9 : Classification du climat selon MARTONE

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 :

$$P = 13.2\text{mm} \quad T = 24.25^{\circ}C \quad IA = \frac{13.2}{24.25+10} = 0.39$$

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 :

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

Q : coefficient pluviométrique d'EMBERGER.

P : précipitation moyenne annuelle en (mm).

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

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

Pour : $P=13.2 \text{ mm}$; $M=44.9 \text{ °C}$; $m=4.5 \text{ °C}$.

D'où : $Q = 4$

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 : Saharien.

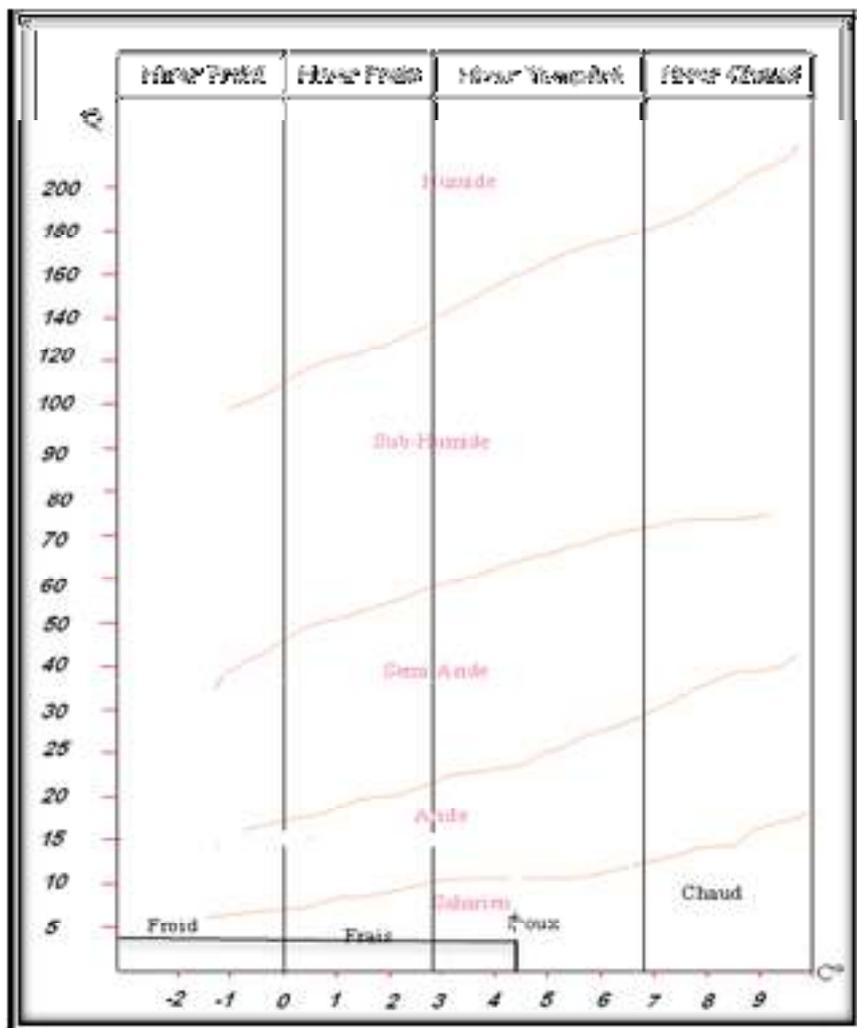


Fig.11: diagramme bioclimatique d'EMBERGER

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'ADRAR.

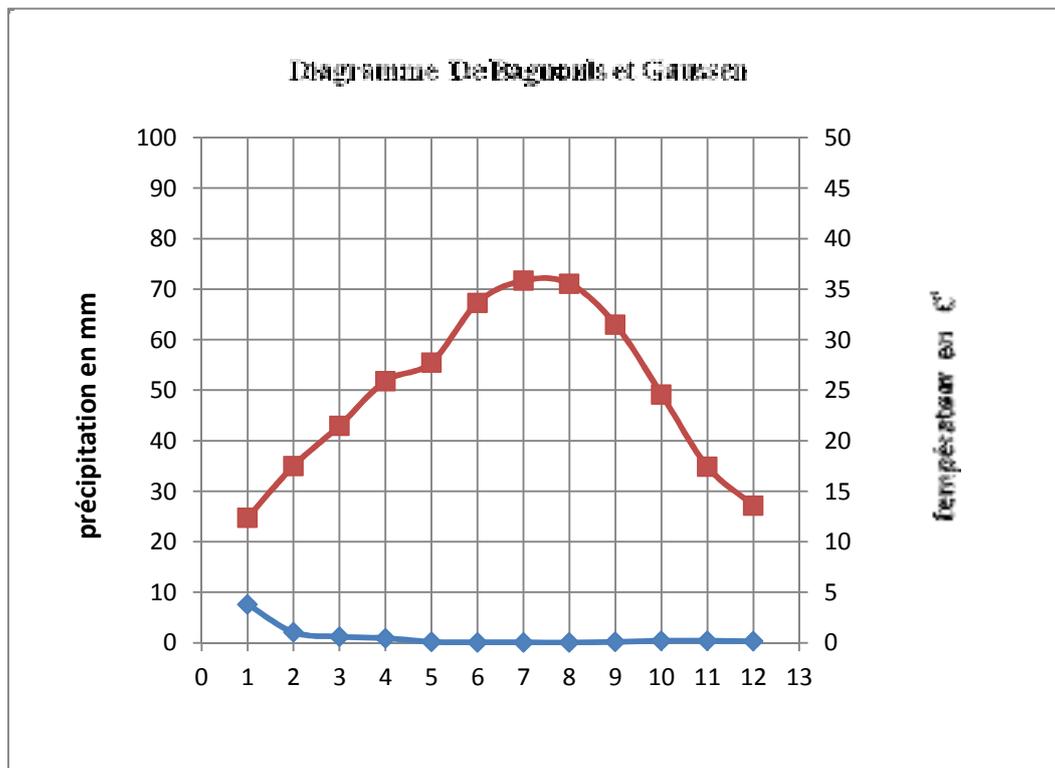


Fig.12 : diagramme de BAGNOULS ET GAUSSEN

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

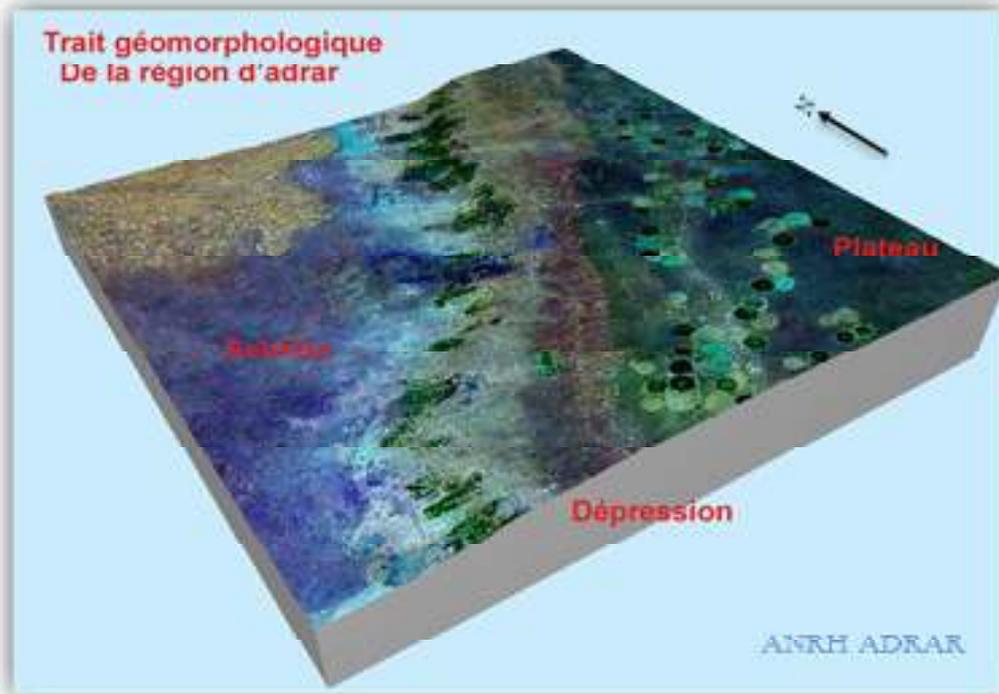


Fig. 13: Traits géomorphologique de la région d'Adrar

I.3 .2- Topographie :

La topographie de la palmeraie d'Aougroust est caractérisé par une topographie plane à légèrement ondulée, la pente varie de 0 à 2% (Moyenne 0.7%) environ, sous forme d'une cuvette vers la sebkha.

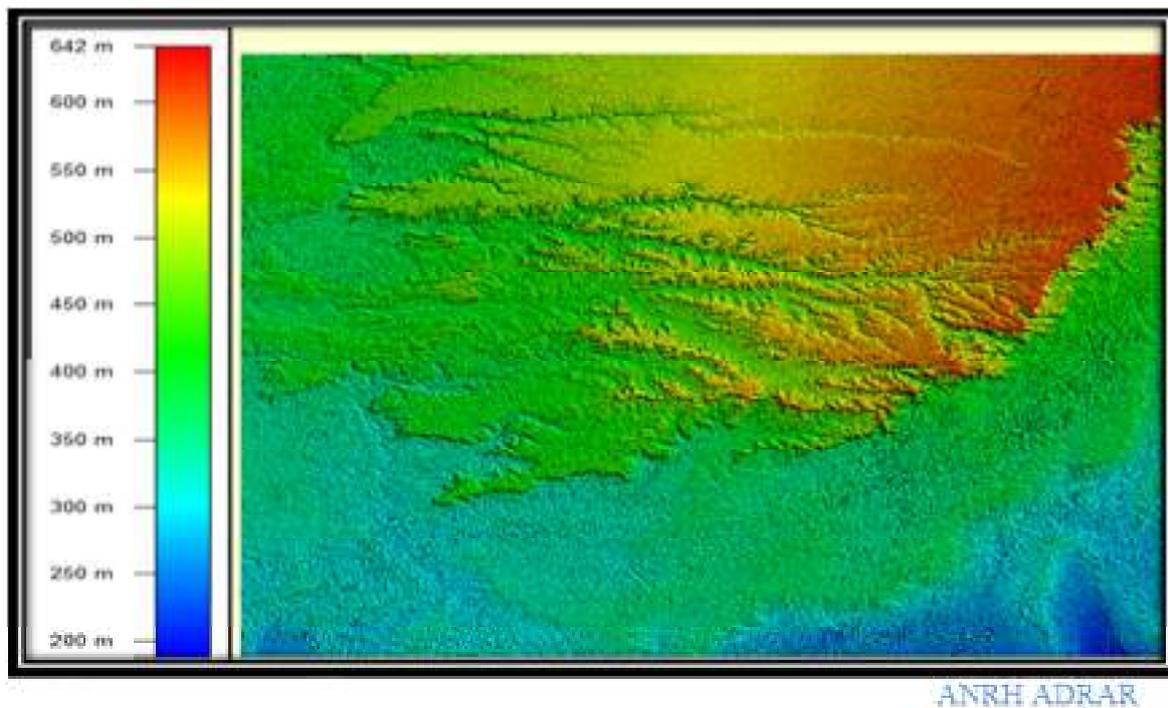


Fig. 14: Relief de la région d'Adrar.

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 grès quartzite.

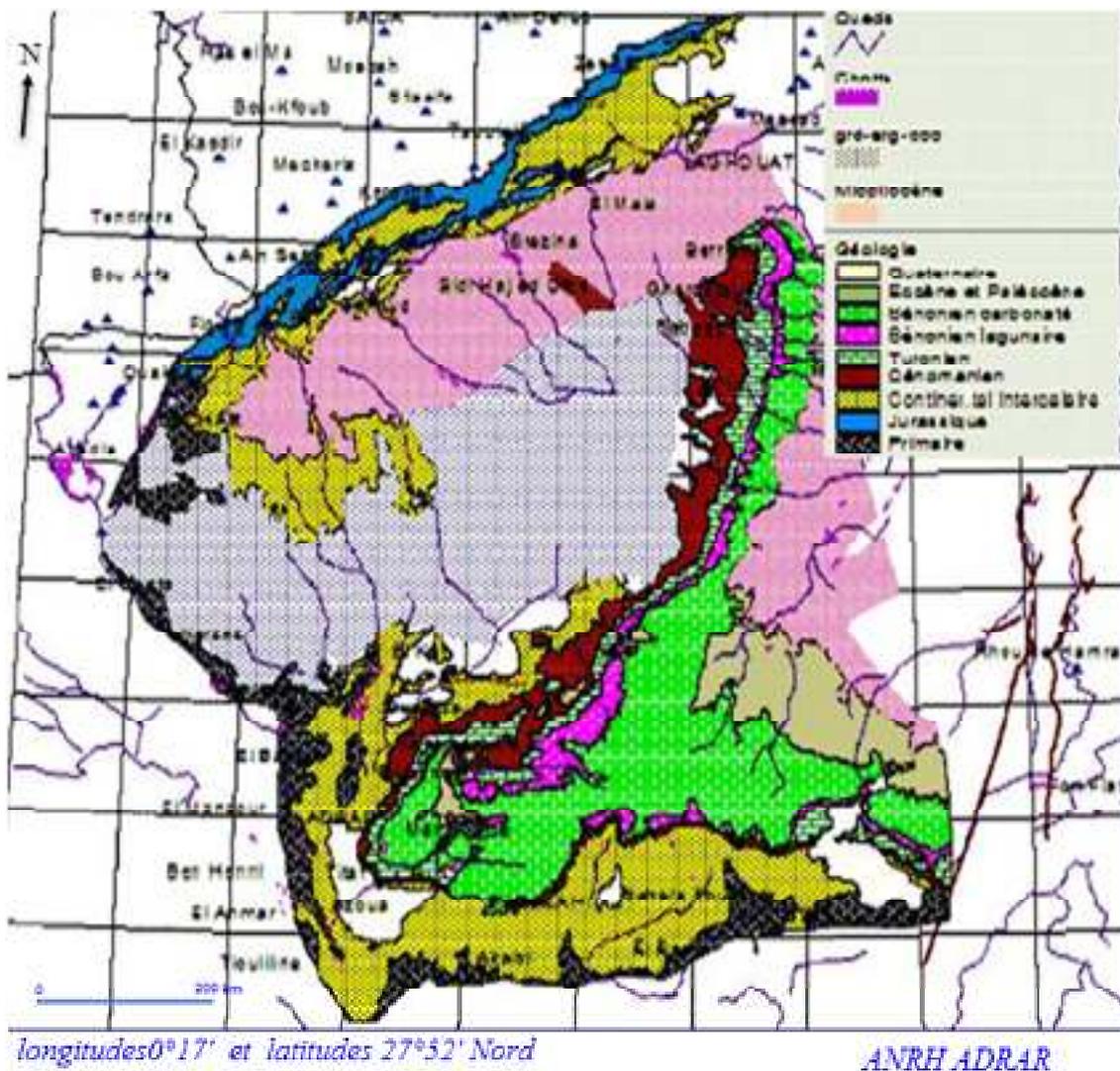


Fig.15 : Carte géologique de la région d'Adrar

I.4.2- Etude Hydrogéologique :

La palmeraie de Ouled Mahmoud est alimentée par la nappe phréatique qui fait l'exutoire de la nappe du Continental Intercalaire (CI) qui est appelé « Nappe Albienne » les eaux sont contenues dans les dépôts salio-gréseux.

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

Les affleurements, apparaissant au pied des plateaux post-cénomaniens du Tademaït, forment un croissant dont le sud-ouest est exploité par les foggaras d'Aougrout.

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

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

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.16 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.

