

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

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

DEPARTEMENT DE GENIE DE L'EAU

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

OPTION : Conception Des Systèmes D'irrigation Et De Drainage

THEME :

**Contribution A L'étude De La Remontée De La Nappe De
OUARGLA Et Dimensionnement Du Réseau De Drainage**

**Présenté par :
M^{er} DOUIS MOHAMED TAYEB**

**Promoteur :
M^r RAISSI OMAR**

MEMBRES DE JURY :

Président: M^r B. BENLAOUKLI

Examineurs: M^r R. REKROUK

M^r H. BOUCHAMA

M^{me} A. AZIEZ

M^{me} S. BELLABES

Octobre 2010

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents (Farouk, Fatima) essayant ainsi de vous exprimer toute ma gratitude pour toute que vous m'avez apporté

A mes frères : Okba , lotfi , Saïd

A mes sœurs : Samra, Akila , Soumai, Sacia, Sabrina, nabila, rabiea.

A mes neveu : HANA-Masoud-Mouad

A toute ma famille DE OUED SOUF ET BOUFFERIKE

A tous mes chers amis: mekki,mokhtar,abderrahmen, ala,sadek,rabie,abdeljalil,fathi,dahgale,khmais,elhadj,nacer chbab,kada, abdellah, hacin et a tout mes amis dcity 03 sans exeption.

A tous mes collègues de L E SNSH.

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin pour l'élaboration de ce travail.

∞ TAYEB ∞

∞ Remerciements ∞

- *Je remercie Dieu le tout puissant, pour m'avoir donné la santé, le courage et la volonté d'étudier et pour m'avoir permis de réaliser ce modeste travail dans les meilleures conditions*
- *Au terme de cette modeste étude, je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes vifs remerciements à Mr RAISI.OMAR (mon promoteur) pour le soutien, l'aide et les conseils qu'il m'a dispensé pour l'élaboration de cette présente thèse et à ma formation durant les années de spécialités.*
- *Je remercie le président et les membres du jury qui me feront l'honneur de juger mon travail.*
- *Je voudrais aussi remercier l'ensemble des professeurs, la direction de l'école et le ministère de tutelle pour avoir veillé à notre formation.*
- *Un remerciement particulier à tous les travailleurs de la bibliothèque de l'ENSH.*
- *Un grand merci pour toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin pour la réalisation de ce mémoire.*

∞ Douis tayeb ∞

ملخص:

- في إطار هذه المذكرة المتمثلة في المساهمة في تحليل ظاهرة صعود مياه الطبقة السطحية (الفيثاتكية) على مستوى منخفض ورقلة ووصف لبعض الحلول الممكنة للسيطرة على هذه الظاهرة. تتركز هذه المساهمة على دراسة ثلاثة محاور أساسية:
- تشكيل حوصلة مائية عامة لهذه الطبقة (تحديد كميات الماء المساهمة في تغذية هذه الطبقة و الكميات الضائعة منها) .
 - دراسة تغيرات مستوى سطح مياه هذه الطبقة.
 - دراسة الخصائص الفيزيوكيميائية لهذه المياه .
 - الدراسة الفيزيوكيميائية لمياه هذه الطبقة تبين رداءة هذه المياه و عدم صلاحيتها للشرب و حتى في السقي بعض الأحيان مع ظهور لعلامات تلوث خاصة على مستوى الشطوط . من بين الحلول المقترحة على المدى المتوسط على الأقل: وضع شبكة صرف مياه الإرجاع عموما من المدينة باتجاه سبخة سفيان والعدول أو التخفيف من استغلال مياه الطبقات الباطنية والتعويض عنها بالمياه المعالجة للطبقة ذاتها .

RESUME :

Dans le cadre de la présente note est de contribuer à l'analyse du phénomène de la hausse de la couche superficielle de l'eau (phréatique) à un faible niveau de Ouargla et une description de certaines solutions possibles pour contrôler ce phénomène Cette contribution est basée sur l'étude de trois éléments clés.:

- La formation d'eau public gésier pour cette couche) pour identifier les quantités d'eau pour contribuer à l'alimentation de cette couche et les quantités entre eux ont perdu (.
- Etude de l'évolution du niveau des eaux de surface de cette classe.
- physico-chimiques étudier les caractéristiques de cette eau.
- Etudier l'eau physico-chimiques de cette couche en évidence la faiblesse de cette eau et ne convient pas à boire et même pour l'irrigation, parfois avec l'apparition des signes de pollution, en particulier au lacs niveau Une des solutions proposées dans le moyen terme au moins le développement d'un retour de l'eau de drainage du système général de la ville vers le Sufian marais. et d'inverser ou d'atténuer l'exploitation des nappes d'eau souterraines et l'indemnisation pour le traitement de l'eau de la couche elle-même.

ABSTRACT :

As part of This note is to contribute to the analysis of the phenomenon of the increase in the surface layer of water (water) at a low level of Ouargla and a description of some possible solutions to control this phenomenon, this contribution is based on the study of three key elements.:

- The formation of gizzard public water for this layer) to identify the quantities of water to help feed this layer and the quantities of them have lost (.
- Study of the changing levels of surface waters of this class.
- Physico-chemical study the characteristics of this water.
- Studying the physicochemical water of this layer show the weakness of this water and not suitable for drinking and even for irrigation, sometimes with the appearance of signs of pollution, especially lake level One solution proposed in the medium term at least the development of a return of the water drainage system of the city's general Sufian to the marsh. and to reverse or mitigate the exploitation of groundwater and compensation for the treatment of water from the layer itself.

SOMMAIRE

introduction general

CHAPITRE I CONTEXTE GENERALE

1-Situation Geographique Et Administrative	1
1.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE	1
2-Milieu Physique	3
2.1 CLIMATOLOGIE.....	3
2.1.1 INTRODUCTION	3
2.1.2 LA PLUVIOMETRIE	3
2.1.2.1 La Pluviométrie Moyenne Annuelle	3
2.1.2.2 La Pluviométrie Mensuelle	4
2.1.2.3 La Pluviométrie Journalière	5
2.1.3-LA TEMPERATURE.....	6
2.1.3.1 La Température Moyenne Annuelle.....	6
2.1.3.2. La Température Moyenne Mensuelle.....	6
2.1.3.3 Les Températures Extrêmes	6
2.1.4. L'HUMIDITE DE L' AIR	8
2.1.5 L'INSOLATION	9
2.1.6 LE VENT	10
2.1.7 L'EVAPORATION ET L'EVAPOTRANSPIRATION	10
2.1.7.1 L'évaporation.....	10
2.1.7.1.1 _ Mesures De L'évaporation A Partir D'une Surface Libre	10
2.1.7.1.2 _Mesures De L'évaporation A Partir De Surfaces Poreuses	11
2.1.7.2 L'évapotranspiration	13
2.1.7.2 .1_ Estimation De L'évapotranspiration.....	13
2.2 GEOMORPHOLOGIE ET HYDROGRAPHIE.....	13
2.3 TOPOGRAPHIE DU LA CUVETTE.....	15
2.4 RESSOURCES DES EAUX SOUTERRAINES	15
2.4.1 LA NAPPE PHREATIQUE	15
2.4.2 LA NAPPE DU CONTINENTAL INTERCALAIRE :	16
2.4.3 LA NAPPE DU COMPLEXE TERMINAL :	16
2.5.1 OUED M'ZAB	16
2.5.2 OUED N'SA	17
2.5.3 OUED M'YA.....	17
3-Milieu Naturel.....	18

3.1-CHOTT AÏN BEÏDA.....	18
3.2-CHOTT OUM ER RANEB.....	19
3.3 – SEBKHA SAFIOUNE.....	19
4 -Milieu Humain.....	20
4.1POPULATION.....	20

CHAPITRE II

GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE

1- La Geologie De La Region	21
1.1 - GEOLOGIE REGIONALE	21
FIG. 1 : CARTE GEOLOGIQUE REGIONALE (OSS ,2003)	22
1.2- CADRE GEOLOGIQUE LOCAL :	22
1. 2.1 – INTRODUCTION :.....	22
1. 2.2 – Litho Stratigraphie.....	22
1. 3- TECTONIQUE :.....	25
2-L’hydrogeologie De La Region	26
2. 1- Introduction :.....	26
2. 2-Nappe Du Continental Intercalaire (C.I.) :.....	26
2. 3- Nappe Du Complexe Terminal (C.T.) :	27
2.4 - LA NAPPE PHREATIQUE	29
2.4.1 - INTRODUCTION	29
2.4.2 - DEFINITION DE DOMAINE DU MODELE	30
2.4.2.1-Cartographie Du Substratum De La Nappe Phréatique	30
2.4.2. 2-Cartographie Du Toit De La Nappe Phréatique.....	32
2.4.2.3– Etude Piézométrique De La Nappe Phréatique	33
2.4.2.3.1 – La Piézométrique Avant 1956	33
2.4.2.3.2 – La Piézométrique Après 1956	33
2.4.2.3.2.1 – La Piézométrique En 1968.....	34
2.4.2.3.2.2 – La Piézométrique Entre 1992 Et 2002	35
2.4.2.3.2.3 – La Piézométrique Entre 2002 Et 2003	36
2.4.2.3.2.4 – La Piézométrique En 2003.....	37
2.4.2.3.2.5 – La Piézométrique En 2007.....	38
2.4.2.3.2.6 – Profondeur De La Nappe En 2007	39
2.5– ESSAIS DE POMPAGE	40
2.5.1 – INTRODUCTION.....	40

2.5.2 – RESULTATS ET INTERPRETATIONS	40
2.6 – ETUDE ISOTOPIQUE DU "CDTN"	42
Conclusion.....	42

CHAPITRE III

ANALYSE HYDRO CHIMIQUE

Introduction	43
1 - Analyse Des Parametres Physico-Chimiques	43
1.1 - LA NAPPE DU CONTINENTAL INTERCALAIRE "Ci"	43
1.1.1 - REPRESENTATION GRAPHIQUE DES EAUX DU "Ci"	45
1.2 - LA NAPPE DU COMPLEXE TERMINAL "Ct"	46
1.2.1 - REPRESENTATION GRAPHIQUE DES EAUX DU "Ct"	48
1.3 - LA NAPPE PHREATIQUE	50
1.3.1 - REPRESENTATION GRAPHIQUE DES EAUX DE LA NAPPE PHREATIQUE	54

CHAPITRE IV

PHENOMENE DE LA REMONTEE DE LA NAPPE

Introduction:.....	56
1-Analyse Du Phenomene De Remontee De La Nappe Phreatique.....	56
1.1- AVANT 1956 (DATE DU PREMIER FORAGE A L'ALBIEN) :	56
1.2- APRES 1956 :.....	56
2 - Les Causes De La Remontee De La Nappe Phreatique	57
3-Mecanismes De La Remontee La Nappe Phreatique.....	58
4 – Analyse Generale Des Problemes :	61
4.1-LA POLLUTION DES EAUX	62
4.2-RISQUE DE SALINISATION DES SOLS DANS LA CUVETTE DE OUARGL	62
4.3-L'IMPACT SUR LES FONDATIONS DES BATIMENTS	64
4.4-L'IMPACT SUR LES ROUTES	65
4.5- IMPACT DE NAPPE SUR LES RESEAUX.....	66
4.5.1- LES EAUX CLAIRES	

CHAPITRE V PROJECTION DU RESEAU DE DRAINAGE ET RECOMMANDATION

RECOMMANDATION	68
1 - ACTIONS RECOMMANDEES POUR CONTROLER LE NIVEAU DE LA NAPPE PHREATIQUE :	68
1.1 - INTRODUCTION	68
1.2 - ACTIONS POUR LIMITER LES APPORTS D'EAU	68
2 - ACTIONS POUR AUGMENTER LES EVACUATIONS D'EAU	69
4 - L'ASSAINISSEMENT	70
5 - EPURATION	70
6-RECOMMANDATION POUR LA ROUTE	71
6.1-CAS DES REMBLAIS SUR SOLS COMPRESSIBLES AVEC DES DRAINS VERTICAUX	72
6.2-JOINTS TRANSVERSAUX (BOUT A BOUT)	72
6.4-RACCORDEMENT A LA TRANCHEE DRAINANTE OU AU FOSSE	74
7 - DRAINAGE.....	76
7.1-INTRODUCTION.....	76
7.2- EFFETS POSITIFS DE L'ASSAINISSEMENT DU SOL	76
7.3 -SYSTEMES DE DRAINAGE	77
7.3.1- DRAINAGE DE SURFACE.....	77
7.3.2-DRAINAGE PAR FOSSES.....	77
6.3.3- DRAINAGE PAR DRAINS ENTERRES.....	79
8 - METHODE DE DRAINAGE AVEC LE SYSTEME DU BLOC	81
8.1-COMPOSANTS DU RESEAU DE DRAINAGE PROPOSE.....	81
8.1.1- DESCRIPTION DE MAILLES.....	81
8.1.2- LES COLLECTES.....	82
8.1.3-STATION DE POMPAGE.....	82
8.3-DETERMINATION DE LA RESULTANTE DE L'EAU DE LA NAPPE PHREATIQUE	84
8.3-1 LES ELEMENTS D'EQUATION DU BILAN D'EAU... ..	85
8.3 .1-1 LES ENTREES	85
8.4-INTENSITE DE DRAINAGE(Id).....	86
8.5-CONDITIONS DES CALCULS HYDRAULIQUES	86
8.6-CALCUL HYDRAULIQUE.....	87
8.6.1-CALCUL DE LA SURFACE PLEINE SECTION W.....	89
8.6.2-CALCUL LE PERIMETRE INONDE X.....	89
8.6.3-CALCUL LE RAYON HYDRAULIQUE R.....	90
8.6.4-CALCULE COEFFICIENT (MANNING-STRICKLER) C:.....	90
8.6.5-CALCULE LA VITESSE V.....	90
Conclusion.....	90

Conclusion générale



Liste des tableaux

page

Chaputre : I

- Tableau (1) : station pluviométrique de Ouargla **Erreur ! Signet non défini.**
- Tableau.(2): Pluviométrie mensuelle **Erreur ! Signet non défini.**
- Tableau. (3) : Périodes de retour des pluies journalières .. **Erreur ! Signet non défini.**
- Tableau. (4) : Températures moyennes mensuelles **Erreur ! Signet non défini.**
- Tableau. (5) : Températures extrêmes **Erreur ! Signet non défini.**
- Tableau. (6) : Valeurs caractéristiques de la température . **Erreur ! Signet non défini.**
- Tableau. (7) : Humidité moyenne mensuelle..... **Erreur ! Signet non défini.**
- Tableau. (8): Insolation moyenne mensuelle **Erreur ! Signet non défini.**
- Tableau. (9) : Vitesse moyenne mensuelle du vent..... **Erreur ! Signet non défini.**
- Tableau. (10): Evaporation Piche et Bac classe A **Erreur ! Signet non défini.**
- Tableau (11) : Projection démographique pour l'agglomération de Ouargla.....**Erreur ! Signet non défini.**

Chaputre : II

- Tableau (1) : Résultats des essais de pompage.....**Erreur ! Signet non défini.**

Chaputre : III

- Tableau. (1) : Caractéristiques physico-chimiques des eaux, nappe du "CI", Ouargla **Erreur ! Signet non défini.**
- Tableau. (2) : Classification des eaux selon Stabler, nappe du "CI", Ouargla 2007 **Erreur ! Signet non défini.**
- Tableau.(3) : Caractéristiques physico-chimiques des eaux,nappe du "CT", Ouargla 2007 **Erreur ! Signet non défini.**
- Tableau. (5) : Classification des eaux selon Stabler, nappe du "CT", Ouargla 2007... **Erreur ! Signet non défini.**
- Tableau.(6) : Caractéristiques physico-chimiques des eaux, nappe phréatique, Ouargla nord 2007..... **Erreur ! Signet non défini.**
- Tableau. 3-7 : Caractéristiques physico-chimiques des eaux, nappe phréatique, Ouargla sud 2007..... **Erreur ! Signet non défini.**
- Tableau. (8) : Classification des eaux selon Stabler, nappe phréatique, Ouargla 2007.....**Erreur ! Signet non défini.**