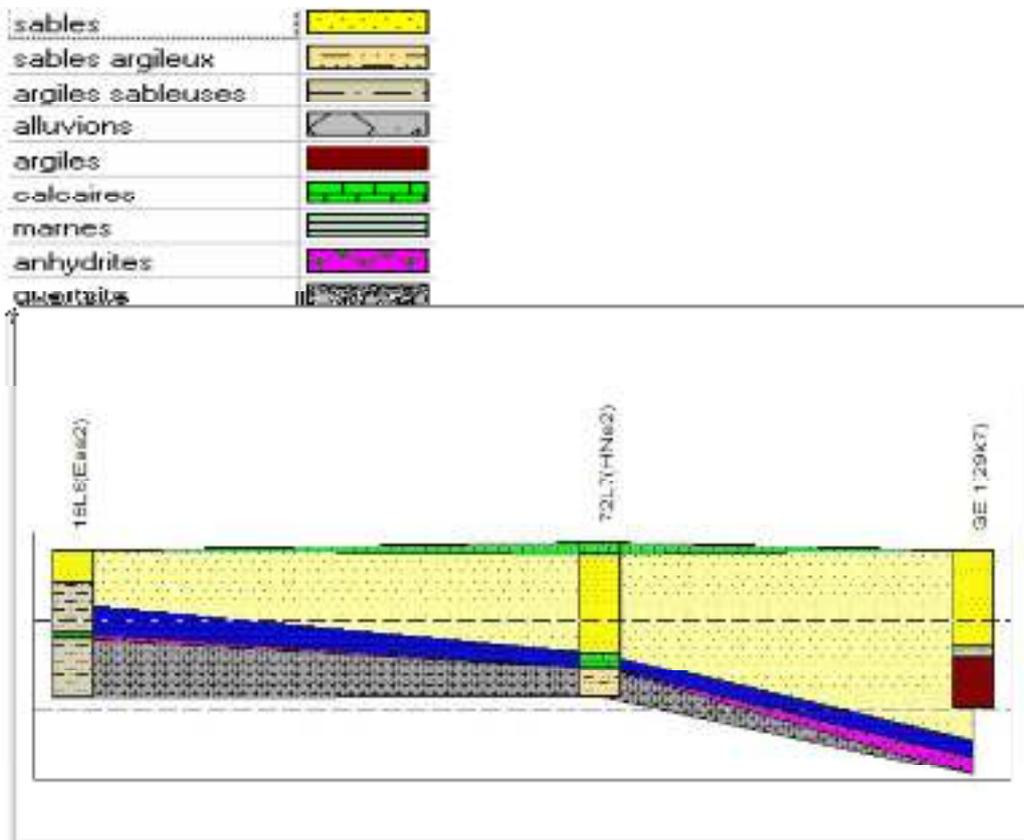


Fig.16: les différentes couches de la nappe Continentale Intercalaire

I.4.2.2-Puissance utile de réservoir de CI :

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.

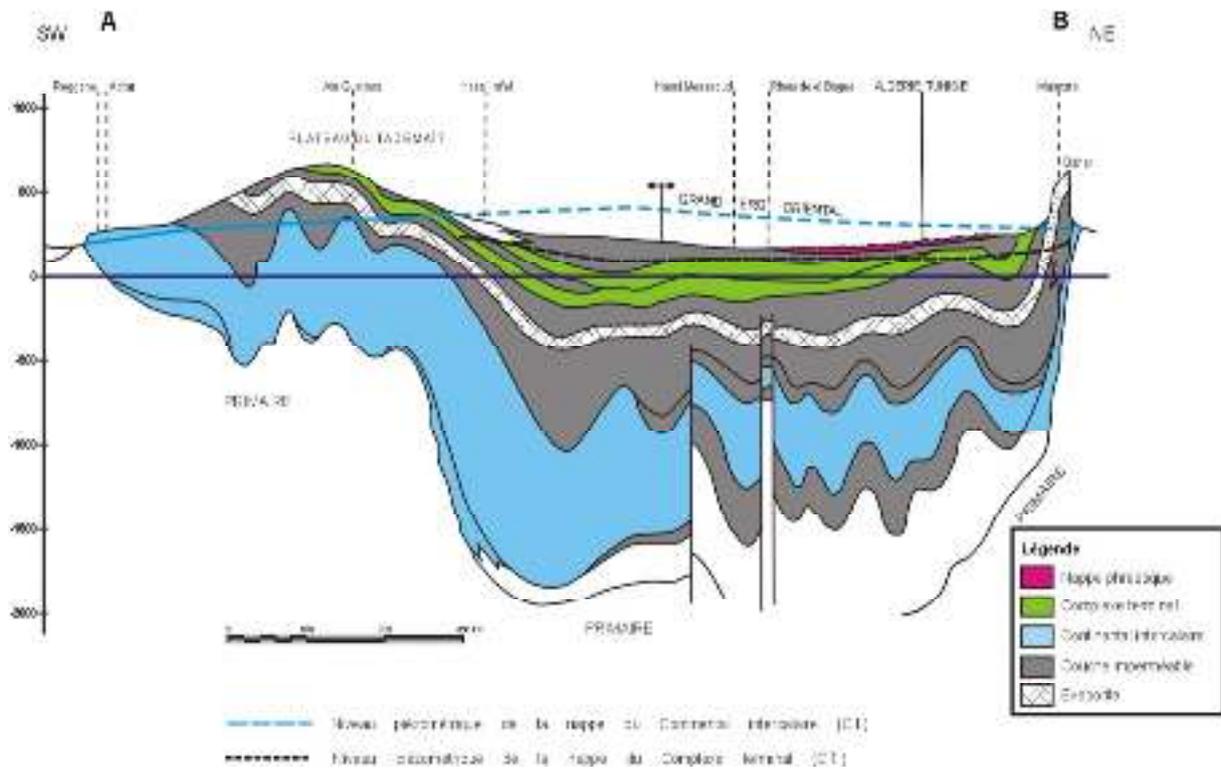


Fig.17: Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (d'après UNESCO 1972)

I.4.2.3-Niveau statique de la nappe aquifère de CI :

Ce système hydraulique encore souvent appelé "nappe albienne" 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 Tadmait (Forages d'Ain bel bel).

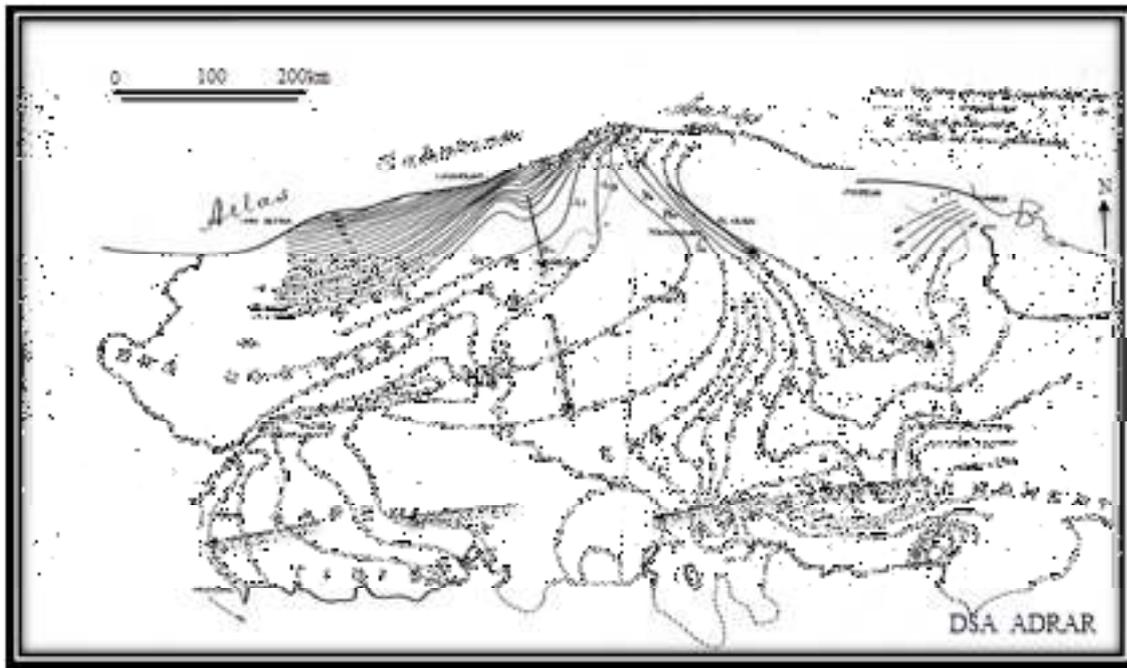


Fig.18 : Carte des iso pièzes des Continentale Intercalaire de période d'année 2005
 Les affleurements, apparaissant au pied des plateaux post cénomaniens du Tademaït et Tinnert, forment un croissant dont le sud- ouest est exploité par les foggaras du Gourara (Aougrou).
 Par contre, le plateau limitant la palmeraie est composé généralement de formation de sable-
 limoneux limité en profondeur avec une couche d'argile rouge.

I.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 :** $n_e=22\%$
- ✓ **La porosité totale (n) :** varie entre 24% et 28%.
- ✓ **La transmissivité:** varie entre 0.1 et 0.001 m^2/s

I.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 (CI) 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- Calcul hydrogéologique :**Détermination du coefficient de filtration (K):**

Pour déterminer les coefficients de filtration des différentes couches on utilise la loi de Darcy
 $Q = KiA$ Avec :

Q - débit

K - Coefficient de perméabilité

A - Surface (Section)

i - Gradient hydraulique

Avec : $i = \frac{h}{L}$ et $V = \frac{Q}{A} \text{ m/s}$ $K = \frac{V}{i}$

- 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, \dots, K_n ; 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 :

$$K_{\text{moy}} = \frac{\sum_1^n K_n \cdot E_n}{\sum_1^n E_n}$$

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 et les analyses au laboratoire des sols de la palmeraie d'Ouled Mahmoud sont formées de sable fin. K_1 ; sable limoneux K_2 et sable argileux K_3

D'où : $K_1 = 36 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$; $K_2 = 0.06 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$; $K_3 = 0,005 \cdot 10^{-6}$.

$$K_{\text{moy}} = 15,02 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$$

C'est le coefficient de perméabilité moyen de la palmeraie d'Ouled Mahmoud.

I.5- Etude Agro-Pédologique :

I.5.1- Etude de sol :

La palmeraie d'OULED MAHMOUD 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, éolidés en reg qui sont inaptés 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 d'OULED MAHMOUD permet de quantifier le niveau des contraintes qui affectent la plus grande partie des sols de cette région.

I.5.2-LA PROSPECTION DE TERRAIN :

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.

I.5.3-ASPECTS GEOMORPHOLOGIQUES :

Cette zone test se situe entre le plateau de Tademaït 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 grésocalcaire) et dans les interstices de sable limoneux et les niveaux graveleux,
- Des dépressions, qui dans certains cas semblent évoluer vers des Sebkhass (forte concentration des sels et du gypse).

I.5.4-Description pédologique :

Dans la palmeraie d'Ouled Mahmoud, un nombre de profils jugés représentatifs (séquences parcourant l'ensemble des unités morphologiques ainsi qu'un nombre maximum d'unité reconnues homogènes par la classification préliminaire) ont été étudiés. Ils ont été caractérisés par 42 profils qui ont fait l'objet d'une description (voir synthèse dans le tableau I.10).

L'étude de ces profils fait ressortir une couverture pédologique 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.

I.5.5: Résultats des analyses des profils:

Tableau I.10: Résultats des analyses des profils:

N° Profil	CE mmhos/cm	PH Profil	N°Profil	CE mmhos/cm	PH Profil
01	3.10	7.9	22	12.66	8.65
02	0.59	7.8	23	7.51	8.53
03	3.14	8.3	24	9.71	8.49
04	4.75	8.4	25	13.73	8.39
05	3.21	8.3	26	9.55	8.70
06	3.79	8.4	27	5.99	8.57
07	3.34	8.3	28	0.31	8.69
08	3.74	8.2	29	0.37	8.72
09	6.22	8.4	30	2.40	8.08
10	9.11	8.6	31	1.14	8.25
11	3.22	8.5	32	3.59	8.44
12	2.8	8.4	33	0.25	8.01
13	17.63	8.61	34	4.25	8.44
14	18.90	8.67	35	1.20	8.79
15	5.65	8.49	36	13.55	8.32
16	1.05	8.40	37	1.52	8.11
17	0.33	8.60	38	17.63	8.24
18	16.11	8.73	39	18.90	8.31
19	1.36	8.22	40	5.65	8.52
20	11.50	8.69	41	1.05	8.55
21	12.30	8.76	42	1.33	8.09

On détail les Résultats des analyses des profils comme suivant:

- 0 – 16 cm** *Sec, couleur 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 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.*

I.5.6-Description du sol :

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 bloquent les espaces poreux des sols, ni l'eau ni l'air ne peuvent y circuler ils doivent être constamment irrigués il est donc préférable d'avoir des sols salés que des sols sodiques ou l'ion Na démantèle 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 salé : $2.4 < CE < 6$ mmhos/cm.

Extrêmement salé : $CE > 6$ mmhos/cm

Les résultats d'analyses montrent une conductivité électrique comprise entre 0.31 et 18.9 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 7.8 et 8.79

CONCLUSION :

De l'examen des données, La région d'AOUGROUT, située au nord de la Wilaya fait partie du Gourara plane à légèrement ondulée, d'une superficie de 18 842 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'Aougrou 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.

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 salés 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 élevée 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.

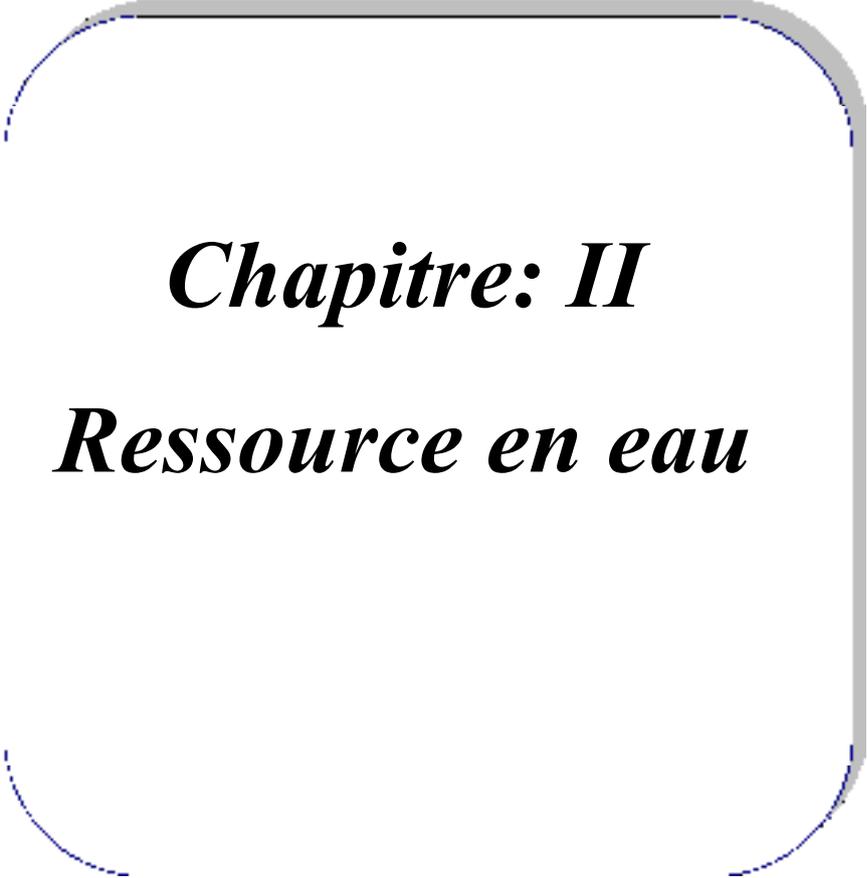
-Les phénomènes de toxicité : les toxicités sont principales dues au chlore et au bore en solution de sodium échangeable.

L'éventuelle dégradation des caractéristiques physique des sols 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 généralement l'installation d'un réseau de drainage est indispensable, sinon la salinisation secondaire est à craindre.