<u>Liste des figures</u>	<u>page</u>
Chaputre : I	
Fig. 1 : Carte de situation géographique	1
Fig. 2 : Délimitation de la cuvette de Ouargla	2
Fig. 3: Carte en isohyètes moyennes annuelles du Sahara algérien	4
Fig. 4 : Hauteurs moyennes mensuelles de la précipitation	5
Fig. 5 : Variation des températures moyennes mensuelles	7
Fig. 6: Variations de l'humidité	9
Fig. 7 : Bac classe A.....	11
Fig. 8 : Le Piche.....	12
Fig. 9 : Variation de l'évaporation.....	13
Fig. 10 : Coupe géomorphologique schématique de la vallée de Ouargla.....	14
Fig. 11: Relief de la région d'Ouargla	15
Fig. 12 : les Oueds de la région de Ouargla.....	18
Chaputre : II	
Fig. 1 : Carte géologique régionale.....	22
Fig. 2 : Colonne stratigraphique synthétique du Sahara Nord -Est Septentrional.....	25
Fig. 3 : Carte piézométrique de référence du "CI"	27
Fig. 4 : Carte piézométrique de référence du "CT"	28
Fig. 5 : Coupe hydrogéologique transversale du "CT"	29
fig. 6: Carte 2D, interpolée par krigeage, du substratum de la nappe phréatique.....	30
fig. 8 : Carte 3D, interpolée par krigeage, du substratum de la nappe phréatique.....	31
Fig. 9 : Carte topographique issue d'une interpolation par krigeage de points cotés	32
fig. 10: Carte topographique 3D issue d'une interpolation par krigeage de point.....	33
Fig. 11 : Carte piézométrique de la nappe phréatique en 1968	34
Fig. 12 : Carte de variation piézométrique de la nappe phréatique.....	36
Fig. 13: Carte de variation piézométrique de la nappe phréatique.....	37
Fig. 14 : Carte piézométrique de la nappe phréatique dans la cuvette de Ouargla...	38
Fig. 15: Carte piézométrique de la nappe phréatique dans la cuvette de Ouargla en 2007	39
Fig. 16 : Carte de profondeur de la nappe phréatique dans la cuvette de Ouargla en 2007	40
Fig. 17: Plan de situation des pompages d'essai	42



Chapitre: III

Fig. 1 : Carte de minéralisation totale des eaux, nappe du "CI", Ouargla	45
Fig. 2 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff d'analyse des eaux, nappe du "CI",.....	46
Ouargla 2007	46
Fig. 3 : Carte de minéralisation totale des eaux, nappe du "CT", Ouargla 2007	48
Fig. 4 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff d'analyse des eaux, nappe du "CT", Ouargla	49
Fig. 5 : Carte de minéralisation totale des eaux, nappe phréatique, Ouargla 2007..	53
Fig. 6 : Carte des teneurs en nitrates des eaux, nappe phréatique, Ouargla	54
Fig. 7 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff d'analyse des eaux, nappe phréatique ..	55

Chapitre : IV

Fig. 1 : Processus du phénomène de la remontée des eaux dans la région de Ouargla.	60
Fig. 2 : Evolution du comportement de la nappe phréatique.....	61
Fig. 3 : Evolution du débit des rejets domestique et les retours d'irrigation	62
Fig. 4 : Carte de risque salinisation de la cuvette de Ouargla.....	64
Fig. 5 : L'impact phénomène de la remontée sur les fondations	65

Chapitre: V

Fig. 1: Principe de déroulement du SOMTUBE	71
Fig. 2 : Traitement des joints transversaux (bout à bout).....	73
Fig. 3 : Traitement des joints longitudinaux (cote à cote).....	74
Fig. 4 : Raccordement à la tranchée	75
Fig.5 : Drainage de surface	77
Fig.6: Drainage de surface par fossé.....	78
Fig.7 : Drainage de surface par fossé.....	79
Fig. 8 : Drainage par drains enterrés.....	80
Fig. 9: canal de drainage spiral.....	83
Fig. 10 :La position des granules de la couche caillouteuse de drain.....	83

**Liste des photos****page****Chapitre : I**

<i>Photo (1): photo de Chott Aïn Beïda (région de ouaregla)</i>	<i>18</i>
<i>Photo (2) : photo de Chott Oum Er raneb (région de ouaregla).....</i>	<i>19</i>
<i>Photo (3) : photo de Sebkha safioune (région de ouaregla).....</i>	<i>19</i>

Chapitre : IV

<i>Photo (1) : Le problème de salinité et l'excès d'eau.....</i>	<i>63</i>
<i>Photo(2) : Effondrement la route dans la ville de Ouargla</i>	<i>66</i>
<i>Photo(3) : Effondrement de la berge gauche</i>	<i>67</i>
<i>Photo (4) : Infiltration d'eau claire parasite permanente (ECP) dans un réseau ...</i>	<i>68</i>
<i>d'assainissement.....</i>	<i>68</i>
<i>Photo (5) : Système racinaire pénétrant dans une conduite d'assainissement</i>	<i>68</i>

Chapitre : V

<i>Photo(1) : Espaces verts de Ouargla</i>	<i>70</i>
<i>Photo (2) : Conditionnement du conduite.....</i>	<i>71</i>
<i>Photo (3): Mise en œuvre du géocomposite SOMTUBE FTF.....</i>	<i>73</i>
<i>Photos 4 & 5 : Connexion hydraulique SOMTUBE FTF – drains verticaux</i>	<i>73</i>
<i>Photo 6: Traitement des joints transversaux (bout à bout).....</i>	<i>74</i>
<i>Photo 7 : Traitement des joints longitudinaux (cote à cote).....</i>	<i>75</i>
<i>Photos 9 & 10: Remblaiement à l'avancement</i>	<i>76</i>
<i>Photo 11 : compactage de la première couche à l'avancement.</i>	<i>77</i>
<i>Photo (12): drainage par fossé OUARGLA</i>	<i>80</i>
<i>Photo(13) : Drains enterres</i>	<i>80</i>
<i>Photo (14) :.canal de drainage spiral.....</i>	<i>84</i>

Introduction générale

Si le manque de l'eau dans de nombreuses wilayas au nord du pays, se fait du souci des responsables et mobilise d'énormes moyens de la part de l'état, au contraire, à Ouargla la négligence de cet atout en eau, a entraîné des problèmes parfois catastrophiques sur le plan environnemental et urbain.

En effet, la remontée des eaux souterraines avait provoqué la destruction du sol, à son tour, ce résultat a causé le déséquilibre de fonctions biologiques des palmiers et la lésion de ses racines et l'augmentation de la saleté de la terre, la raison pour laquelle elle est devenu tellement agressive qu'elle a engendré ainsi l'érosion de constructions et même le déclin d'autres dans certaines régions.

Une telle situation a affecté directement et nocivement le progrès agricole et urbain. En outre, des milliers de palmiers dattiers restaient encore négligés dans ces conditions décourageantes qui résultent de la remontée des eaux souterraines.

Le problème n'avait pas été posé, exceptionnellement dans les années quatre-vingts et pour mieux préciser, il n'avait pas été porté sauf au cours des années quatre-vingt dix alors que la prise en charge réelle de ce sujet remonte au début du nouveau millénaire.

Afin de faire face à ce phénomène naturel, les hautes autorités ainsi que les autorités locales se sont mobilisées en proposant un programme de réaménagement des canaux et de drainer les eaux en attendant une solution définitive de ce problème.

On doit avouer que le problème de la remontée des eaux souterraines dans la région d'El Oued n'est pas une préoccupation récente néanmoins c'est un souci conventionnel, or l'augmentation du besoin de fournir la population en eau, ainsi que le grand épanouissement urbain, ont accru le développement de ce phénomène et ses nuisances. Le drainage demeure une solution, ce qui exige un grand investissement de la part de l'état.

Les responsables locaux de la wilaya ont montré leur profonde inquiétude à cause d'effets de ce phénomène, de nombreux projets ont mis en œuvre tels que : la ceinture verte, le drainage horizontal et le drainage vertical.

On a adopté par préférence, le projet de drainage horizontal qui aura des effets précieux et bénéfiques sur la région et la ville en général .c'est le projet de dimensionnement de réseau du drainage horizontal dans la zone d'étude SAID OTBA.



CONTEXTE GENERAL

1-Situation géographique et administrative :

1.1-Situation géographique :

la région de Ouargla de par sa position géographique centrale et de sa proximité avec les bassins pétroliers et gaziers s'installe progressivement comme le centre administratif, technique et industriel du territoire saharien (fig.1) [1]

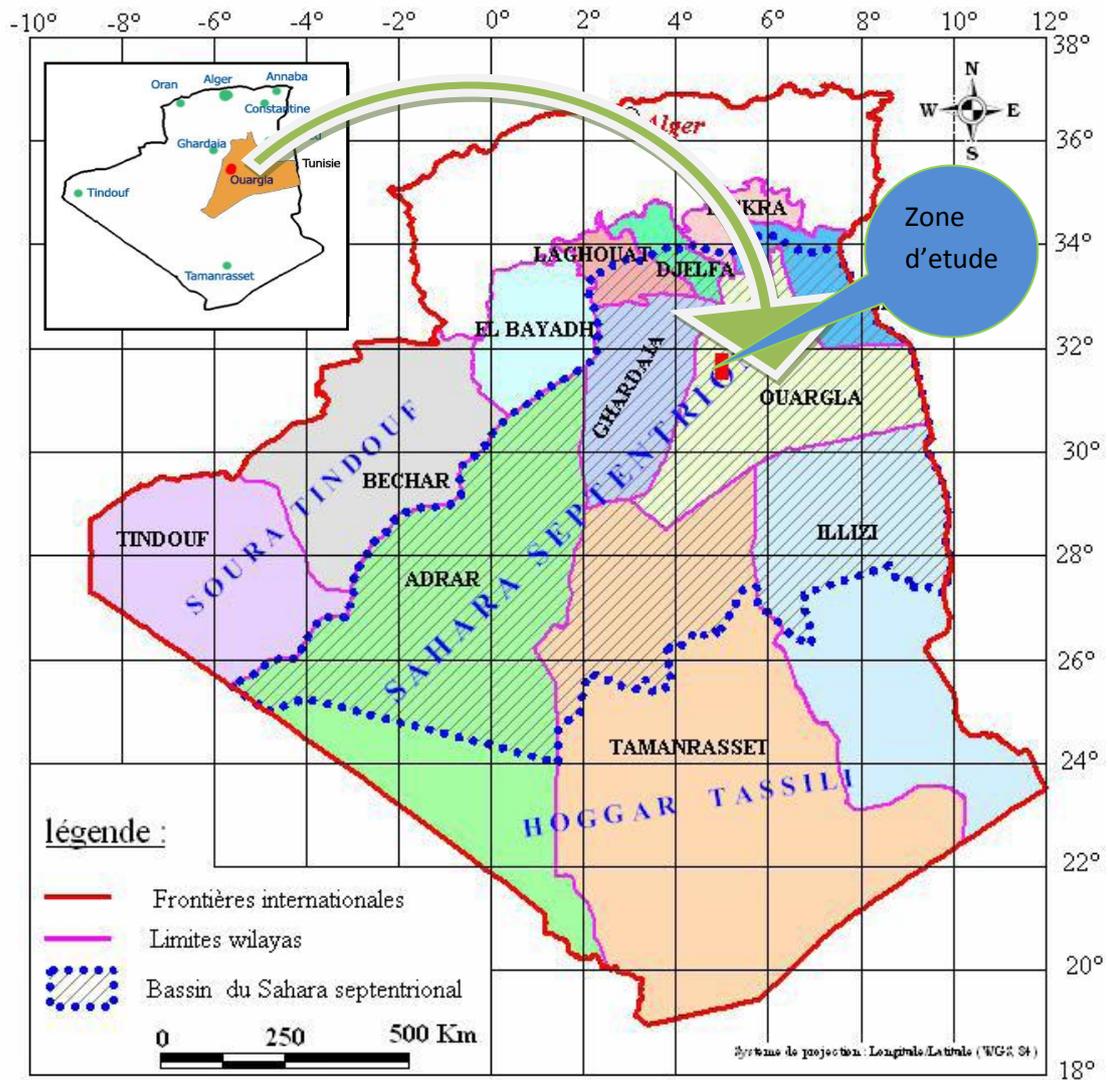


Fig. 1 : Carte de situation géographique (source :ABH)



La ville de Ouargla est située dans une dépression (cuvette) qui inclut les agglomérations de Ouargla, N'Goussa, Rouissat, Aïn El Beïda et SidiKhouiled.

Cette dépression ou cuvette s'étend entre les coordonnées (UTM, Clarke 1880) : X = 710 000 m; Y = 3 530 000 m et

X = 730 000 m; Y = 3 600 000 m.

Elle présente une superficie totale de l'ordre de 95 000 ha qui s'étale sur une longueur d'environ 55 km orientée sud-ouest / nord-est et limitée :

- Au Nord par Sebkheth Safioune;
- A l'Est par les ergs de Touil et Arifdji;
- Au Sud par les dunes de Sedrata;
- A l'Ouest par le versant est de la dorsale du M'Zab (fig.2) [2]

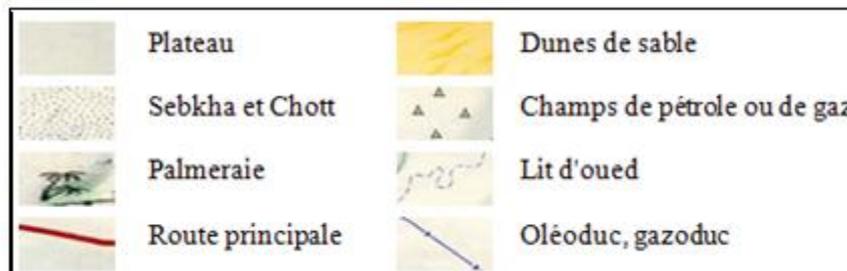
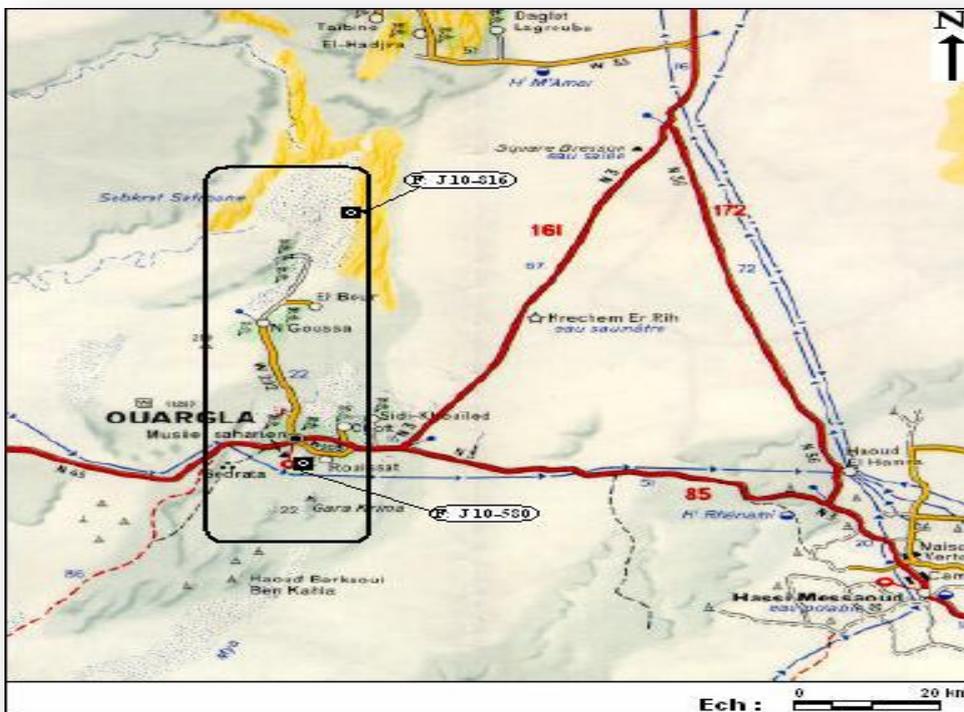


Fig. 2 : Délimitation de la cuvette de Ouargla (source :ABH)



2-Milieu physique :

2.1-Climatologie :

2.1.1-Introduction :

Le climat de la région de Ouargla est un climat particulièrement contrasté malgré la latitude relativement septentrionale. L'aridité s'exprime non seulement par des températures élevées en Été et par la faiblesse des précipitations, mais surtout par l'importance de l'évaporation due à la sécheresse de l'air.

Ces paramètres hydro climatiques ont une grande importance pour toute étude hydrogéologique car ils ont une influence sur le comportement hydraulique et surtout le bilan hydrique des aquifères.

La zone d'étude appartient au grand bassin d'Oued Mya, qui est caractérisé par un climat désertique.

Pour cette étude, les séries des données, qui sont à la base de la détermination de différents paramètres climatiques, ont été enregistrées à la station pluviométrique de Ouargla dans le tableau (1)

Tableau (1) : station pluviométrique de Ouargla

station	Coordonnées		Altitude en m
	X	Y	
ouargla	05° 19' 22"	31° 57' 17"	136

(source :DHW)

La température est très élevée en été, avec une moyenne mensuelle du mois le plus chaud (Juillet) qui dépasse 34°C et celle du mois le plus froid (Janvier) est de 11° C;

Les vents sont de vitesse moyenne de l'ordre de 3,8 m/s, cette vitesse est plus élevée aux mois d'Avril, Mai, Juin et Juillet avec plus de 4 m/s et moins élevée durant les mois d'Hiver (2,7 m/s). La direction dominante des vents est SSW-NNE;

La précipitation moyenne annuelle est de l'ordre de 35 mm, Mars est le mois le plus pluvieux (7 mm) et Juillet le plus sec (<1 mm);

L'évaporation est très élevée, elle est en moyenne de 114 mm au mois de Décembre et de 403 mm au mois de Juillet, soit de 2884 mm/an. [3]

2.1.2- La pluviométrie :

La faiblesse de la pluviosité est le caractère fondamental du climat saharien.

2.1.2.1-La pluviométrie moyenne annuelle :

Les valeurs moyennes annuelles enregistrées depuis 1990 jusqu'à 2006 varient de 5 à 117 mm, ce qui explique l'irrégularité des précipitations d'une année à l'autre. Durant cette période, la valeur moyenne enregistrée est de l'ordre de 35 mm/an.

La carte de la répartition spatiale des pluies(Fig. 3),indique une diminution de la pluviométrie du Nord au Sud, notre région se trouve dans la gamme 30 à 50 mm/an. [4].

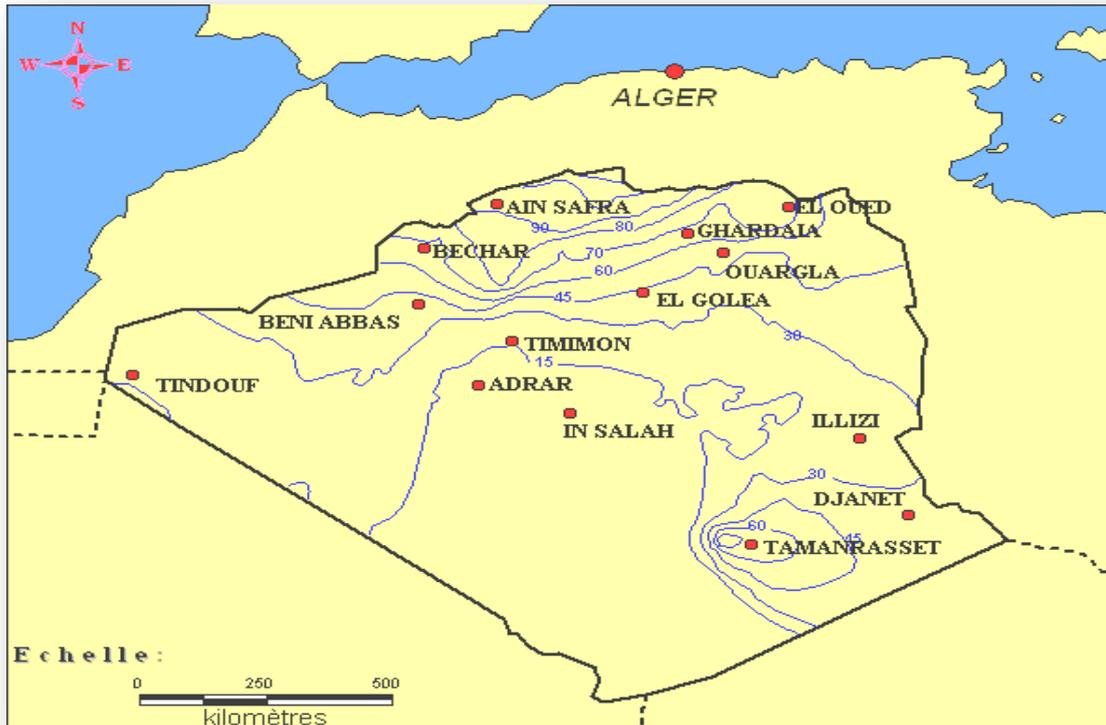


Fig. 3: Carte en isohyètes moyennes annuelles du Sahara algérien

-[Source : Cahiers de sécheresse, N°: 1/98 (Internet)]-

2.1.2.2- La pluviométrie mensuelle :

Le tableau (2) et la figure (4) ci-dessous montrent la répartition des hauteurs moyennes mensuelles de la précipitation.

Tableau.(2): Pluviométrie mensuelle

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	AN
P moy (mm)	2	5	6	3	5	2	7	2	2	0	0	0	35

(source :DHW)

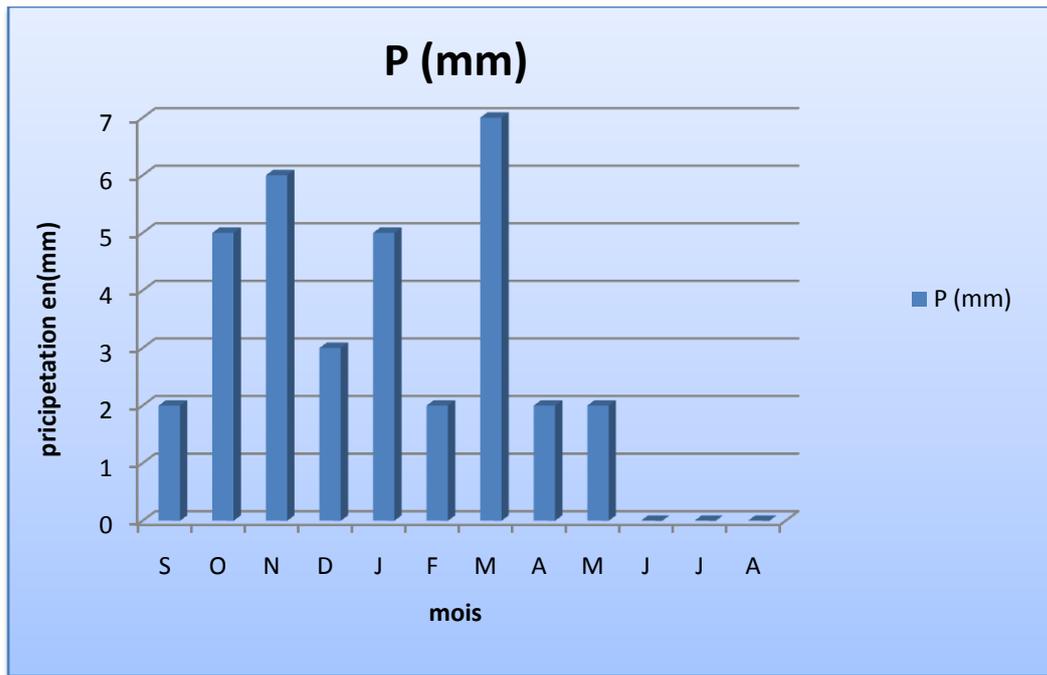


Fig. 4 : Hauteurs moyennes mensuelles de la précipitation
(station de Ouargla, 1990-2006—source :DHW)

On remarque une grande irrégularité de la pluie; faible pendant l'Hiver et presque nulle en Été. Leur provenance en Hiver est due aux dépressions accompagnants la migration vers le Sud des fronts polaires, en Été elles sont dues aux dépressions de mousson, alors que pendant la période intermédiaire, ces précipitations sont due aux dépressions Soudano-Sahariennes du Sud vers le Nord (Du bief, 1963).

En règle générale les pluies sont d'intensité plutôt faible pour la région.

2.1.2.3 – La pluviométrie journalière :

Une analyse statistique sur une série de pluies maximales journalières qui comprend 89 valeurs (Période : 1909-1998), a été réalisée à l'aide d'un programme informatique (ALED) qui ajuste les lois statistiques sur les échantillons hydro-pluviométriques (C. Ouled Belkhir,2002).

Les meilleurs critères d'ajustement sont donnés par la loi de Gumbel. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau (3) ci dessous:

Tableau. (3) : Périodes de retour des pluies journalières

Période de retour (années)	10	100	500
Pluie (mm/j)	27	46	57
Intensités moyennes journalières (mm/h)	1.125	1.9	2.45

(source :DHW)



2.1.3-La température :

C'est un facteur principal qui conditionne le climat de la région.

L'analyse des températures sera faite à partir des données recueillies de l'ONM-Ouargla période (1990-2006).

2.1.3.1- La température moyenne annuelle :

La température moyenne annuelle pour un climat aride comme celui de Ouargla, n'a pas une grande signification. Les plus intéressantes sont les températures moyennes mensuelles et les amplitudes thermiques.

Les valeurs moyennes enregistrées pendant les 16 dernières années, présentent une légère constance de 23°C. Cependant, ces valeurs cachent des valeurs mensuelles "dispersées", (ex : de 11°C en Janvier à 34°C en Juillet, soit 23°C de différence thermique entre les deux mois).

2.1.3.2.- La température moyenne mensuelle :

Le tableau ci-dessous récapitule les températures moyennes mensuelles, qui ont été reportées dans la figure (5).

Tableau. (4) : Températures moyennes mensuelles

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	AN
Tmoy(c°)	30	24	16.5	12.5	11.5	14	17.5	21.5	26.5	32	34.5	34	23

(source :DHW)

On remarque que les températures estivales sont très élevées, avec une moyenne comprise entre 32 et 34°C. Le maximum se situe en Juillet. Pour la température hivernale, elle varie entre 11 et 14°C et le mois de Janvier est le plus froid. Ceci nous amène à dire que la région de Ouargla a un Hiver doux et un Été très chaud.

2.1.3.3-Les températures extrêmes :

Nous indiquons ci-dessous la moyenne mensuelle des maximas et des minimas.

"Les moyennes mensuelles sont considérées par les statisticiens, en tant que données à tendance centrale, c'est-à-dire qu'elles ne donnent qu'une idée sur la situation moyenne des températures".

C'est pourquoi l'étude des températures extrêmes est très importante dans notre région, elle nous renseigne sur le caractère de "dispersion" de ces données.

**Tableau. (5) : Températures extrêmes**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	AN
Tmoy max (c°)	37	31	23	19	18	21	25	29	34	39	42.5	42	30
T moy min (c°)	23	17	10	6	5	7	10	14	19	25	26.5	26	16
Ecart (c°)	14	14	13	13	13	14	15	15	15	14	16	16	14

(source :DHW)

Sur la figure ci-dessous, nous avons tracé les histogrammes des températures maxima et minima extrêmes.

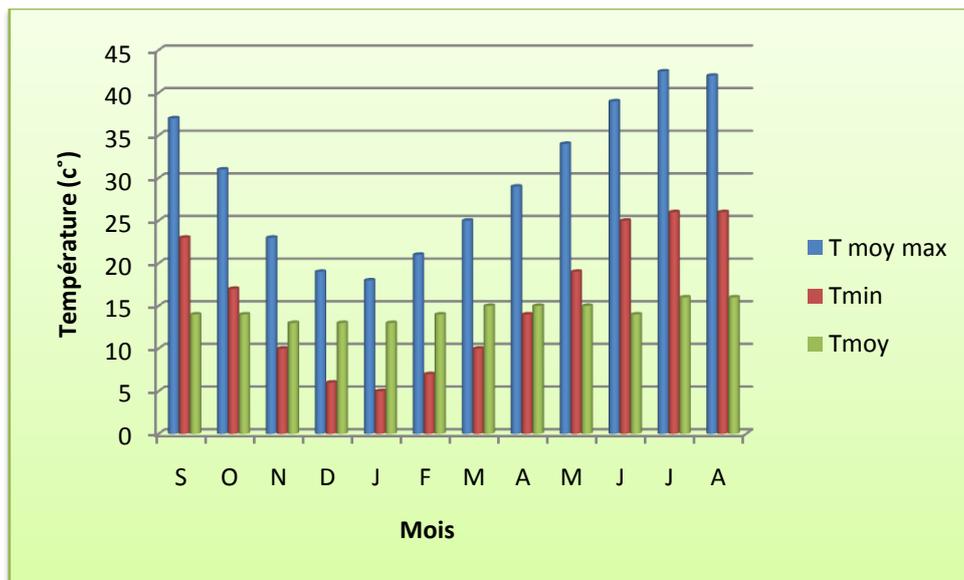


Fig. 5 : Variation des températures moyennes mensuelles
(station de Ouargla, 1990-2006—source :DHW)

De l'étude de ces histogrammes, il ressort que :

- Les valeurs de ces températures, sont plus élevées aux mois de Juillet et Août (42°C);
- Pour les températures moyennes des minima extrêmes, une valeur de 5°C a été signalée. On pourra dire que les plus faibles valeurs se rencontrent en Décembre et Janvier (6-5°C), alors que les plus hautes apparaissent en Juillet et Août (26°C). Ceci est caractéristique de toute la zone septentrionale du Sahara Continental;



- Les écarts de température sont également assez élevés, comme dans tout le Sahara. Au mois de Juillet les variations des valeurs extrêmes ont l'amplitude la plus forte : 26 et 42°C, soit 16°C de différence thermique.

Ces variations sont évidemment beaucoup plus fortes lorsque l'on considère non plus la température de l'air mais celle du sol.

Nous disposons sur le tableau ci-dessous les valeurs caractéristiques de la température.

Tableau. (6) : Valeurs caractéristiques de la température

Température Station	Maximum (Juillet)	Minimum (Janvier)	Moyenne annuelle
Ouargla	42,5°C	5°C	23°C

(source :DHW)

2.1.4.- L'humidité de l'air :

Le degré hygrométrique de l'air (ou humidité relative) c'est le rapport de la tension de vapeur effective à la tension de vapeur saturante dans les mêmes conditions de température et de pression.

Nous avons indiqué dans le tableau (7) ci-dessous la moyenne mensuelle de l'humidité mesurée à Ouargla (période 1990 - 2006).

Tableau. (7) : Humidité moyenne mensuelle

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	An
H (%)	38	50	59	63	63	55	49	41	36	30	27	29	45

(source :DHW)

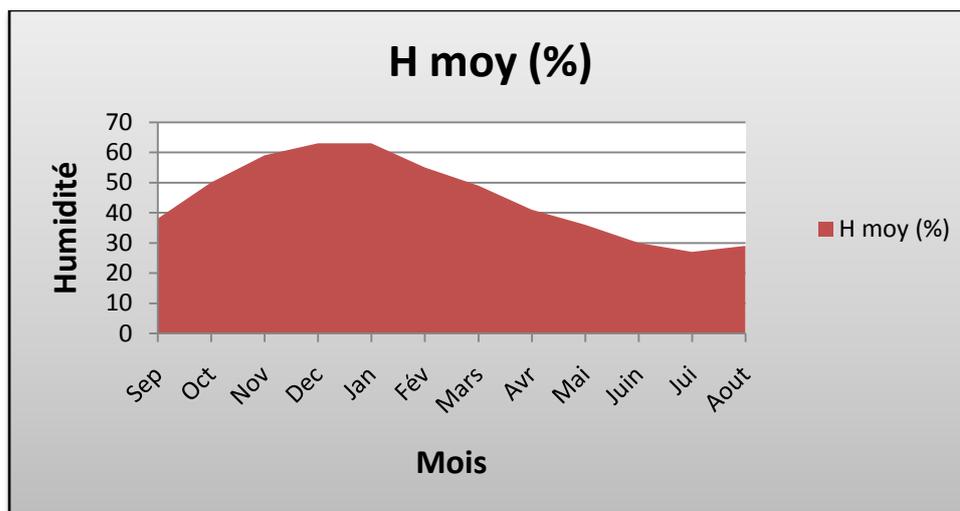


Fig. 6: Variations de l'humidité (station de Ouargla, 1990-2006—source :DHW)



On relève que l'humidité est faible dans l'ensemble de l'aire d'étude.

Ceci est dû notamment au fait que la température de l'air en augmentant suite à l'importance de l'insolation, fait accroître la capacité de contenance en eau de l'air.