Chapitre: II
Ressource en eau

INTRODUCTION :

Les principales ressources en eaux dans la région d'Aougrout 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.

II.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 distingué :

1-Les forages.

2-Les puits.

3-Les foggaras

II.1.1-Les Forages :

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

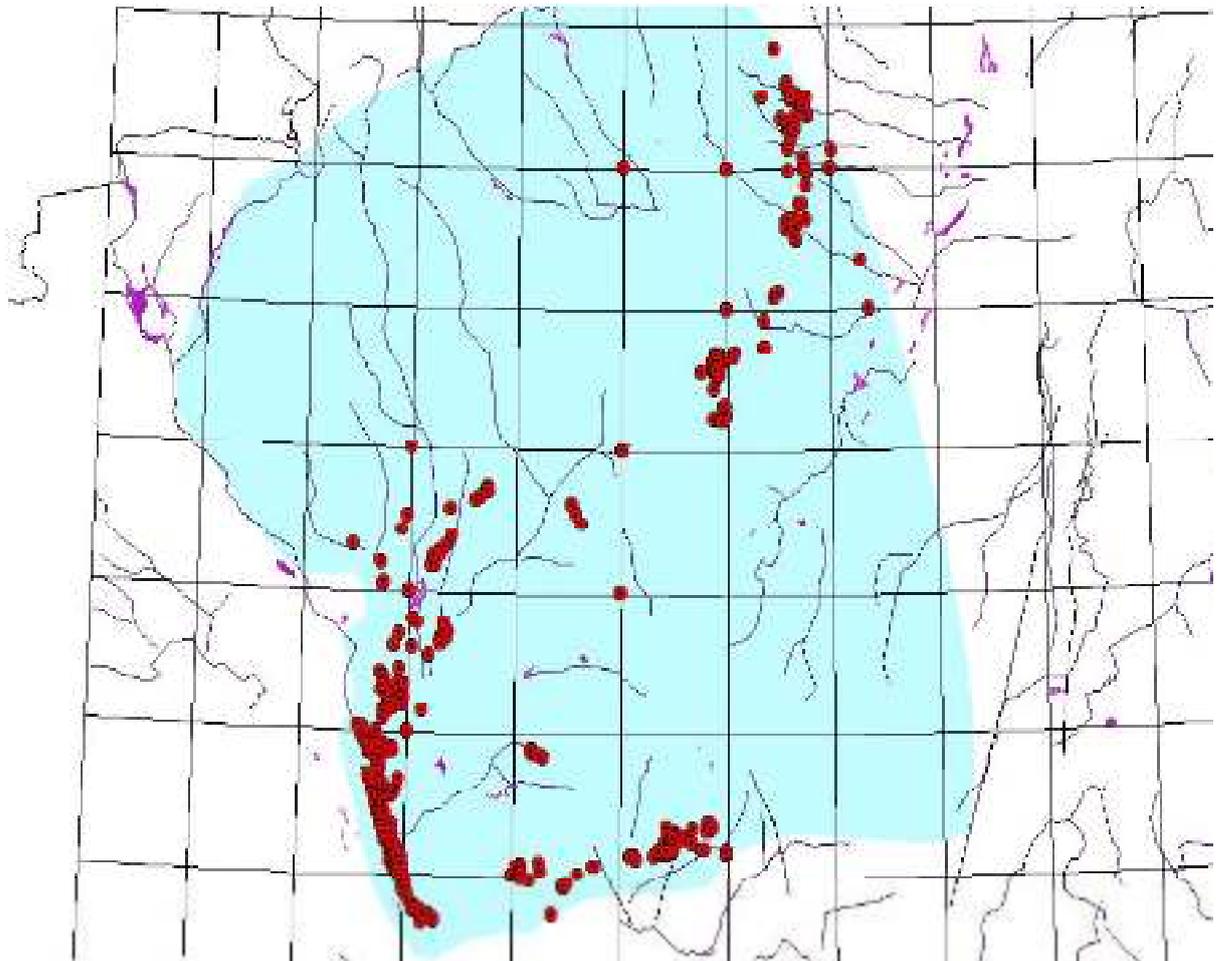


Fig.19: Situation des forages exploités dans le bassin occidental

II.1.2-Les foggaras :

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.

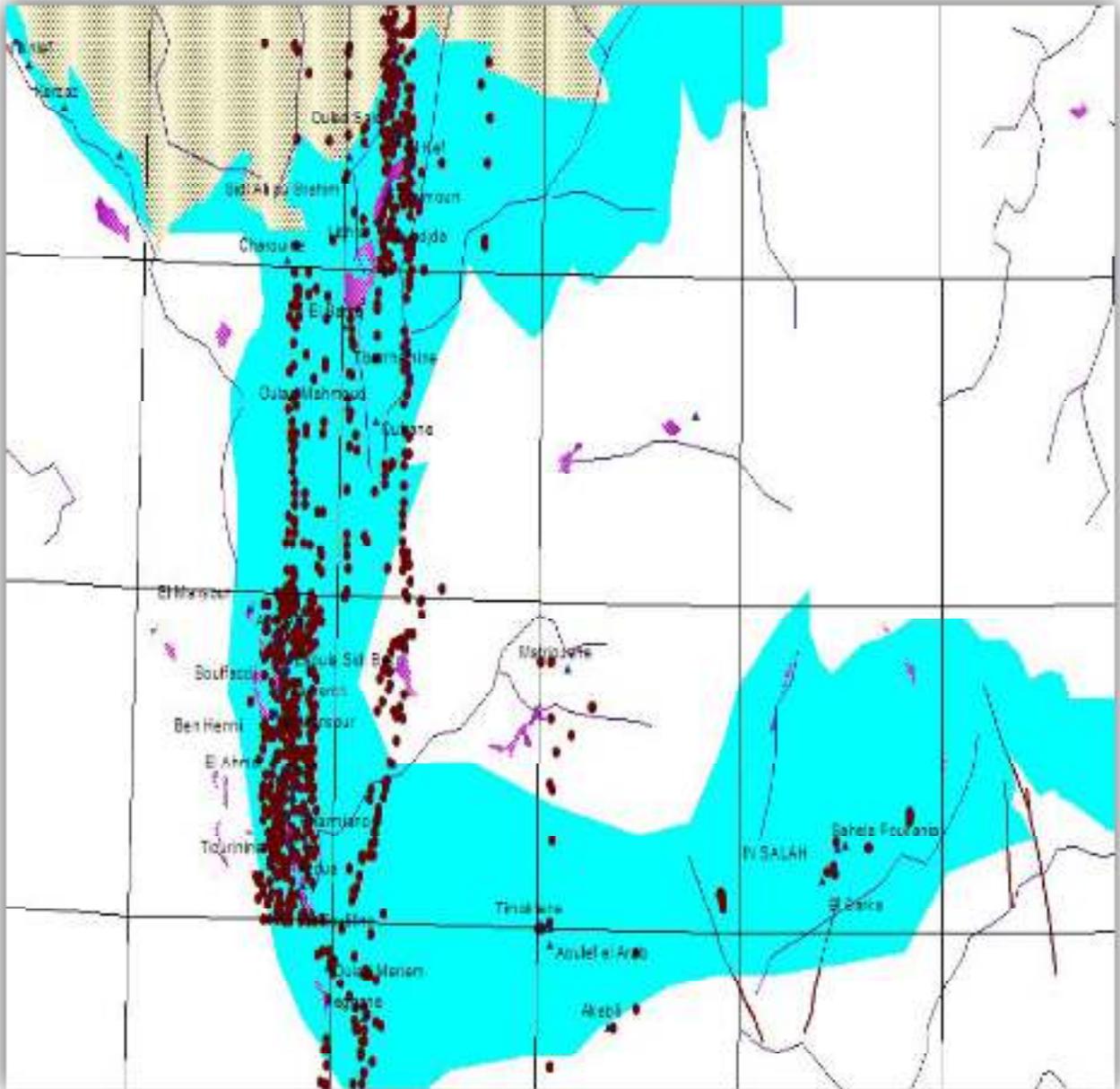


Fig.20: situation de l'ensemble des foggaras dans la région d'Adrar

II.1.2.1-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.

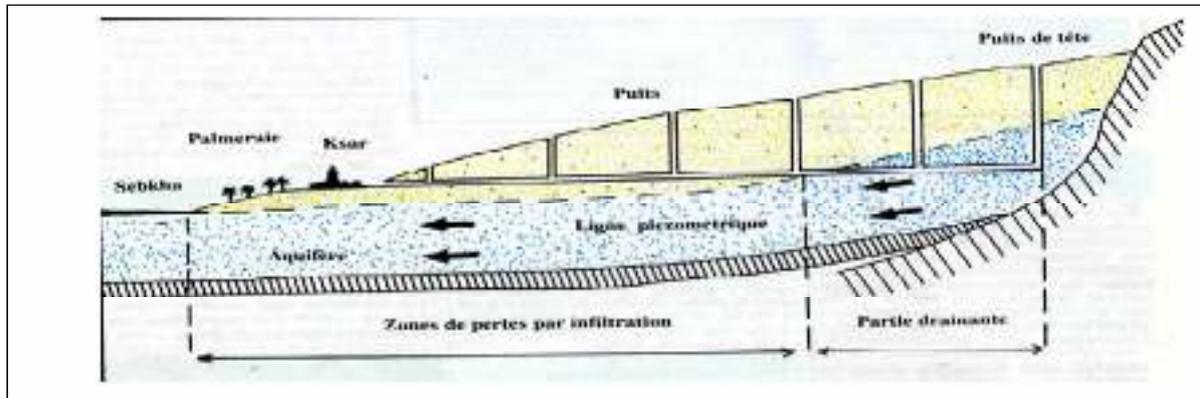


Fig.21: Schéma de fonctionnement de la foggara

II.1.2.2-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'Aougrouit 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.

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.

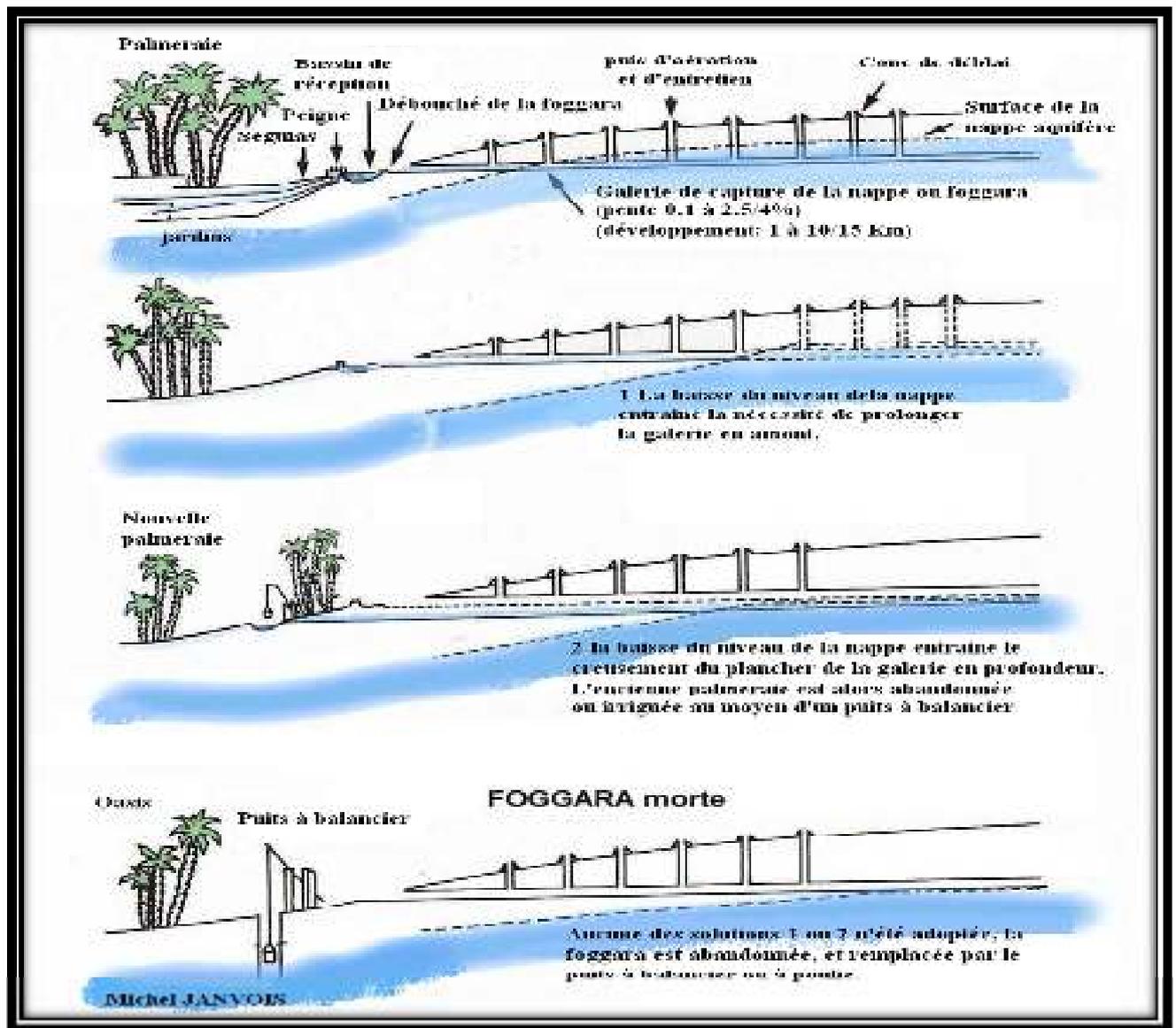


Fig.22 : Evolution des foggaras

Un autre sens en résumé 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.

II.1.2.3-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.

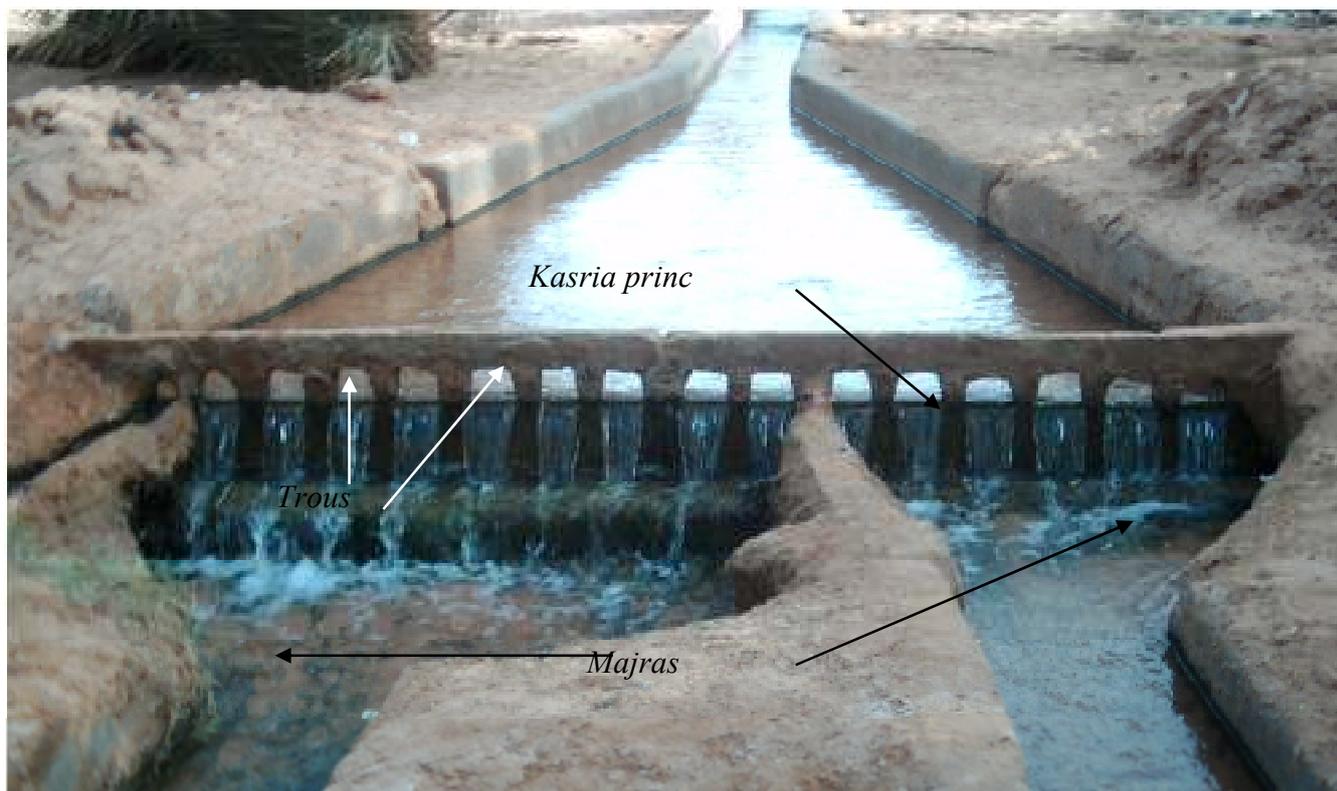


Fig.23: Kasria principale à la sortie des foggaras

II.2-Le débit à apporter par les Foggaras et les Puits d'Ouled Mahmoud :

On a fait un tableau qui représente le débit à apporter par les Foggaras de la zone d'Ouled Mahmoud.