Les valeurs -non homogènes-enregistrées ont une variation mensuelle inversement proportionnelle à la température car on observe des valeurs maximales pendant la période de Novembre à Janvier et des valeurs minimales durant la période de Juin à Août.

Toute fois, il peut arriver que cette règle ne soit pas respectée notamment lors de pluies, d'un temps couvert ou de vent fort.

Nous pouvons résumer les choses en disant que l'humidité relative dépend dans une large mesure de la température qui elle aussi dépend de la quantité de rayonnement reçue sur le sol, il demeure que celle-ci n'est pas la seule, car d'autres facteurs interviennent aussi, notamment les vents, les nuages et l'ensoleillement.

L'humidité moyenne annuelle est de 45 %.

2.1.5 - L'insolation :

Il s'agit de l'insolation effective c'est-à-dire de la période en heures durant laquelle le soleil a brillé.

Tableau. (8): Insolation moyenne mensuelle

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	AN
INSO moy (heur)	233,5	236,4	209	176	206,2	197	237,4	273	280,8	300,8	340,2	317,7	3008

(source :DHW)

La variation annuelle de l'insolation concorde avec celle de la nébulosité, elle est de type méditerranéen présentant un maximum estival. Cependant, il existe plusieurs variations annuelles dues aux petits accidents provoqués par des ponts nuageux.

Selon les valeurs mentionnées au tableau (8), on estime que la durée moyenne d'ensoleillement journalière est supérieur à 8 h/j, elle peut dépasser légèrement 12 h/j en Été, tandis qu'elle ne dépasse pas 8 h en Hiver , alors que l'insolation mensuelle, la plus grande, correspondant aux mois les plus chauds "Juin-Août". Le minimum en Novembre à Février correspondant à une durée d'ensoleillement plus basse de 176 h.

D'une manière générale, la durée moyenne est de l'ordre de 3008 h/an, soit 125 jours de soleil par an.



2.1.6 - Le vent :

Nous pouvons dire que le vent est le paramètre climatique le plus régulier dans la région de Ouargla. Il est déterminé par sa direction et sa vitesse.

Tableau. (9) : Vitesse moyenne mensuelle du vent

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	An
Vitesse moy (m/s)	3,9	3,4	2,7	2,7	3	3,2	3,9	4,5	5	4,8	4,5	3,8	3,8

(source :DHW)

On remarque que les vents les plus forts se produisent durant les mois d'Avril à Juillet avec un maximum de 5 m/s en Mai, tandis que le reste des mois on a une vitesse faible (2 m/s).

Généralement, les vents les plus fréquents sont ceux qui ont une direction S-N et SW-NE, tandis que les vents dirigés vers le Sud et le Sud-Ouest ne dominent qu'au mois de Janvier. On peut penser que l'orientation grossièrement N-S de la vallée joue un rôle dans la direction des vents.

La vitesse moyenne annuelle du vent est de 3,8 m/s

2.1.7 - L'évaporation et l'évapotranspiration :

Le retour de l'eau à l'atmosphère peut se faire de différentes manières, soit directement par évaporation à partir d'une surface d'eau libre (mer, lac, cours d'eau, etc.), soit le plus souvent à partir d'un sol ou par l'intermédiaire des végétaux. On parle dans ce deuxième cas d'évapotranspiration.

Pour l'évaporation, la quantité d'eau qui repart dans l'atmosphère dépend uniquement des paramètres physiques tels que la température de l'air, de l'eau, de la vitesse du vent, du degré hygrométrique, de l'ensoleillement, etc.

2.1.7.1 - L'évaporation :

Les mesures de "l'évaporation" peuvent se faire de différentes façons selon les buts poursuivis :

estimation de l'évaporation à partir d'un réservoir, estimation de l'évaporation potentielle... .

2.1.7.1.1 - Mesures de l'évaporation à partir d'une surface libre :

Différents types d'appareils ont été conçus mais avec leurs défauts et leurs qualités. Les plus utilisés sont :

- Bac Colorado et Bac ORSTOM;
- Bac CGI 30;
- **Bac classe A** : (du Weather Bureau, U.S.A.) (Fig. 7) Ce bac est constitué d'un cylindre métallique de 121,9 cm de diamètre et de 25,4 cm de hauteur. Dans ce cylindre, on maintient une épaisseur d'eau de 17,5 à 20 cm.

Le cylindre est supporté par un caillebotis à 15 cm du sol. Le caillebotis doit permettre une bonne aération sous le bac.



Ce bac universellement répandu ne satisfait que très partiellement l'hydrologue car, du fait de sa disposition par rapport au sol, il est très sensible aux variations de température, son inertie thermique étant faible

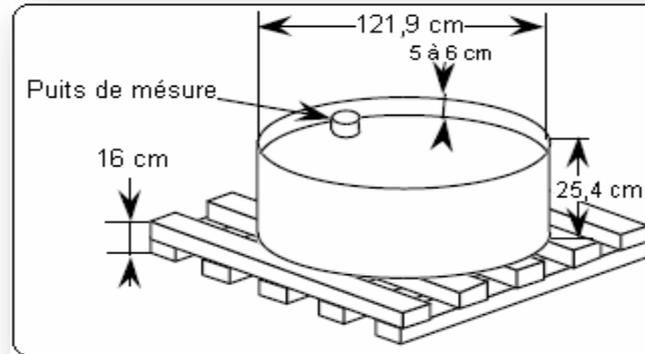


Fig. 7 : Bac classe A

2.1.7.1.2 Mesures de l'évaporation à partir de surfaces poreuses :

-- **Les atmomètres** : Ces appareils sont destinés à mesurer une grande caractéristique du pouvoir évaporant de l'air ambiant. Ces appareils devraient donc avoir les qualités suivantes : faible inertie thermique, surface évaporant, plane, horizontale et à comportement de corps noir, faible perturbation du champ des vitesses du vent, ne pas modifier l'humidité relative de l'air ambiant au voisinage de l'appareil.

Le Piche : Parmi un grand nombre d'autres atmomètres, nous signalerons l'atmomètre de Piche (Fig. 8), bien qu'il ne réponde qu'imparfaitement aux qualités exigibles d'un appareil de mesure. Il est utilisé très fréquemment par les agronomes. Son emploi se justifie par la simplicité et le faible coût de l'appareil.

La surface évaporant est constituée par un film de papier buvard blanc, fixé à l'extrémité du tube en verre en forme de U. Ce tube sert à la fois à l'alimentation et à la mesure de l'évaporation. La feuille de buvard est changée chaque jour après lecture de l'appareil ; Le Piche est disposé à l'intérieur de l'abri météorologique; aussi la mesure dépend-elle beaucoup des conditions d'aération.

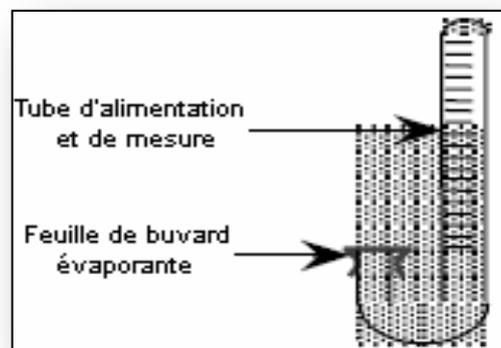


Fig. 8 : Le Piche



Les mesures d'évaporation Piche obtenus, sont celles de la station de l'ONM (Période : 1990-2006).

Pour les mesures d'évaporation sur Bac, elles, sont disponibles sur la station de "l'Aérodrome de Ouargla" durant la période 1990-2006.

les histogrammes de la figure (9) montre une légère différence entre les valeurs au Piche qui sont supérieures aux valeurs du Bac classe A durant presque tous les mois. Le maximum se situe en Juillet (400 mm), comme pour les températures c'est le mois le plus chaud avec 34°C.

L'analyse des conditions climatiques dans notre région a montré que l'intensité de l'évaporation dépend de l'importance du déficit de saturation de l'air, par suite des très hautes températures qui règnent pendant une longue période estivale. Cependant, d'autres phénomènes, tels que le vent peuvent avoir une incidence sur l'évaporation.

Le vent est un élément éminemment variable. Il n'agit jamais indépendamment des autres facteurs, il a un effet très différent selon sa direction soit qu'il souffle par temps humide ou par temps sec.

Tableau. (10): Evaporation Piche et Bac classe A (valeurs en mm)

Mois Méthode	Mois												
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	AN
Piche (station de Ouargla)	272	218	143	115	116.5	144	192.5	246.5	285.5	365	403	383	2884
Bac classe A (station de l'Aérodrom, Ouargla)	285	169	138	84	87	128	156	240	309	354	372	357	2679

(source :DHW)

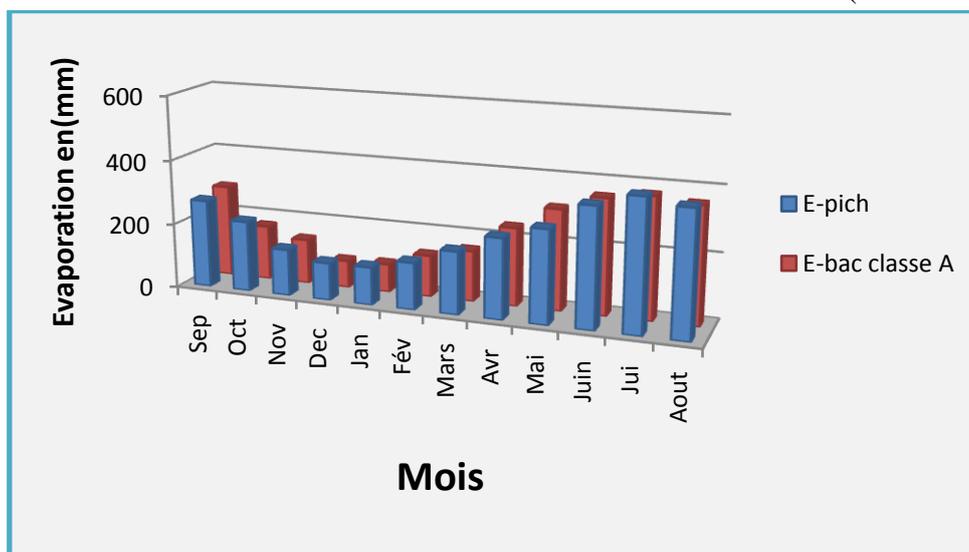


Fig. 9 : Variation de l'évaporation (—source :DHW)



2.1.7.2 – L'évapotranspiration :

La transpiration est commandée par les conditions climatiques, liées au rayonnement et à la turbulence de l'air, qui concourent à la définition de ce que les bioclimatologistes appellent l'évapotranspiration potentielle (notée Etp).

Par définition l'Etp : c'est la quantité d'eau, généralement exprimée en(mm), qui serait évaporée ou transpirée à partir d'un bassin versant si l'eau disponible pour l'évapotranspiration n'était pas un facteur limitant.

Pour l'évapotranspiration réelle (notée Etr) : elle est correspond à la quantité d'eau effectivement évaporée ou transpirée par le sol, les végétaux et les surfaces libres d'un bassin versant.

En agriculture saharienne (irriguée), on apporte aux plantes l'eau nécessaire pour compenser l'Etr. L'Etr d'un certain couvert végétal dense en plaine activité est, par définition, égale à l'Etp (Dubost, 1992).

Concernant les études consacrées au Sahara algérien, jusqu'à présent la plupart des documents techniques utilisent les données empiriques.[5]

2.1.7.2 .1. Estimation de l'évapotranspiration :

L'estimation de l'Etp ne peut s'effectuer qu'en utilisant diverses formules de calcul utilisant les données d'observation météorologique. Plusieurs de ces formules sont à caractère empirique :

les formules de Turc, de Thornthwaite, de Blanney-Criddle et de Penman.

2.2. Géomorphologie et hydrographie :

L'étude géomorphologique de la région fait apparaître les éléments suivants (fig.10 et 11) :

- La *hamada Mio-Plio-Quaternaire* (plateau où affleurent de grandes dalles rocheuses) :

C'est une formation continentale détritique qui forme un plateau dont l'altitude moyenne est de 200 m. Ce plateau s'abaisse légèrement d'Ouest en Est où il est très fortement érodé et ne laissant que quelques buttes témoins appelées « goure ».

- Les *glacis* sur les versants ouest de la cuvette s'étagent du plus ancien au plus récent, d'Ouest en Est sur quatre niveaux de 200 à 140 m d'altitude. Les glacis situés à 180 et 160 m se caractérisent par des affleurements du substrat gréseux du Mio-Pliocène. L'Est de la cuvette est une vaste glacis alluvial à sable grossier situé à 150 m d'altitude.

- Les *sebkhas* : marécages salés, le plus souvent asséchés, occupant le fond d'une dépression. Le *chott (ou sebkha)* constitue le point le plus bas. Il est constitué de sable siliceux et/ou gypseux à croûte gypseuse de surface et de subsurface. Le bas fond se caractérise par une nappe phréatique permanente très peu profonde de 1 à 5 m. En aval de Ouargla, diverses sebkhas alternent avec des massifs dunaires jusqu'à Sebkhet Safioune qui est à 103 m d'altitude point le plus bas de la région.[6]

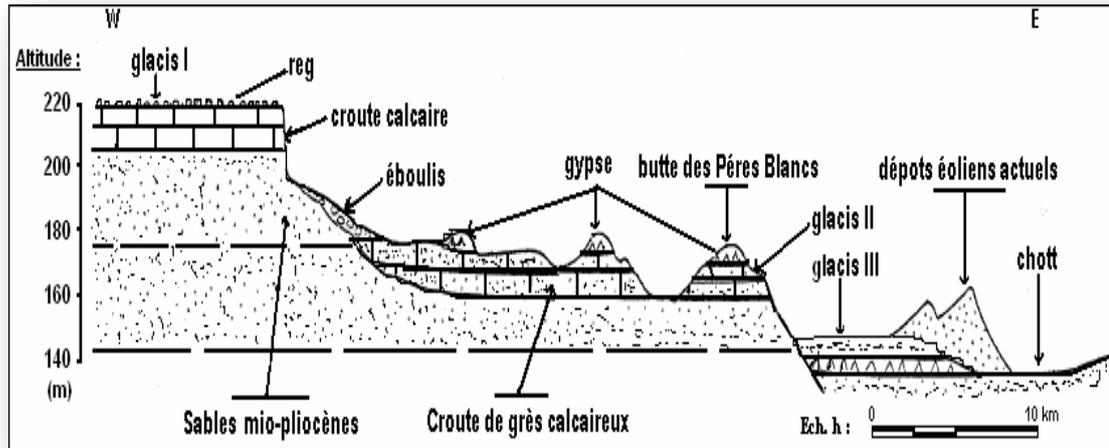


Fig. 10 : Coupe géomorphologique schématique de la vallée de Ouargla

Le sous-sol est formé de sables dunaires reposant sur des alluvions de l'oued avec localement des formations gréseuses indurées.

Dans la région de Ouargla, seuls les terrains du Mio-Pliocène affleurent. Ils sont recouverts par endroits de formations de dépôts datant du Quaternaire composés des ergs et des dunes.

La cuvette est creusée dans les formations continentales du Mio-Pliocène. Il s'agit de sables rouges et de grès tendres à stratifications entrecroisées, avec nodules calcaires, entrecoupés de niveaux calcaires ou gypseux que l'on voit affleurer sur ses bords est et ouest.

Après son creusement, la cuvette a été occupée par un lac au fond duquel se sont déposés des sédiments fins argileux ou d'origine chimique, craies, calcédoine et évaporites. Des oueds, descendant de la dorsale "mzabite" à l'Ouest (oueds M'Zab, N'Sa et Z'Gag) ou du Tademaït (O.Mya) au Sud, se déversaient dans ce lac en abandonnant leurs alluvions en larges cônes (Ank Djemel pour l'Oued M'Zab) ou barrant la vallée (O.N'Sa et Z'Gag au Nord de Sebket Safioune).

Avec la fin de la dernière grande période pluviale, le lac s'est retiré. L'O.Mya n'a pu qu'épisodiquement couler de sebkha en sebkha sans beaucoup de vigueur, son cours étant complètement coupé par les reliefs situés à l'aval de Sebket Safioune où un lac se formait à nouveau à chaque période un peu pluvieuse.

Les alluvions de O. N'Sa ferment la vallée au Nord de Sebket Safioune, empêchant un écoulement vers l'aval. Cette fermeture s'est rompue dans sa partie est et les eaux du lac ont pu s'échapper vers le N-E, en direction de Touggourt et du Chott Melrhir.

Actuellement, les plus grandes crues de l'O. Mya s'arrêtent à 200 km à l'amont de Ouargla. Celles de l'O. M'Zab atteignent Sebket Safioune deux fois par siècle, alors que celles de l'O. N'Sa semblent plus fréquentes.

Les travaux des archéologues confirment que la dépression de l'O. Mya n'a été drainée par des cours d'eau qu'à une période très ancienne du Quaternaire et que les sebkhas n'étaient pas fonctionnelles à l'époque néolithique car certains gisements



reposent sur elles. Les sebkhas sont apparues au cours d'une période humide antérieure, vraisemblablement le dernier grand pluvial contemporain de la glaciation de Würm.

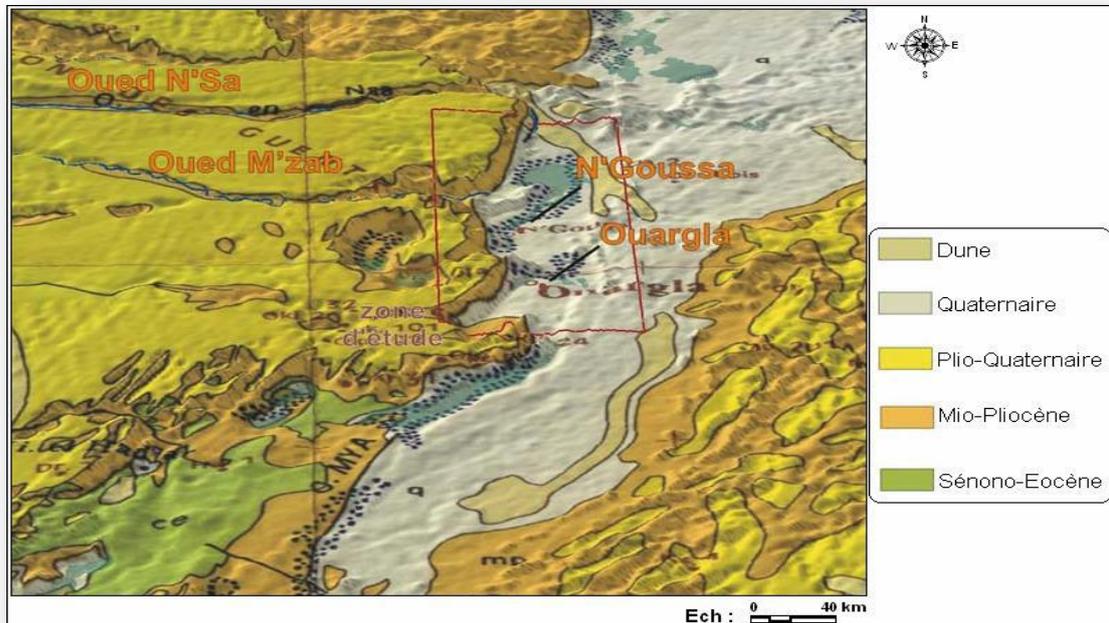


Fig. 11 Carte géologique de la région d'Ouargla (source ABH Ouargla)

2.3 Topographie du la cuvette :

La planéité du relief pose de nombreuses contraintes techniques pour la mise en place des réseaux d'évacuation des eaux de drainage et d'assainissement.

Mises à part les extensions à l'ouest de la ville dans le quartier de Bamendil, la dénivellée totale est seulement d'une douzaine de mètres entre Ouargla et le point le plus bas de la vallée, soit une pente moyenne de 0,7‰. Ceci a pour conséquence une difficulté d'évacuation des eaux de drainage en dehors de l'agglomération de la ville d'Ouargla.

Les faibles pentes entraînent par ailleurs des vitesses d'écoulement très faible et par conséquent une stagnation des eaux dans le réseau qui cause des odeurs très nauséabondes. [7]

2.4 Ressources des eaux souterraines :

2.4.1 La nappe phréatique :

La nappe phréatique se situe dans les couches sable gypseuses quaternaires de l'oued M'YA, cette nappe coule du SUD vers le NORD en *inverso* flux. Sa surface libre où la frange capillaire se manifeste souvent sur le sol sous forme de petits chotts qu'on trouve de part et d'autre de la ville d'Ouargla. Cette nappe est alimentée par les eaux d'irrigation, les fuites de réseau d'AEP ainsi que les eaux usées et les rares précipitations qui contribuent à alimenter la nappe.



Le réseau de surveillance et de contrôle de la nappe phréatique est constitué de 157 piézomètres. Selon les études effectuées, le sens d'écoulement des eaux est en général d'orientation nord où il arrive au niveau de Sebkhet Safioune qui est le principal exutoire. Les eaux de cette nappe présentent une forte minéralisation en sels dissous, cette forte minéralisation est due au phénomène de dissolution des sels contenus dans les sables gypso argileux du quaternaire et la concentration des sels par évaporation.

2.4.2- la nappe du continental intercalaire :

La formation du Continental Intercalaire est représentée par des dépôts continentaux sablo gréseux et sablo argileux du Crétacé Inférieur. C'est un système aquifère multicouche dont la profondeur atteint localement 2000 mètres et dont la puissance varie entre 200 et 400 m.

A Ouargla, il est exploité entre 1150 m et 1350 m de profondeur.

Selon l'inventaire de l'ANRH en janvier 2005 les prélèvements de la nappe CI, dans la cuvette d'Ouargla sont 7 Hm³ pour 2 forages exploités se trouvant dans la région d'Ouargla.

2.4.3-la nappe du complexe terminal :

Les formations du Complexe Terminal sont très hétérogènes. Elles englobent les assises perméables du Sénonien calcaire et du Mio-Pliocène. En fait, il est possible d'y distinguer trois corps aquifères principaux, séparés localement par des horizons semi-perméables ou imperméables. Ces trois corps sont représentés par les calcaires et dolomies du Sénonien et de l'Eocène Inférieur, par les sables, grès et graviers du Pontien, et par les sables du Mio-Pliocène. La profondeur du Complexe Terminal est comprise entre 100 et 600 mètres et sa puissance moyenne est de l'ordre de 300 m.

Selon un inventaire de l'ANRH en janvier 2005 les prélèvements de la nappe CT dans la cuvette de Ouargla sont 83 Hm³/mois pour 222 forages exploités, tandis que les prélèvements dans la région de Ouargla sont 74 Hm³/mois pour 191 forages exploités.[8]

2.5.Ressources des eaux superficielles :

Malgré les faibles précipitation et le faible nombre de jours de pluies dans la région du Sahara 12 jours en moyenne ,les écoulements sur les versants occidentaux peuvent alimenter les réseaux hydrographiques pendant quelques temps et parfois peuvent même causer des inondations très importantes .

Le réseau hydrographique traversant la région est composé des oueds suivant :

2.5.1-Oued M'ZAB :

L'oued M'Zab coule d'ouest en est sur environ 320 kilomètres de la région de **Botma Rouila** à 750 mètres d'altitude jusqu'à la Sebkha safioune à 102 mètres située au nord de la cuvette de Ouargla.

La surface du bassin versant est de **5 000 km²**. Il n'y a pas d'écoulement pérenne. Les crues sont exceptionnelles, les dernières observées datent de 1901, 1951, 1991 et septembre 1994. Et la dernière crue 2008.



Le débit mesuré en 1994 a atteint 13,5 m³/seconde. Lors de la crue de 1991, la circulation de la route Frane-El Hadjira a été interrompue, cependant l'eau n'a pas franchi la route vers Hassi Debiche_.[9]

2.5.2- Oued N'SA :

Le bassin versant de oued N'sa couvre une superficie de 7 800 km². Il coule selon une direction ouest-est dans son cours supérieur, en direction Nord Nord ouest – Sud Sud Est dans son cours moyen sur une longueur d'environ 100 kilomètres et de nouveau vers l'est en son cours inférieur pour se déverser dans la sebkha safioune. Les crues sont également exceptionnelles. La dernière date de 1994, où le débit enregistré a été de 35 m³/seconde.[10]

2.5.3-Oued M'YA :

Le bassin de l'oued M'Ya couvre une superficie de 19 800 Km². Les écoulements sont plus fréquents en novembre, octobre, mai et juin. Les crues de l'oued M'Ya se perdent à 200 kilomètres en amont de la ville de Ouargla. Il est signalé que les oueds de la région sont des oueds saisonniers, est très souvent à sec.

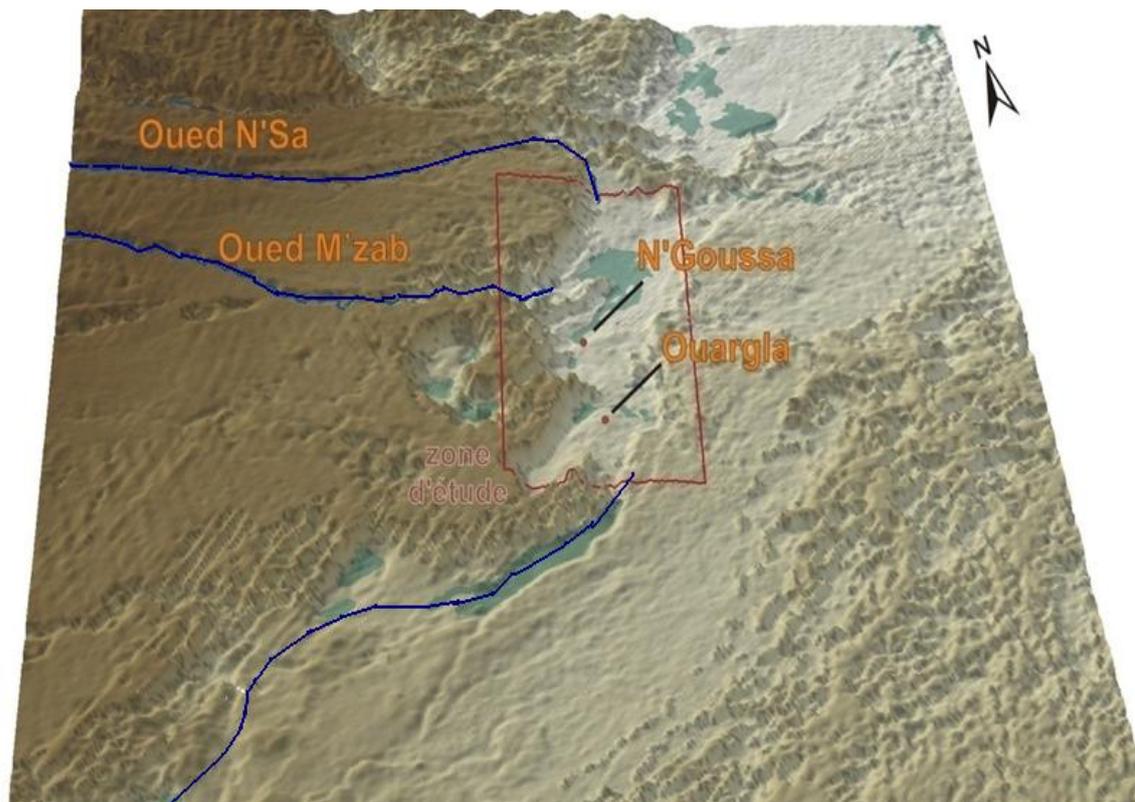


Fig. 12 : les Oueds de la région de Ouargla (source ABH Ouargla)



3-Milieu naturel :

3.1-Chott Aïn Beïda :

Le chott d'Aïn Beïda constitue le point bas de la ville de Ouargla, il a pu il y a de nombreuses années constituer l'exutoire des eaux de oued Mya. Il couvre environ une superficie de 1000 hectares.

Actuellement l'alimentation en eau du chott se fait à partir de la nappe phréatique dont le niveau varie en fonction de la saison et des actions de l'homme (drainage de la palmeraie, irrigation) et surtout à partir de la divagation des eaux usées déversées dans le Chott.

L'inventaire de la faune et de la flore du Chott d'Aïn Beïda, a été réalisé dans le cadre d'une étude menée par le département de la conservation des forêts afin de définir un plan d'action pour une meilleure gestion de cette zone humide.

Le Chott Aïn Beïda est divisé en quatre zones distinctes par l'implantation d'infrastructures plus ou moins récentes. Le canal de drainage des eaux de la palmeraie sépare longitudinalement le chott. La réalisation de la piste du chott, récemment goudronnée qui permet de joindre la ville de Ouargla à Aïn El Beïda coupe le chott de manière transversale. Ces deux infrastructures ont vraisemblablement des incidences sur les circulations d'eau souterraines au niveau de la zone mais qui ne sont pas actuellement mesurables.

La photo (1) suivante donne une présentation du chott d'Aïn Beïda :



Photo (1): photo de Chott Aïn Beïda (région de ouaregla)



3.2-Chott Oum Er raneb :

La superficie du plan d'eau du Chott d'Oum Er Raneb va passer de 1400 ha à 600 voire 900 ha. 500 à 800 hectares seront donc mis à sec. Cette surface asséchée sera recouverte d'une croûte plus ou moins épaisse de matières organiques séchées et salées. Lorsqu'elle sera complètement séchée, cette croûte devrait se dégrader doucement sous l'effet du soleil et du vent. Il sera néanmoins intéressant de suivre l'évolution de cette croûte salée sèche et de prendre des mesures adéquates (telle que mise en décharge ?) si des nuisances apparaissent.

La photo (2) suivante donne une présentation du chott Oum Er raneb :



Photo (2) : photo de Chott Oum Er raneb (région de ouaregla)

3.3 – Sebkhja safioune :

La mise en eau permanente de la sebkhja Safioune va vraisemblablement attirer la venue des oiseaux migrateurs qui fréquentent déjà Oum Er Raneb et le chott d'Aïn Beïda. Il sera intéressant pour les biologistes et les spécialistes nationaux et internationaux de l'avifaune de suivre la colonisation de cette nouvelle zone humide. La photo (3) suivante donne une présentation du Sebkhja safioune :



Photo (3) : photo de Sebkhja safioune (région de ouaregla)



4 -Milieu humain :

L'origine de la ville d'Ouargla remonte à Ier siècle après J.C. Jusque dans les années 60, les activités de la ville étaient surtout agricoles avec l'exploitation de la palmeraie pour la production de dattes et le maraîchage. La construction de réseau routier en 1925 a permis aux agriculteurs de pouvoir développer les exportations et le commerce vers les villes du Nord. Les activités de la ville ont pris de nouvelles orientations à partir de la découverte et de l'exploitation du pétrole à Hassi Messaoud dans les années 60.

4.1- Population :

L'agglomération d'Ouargla comprend les communes d'Ouargla, Rouissat et Aïn Beïda. En 2001, la population est estimée à près de 173 000 habitants se répartissant entre Ouargla 69%, Aïn Beïda, 9% et Rouissat, 22% (tableau 2).

La ville d'Ouargla s'est développée rapidement sur les quinze dernières années suite au développement des activités pétrolières dans la région. Ouargla, capitale régionale constitue un nœud de développement administratif, universitaire et économique.