Tableau II.1 : Le débit à apporter par Foggaras d'Ouled Mahmoud

Nom de la foggara	Débit L/s	Superficie
BOUCHENAFI	05	180ha
BAHOTI	0,5	
BOUALLALA	0,5	
GOUIRA (Legouera)	01	
HAOUACHE	02	
OUALID	0,714	
Total	9,71	180ha

-Le débit total des foggaras :

$$Q_f = 9.711/s = 0.00971 \text{ m}^3/s = 34.956 \text{ m}^3/h = 838.944 \text{ m}^3/\text{jour} = 25178,69 \text{ m}^3/\text{mois} .$$

$$Q_f = 306340,70 \text{ m}^3/\text{an}.$$

- Débit apporté par les Puits :

Le débit à apporter par les Puits (Q_p) :

D'après les constats effectués sur place il ya 13 puits, avec un débit de 0,5 L/S par puits

D'où le débit des puits

$$Q_p = 0,5 \times 13 = 7,5 \text{ L/s} = 19440,00 \text{ m}^3/\text{mois} = 233280,00 \text{ m}^3/\text{an}$$

$$Q_p = 233280,00 \text{ m}^3/\text{an}$$

Le débit à apporter à la palmerais

$$Q = Q_f + Q_p = 306340,70 + 233280,00 = 539620,7 \text{ m}^3/\text{mois}$$

$$Q = 539620,70 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$$

II.3-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 les tableaux suivant :

Tableau II.2:Résultats des analyses des eaux des Foggaras:

N° Fog	Désignation	Résultats des analyses										
	Nom de Foggara	PH	CE ms/cm	Re.Sec mg/l	NO3- mg/l	PO4- mg/l	Mat.Ox mg/lO2	Ca++ mg/l	Mg++ mg/l	Na+ mg/l	K+ mg/l	CL- mg/l
1	BOUCHENAFI	7,49	3,96	2600	80,00	0	0,00	455	75	290	39	450
2	BAHOTI	7,50	3,20	2100	63,00	0	0,00	255	73	340	37	525
3	BOUALLALA	7,91	1,72	1100	51,00	0	0,00	72	56	203	20	280
4	GOUIRA(Legouera)	7,64	2,32	1460	63,00	0	0,00	72	59	310	32	406
5	HAOUACHE	6,88	1,95	1220	57,00	0	0,00	81	53	230	24	380
6	OUALID	7,92	6,50	4200	170,0	0	0,00	357	165	800	40	1000

Tableau II.3: Résultats des analyses des eaux des points d'eaux:

N° Point	Désignation	Résultats des analyses										
	Point d'eau	PH	CE ms/cm	Re.Sec mg/l	NO3- mg/l	PO4- mg/l	Mat.Ox mg/102	Ca++ mg/l	Mg++ mg/l	Na+ mg/l	K+ mg/l	CL- mg/l
1	Eau de Forage	7,69	1,27	800	28,00	2	0,00	65	38	155	12	90
2	Eau de puits	7,47	2,07	1290	46,00	0	0,00	51	55	280	23	350
3	Eau de puits	7,65	2,39	1510	68,00	0	0,00	81	56	312	33	450
4	Eau de puits	7,48	2,72	1740	105,0	0	0,00	149	43	360	33	515
5	Eau de puits	7,54	1,82	1160	55,00	0	0,00	89	38	240	24	360
6	Eau de puits	7,57	1,79	1140	43,00	0	0,00	81	51	220	17	330
7	Eau de drainage	7,79	41,7	32000	50,00	0	0,00	766	462	9400	325	5100
8	Eau de drainage	8,06	16,62	12000	25,00	0	0,00	774	199	3100	160	3600

II.4- 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.

II.4.1-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 II.4: 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

II.4.2- 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 $S.A.R > 26$.

II.5: calcul de SAR pour chaque point :**II.5.1- calcul de SAR pour des Foggaras:****Tableau II.5:calcul de SAR pour des Foggaras:**

N°	Nom de Foggara	Ca^{++} (mg/l)	Mg^{++} (mg/l)	Na^+ (mg/l)	SAR
1	BOUCHENAFI	455	75	290	17,81
2	BAHOTI	255	73	340	26,54
3	BOUALLALA	72	56	203	25,37
4	GOUIRA (Legouera)	72	59	310	38,30
5	HAOUACHE	81	53	230	28,09
6	OUALID	357	165	800	49,51

II.5.2-calcul de SAR pour des points d'eaux

Tableau II.6 : calcul de SAR pour des points d'eaux

N°	Point d'eau	Ca ⁺⁺ (mg/l)	Mg ⁺⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	SAR
1	Eau de Forage O,Mahmoud	65	38	155	21,59
2	Eau de puits	51	55	280	38,46
3	Eau de puits	81	56	312	37,69
4	Eau de puits	149	43	360	36,74
5	Eau de puits	89	38	240	30,11
6	Eau de puits	81	51	220	27,08
7	Eau de drainage	766	462	9400	379,35
8	Eau de drainage	774	199	3100	140,54

II.6- Classification des eaux :

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

Tableau II.7: Les résultats de la classification d'eaux

N°	Nom de Foggara	Ca ⁺⁺ (mg/l)	Mg ⁺⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	SAR	CE	classe de l'eau
1	BOUCHENAFI	455	75	290	17,81	3,96	C3- S1
2	BAHOTI	255	73	340	26,54	3,20	C3- S1
3	BOUALLALA	72	56	203	25,37	1,72	C1- S1
4	GOUIRA(Legouera)	72	59	310	38,30	2,32	C2- S1
5	HAOUACHE	81	53	230	28,09	1,95	C1- S1
6	OUALID	357	165	800	49,51	6,50	C5- S1
7	Eau de Forage O,Mahmoud	65	38	155	21,59	1,27	C1-S3
8	Eau de puits	51	55	280	38,46	2,07	C2-S1
9	Eau de puits	81	56	312	37,69	2,39	C2-S1
10	Eau de puits	149	43	360	36,74	2,72	C2-S1
11	Eau de puits	89	38	240	30,11	1,82	C1-S1
12	Eau de puits	81	51	220	27,08	1,79	C1-S1
13	Eau de drainage	766	462	9400	379,35	41,7	-
14	Eau de drainage	774	199	3100	140,54	16,62	-

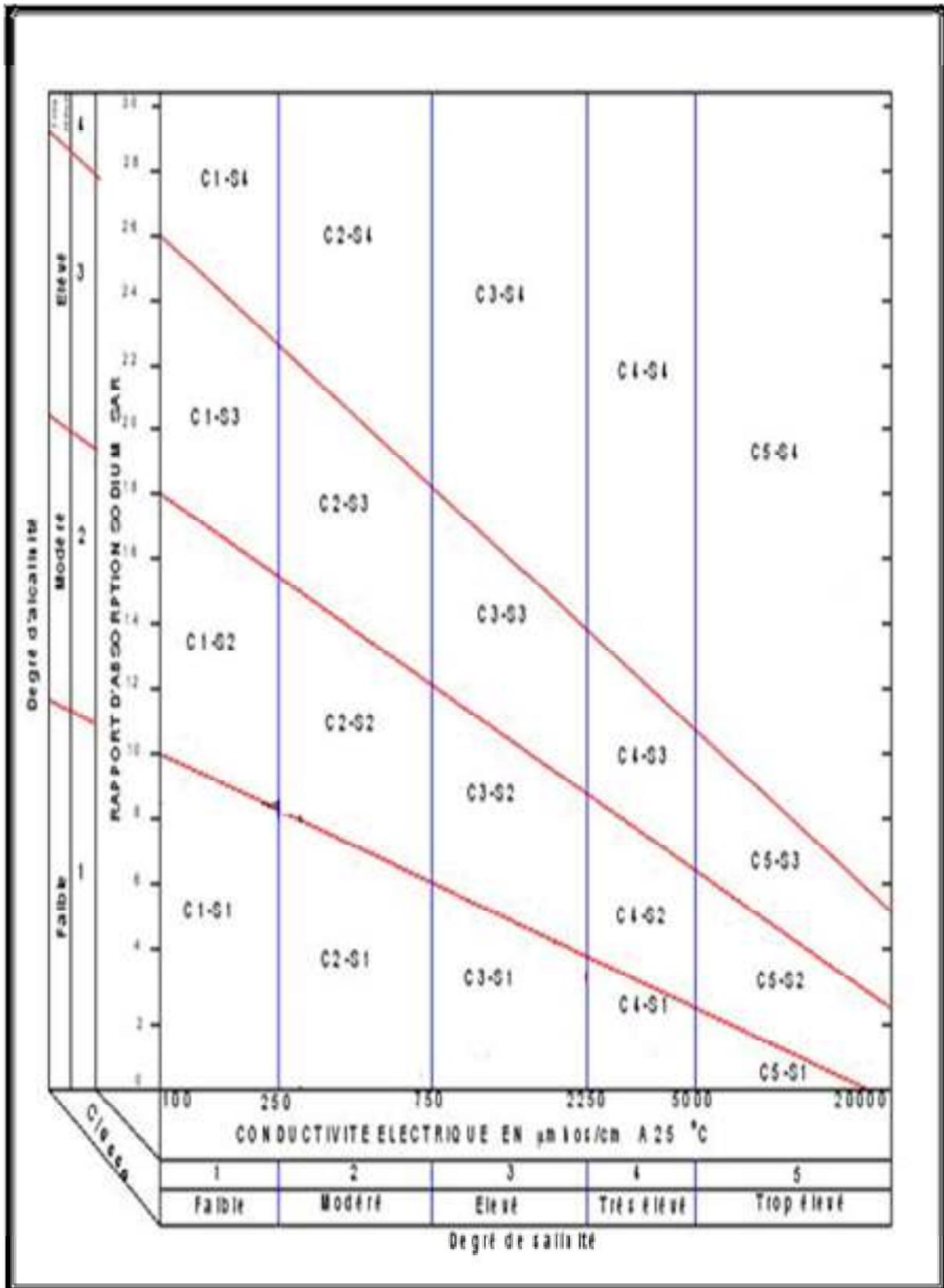


Fig.24: diagramme de classification des eaux d'irrigation

Conclusion :

L'activité principale dans la région d'étude est l'agriculture des palmiers dattiers avec une superficie totale des palmeraies de 1855 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 1078 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 284 ha. Les puits assurent l'arrosage d'une superficie de 377 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: III
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.

III.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 Timimoune composé de 10 Communes situées en bordure de la grande SEBKHA de Timimoune :

-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 BADIJIMOKHTAR et TIMIAOUINE.

- Superficie (km²) = 132.579

III.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

III.3-Infrastructures hydrauliques :**III.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.

III.3.1.1-Réseau d'Assainissement :**Tableau III.1: Inventaire des réseaux d'Assainissement**

WILAYAS	Racc. Moy (%)	Longueur du réseau (Km).			Volume rejeté (m3/j)
		Primaire	Secondaire	Total	
ADRAR	83,0	100	240	340	15262

Source: DHW

III.3.1.2- Réseau d'AEP :**Tableau III.2: Inventaire des réseaux d'AEP**

Wilaya	Volumes distribués (m3/j)	Dotation (l/j/h)	Taux de raccordements en %
Adrar	71 744 000	202	95

Source: DHW

III.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 III.3 IV.3 : Inventaire des foggaras

Nbre. de foggaras actives en 2005	950
Nbre. de foggaras tarées en 2005	580
Longueur totale des galeries	3236 km
Débit total en 2005	2820 l/s
Débit total en 1990	3150 l/s

Source : DSA 2008/2009

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

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

Tableau III.4: La répartition des terres agricole

Désignation	Unités	Surface
Superficie agricole total	Ha	347650
Superficie utilisée	Ha	33272
Superficie irriguée		23814
- Par gravité	Ha	18814
- Par aspersion		2742
- Par goutte à goutte		2258

Source DSA 2008/2009

III.4.2-La production agricole et leur superficie :**Tableau III.5: Les différentes cultures de la wilaya d'Adrar**

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

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 2008/2009.

Tableau III.6: état du palmier dans la wilaya d'Adrar

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

Source DSA 2008/2009

III.4.3-L'agriculture dans la région d'Aougrout :

L'inventaire des superficies agricoles de la région d'Aougrout est résumé dans le tableau suivant :

Tableau III.7: Statistiques des superficies agricoles:

Communes	Superficie agricole totale	Superficie agricole utilisée	Superficie agricole irriguée	Superficie Du palmier dattier
Aougrout	10903 ha	703 ha	548 ha	582 ha
Almtarfa	2696 ha	858 ha	858 ha	889 ha
Deldoun	550 ha	174 ha	163 ha	280 ha
Total	14149 ha	1735 ha	1569 ha	1751 ha

Source DSA d'Adrar 2008/2009

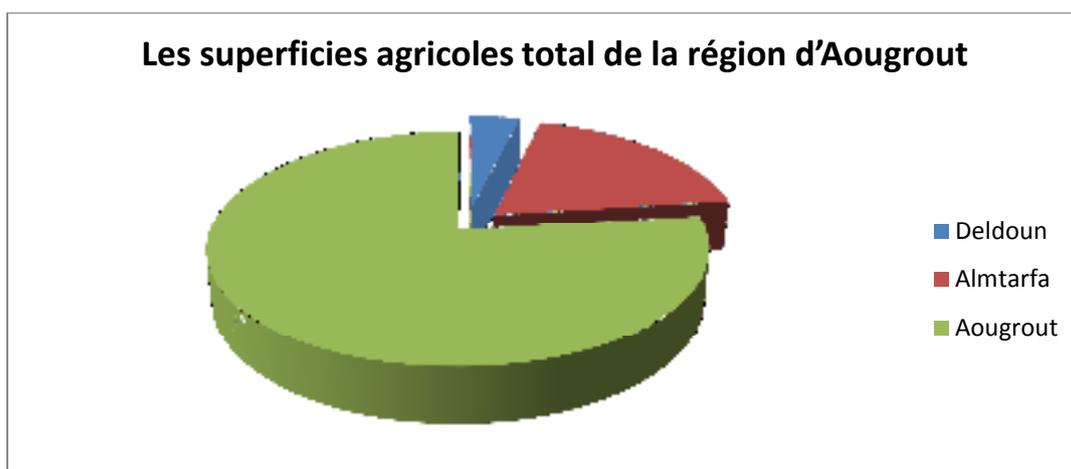


Fig.25: superficies agricoles de la région d'Aougrou

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 d'Aougrou n'en utilise que 14%.
- Plus de 90% de la superficie agricole utile de la région est irriguée, alors que la commune d'Aougrou enregistre seulement 77,75% 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 III.8: Superficies agricoles:

Communes	Superficies en (ha)			Total
	Secteur traditionnel	Grande mise en valeur	Petite mise en valeur	
Aougrou	315	203	185	703
Elmtarfa	618	90	150	858
Deldoun	187	21	96	304
Total	1120	314	431	1865

Source DSA d'Adrar 2008/2009

Ces données montrent que la majorité des terres (62,68 %) sont exploitées de façon traditionnelle, la commune d'Aougrou 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.