Le taux d'accroissement de la population entre 1987 et 1998 est de 3,7 % pour Ouargla, 3,8% pour Aïn Beïda et 6,3% pour Rouissat. Ces taux d'accroissement sont relativement élevés et attestent de la dynamique de développement de la ville de Ouargla autour du secteur tertiaire.:[11]

Le plan directeur d'assainissement prévoit une population de près de 400 000 habitants en 2030.[12]

Tableau (11) : Projection démographique pour l'agglomération de Ouargla

Les années	2001	2005	2015	2030
Agglomération de Ouargla	176000	204000	274000	394000

(source :DHW)



1 - La géologie de la région :

1.1 - Géologie régionale :

La région de Ouargla fait partie du bassin sédimentaire du Sahara Nord -Est septentrional (Fig.1), dont les grands traits de la géologie sont :

- Au sud de l'accident Sud atlasique qui sépare la zone mobile maghrébine du reste de l'Afrique occidentale, le bouclier rigide est formé de terrains sédimentaires et éruptifs, plissés et métamorphisés.
- Le paléozoïque du Sahara correspond à des dépôts de climat désertique périglaciaire. Autour des affleurements du socle, s'étagent des couches gréseuses et schisteuses des Tassilis, les mouvements hercyniens du Permo-Carbonifère, vont provoquer l'érosion du bouclier. Il s'installe alors une grande période continentale avec pénéplation post-hercynienne pendant le Trias et le Jurassique et formation d'un manteau de grès, de sable et d'argile, qui va constituer le " Continental Intercalaire".[1]
- Au Trias, le dépôt des évaporites dans la région occupée actuellement par le Grand Erg Occidental et la faible épaisseur de la série gréseuse évoquent un climat aride.
- Au Jurassique, la production d'argiles grisées à Kaolinite indique une très forte hydrolyse par opposition aux argiles vertes qui dénotent une hydrolyse de moindre intensité. Au-dessus, se forme un grès cuirassé, produit dans des bas fonds, le climat était alors au moins humide.
- Au Crétacé, se met en place une nappe de grès très tendre, étendu sur plus de 15° de latitude Nord, formée de galets et même de blocs conglomératiques. Tellement l'hydrodynamisme était puissant, qu'elle s'est produite en série tabulaire, avec un avancement progressif probablement à la faveur de Tornades Sporadiques sur une surface très plane. Il y aurait donc une alternance rapide des conditions climatiques avec de nombreux épisodes humides. Pendant cette période, il s'est produit des invasions marines sur la plate-forme saharienne:
- Crétacé inférieur dépôts de calcaire à proximité des sites d'études, alors que le crétacé inférieur est Fulvio-lacustre dans le Tidikelt, avec une alternance de phases désertiques.
- Cénomanien : dépôts d'argiles et d'anhydrite.
- A l'Eocène inférieur, l'Atlas saharien se soulève. Il y a alors érosion des dépôts d'argiles et de sables qui forment le soubassement de Oued Rhir et du Grand Erg Oriental. Les mouvements tectoniques au Nord provoquent des ondulations à grand rayon de courbure, responsables de la formation de la dorsale du M'Zab et du Synclinal du Tadmait. Avec dans le même temps l'effondrement du Sahara central. [2]

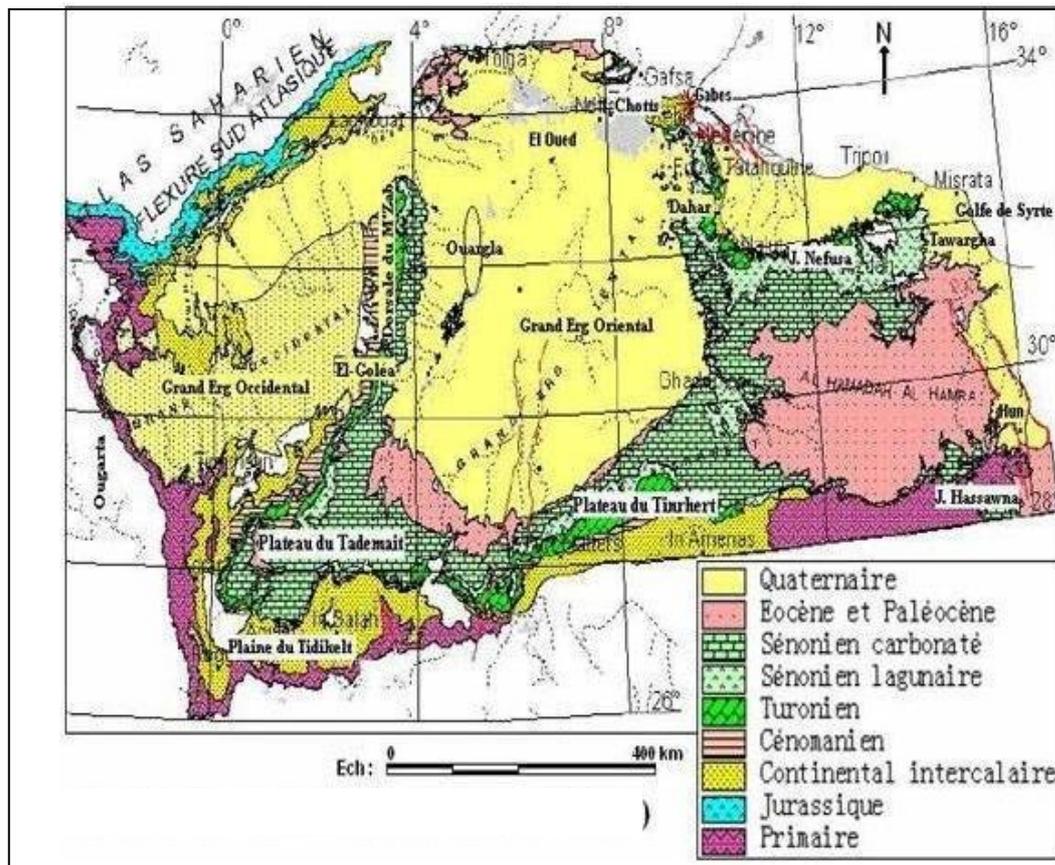


Fig. 1 : Carte géologique régionale (oss ,2003)

1.2- Cadre géologique local :

1. 2.1 – Introduction :

Sur la région de Ouargla seuls les terrains du Mio-Pliocène affleurent, ils sont recouverts par une faible épaisseur de dépôts quaternaires. A partir des données de forages pétroliers et celles des forages hydrauliques, nous avons établi des coupes géologiques et un log synthétique des formations lithologiques. La description des différentes formations a pu être effectuée.

1. 2.2 – Litho stratigraphie :

1. Aptien : Il est constitué par la "barre aptienne" dans la région d'Ouargla, qui est formée de marnes dolomitiques, gris vert, brunes ou blanches, et dolomies cristallines, son épaisseur est variable, elle est comprise entre 20 et 26 m. L'aptien est considéré comme imperméable dans son ensemble.

2. Albien : Sur la région de Ouargla, l'albien correspond à la série lithologique supérieure du Continental Intercalaire; Ce sont des grès, argiles et sables. L'épaisseur de ces formations est variable (417- 432 m). Les éléments détritiques (non argileux) sont largement prépondérants



(70 à 90%) et sont représentés par des grès fins avec des passées de grès moyens et parfois d'intercalations de sables grossiers à limons argileux ou souvent carbonatés. On note des passées d'argiles brun-rougeâtre, elles sont même pélitiques et sableuses sur les puits les plus septentrionaux. Dans son ensemble, L'Albien correspond à un horizon aquifère.

3. Vraconien : L'intercalation Albo-varconienne caractérise un épisode dolomitique remarquable entre les grès Albien et les argiles Cénomaniennes, Il est formé de:

- Dolomies et quelques fois de calcaires dolomitiques parfois argileux contenant de rares débris de mollusques, les épaisseurs y sont inférieures à 100 m mais supérieures à 50 m sur Haoud-Berkaoui, sauf quelques exceptions locales en particulier dans deux puits d'Haoud-Berkaoui
- Argiles et marnes dolomitiques et des éléments détritiques.

4. Cénomaniens : Il est formé de deux séries (inférieure et supérieure) :

- la série inférieure est constituée par des argiles dolomitiques et des marnes grises, avec parfois des argiles brune-rougeâtre ou gris-verdâtre, son épaisseur varie entre 65 et 80 m. On note aussi quelques passées de calcaires dolomitiques en particulier à la partie médiane de la série.
- la série supérieure est formée d'une alternance d'argiles et de marnes dolomitiques grises, parfois d'argiles salifères, de bancs d'anhydrite, de quelques intercalations dolomitiques, et de passées de sel gemme, son épaisseur est de l'ordre de 70 m.

5. Turonien : Il se présente sous forme d'une dalle ayant une épaisseur régulière "barre turonienne", il est de l'ordre de 73 m. Il s'agit d'une série essentiellement calcaire :

calcaire poreux blanc, parfois grisâtre, pulvérulent, quelquefois dolomitique, de calcaire beige dolomitique et de calcaire fin légèrement dolomitique.

6. Sénonien lagunaire : Le Sénonien lagunaire y est particulièrement épais, son épaisseur est supérieure à 400 m. Il est formé par : [3]

- Sénonien salifère : ayant une épaisseur moyenne de 200 m ; au niveau du forage 621J10, elle diminue jusqu'à 100 m.
- Sénonien anhydritique : son épaisseur moyenne atteint 300 m.
- Sénonien carbonaté : Son épaisseur moyenne est de 150 m excepté pour le forage 581 J10 où elle est de 100 m.

7. Sénonien et Eocène :

Le Sénon-Eocène est formé essentiellement de carbonates ayant une épaisseur comprise entre 150-200 m. Il s'agit des calcaires dolomitiques cristallins ou micro cristallins parfois vacuolaires ou crayeux ou plus carrément argileux.

8. Mio-Pliocène : Le Mio-Pliocène correspond au Continental Terminal tel qu'il a été défini par C.Kilian (1954). C'est un puissant ensemble de sables et d'argiles qui s'étend sur tout le Sahara et qui repose en discordance sur le Sénonien et l'Eocène. On distingue quatre niveaux différents dans le Mio-Pliocène à Ouargla



- A la base, un dépôt argileux peu épais recouvrant dans la partie centrale de la cuvette, et suivant une bande Nord-Sud, le Sénonien et l'Eocène.
- Deuxième niveau : C'est un dépôt grés-sableux qui devient argileux vers le sommet, c'est le niveau le plus épais et le plus constant; le deuxième niveau est le principal horizon aquifère du Mio-Pliocène.
- Troisième niveau : C'est une formation argilo-sableuse dont les limites inférieures et supérieures sont assez mal définies. Cette couche apparaît que dans certains endroits.
- Quatrième niveau : C'est le deuxième niveau sableux du Mio-Pliocène. On ne peut le distinguer que lorsqu'il repose sur le niveau 3 ; d'ailleurs les niveaux 2 et 4 sont confondus. Il est très épais dans la zone des chotts, le sommet du niveau 4 affleurant sur de grandes surfaces; le niveau 4 est souvent constitué par une croûte de calcaire gréseux (croûte hamadienne)

9. Quaternaire : A la base du quaternaire, il existe un niveau argilo-gréseux qui se présente comme une croûte ancienne. Ce niveau met en charge les aquifères du Mio-Pliocène à Ouargla. Le niveau le plus superficiel est constitué de sable éolien parfois gypseux et des produits de remaniement des terrains Mio-Pliocène. Les nappes phréatiques sont généralement contenues dans ce dernier niveau.

Les sondages superficiels (profondeur moins de 30 m) effectuées dans différente localité de la cuvette, ont permis de rencontré les ensembles suivants:

- Sur le plateau, le sol est constitué d'un matériau meuble exclusivement détritique, hérité de l'altération du grès à sable rouge du Mio-Pliocène. C'est le sol le plus pauvre en gypse de la région; jusqu'à 8 m de profondeur il ne présente aucun niveau d'encroûtement; entre 25 et 75 cm de profondeur, il s'agit d'un sol sableux à graviers.
- Sur les chotts et les terrains intermédiaires, l'horizon de surface est une croûte gypseuse épaisse ou polygonale, blanchâtre partiellement couverte de voiles de sable éolien gypso-siliceux et de sebkhas associés à une végétation gypso-halophiles. De 15 à 20 cm d'épaisseur on trouve un encroûtement gypseux pulvérulent, homogène de couleur jaune rougeâtre très claire. En dessous, on trouve un encroûtement gypseux induré de 40 cm d'épaisseur. en dessous un tuf présente un teneur de gypse décroissante
- Les Sebkhas sont caractérisées par une salure extrêmement élevée, ces croûtes salines reposent sur des matériaux limono-sableux.

Les dunes sont de sable éolien d'origine gréseux provenant de Hamada Mio-Pliocène. Il existe dans les talwegs, sur les bordures des Sebkhas, et sur les versants rocheux.

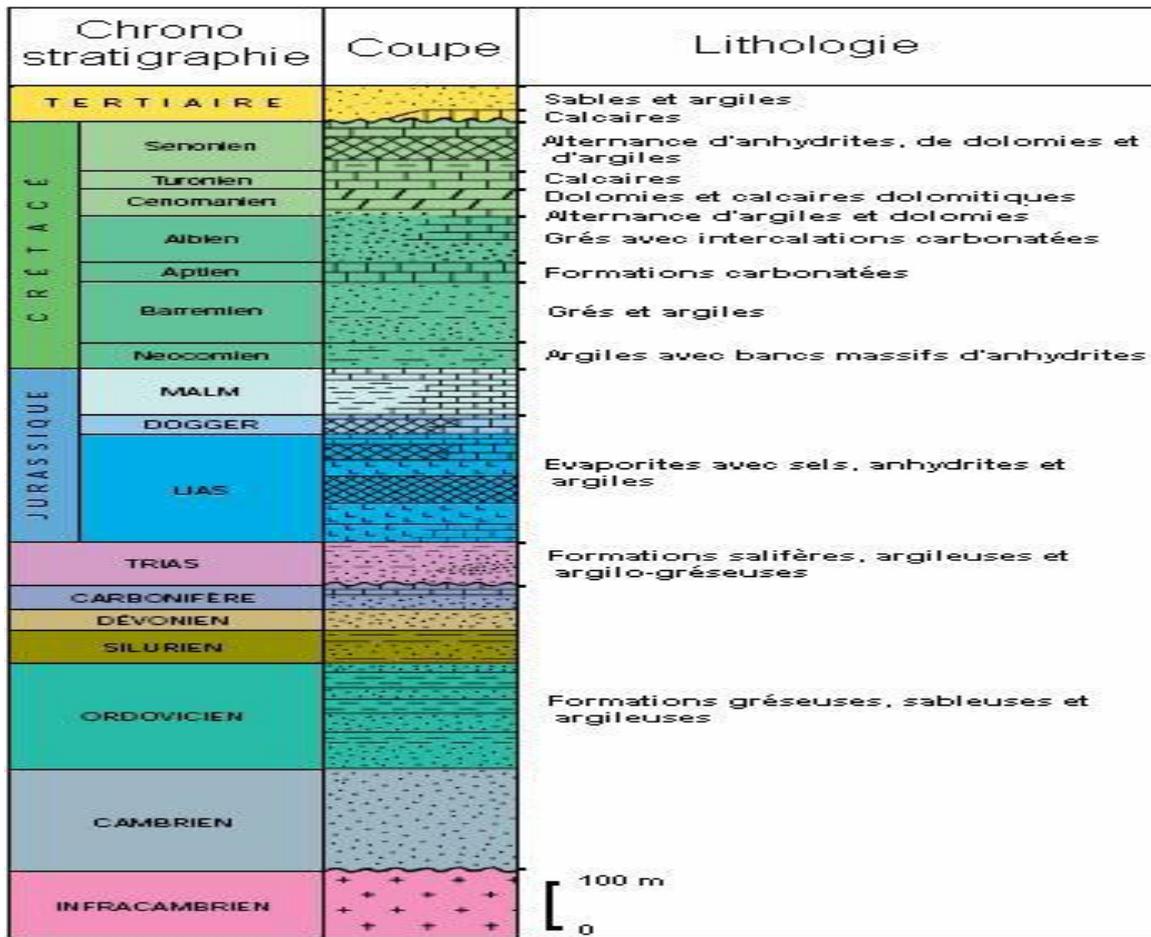


Fig. 2 : Colonne stratigraphique synthétique du Sahara Nord -Est Septentrional

1.3- Tectonique :

La cuvette de Ouargla fait partie de la dépression d'Oued M'ya. Cette dernière, occupe la plus grande partie du bas-Sahara. L'épaisseur totale de la couverture sédimentaire atteint 400 m dans la partie Sud et la partie Ouest de la dépression, et elle augmente dans la partie Nord jusqu'à 6000 m. Dans son ensemble la dépression d'Oued M'ya est une structure dissymétrique assez plate. Les données sismologiques recueillies à l'occasion des recherches pétrolières, montrent que la dépression est structurellement affectée par les failles hercyniennes du Hoggar à partir du Cambrien jusqu'au Sénonien inférieur. Ces failles sont orientées Sud -Est Nord-Ouest et traversent la région de Ouargla par l'est. Elles seraient à l'origine des apports profonds dans cette zone. [4]



2-L'hydrogéologie de la région :

2. 1- Introduction :

Le grand bassin sédimentaire du Sahara septentrional contient trois principaux aquifères :

- A la base la nappe du continental intercalaire: l'un des plus grands réservoirs captifs du monde ;
- Au milieu la nappe du complexe terminal ;
- Au sommet Les nappes phréatiques.

2. 2-Nappe du continental intercalaire (C.I.) :

Le réservoir du C.I. est contenu dans les formations continentales du crétacé inférieur (Baremien et Albien), Composé essentiellement de grès, sables et argiles. Le réservoir s'étend sur environ 600 000 km², il est continu du Nord au Sud depuis l'Atlas Saharien jusqu'au Tassili et le Hoggar, d'Ouest en Est depuis la vallée de la Saoura jusqu'au désert libyen. Au Nord -Est de la dorsale du M'zab, le toit de l'aquifère, constitué d'argiles et d'évaporites du Cénomanién, est continu sur tout le bassin .La profondeur augmente du Sud au Nord, de 1000 m au bas Sahara, à 2000 m sous les chotts, provoquant ainsi une forte charge de la nappe sur tout le bassin oriental. Le substratum est constitué de formations argilo-sableuses et argileuses ou carbonatées d'âge de plus en plus récent du Sud vers le Nord. [5]

La carte piézométrique établie lors de l'étude "ERESS" en 1972 (Fig. 3) montre que cette partie orientale de l'aquifère est alimentée par :

- Le piedmont Sud atlasique (au Nord-Ouest de Laghouat);
- Le plateau du Tinrhert.au sud;
- Le plateau du Dahar (Tunisie).

Les eaux en provenance du Nord-Ouest se divisent sur l'axe de la dorsale du M'zab approximativement suivant deux directions, une partie s'écoule vers le Sud et le Sud -Ouest (Gourara, Touât et Tidikelt), et l'autre partie s'écoule suivant une direction Ouest-Est vers le golf de Gabes qui constitue son exutoire naturel. Les eaux en provenance du plateau du Tinrhert s'écoulent vers le Nord -Est sous l'Erg Oriental en direction de l'exutoire de Tunisie. Sur la région de Ouargla, la nappe de C.I est caractérisée par une transmissivité de $8.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ et un coefficient d'emmagasinement de $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ [1]. [6]

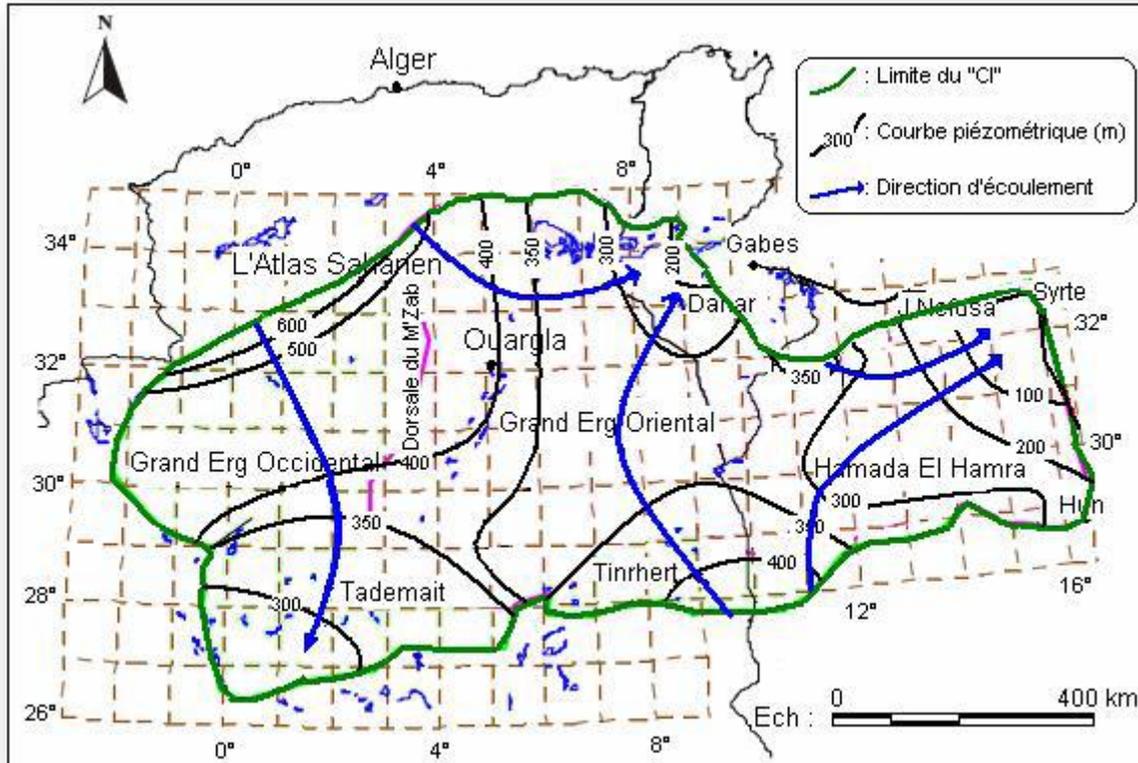


Fig. 3 : Carte piézométrique de référence du "CI" (OSS, 2003)

2.3- Nappe du complexe terminal (C.T) :

Le système aquifère du complexe terminal couvre la majeure partie du bassin oriental du Sahara septentrional sur environ 350 000 Km². Le terme "nappe du complexe terminal" regroupe sous une même dénomination plusieurs aquifères situés dans des formations géologiques différentes. Cette nappe peut circuler dans l'une ou encore dans les deux formations litho-stratigraphiques suivantes :

- Le Sénonien et l'Eocène carbonatés.
- Le Mio-Pliocène sableux.

La première carte piézométrique de la nappe du complexe terminal a été établie et publiée par A.CORNET en 1960. Elle a été reprise et complétée par J.AILLAIRE à l'aide des renseignements fournis par les forages pétroliers lors de l'étude de l'ERESS 72. Cette même carte a été révisée et complétée grâce à la densité des forages pétroliers et hydrauliques. Les axes et les directions d'écoulement sont indiqués sur cette carte piézométrique (Fig. 4). L'allure des isopièzes montre que la nappe peut être alimentée par les zones de bordures suivantes :

Alimentation à partir de l'Atlas saharien :

Entre Biskra et la frontière tunisienne, les courbes isopièzes sont parallèles à l'Atlas, l'alimentation peut avoir deux origines :

- A travers la flexure Sud-atlasique.
- Par infiltration des crues des Oueds à l'aval de l'accident atlasique.

Alimentation par le plateau du Tadmaït et Tinrhert :

Les eaux qui s'infiltrent sur le plateau de Tadmaït et du Tinrhert, s'écoulent vers le Nord et convergent vers l'exutoire principal : la zone des chotts Merouane et Melrhir.

Alimentation par les monts du M'zab :

Le réseau très dense des Oueds du versant oriental du M'zab joue un rôle important dans l'alimentation de la nappe des sables Mio-Pliocène lors des crues exceptionnelles (crues de Oued N'sa et M'zab qui atteignent Sebket Sefioune au Nord de la cuvette).

Les exutoires sont constitués principalement par les grandes cuvettes d'évaporation : chotts Melrhir et Merouane .

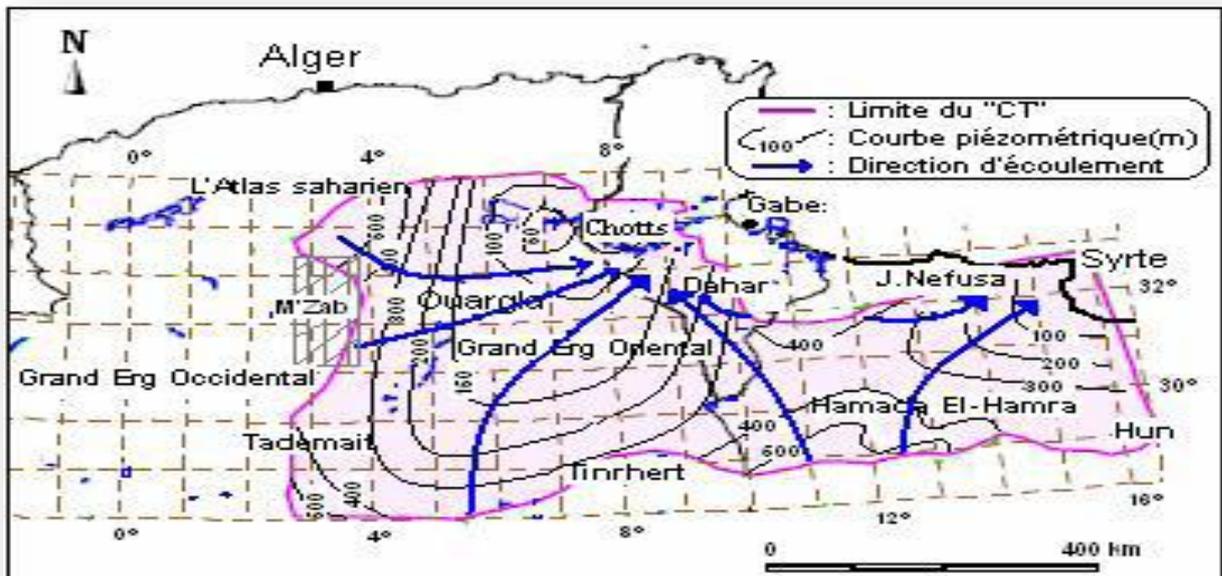


Fig. 4 : Carte piézométrique de référence du "CT" (OSS, 2003)

La profondeur du "CT" est comprise entre 100 et 600 m et sa puissance Moyenne est de l'ordre de 300 m (Fig. 5).

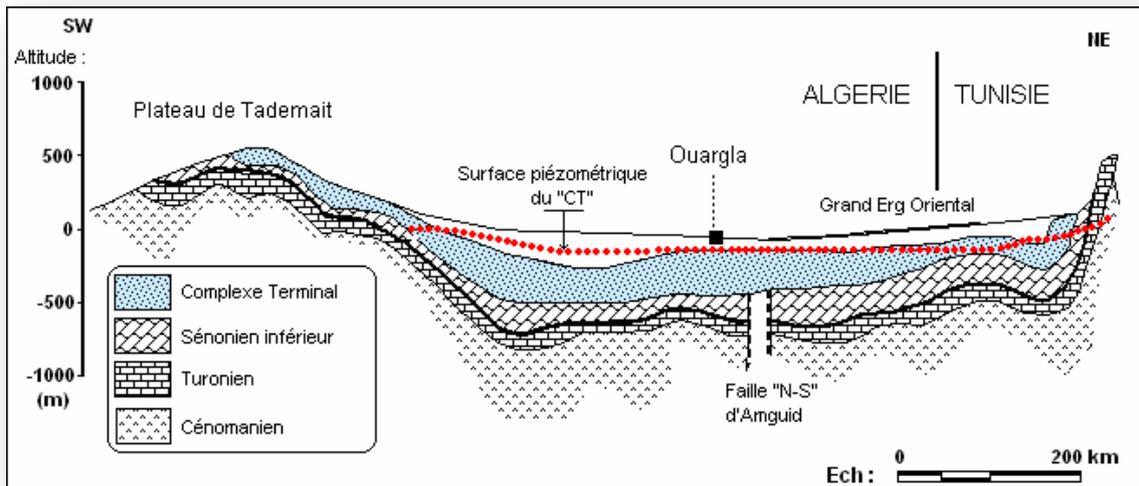


Fig. 5 : Coupe hydrogéologique transversale du "CT" (UNESCO, 1972)

Le Complexe Terminal affleure aux endroits suivants :

- Au Nord, dans le sillon des chotts algéro-tunisiens;
- A l'Est, le long du flanc oriental du Dahar;
- Au Sud, sur les plateaux de Tinrhert et de Tademaït;
- A l'Ouest, sur la dorsale du M'Zab.

2.4 - La nappe phréatique :

2.4.1 - Introduction :

La documentation existante a été collectée, analysée, interprétée et synthétisée. La nappe phréatique est contenue dans les formations perméables sablo-gypseuses du Quaternaire. Les sondages carottés effectués par "LTPS", en plus des logs des piézomètres effectués par l'ENA.GEO, ont permis de relever la présence de trois classes de profils géologiques :

* **Classe A** : C'est la classe la plus répandue, elle représente ≈ 75 % des terrains. On distingue :

- Une première couche dont l'épaisseur varie de 1 à 2 m, constituée de sable fin à moyen légèrement gypseux avec une consistance de moyenne compacité;
- Une deuxième couche constituée de sable argileux compacté, dont l'épaisseur varie entre 5 et 15 m.

* **Classe B** : Elle caractérise les chotts et les sebkhas où on distingue :

- Des encroûtements gypseux très salés dont l'épaisseur varie de 1 à 2 m;
- Des sables limoneux avec un passage tuffeux.

* **Classe C** : Elle caractérise les versants de la cuvette et le plateau Mio-Pliocène. On distingue :

- Un matériau détritique constitué de grès consolidé (glacis) et de sable limoneux pauvre en gypse dont l'épaisseur est supérieure de 10 m;
- Du sable grossier compacté.

2.4.2 - Définition de domaine du modèle :

2.4.2.1-Cartographie du substratum de la nappe phréatique :

Jusqu' à aujourd'hui, personne n'a pu établir une carte relative au substratum propre de la nappe phréatique, alors nous avons essayé d'établir cette carte en se basant sur 74 coupes géologiques de forage CI dans la région de Ouargla, on a commencé par trier les 74 logs de forage, alors on a éliminé 26 logs; car ils présentent, soit des manques de données, soit des données douteuses. Puis en examinant les 48 logs restant on a constaté qu'une couche imperméable formée de l'argile rouge, se répète dans presque toutes les coupes, alors nous avons jugé que cette couche est probablement le substratum de la nappe phréatique.

En utilisant le logiciel SURFER 3D on a établi la carte de substratum suivante (fig. 6) :

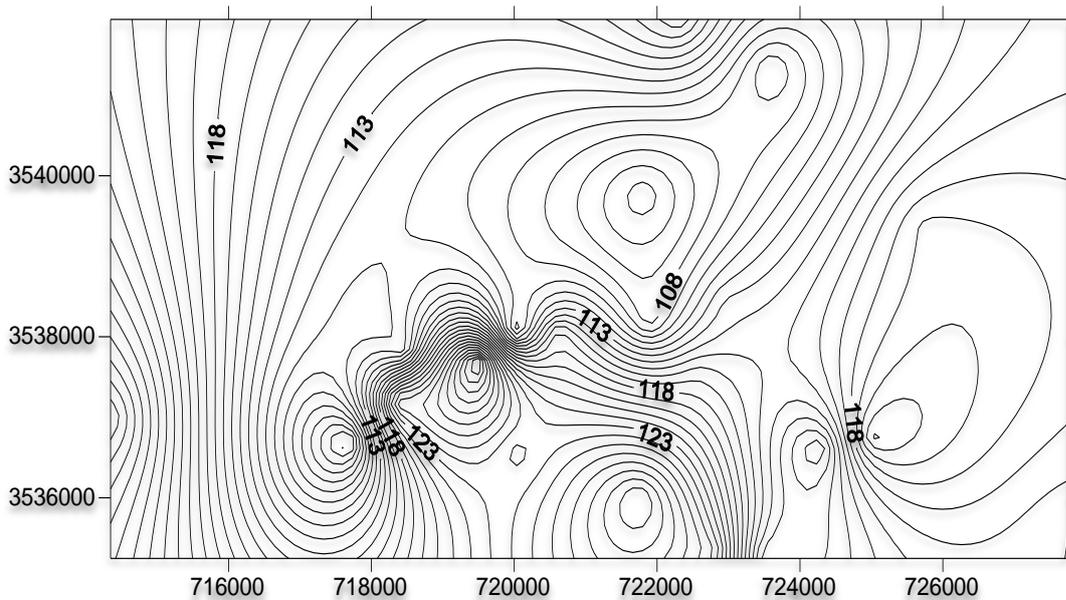


fig. 6: Carte 2D, interpolée par krigeage, du substratum de la nappe phréatique.

(Source : ANRH .2006)

En superposant la carte établie de substratum sur le plan de masse de Ouargla (voir fig. 7) nous pouvons voir l'allure de la nappe phréatique dans les différents endroits de la région de Ouargla.