III.5-L'irrigation de la palmeraie :

Les ressources en eau utilisées 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 :

III.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.

III.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.

III.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 paiement des factures d'électricité très salées.

III.6-Description générale de problème :

III.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.26: Le problème de salinité

III.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'halo morphisme est aggravé également par l'absence de réseau de drainage (dessalage)*

III.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.

III.6.3-Effet de salinité des sols : 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.).

III.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.

III.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 alcalin-salins). Les sels solubles concernés sont essentiellement : Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ , Cl^- , SO_4^- , HCO_3^- (bicarbonates), CO_3 et NO_3 .

Si l'eau d'irrigation appliquée contient des quantités relativement significatives d'ions sodium (Na^+) par rapport aux quantités présentes d'ions magnésium (Mg^{2+}) et d'ions calcium (Ca^{2+}), et en particulier si l'ion bicarbonate (HCO_3^-) 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 III.9: les Catégories des sols salés

	CE à 25 °C mS.cm ⁻¹	ESP
Sols salins	>4	< 15
Sols alcalins (sodique)	< 4	> 15
Sols alcalin-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 III.10 elles correspondent à des niveaux de rendement pour différents seuils de conductivité électrique de sol.

Tableau III.10: 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 (pastèque)	<1.0 --	> 8.0 --	-- <1.3	-- >11	>11.5 >14.5
Oignon	<1.2	>7.5	--	--	>11
Piment	--	--	--	--	>31
Palmier	<4	>32	--	--	>14.5

III.6.6-Solutions préventives et curatives possibles :



Fig.27: 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.*

- Plus de quelque problème lié d'excès d'humidité du sol d'Ouled Mahmoud est causé essentiellement par les facteurs suivantes :

- apports en provenance des eaux usées d'assainissement des habitations*
- excès des eaux d'irrigation*
- défaut de drainage interne*

Conclusion :

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

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 côté 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: IV
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.

IV.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.

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 :

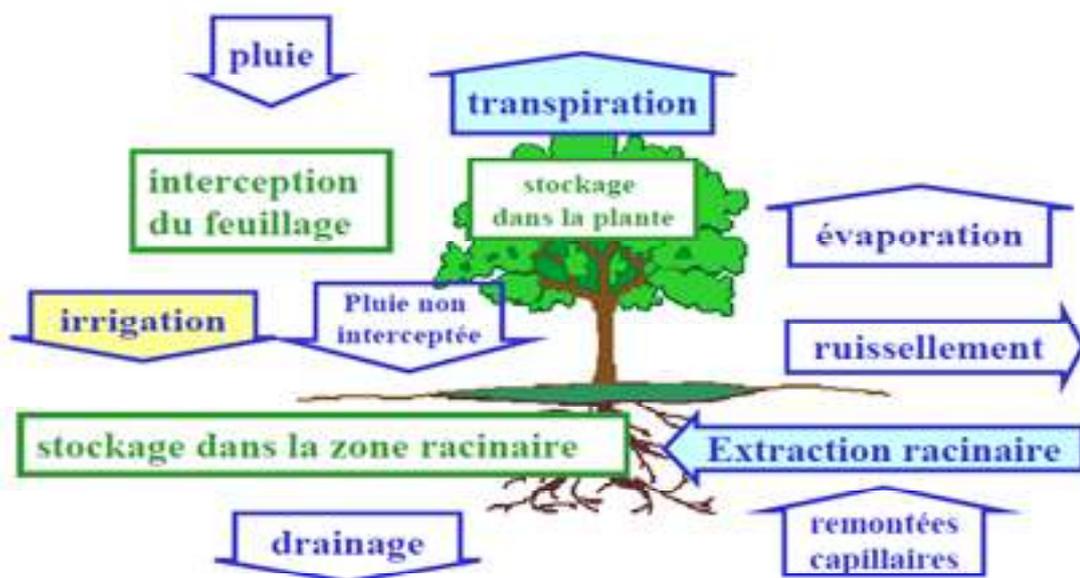


Fig.28: schéma de bilan hydrique

Pour déterminer l'évapotranspiration de la culture (ETc) on utilise l'évapotranspiration de référence (ETo) 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.

IV.2- L'évapotranspiration potentielle de référence (ETo) :

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

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

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

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

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

IV.2.2- Methode 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 comptent des conditions météorologiques diurnes et nocturnes.

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

Où :

$$ET_c = C^* \left[\frac{R_n}{\rho_a} + \frac{(\rho_a - \rho_w)^* f(u)^* (e_w - e_a)}{\rho_a} \right]$$

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

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

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.

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 IV.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 IV.2: résultats de l'évapotranspiration de référenc

Mois	Temp Moy °C	Humidité %	Vent m/s	Insolation heures	Ray. MJ/m ² /jour	ETo mm/mois
Janvier	12.1	48	5.7	8.4	14.6	146,69
Février	15.4	38	5.6	9.4	18.1	201,73
Mars	19.6	28	7.0	9.3	20.7	319,26
Avril	24.3	23	6.3	9.6	23.4	354,12
Mai	28.4	19	6.0	10.6	25.8	379,73
Juin	34.4	15	5.5	11.1	26.7	419,73
Juillet	36.5	13	5.8	10.9	26.3	469,93
Août	36	15	5.7	10.1	24.4	446,51
Septembre	31.8	24	5.6	9.4	21.6	355,65
Octobre	24.5	33	5.5	9.1	18.6	270,26
Novembre	17.2	43	5.3	9	15.8	176,33
Décembre	13.2	47	4.8	8.2	13.7	140,99
Total						3680,93

IV.3 - évapotranspiration réelle ou culture (ETR ou ETc) :

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 ETM.

Avec : Kc coefficient cultural

$$ETc = Kc \cdot ET0$$

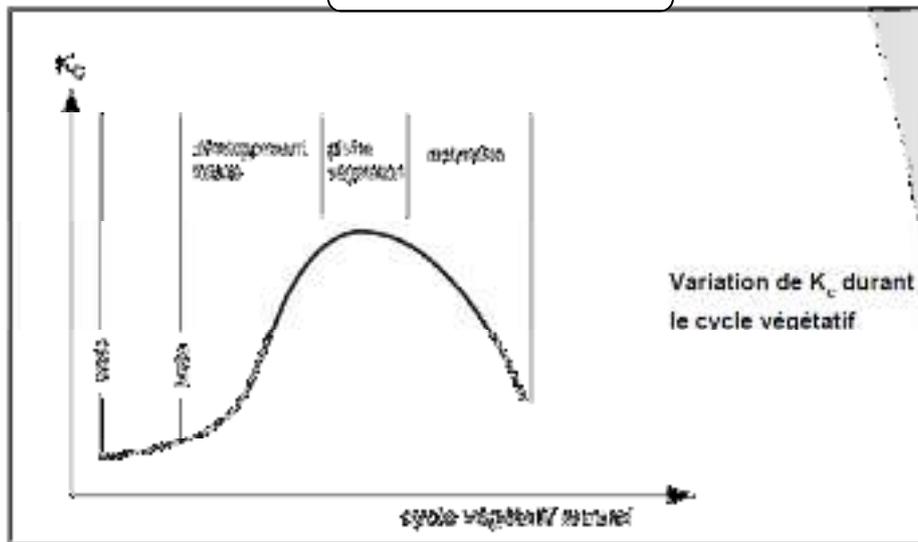


Fig.29: la variation de KC

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.

IV.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

Ou :

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

Kc : coefficient cultural

ET0 : évapotranspiration de référence

α : coefficient d'abattement des pluies

P : pluie totale

Tableau IV.3: Calendrier cultural

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU
palmier												
tomate	S						R					
ble		S					R					

IV.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.

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.

IV.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 paramètres climatiques sous ce couvert , qui conduit à une réduction de l'ETR.

Les besoins nets de chaque culture sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau IV.4: Le tableau des besoins nets en eaux pour chaque culture :

Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU	SEP	OCT	NOV	NOV	Bn Total (mm)
palmier	132	178	281	312	334	369	410	384	320	243	159	127	3249
tomate	83	98								72	83	98	434
blé	109	61									63	95	328
Total	324	337	281	312	334	369	410	384	320	315	305	320	4011

V.4-Efficacité de l'irrigation :

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 formul

*Avec : $E_i = E_t * E_d * E_u$*

IV.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.

IV.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.*

IV.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.

IV.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

IV.6.1-Le rôle du lessivage :

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

IV.6.2-Notions du bilan salin dans un sol :

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.

$$S_a + S_s + S_p + S_e = 0$$

IV.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.

IV.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.

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:

$$LR = \frac{D_w - C_i - C_{kiw}}{I_w - C_d - C_{Ede}}$$

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.

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

Suivant la quelle :

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

EC_w : Conductivité électrique de l'eau d'irrigation (EC_w = 1.3mmhos / 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 = 3.23 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.

IV.6.5- Calcule de dose de lessivage:

En utilisant la formule de RHOADS (Leaching Requirement)

$$\Rightarrow LR = \frac{1.3}{5 \cdot 3.23 - 1.3} = 0.087$$

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

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

Tableau IV.5: Calcul de la dose de lessivage

Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	V _l (mm)
palmier	12,66	17,08	26,96	29,93	32,04	35,40	39,34	36,84	30,70	23,31	15,25	12,18	311,71
tomate	7,96	9,40								6,91	7,96	9,40	41,64
ble	10,46	5,85	26,96								6,04	9,11	58,43
Total	31,08	32,33	53,92	29,93	32,04	35,40	39,34	36,84	30,70	30,22	29,26	30,70	411,78

On prend la valeur la plus important

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

$$V_l = 39.34 \cdot 10 = 393.4 \text{ m}^3/\text{ha}$$

les besoins en eau de l'irrigation sont :

$$B_n = 410 \cdot 10 = 4100 \text{ m}^3/\text{ha}$$

Donc les besoins totaux seront :

$$V_T = 393.4 + 4100 \quad V_T = 4493.4 \text{ m}^3/\text{ha}$$

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

Efficiencie de l'irrigation dans notre cas est de 40% donc les pertes est de 30% du volume total des besoins d'irrigation.

Pour notre cas on a : Rendement = 40%

$$\text{Percolation} = 30\%$$

$$\text{Donc } B_{\text{brut}} = \frac{B_{\text{net}} \cdot 100}{40} = \frac{410 \cdot 100}{40} = 1025 \text{ mm}$$

La quantité d'eau percolé :

$$Q_{\text{per}} = 1025 \cdot 0.3 = 307.5 \text{ mm.}$$

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 à la base de la quantité d'eau percolé.

Conclusion :

En conclusion si les terrains agricoles ne disposent pas d'un bon drainage naturel, elles sont presque saturées en eau. Dans ce cas, la terre se gorge d'eau, surtout durant la période hivernale, et il faut impérativement installer un système de drainage artificiel. Ce qui retient l'eau dans les couches supérieures de la terre peut être de diverses natures : des zones d'accumulation d'argile ou des couches imperméables, par exemple de grès. Par ailleurs, les argiles dites gonflantes « capturent » l'eau et empêchent son évacuation. Afin de pallier les inconvénients du mauvais drainage naturel d'un sol, on installe des dispositifs adaptés.

Chapitre : V
Choix de variante
de réseau de drainage

Introduction :

L'objet du système de drainage est la 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.

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

- ✓ Meilleure 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 temps opportun.

- ✓ Augmentation du rendement des cultures et amélioration de la qualité des récoltes.

V.2- 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.

V.3-Description de réseau de drainage existant :

Le réseau de drainage existant est formé d'un émissaire en forme de trancher creusé au niveau du sebkha a côté de la piste qui traverse le sebkha allons ver la palmeraie drainage par fossés ; l'inconvénient de cette émissaire, à une faible pente, il suit la pente du terrain naturel ce qui ramène l'exutoire au milieu de la palmeraie, plus l'entretien qui est très difficile à cause des parois du canal par fossés à ciel ouvert.

V.4-Variantes du réseau de drainage :

V.4.1- 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 0.6 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

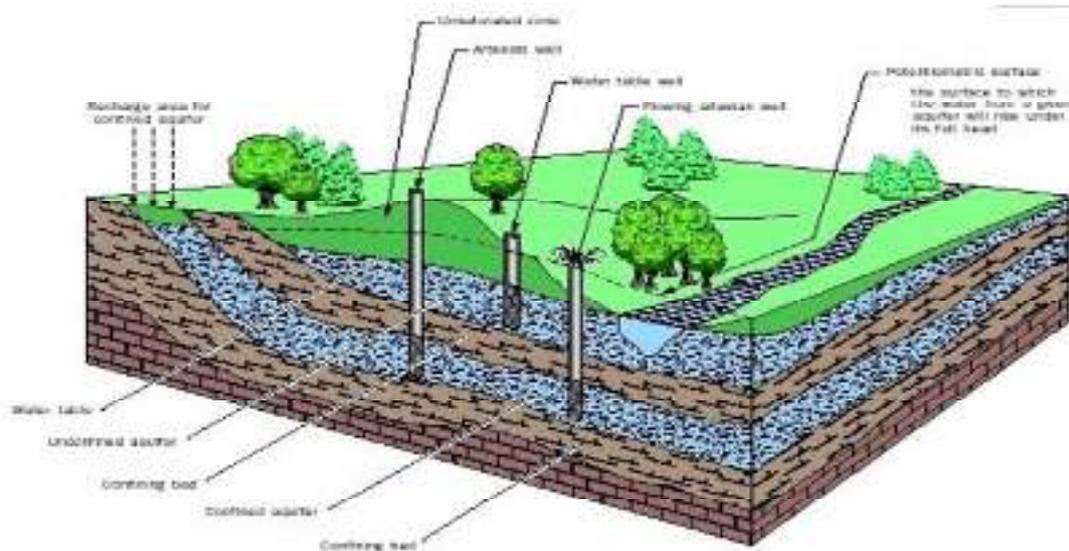


Fig.30: Drainage de surface par fossé

V.4.1.1-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.

V.4.2-Variante2: Réseau de drainage avec des par drains enterrés :

- 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 .

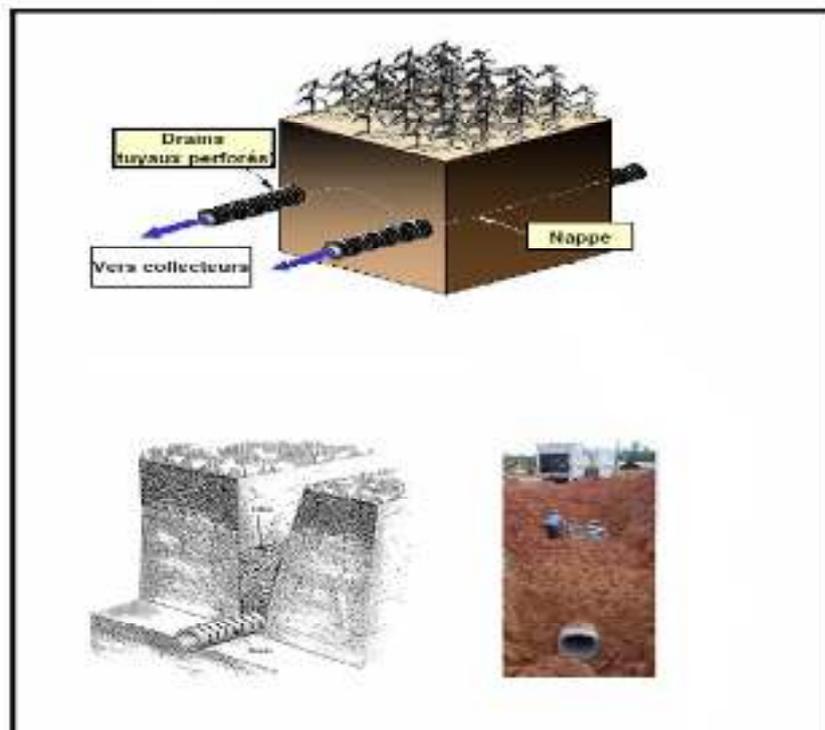


Fig.31: Drainage par drains enterrés

V.4.2.1-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. Économique 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 points névralgiques (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 élevés.

V.5- Choix des variantes du réseau de drainage :**Variante 1: Réseau de drainage avec des drains tranchés à ciel ouvert :**

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

- Réalisation simple.
- Entretien facile.

Variante 2: Réseau de drainage avec des drains fermés:

Cette variante n'est adaptée car elle a été écartée à cause des défauts suivants:

- Défaut de colmatage.
- Frais d'entretien très élevés.

V.6- Justification du réseau de drainage:

De ce qui précède dans l'étude préliminaire il y a beaucoup de problèmes tels que :

1. La salure globale mesurée sur extrait de pâte saturée, 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 principalement dues au chlore et au bore en solution de sodium échangeable
4. L'éventuelle dégradation des caractéristiques physiques des sols 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 d'Ouled Mahmoud.

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

V.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.

V.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 efficacité (40%).

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

$$\text{Avec : besoins bruts} = (\text{besoins nets} / 0.4)$$

On admet que 30% constitue des pertes, soit par percolation, ruissellement ou évaporation, donc ΔV pertes, on prendra comme volume percolé ou 30% besoins brut.

Les 30% représentent l'évaporation), et le ruissellement est négligeable vue les faible pentes et la nature de sol (sableux).

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

$$Q_{\text{per}} = Q_{\text{per}} = 1025 * 0.3 = 307.5 \text{ mm.}$$

Le calcul de q_c se fait suivant la formule suivante :

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

N : période entre deux irrigations = 10 jours

$$q_c = 307.5 / 10 = 30.75 \text{ mm/j}$$

$$q_c = 3.56 \text{ l/s/ha}$$

V.7.2- Choix de la profondeur des drains :

Le coût d'installation et l'entretien du système de drainage horizontale est étroitement lié à la profondeur de drain choisie.

Les profondeurs de drains sont comprises entre 0.80m et environ 1.20 m .du point de vue hydraulique une augmentation de la profondeur de drainage conduit à l'augmentation des écartements, et la réduction proportionnelle des linéaires de drains.

Le fond des drains et collecteurs doit être calé à une profondeur permettant de fixer la nappe ou le plan d'eau en deçà de la zone racinaire dont la norme admise pour l'arboriculture fruitière est de 0.70 m. et les palmier dattes dépassé 0.9 m A cela, il faut ajouter la hauteur de la charge hydraulique qui est de l'ordre de 0.30 m (charge normale) et la hauteur d'ascension par capillarité qui est de d'environ 0.10 m

Aussi, la profondeur optimale des drains sera de :

* à ciel ouvert 1.30 m

*enterré 1.40 m

Il faut savoir, par ailleurs, que souvent plus la profondeur des drains importante, plus l'écartement importante.

Une profondeur de 1.30m a été exigé dans le cas de drain en tranché à ciel ouvert

V.7.3- Profondeur de l'imperméable :

La couche imperméable est proche de la niveau de sol, la différence de profondeur entre la surface de la terre et le substratum imperméable est 2.5à3m dans notre cas la profondeur de pose des drains inferieur a 2m.

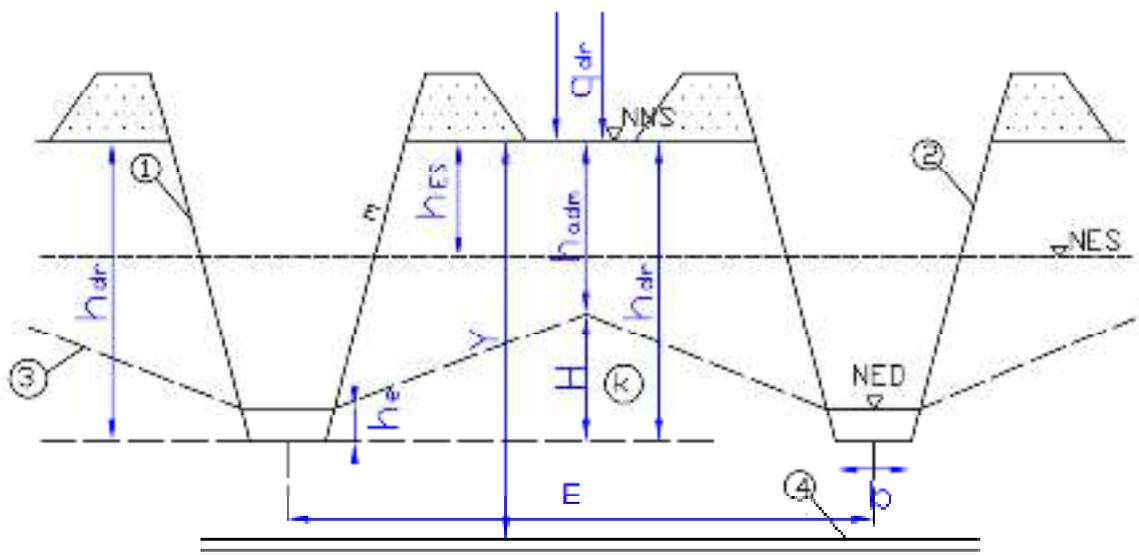
V.7.4- Calcule de l'écartement des drains :

Fig.32 : Schéma de calcul d'écartement du drain tranché

Où:

1- 2 : Drain en tranché à 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)

he - Profondeur de l'eau dans le drain

E – 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

Δh – Rabattement des eaux de drainage.

Le calcul de l'écartement entre drains parcellaires, Il est utilisé pour un tracé de drainage régulier. Pour notre cas, il servira au cas où le drainage à la parcelle sera réalisé.

Le calcul de l'écartement des drains se fera en tenant compte des caractéristiques des sols, de la qualité de l'eau et des doses de lessivage calculées dans le présent rapport.

Il se calcule par application de la formule de **GUYON** :

La formule de base pour le régime permanent est celle de **GUYON**.

Sol homogène et isotrope :

$$\frac{IE^2}{4} = K.H^2 \left(1 - 2R \frac{I}{K} \right) - \delta^2 K$$

I : Débit de filtration en (mm) ou en (m3/ha).

K : perméabilité du sol drainé en (m/s)

E : Ecartement entre les drains en (m)

H : La différence de profondeur entre la surface de la nappe rabattue et le substratum imperméable (dans notre cas la profondeur de pose des drains car P :profondeur de pose de drain < 2m).

R : Coefficient adimensionnel (pour le calcul **R** = 0,25).

δ : Hauteur d'eau dans le drain.

Pour un sol homogène et isotrope le débit de filtration I est calculé de la façon suivante :

$$I = \sigma \cdot I_0$$

I : Débit de filtration en (mm) ou en (l/s/ha) : partie de la pluie qui s'infiltré.

σ : Coefficient de correction qui dépend de la perméabilité K et la pente i .

I_0 : Débit drainé en (mm) ou en (l/s/ha). La quantité de pluie qui tombe.

Tableau V.1: Les valeurs de σ est donnée par le tableau suivant :

K (m/s) \ pent (‰)		1‰		5‰		10‰		15‰
$K > 5 \cdot 10^{-6}$	1	1	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6
$10^{-6} < K < 5 \cdot 10^{-6}$	1	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5
$K < 10^{-6}$	0.9	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5

A l'irrigation, le débit de filtration est égal au débit caractéristique :

$$I = q_c$$

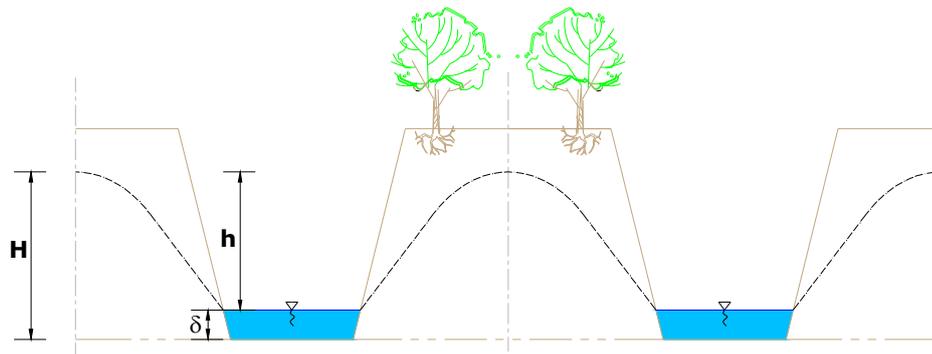


Fig.33 : Schéma fossés à ciel ouvert

Avec:

$$I = q_c = 0,00356 \text{ m}^3/\text{ha}$$

$$K = 15,02 \cdot 10^{-6} \text{ m/s} = 1,3 \text{ m/j}$$

$$H = 1,3 \text{ m}$$

$$R = 0,25$$

$$\delta = 0,30$$

L'application de la formule ci - dessus a donné les résultats suivant :

$$E = 48,30 \text{ m}$$

Ainsi l'écartement entre drains sera de **50 m**. Ceci permettra de prévoir un drain aux limites de parcelle.

Conclusion :

D'après l'étude des différents variantes de réseau de drainage on trouve que le drainage par drains en tranché à ciel ouvert est la plus favorable dans la région d'Ouled Mahmoud 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.

Chapitre: VI
Calcule hydraulique

VI.1-Calcul hydraulique :

La formule principale de calcul pour un écoulement permanent uniforme est la formule de Manning

$$Q = (1/n) R^{2/3} \times i^{1/2} \times \omega$$

Q : Débit véhiculé par le drain en (m³/s)

R : Rayon Hydraulique en (m)

ω : Section mouillée en (m²)

i : Pente en (m/m)

n : Coefficient de rugosité.

Avec :

$$R = \frac{\omega}{\chi}$$

R : Rayon Hydraulique en (m)

ω : Section mouillée en (m²)

χ : Périmètre mouillé en (m)

Pour une section trapézoïdal on :

$$\omega = (b + m \times h) \times h$$

$$\chi = b + 2 \times h \sqrt{1 + m^2}$$

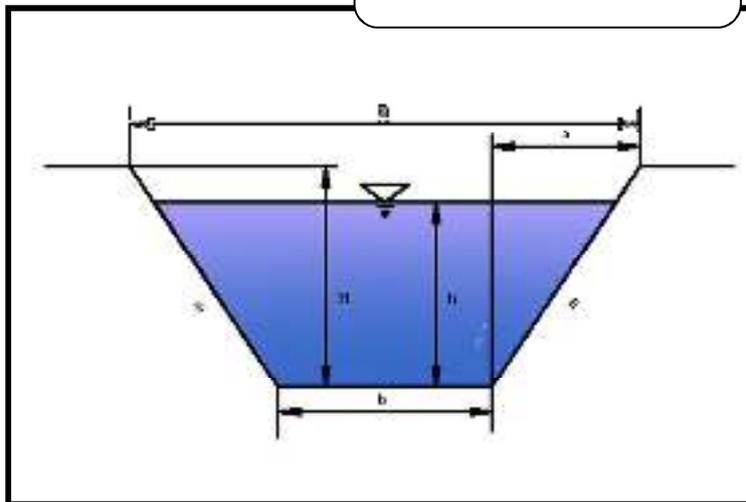


Fig.34: Section transversale trapézoïdale du drain

Avec : m : Pente du talus.

b : Largeur du canal (m)

h : Hauteur mouillée en (m)

VI.1.1- Débit du drain :

Le système de drainage à réaliser doit garantir le transit de débits calculés selon les critères retenus dans l'étude.

Le débit évacué par les drains est fonction de la superficie à drainer par le drain et du débit spécifique de drainage qui est de **3.56 l/s/ha**, ce dernier tient compte du mode d'irrigation (irrigation à surface libre)

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

$$Q_{dr} = Q_c \cdot S$$

Avec : Q_c : débit caractéristique en L/s/ha

S : Surface assainie par le collecteur en Ha

VI.1.2- Calcul de vitesse V:

$$V = C\sqrt{RI} \quad (\text{les valeur des vitesses calcule par logiciel canal 21})$$

Avec : C : Coefficient de Chézy

R : Rayon hydraulique

I : Pente du drain

Afin d'éviter l'affouillement du fond et des parois du drain par l'action dynamique du courant d'eau et le dépôt éventuel du sable, la vitesse moyenne admissible varié enter 0.1m/s et 0.25 m/s.

VI.2- Caractéristiques des drains et collecteurs:**VI.2.1- Caractéristiques des drains secondaires:**

Les collecteurs secondaires sont constitués de canal à ciel ouvert de section trapézoïdal revêtus de pierre sèche.

Les caractéristiques des drains sont les suivantes :

- Section trapézoïdale
- Profondeur moyenne 1,30 m
- Revêtement des parois en pierre sèches épaisseur 30 cm
- La base inférieure est 50 cm de largeur revête en béton de 10 cm
- Les pentes des talus $m= 2$
- La pente des collecteurs varie entre 0.1% et 1.8%

VI.2.2- Caractéristiques des collecteurs principales:

Les collecteurs principales collectent les eaux drainées par les collecteurs secondaires, est drainèrent les zones de passage vers l'exutoire.

- Section du canal trapézoïdal à ciel ouvert revêtu de pierre sèche
- Profondeurs moyen 1.3m
- Revêtement des parois en pierre sèches épaisseur 30 cm partie drainant
- La base inférieur est 60 cm de largeur revête en béton de 10 cm
- Les pentes des talus $m= 2$
- La pente des collecteurs principales 0.1% et 1%

VI.3- Caractéristique de L'Exutoire (Rejet) :

Des problèmes de salinisation de l'aquifères par les eaux de drainage sont apparus dans nombreux partie de la palmerais, faute de précaution, suffisants concernant le rejet. Dans notre cas le rejet ce fait avec deux parti de rejet les collecteurs principales B et C vers de sebkha et la collecteur principal A vers survage.

Les calculs sont fait à l'aide de logiciel des écoulements à surface libre (CANAL21) c'est un logiciel qui facilite les calculs et évite les itérations

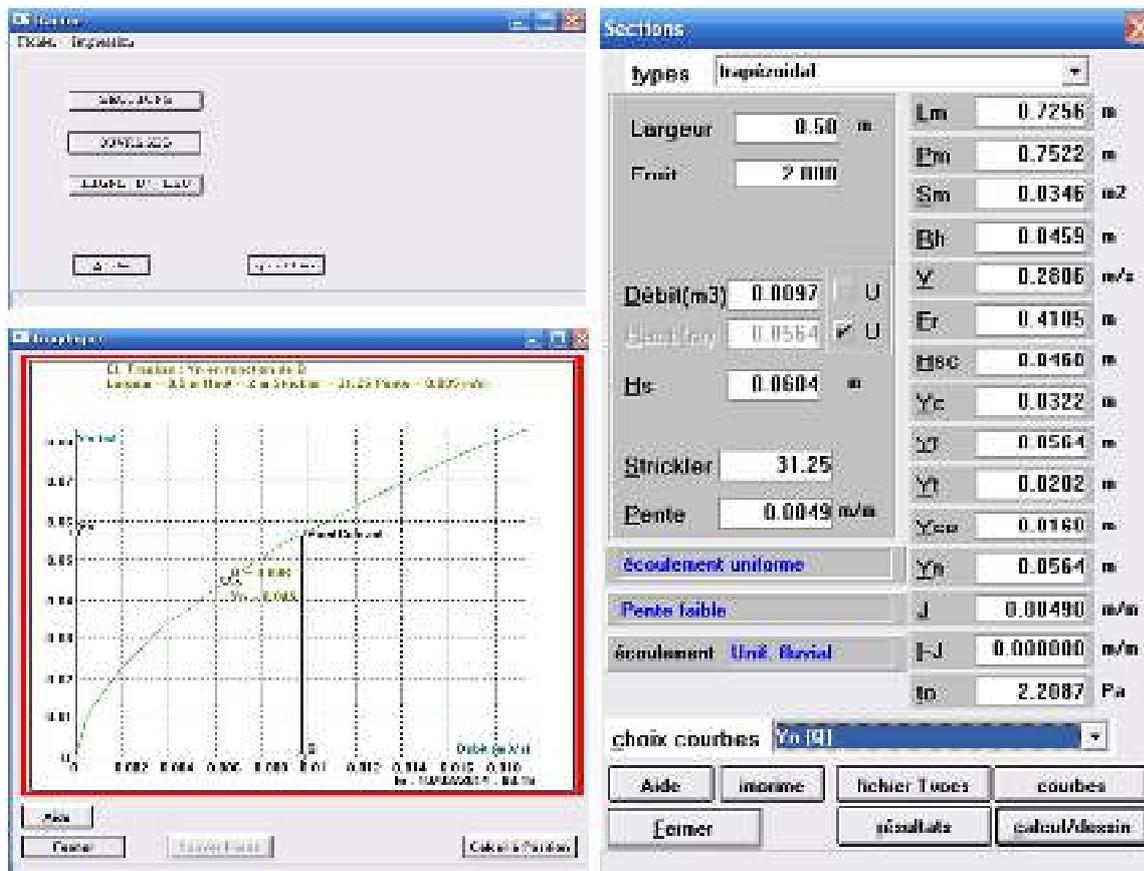


Fig.35 : Photo du logiciel de calcul canal (21)

Tous les résultats de calcul hydraulique sont effectués dans les Tableaux suivant :

Collecteurs principal A sont caractérisé par : $n=0.032$ et $m=2$ $q_c=3.56$ l/s/ha

Tableau VI.1 : Calcul hydraulique du collecteur principal A :

N parcelle	L (m)	S (m ²)	Q _c (l/s/ha)	Q _{dr} (l/s/ha)	i m/m	b (m)	hm (m)	Pm (m)	Sm (m ²)	Rh	V (m/s)
A1	211	2.72	3.56	9.68	0.0049	0.5	0.049	0.719	0.029	0.047	0.331
A2	217.2	1.91	3.56	6.80	0.0034	0.5	0.044	0.698	0.026	0.037	0.261
A3	133.6	2.33	3.56	8.29	0.0077	0.5	0.039	0.675	0.023	0.034	0.366
A4	204	4.51	3.56	16.06	0.0159	0.5	0.047	0.709	0.028	0.039	0.581
A5	313.8	4.03	3.56	14.35	0.0042	0.5	0.064	0.786	0.041	0.051	0.357
A6	364.2	3.76	3.56	13.39	0.0011	0.5	0.090	0.901	0.061	0.068	0.220
A7	341.8	3.18	3.56	11.32	0.0013	0.5	0.078	0.848	0.051	0.060	0.222
A8	177.2	1.83	3.56	6.51	0.0027	0.5	0.046	0.707	0.027	0.039	0.238
A9	199.2	3.9	3.56	13.88	0.0034	0.5	0.086	0.883	0.058	0.065	0.242
A10	311.4	2.1	3.56	7.48	0.0024	0.5	0.052	0.732	0.031	0.043	0.240
A11	244.2	2.44	3.56	8.69	0.0057	0.5	0.044	0.697	0.026	0.037	0.034
A12	246.8	3.05	3.56	10.86	0.0011	0.5	0.080	0.857	0.053	0.062	0.260
A13	215.2	3	3.56	10.68	0.0035	0.5	0.057	0.755	0.035	0.046	0.306
A14	234.6	2.78	3.56	9.90	0.0057	0.5	0.047	0.712	0.028	0.040	0.351
A15	425	4.26	3.56	15.17	0.0024	0.5	0.077	0.846	0.051	0.060	0.300

Collecteurs principal B sont caractérisé par : $n=0.032$ et $m=2$ $q_c=3.56$ l/s/ha

Tableau VI.2 : Calcul hydraulique du collecteur principal B :

N parcelle	L (m)	S (m ²)	Q _c (l/s/ha)	Q _{dr} (l/s/ha)	i m/m	b (m)	hm (m)	Pm (m)	Sm (m ²)	Rh	V (m/s)
B1	407.8	2.6	3.56	9.26	0.0018	0.5	0.073	0.827	0.047	0.057	0.197
B2	401.2	3.54	3.56	12.60	0.0041	0.5	0.069	0.808	0.044	0.054	0.287
B3	358.2	2.45	3.56	8.72	0.0062	0.5	0.050	0.721	0.030	0.041	0.293
B4	346	1.87	3.56	6.66	0.0051	0.5	0.045	0.702	0.027	0.038	0.252
B5	334.4	2.63	3.56	9.36	0.0051	0.5	0.055	0.745	0.033	0.045	0.281
B6	205.4	2.35	3.56	8.37	0.0083	0.5	0.045	0.700	0.026	0.038	0.320
B7	162.2	1.64	3.56	5.84	0.0142	0.5	0.031	0.638	0.017	0.027	0.335

Collecteurs principal C sont caractérisé par : $n=0.032$ et $m=2$ $q_c=3.56$ l/s/ha

Tableau VI.3 : Calcul hydraulique du collecteur principal C :

<i>N</i> <i>parcelle</i>	<i>L</i> (m)	<i>S</i> (m ²)	<i>Q_c</i> (l/s/ha)	<i>Q_{dr}</i> (l/s/ha)	<i>i</i> m/m	<i>b</i> (m)	<i>hm</i> (m)	<i>P_m</i> (m)	<i>S_m</i> (m ²)	<i>R_h</i>	<i>V</i> (m/s)
<i>C1</i>	247.2	1.79	3.56	6.37	0.0051	0.5	0.044	0.696	0.026	0.037	0.248
<i>C2</i>	244.6	1.75	3.56	6.23	0.0066	0.5	0.040	0.679	0.023	0.034	0.267
<i>C3</i>	136.4	0.57	3.56	2.03	0.0059	0.5	0.021	0.595	0.012	0.019	0.173
<i>C4</i>	287.6	2.12	3.56	7.55	0.0056	0.5	0.047	0.709	0.028	0.039	0.270
<i>C5</i>	261.4	1.73	3.56	6.16	0.0060	0.5	0.041	0.684	0.024	0.035	0.259
<i>C6</i>	228.6	1.56	3.56	5.55	0.0085	0.5	0.035	0.657	0.020	0.030	0.281
<i>C7</i>	207	1.67	3.56	5.95	0.0042	0.5	0.044	0.698	0.026	0.037	0.023
<i>C8</i>	104.6	1.5	3.56	5.34	0.0030	0.5	0.046	0.705	0.027	0.039	0.195
<i>C9</i>	288	2.8	3.56	9.97	0.0061	0.5	0.054	0.741	0.033	0.442	0.305
<i>C10</i>	406.2	2.41	3.56	8.58	0.0031	0.5	0.060	0.768	0.037	0.048	0.231
<i>C11</i>	450.6	1.8	3.56	6.41	0.0018	0.5	0.059	0.765	0.037	0.048	0.175
<i>C12</i>	412.6	6.09	3.56	21.68	0.0014	0.5	0.125	1.058	0.094	0.088	0.232

Chapitre: VII
Gestion et entretien
de système
de drainage

VII.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.

VII.2- Exploitation et entretien d'un réseau de fossés ouverts :

Les réseaux de fossés ouverts ont tendance à recueillir des déchets et des débris, qu'il faut enlever périodiquement pour des raisons d'esthétique, de santé ou de sécurité, ou pour des raisons fonctionnelles. Parmi les répercussions sur l'entretien, on retrouve les dangers posés par les habitats de reproduction des insectes, qu'il faut absolument traiter.

La lutte contre les moustiques et la propagation du virus du Nil occidental constituent de plus en plus un problème dans les réseaux de fossés ouverts. Aucune approche uniforme visant à minimiser la propagation du virus n'a encore été mise au point, bien que diverses méthodes soient à l'étude ou en cours d'utilisation, telles que les larvicides servant à lutter contre les maringouins, la création d'habitats destinés à encourager les prédateurs naturels, et le recours à une approche conceptuelle visant à éviter la formation de flaques d'eau.

Il faut considérer soigneusement le nettoyage des fossés dans les aires où il y a formation de flaques d'eau, pour éliminer toute préoccupation en matière de sécurité et d'esthétique. Il faut toutefois faire cadrer ces objectifs avec les objectifs relatifs à la qualité des eaux pluviales, celle-ci étant meilleure lorsqu'on réduit les vitesses d'écoulement des débits d'orage et qu'on augmente la formation de flaques d'eau pour faciliter l'élimination des polluants.

Lorsque la formation de flaques d'eau persiste et devient durable, on risque alors de voir apparaître certaines caractéristiques des milieux humides, ce qui risque de faire augmenter les approbations qu'on devra obtenir avant de nettoyer ou de modifier le fossé

VII .2.1-Entretien des fossés :

La première inspection des fossés doit se faire rapidement après la fonte printanière.

Les travaux à réaliser sont :

-La vidange des sables accumulés par la méthode du tiers inférieur dans les fossés principaux (là où l'épandage hivernal est le plus important).

-La réparation des dommages aux infrastructures et aux pentes.

-Le remplacement de la végétation endommagée.

-Le fauchage aux endroits nécessaires.

Le premier fauchage devrait être fait au début du mois de juillet et l'autre au mois de septembre, en préparation pour le printemps de l'année suivante si, et seulement si, c'est nécessaire.

VII .2.2-Le fauchage :

-Limiter le fauchage à une hauteur de 100 mm de façon à ne jamais remettre le sol à nu.

-Faucher l'accotement sur la largeur prescrite pour la sécurité des automobilistes, en laissant une bordure de végétation d'un demi-mètre minimum de largeur à la jonction du fossé et de l'accotement servant à ralentir le ruissellement.

-Enlever les plantes ligneuses dont la structure racinaire menace les infrastructures.

-Lorsqu'un arbre ou un arbuste situé en berge doit être coupé, conserver sa structure racinaire afin de maintenir la stabilité de la rive.

VII .3- Les méthodes d'entretien des fossés :**VII .3.1- La méthode d'entretien traditionnelle :**

Le drainage des bassins versants est modifié par le nombre grandissant de fossés aux bords des routes. La construction et l'entretien de ces fossés à un impact important sur la santé des cours d'eau et des lacs du bassin versant. La méthode d'entretien traditionnelle, qui consiste à refaire la totalité du profil transversal des fossés par excavation, enlève toute la végétation présente et réexpose le sol à l'érosion.

a)-Les impacts de la méthode traditionnelle d'entretien des fossés :

-Quantité importante de sédiments emportée par l'érosion en temps de pluie

-Ravinement des pentes (perte appréciable de lisières de terrain en bord de fossés)

-Réduction de l'efficacité de drainage et d'infiltration par les dépôts de sédiments le long des fossés.

-Sédiments fins (argiles, limon et sables fins) transportés vers la partie aval du réseau de drainage, dans les cours d'eau naturels et les lacs, ce qui entraîne souvent le colmatage des

frayères et l'envasement des plages

-Diminution du temps drainage du bassin versant qui modifie l'hydrologie des cours d'eau naturels et qui augmente les risques d'inondation en aval et l'érosion des berges

-Peu de filtration des eaux de ruissellement par la végétation

L'érosion est un problème majeur, et ce, surtout dans les régions montagneuses où le développement résidentiel s'étend et où le régime hydrique d'une grande proportion des fossés est de type torrentiel, ce qui exacerbe la problématique.

VII.3.2- La méthode d'entretien du tiers inférieur :

La méthode du tiers inférieur consiste à recreuser le fossé jusqu'à la profondeur originale, mais en n'excavant que dans le fond du fossé. La végétation des talus du fossé est laissée en place pour en assurer la stabilité.

Équipement: une pelle hydraulique de plus petit gabarit (ex: le Ditch Cleaning Bucket de Caterpillar

Quand:

» *Après la fonte des neiges, jusqu'au début de l'automne,*

» *Par temps sec,*

» *Avant la période des grandes pluies (pour limiter le transport des sédiments par l'eau et faciliter la repousse de la végétation lors des pluies automnales).*



Fig 36: Pelle hydraulique de petit gabarit



Fig 37: Méthode du tiers inférieur en comparaison avec la méthode traditionnelle

Recommandations à suivre dans l'application de cette méthode :

-Faire l'excavation du tiers inférieur, le nettoyage des fossés et la réparation des ponceaux par temps sec pour limiter le transport des sédiments.

-Appliquer des mesures de contrôle des sédiments à l'aval des travaux afin de capter les sédiments (barrières à sédiments fins, seuils de rétention) en cas de transport par l'eau.

-Ne jamais excaver plus creux que la profondeur originale du fossé en commençant, si possible, le dragage à un point d'élévation fixée tel que l'entrée ou la sortie d'un ponceau afin d'être certain de ne pas sur creuser.

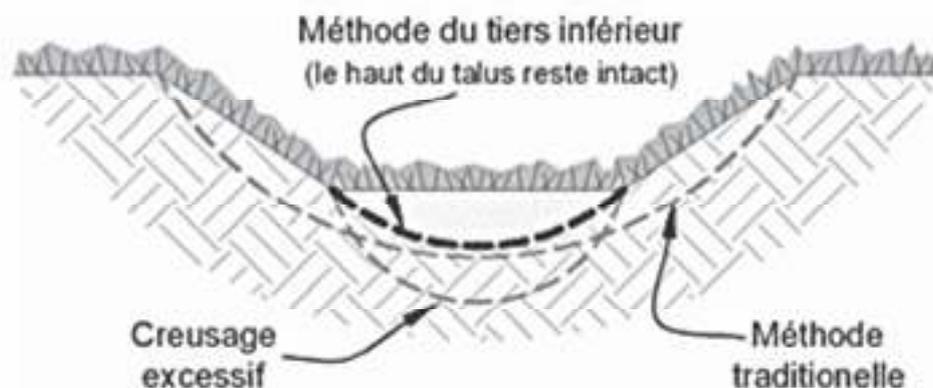


Fig 38 : Illustration de la méthode du tiers inférieur

Il est important de comprendre que l'excavation du tiers inférieur n'est pas nécessairement à faire chaque année, et partout, car un fauchage annuel de contrôle de la végétation au fond du fossé peut souvent suffire. En d'autres mots, tous les efforts devraient être faits pour conserver, dans le fond du fossé et le long des pentes latérales, la végétation existante comme agent de filtration afin de maintenir la stabilité des talus. Ensuite, selon les inspections, vient l'application de la méthode du tiers inférieur. Cette dernière doit être appliquée seulement lorsqu'elle est nécessaire, soit quand :

-la visibilité des automobilistes est réduite et dangereuse.

-l'efficacité de drainage du fossé est réduite et menace la durabilité des infrastructures ou la sécurité publique.

-Une vidange des fosses à sédiments devrait être faite à la fin du printemps et, au besoin, selon les inspections.

VII .4-Causes de non-fonctionnement du drainage :

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.

VII .4.1- Obstructions d'origine technique:

VII .4.1.1-La conception des fossés :

La conception et la construction d'un fossé ont une influence importante sur son potentiel érosif. Mieux seront conçus les fossés en amont (de sorte à favoriser le plus possible l'infiltration), moins les fossés en aval seront sollicités. L'entretien sera donc plus simple et moins fréquent, et il sera également plus facile de garder la végétation active en aval.

Voici quelques recommandations :

- Limiter au minimum la profondeur (H) du fossé.
- La profondeur entre la ligne d'infrastructure et le fond du fossé doit se situer entre 0,30 et 0,60 mètre, le minimum étant recherché, car cette profondeur s'avère suffisante pour assurer un drainage efficace de la route et éviter de créer des pentes de talus instables.
- Concevoir les pentes latérales de fossés en respectant le plus possible l'angle de repos du sol en place et le développement de la végétation.
- Concevoir le fossé pour avoir un fond d'une largeur entre 0,60 à 1,80 mètre afin de favoriser l'infiltration et la filtration de l'eau. Utiliser cet intervalle de largeur pour concevoir le fossé à capacité suffisante pour drainer en cas de pluie très forte.

VII .4.1.2-Lors de la construction :

- Lors de l'excavation des fossés, évacuer immédiatement les déblais (transférés directement dans un camion et amenés dans un site d'entreposage).
- Les portions de fossés nettoyées et mises à nue devront êtreensemencées et recouvertes de paillis à la fin de chaque journée de travail.
- Ensemencement de plantes et d'herbes résistantes aux inondations fréquentes

VII .4.1.3-Mesures de prévention durant les travaux :

- S'assurer que la machinerie est propre et exempte de fuites à son arrivée sur le chantier, et la maintenir dans cet état par la suite.
- Nettoyer, entretenir et ravitailler la machinerie et entreposer les hydrocarbures et les autres produits dangereux dans un endroit éloigné du plan d'eau afin de prévenir l'introduction de substances nocives dans l'eau.
- Garder sur le chantier une trousse d'urgence en cas de déversements accidentels afin d'être en mesure d'intervenir en cas de fuites ou de déversements d'hydrocarbure ou de toute autre substance nocive.

VII .4.2- Obstructions d'origine naturelle:

VII .4.2.1- Les plantes exotiques envahissantes :

Deux espèces de plantes envahissantes sont observées dans les fossés de la région :

le Phragmite commun et la Salicaire pourpre. Ces espèces ont été importées d'Europe et elles se propagent depuis dans les milieux humides du Québec. Lorsqu'elles colonisent un nouveau milieu, elles prennent toute la place et éliminent les plantes indigènes. La faune locale n'étant pas adaptée à ce type d'habitat, elle ne peut plus utiliser ces milieux autrefois très riches pour survivre.

Ces deux espèces peuvent se reproduire et coloniser un nouveau terrain en transplantant simplement un morceau de la plante. Les fossés sont les principales voies d'entrée de ces plantes dans les milieux naturels.

Il est presque impossible de se débarrasser de ces plantes lorsqu'elles atteignent un milieu humide naturel, mais on peut éviter de les propager davantage. La machinerie (pelle hydraulique, tondeuse, etc.) utilisée pour l'entretien d'une section de fossé

« contaminée » par ces plantes devrait être nettoyée sur place afin d'éviter d'entraîner des fragments de plantes dans une autre section de fossés.



Phragmite commun



Phragmite commun



Salicaire pourpre

Fig 39 : Plantes envahissantes

VII.4.2.2- Stabilisation des zones sensibles :

Lors des inspections, si certains endroits semblent être victimes d'érosion, des mesures devront être prises pour limiter la perte de matériaux (enrochement). Les endroits susceptibles de s'éroder davantage sont :

- Les intersections entre deux fossés.
- Les fossés à grands débits.
- Les entrées et les sorties de ponceaux.
- Les sections abruptes (pente supérieure à 10 %).

VII .4.2.3- L'ensablement ou l'envasement :

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 dessabler est recommandé dans la boîte de jonction ou le regard d'inspection.

VII .4.2.4-Colmatage des drains :

a)-Colmatage minéral primaire

Origine :Ce type d'accident apparaît généralement avec des travaux réalisés en conditions excessives de sécheresse (remblais poussiéreux qui se prend en masse et devient imperméable) ou d'humidité (écoulement de boue dans la tranchée).

Lutte curative :Les conséquences apparaissent rapidement et sont difficilement récupérables sauf par la reprise totale des zones affectées.



Fig 40 : Chantier réalisé dans de mauvaises conditions. Sol hydro morphe, limitant la pénétration de l'eau vers les drains

b)-Colmatage de fer par prolifération bactérienne

Origine :

-Il est lié à la prolifération de sidérons bactéries, à des sols acides riches en matières organiques.

-On note des proliférations suite à des épandages d'effluents en quantité important

Lutte préventive :

-Favoriser la minéralisation des matières organiques par des travaux superficiels

-Chauler

Lutte curative :

-Injection d'eau sous forte pression

c)-Colmatage par dépôts à réaction chimique

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.

VII.5-Constataions et recommandations :

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 gravitaire ment 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 exacte 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 GENERALE

Au terme de ce travail, nous avons constaté qu'il n'était pas facile d'établir un bilan hydrique exacte, en effet, il existe beaucoup d'études et d'investigations faites dans la région de AOUGROUT, mais la difficulté réside dans le fait que toutes les données ne se recourent pas.

les surfaces prises en compte ne coïncident pas avec la réalité, il ya des divergences entre les chiffres avancés par la direction de service agricole (DSA), ceux pris en compte par le bureau d'étude (BG) et ceux provenant d'enquêtes. Certaines palmeraies n'existent plus, elles sont urbanisées actuellement.

Hormis ces difficultés nous avons essayé de comptabiliser le volume d'eau excédentaire provenant de la faible efficience de l'irrigation.

Le problème qui accompagne cette dernière est la 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. tous ceci entraîne peu a peu une faible rentabilité et une détérioration progressive de la palmeraie.

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

Le premier étant économique :

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.

L'autre impact est environnemental :

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, quant à l'aspect sanitaire, le bon fonctionnement du réseau de drainage évitera la stagnation des eaux dans le fossé source de prolifération de nombreux insectes et microbes

En définitif l'impact d'un tel projet ne peut être que bénéfique pour la région bien entendu la sensibilisation et la vulgarisation reste à mener en parallèle.

Références Bibliographique

- [1]- **A. khadraoui** : *Sols et hydraulique agricole dans les oasis algériennes*
- [2]- **ANRH d'Adrar 2006** : *Annexe des foggaras du Aougrout. Différentes type de foggaras.* (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques).
- [3]- **MESSAHEL** : *Cours de drainage 5^{ème} année / ENSH – Blida 2013*
- [4]- **AZIEZ** : *Cours de drainage 4^{ème} année / ENSH – Blida 2012*
- [5]- **LAROUI.M.2010** : *Etude d'aménagement des réseaux de drainage de la palmeraie de TIMAKTEN (W.ADRAR)*
- [6]- **DARNOUNI** : *Cours d'assainissement 4^{ème} année / ENSH – Blida 2009.*
- [7]- **DHW d'Adrar 2006** : *données climatologie.*
- [8]- **D.S.A. d'Adrar 2006** : « *Situation des forages d'irrigation arrêté au 30/10/2005* »
- [9]- **EPFL** : *Ecole national polytechnique fédéral e de Lausanne*
- [10]- **G.F. WESTLAND** : *Entretien et réparation des systèmes de drainage couverts*
- [11]- **SLIMANI. M.2007** : **Dimensionnement d'un réseau d'irrigation par pivot cas d'un périmètre à Adrar**
- [12]- **INSID** : *office national du sol et irrigation et drainage*
- [13]- **IPTRID** : (Programme International pour la Technologie et la Recherche en Irrigation et Drainage)
«*Extension de la salinisation et stratégies de prévention et réhabilitation*»
- [14]- **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)*
- [15]- **MERMOUD A.2006** : «*Elément de drainage des sols agricoles*». *Travaux de l'EPFL (école polytechnique fédérale de Lausanne)*
- [16]- **Richards L. A. 1954** : «*Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*» .United States Salinity Laboratory Staff
- [17]- **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 de web

www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/entreprises/guide-drainage.pdf

<http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/10-092.htm>

www.fcm.ca/Documents/reports/Infraguide/Road_Drainage_Design_Alternatives_and_Maintenance_FR.pdf

<http://www.grobec.org/pdf/documentaire/guide-fosse.pdf>

http://www.centre.chambagri.fr/cd_ibis/xdocs/pdf/amenagement/Fosseesdrainageautres.pdf

<http://www.abhs.dz>

<http://www.fao.com>

<http://www.slideshare.net/cameleonxavihernandez2012/cours-drainage-agricole-abagues>

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Metarfa>



LES ANNEXES

1-les besoin en eau des cultures

1-1-Evapotranspiration et besoins d'irrigation Des dattes

Mois	Decade	Phase	Coeff Kc	ETC mm/j	ETC mm/dec	H (m) (m)	Bes Irrig mm/dec	Bes Irrig mm/mois
SEP	1	Init	0.9	10.67	106.70	1.50	106.70	320
	2	Init	0.9	10.67	106.70	1.50	106.70	
	3	Init	0.9	10.67	106.70	1.50	106.70	
OCT	1	Init	0.9	8.11	81.08	1.50	81.08	243
	2	Init	0.9	8.11	81.08	1.50	81.08	
	3	Init	0.9	8.11	81.08	1.50	81.08	
NOV	1	Init	0.9	5.29	52.90	1.50	52.90	159
	2	Init	0.9	5.29	52.90	1.50	52.90	
	3	Init	0.9	5.29	52.90	1.50	52.90	
DEC	1	Init	0.9	4.23	42.30	1.50	42.30	127
	2	Init	0.9	4.23	42.30	1.50	42.30	
	3	Init	0.9	4.23	42.30	1.50	42.30	
JAN	1	Init	0.9	4.40	44.01	1.50	44.01	132
	2	Crois	0.9	4.40	44.01	1.50	44.01	
	3	Crois	0.89	4.35	43.52	1.50	43.52	
FEV	1	Crois	0.88	5.92	59.17	1.50	59.17	178
	2	Mi-sais	0.88	5.92	59.17	1.50	59.17	
	3	Mi-sais	0.88	5.92	59.17	1.50	59.17	
MAR	1	Mi-sais	0.88	9.36	93.65	1.50	93.65	281
	2	Mi-sais	0.88	9.36	93.65	1.50	93.65	
	3	Mi-sais	0.88	9.36	93.65	1.50	93.65	
AVR	1	Mi-sais	0.88	10.39	103.88	1.50	103.88	312
	2	Mi-sais	0.88	10.39	103.88	1.50	103.88	
	3	Mi-sais	0.88	10.39	103.88	1.50	103.88	
MAI	1	Mi-sais	0.88	11.14	111.39	1.50	111.39	334
	2	Mi-sais	0.88	11.14	111.39	1.50	111.39	
	3	Mi-sais	0.88	11.14	111.39	1.50	111.39	
JUIN	1	Mi-sais	0.88	12.31	123.12	1.50	123.12	369
	2	Mi-sais	0.88	12.31	123.12	1.50	123.12	
	3	Mi-sais	0.88	12.31	123.12	1.50	123.12	
JUIL	1	Mi-sais	0.88	13.78	137.85	1.50	137.85	410
	2	Arr-sais	0.87	13.63	136.28	1.50	136.28	
	3	Arr-sais	0.87	13.63	136.28	1.50	136.28	
AOU	1	Arr-sais	0.87	12.95	129.49	1.50	129.49	384
	2	Arr-sais	0.86	12.80	128.00	1.50	128.00	
	3	Arr-sais	0.85	12.65	126.51	1.50	126.51	

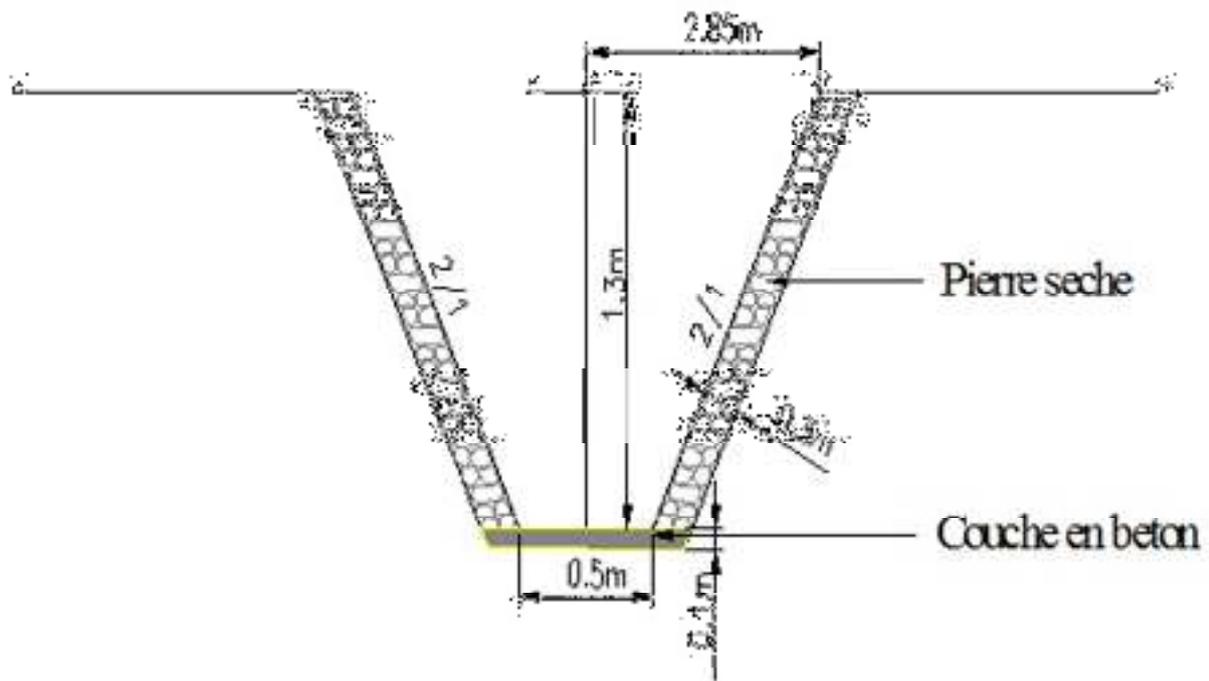
1-2-Evapotranspiration et besoins d'irrigation Des tomates

Mois	Decade	Phase	Coeff Kc	ETC mm/j	ETC mm/dec	40% Irrig	Bes Irrig mm/dec	Bes Irrig Mm/mois
OCT	1	Init	0.45	4.05	40.54	0.60	24.32	76
	2	Init	0.45	4.05	40.54	0.60	24.32	
	3	Init	0.5	4.50	45.04	0.60	27.03	
NOV	1	Init	0.58	3.41	34.09	0.60	20.45	65
	2	Init	0.62	3.64	36.44	0.60	21.86	
	3	Init	0.65	3.82	38.20	0.60	22.92	
DEC	1	Crois	0.7	3.29	32.90	0.60	19.74	72
	2	Crois	0.85	3.99	39.95	0.60	23.97	
	3	Crois	1	4.70	47.00	0.60	28.20	
JAN	1	Mi-sais	0.98	4.80	48.01	0.60	28.80	83
	2	Mi-sais	0.95	4.65	46.54	0.60	27.92	
	3	Mi-sais	0.89	4.36	43.60	0.60	26.16	
FEV	1	Arr-sais	0.86	5.78	57.83	0.60	34.70	98
	2	Arr-sais	0.83	5.58	55.81	0.60	33.49	
	3	Arr-sais	0.75	5.04	50.43	0.60	30.26	

1-3-Evapotranspiration et besoins d'irrigation de blé.

Mois	Decade	Phase	Coeff Kc	ETC mm/j	ETC mm/dec	40% Irrig	Bes Irrig mm/dec	Bes Irrig mm/moi
NOV	1	Init	0.4	2.35	23.51	0.60	14.11	63
	2	Init	0.6	3.53	35.27	0.60	21.16	
	3	Init	0.8	4.70	47.02	0.60	28.21	
DEC	1	Crois	0.95	4.46	44.65	0.60	26.79	95
	2	Crois	1.14	5.36	53.58	0.60	32.15	
	3	Crois	1.28	6.02	60.16	0.60	36.09	
JAN	1	Mi-sais	1.32	6.45	64.54	0.60	38.73	109
	2	Mi-sais	1.24	6.06	60.63	0.60	36.38	
	3	Mi-sais	1.15	5.62	56.23	0.60	33.74	
FEV	1	Arr-sais	0.8	5.38	53.79	0.60	32.28	61
	2	Arr-sais	0.48	3.23	32.28	0.60	19.37	
	3	Arr-sais	0.22	1.48	14.79	0.60	8.88	

Coupe A-A



Coupe traversé un drain