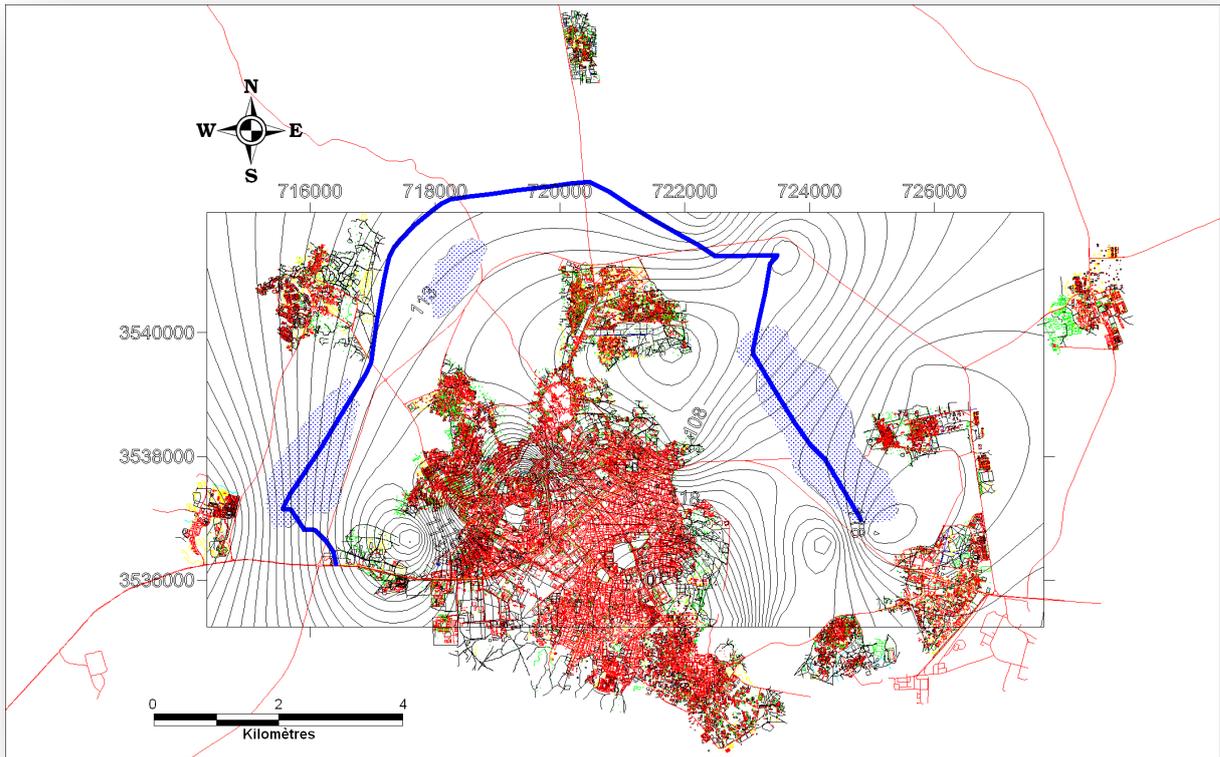


fig. 7 : Carte de substratum de la nappe phréatique dans la région de Ouargla
(Source : ANRH .2006)

La (fig. 8) présente la forme de substratum avec les différentes singularités qui y existent.

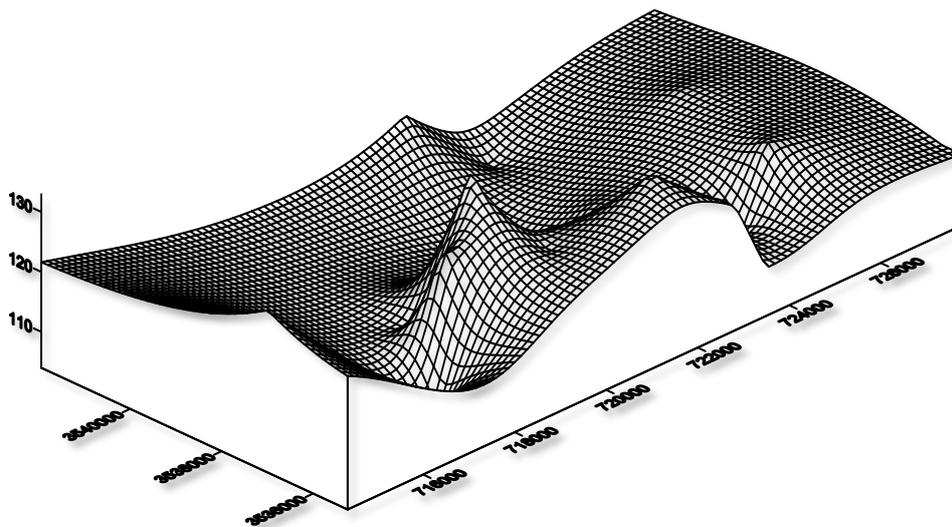


fig. 8 : Carte 3D, interpolée par krigeage, du substratum de la nappe phréatique au niveau de la zone de Ouargla (source : ANRH .2006)

On remarque ce qui suit :

- la surface du substratum est très accidentée et présente des dépressions altimétriques, ce qui explique l'inondation permanente de certaines zones.
- Le pendage est de l'Est et l'Ouest vers le centre, et du Sud vers le Nord-Est.
- le lit d'oued MYA est bien visible, avec un sens d'écoulement du SUD-EST vers le Nord-Est.
- nous constatons qu'il y a des quartiers et des palmeraies tels que SAID OTBA et BOUAMER implantés au dessus du fond de Oued MYA, ceci handicape l'écoulement des eaux de la nappe phréatique vers l'aval et ses quartiers sont les plus touchés par le phénomène de la remontée des eaux.

De ce qui précède, nous mettons en évidence l'importance de l'étude de la zone Nord-Est – zone des dunes de sables- qui a été omis par toutes les études antérieures !?. Cette zone se situe au Nord de chott Oum Raneb (l'actuel lieu de rejet) en passant par Ain moussa, Ghars boughoufala, Oglat larbaa, et en arrivant à sebkhet Sefioune (futur lieu de rejet), car on voit que Oued MYA se dirige vers cette zone et par conséquent la nappe phréatique aussi. N B : Les limites Sud et surtout les limites Sud_Ouest sont présentés à titre indicatif et ne reflète pas la réalité du terrain; vu le manque des données dans cette région.

2.4.2. 2-Cartographie du toit de la nappe phréatique :

Nous avons essayé de tracer la topographie de terrain naturel, c'est-à-dire le toit de la nappe phréatique dans la région de Ouargla, en se basant sur les coordonnées, des piézomètres, forages, et quelques points topographique tirés de plan directeur d'aménagement et d'urbanisme (PDAU). Alors nous avons établi les trois cartes suivantes (9, 10, et 11) :

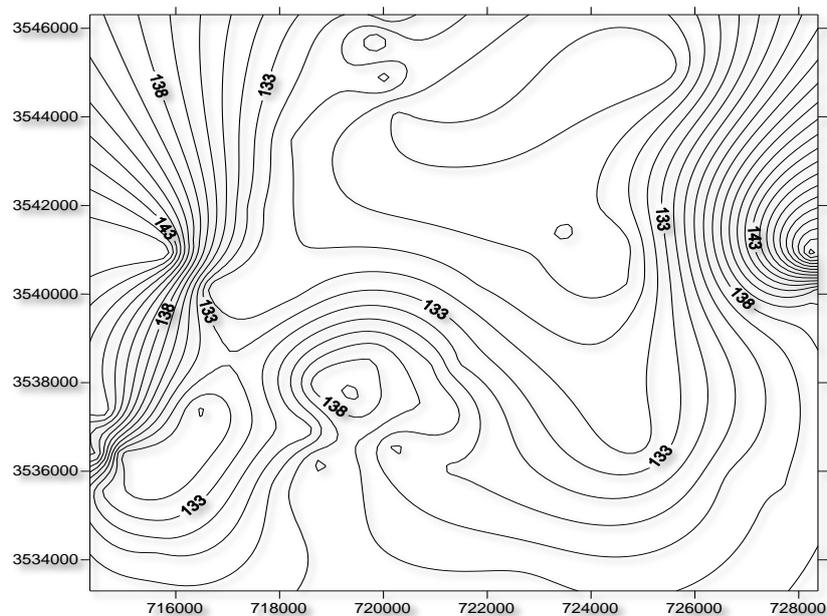


Fig. 9 : Carte topographique issue d'une interpolation par krigeage de points cotés
(Source : ANRH .2006)

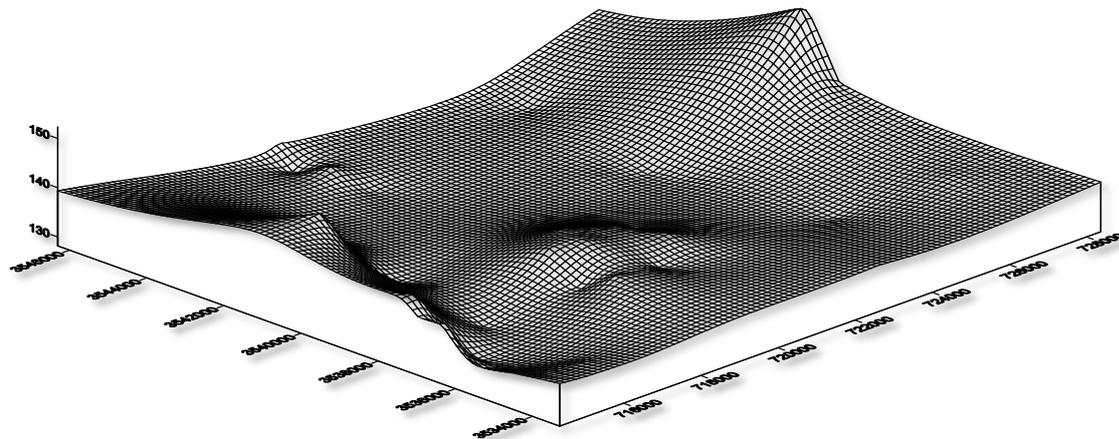


fig. 10: Carte topographique 3D issue d'une interpolation par krigeage de point
(source : ANRH .2006).

2.4.2.3– Etude piézométrique de la nappe phréatique :

Le phénomène de remontée de la nappe phréatique, son origine, ses causes et son évolution ont été analysés au cours de l'histoire récente ainsi que les remèdes appliqués pour tenter de le maîtriser.

Les données collectées ont été comparées entre elles et avec des données plus anciennes, qui ont été validées avant d'être utilisées pour suivre l'évolution de la nappe phréatique.

2.4.2.3.1 – La piézométrie avant 1956 :

Les fluctuations du niveau de la nappe phréatique sont étroitement liées à l'histoire des palmeraies, à l'exploitation des ressources en eau artésienne et aux efforts d'assainissement consentis pour lutter contre les nuisances qui en ont résulté.

Les chroniques rapportent qu'en 1881, les fossés entourant le Ksar sont comblés pour lutter contre le paludisme, ce qui indique qu'à cette époque ils étaient remplis d'eau stagnante et que la nappe phréatique était proche de la surface du sol. En 1949, le réseau de drainage est rénové, 20 km de drains nouveaux sont réalisés ainsi que 5 grands collecteurs. Ces travaux se poursuivent en 1950 et fin 1951, grâce à 30 km de drainages nouveaux, le niveau de la nappe phréatique a baissé de plus de 1 m.

2.4.2.3.2 – La piézométrie après 1956 :

En 1956, le forage "Albien I" au Sud-Est du Ksar a servi à la revivification des palmeraies anciennes et à la création de nouvelles plantations. Parallèlement, l'exploitation de la nappe du Complexe Terminal est développée, le réseau de drainage étendu et rénové.

Les eaux de drainage qui se déversent dans le Chott provoquent une élévation sensible du niveau de l'eau en saison froide. En même temps, le développement de la ville et l'évacuation des eaux urbaines provoquent une augmentation du niveau de la nappe phréatique.

Le problème est d'abaisser le niveau du Chott et celui de la nappe phréatique de façon à mieux drainer les palmeraies tout en permettant la mise en place d'un réseau d'assainissement efficace.

Il a commencé par l'installation, en 1956, d'une éolienne d'exhaure qui permettait d'évacuer l'eau vers Sebket Oum Raneb. Le débit de 120 m³/h s'est révélé insuffisant et deux groupes motopompes ont été adjoints à l'éolienne portant le débit total à 255 m³/h (DHW-Ouargla, 2006). Ce débit étant toujours insuffisant, d'autres solutions sont envisagées :

- Bassin évaporatoire dans les chotts et sebkhas;
- Pompage et évacuation vers Sebket Oum Raneb.

2.4.2.3.2.1 – La piézométrie en 1968 :

La nappe phréatique dessine nettement un dôme sous la ville de Ouargla, sa cote est plus élevée que celle de la nappe du "CT" .

Le Bureau d'Hydraulique-Ouargla, dessine une carte piézométrique en Avril-Mai 1968. La surface de la nappe forme un dôme culminant à la cote de 134,5 m sous le quartier Duprez avec une pente régulière en direction des chotts où elle n'atteint plus que la cote 128 m et même 127 m tout au Nord (Fig.11).

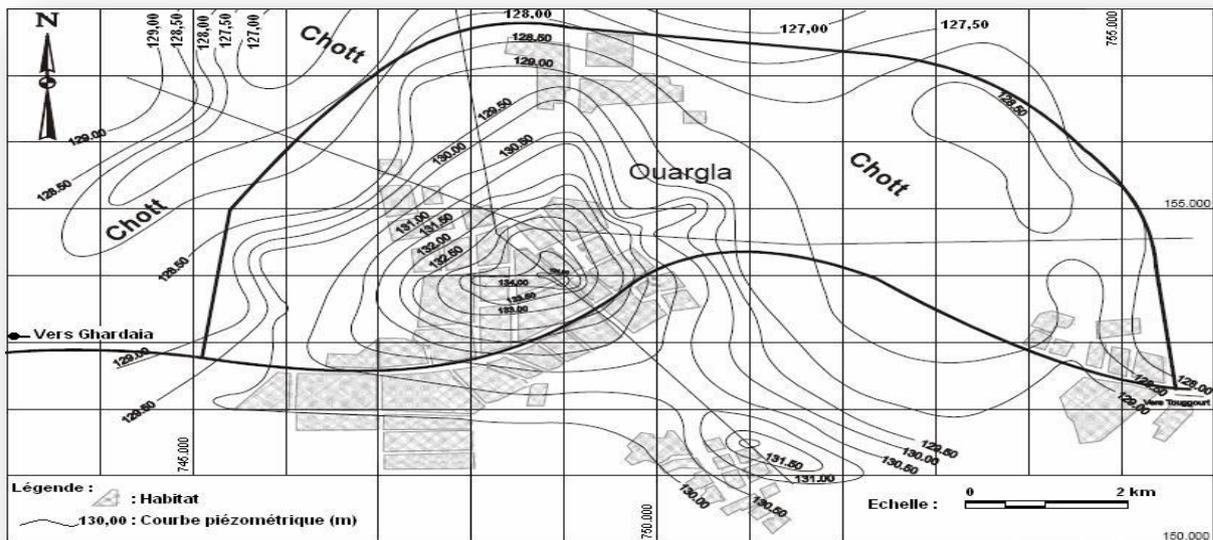


Fig. 11 : Carte piézométrique de la nappe phréatique en 1968(DHW-Ouargla, 1968)

Les isopièzes dessinent un dôme centré sous les immeubles récents. Les lignes de courant, perpendiculaires aux isopièzes, indiquent nettement un écoulement radial depuis ce point haut en direction des canaux de drainage ceinturant la ville au Nord et aussi de zones sableuses situées au Sud. On ne peut expliquer cette situation singulière que par une alimentation de la nappe phréatique à partir de son point haut sous les immeubles du quartier Duprez et un drainage par le chott.

Cette alimentation ne peut pas se faire naturellement à partir des nappes plus profondes. La nappe du Complexe Terminal "CT" présente un niveau piézométrique inférieur à celui de la nappe phréatique dans toute cette zone haute

On pourrait envisager la nappe du Continental Intercalaire "CI" qui présente un niveau piézométrique nettement plus élevé d'environ 200 m, mais pour alimenter la nappe phréatique, les eaux devraient traverser la nappe du "CT" et donc se mélanger, ce qui n'est pas le cas.

L'alimentation de la nappe phréatique ne peut provenir que d'une cause anthropique : irrigation des palmeraies et eaux urbaines.[7]

2.4.2.3.2.2 – La piézométrie entre 1992 et 2002 :

Entre Février 1992 et Avril 2002, sur une période de 10 ans, une baisse générale de niveau est constatée. Seuls 6 piézomètres présentent une montée du niveau égale ou supérieure à 10 cm. Ils sont situés au Nord et au Sud de N'Goussa ainsi qu'à l'Est et l'Ouest de Ouargla (Fig. 12). [8]

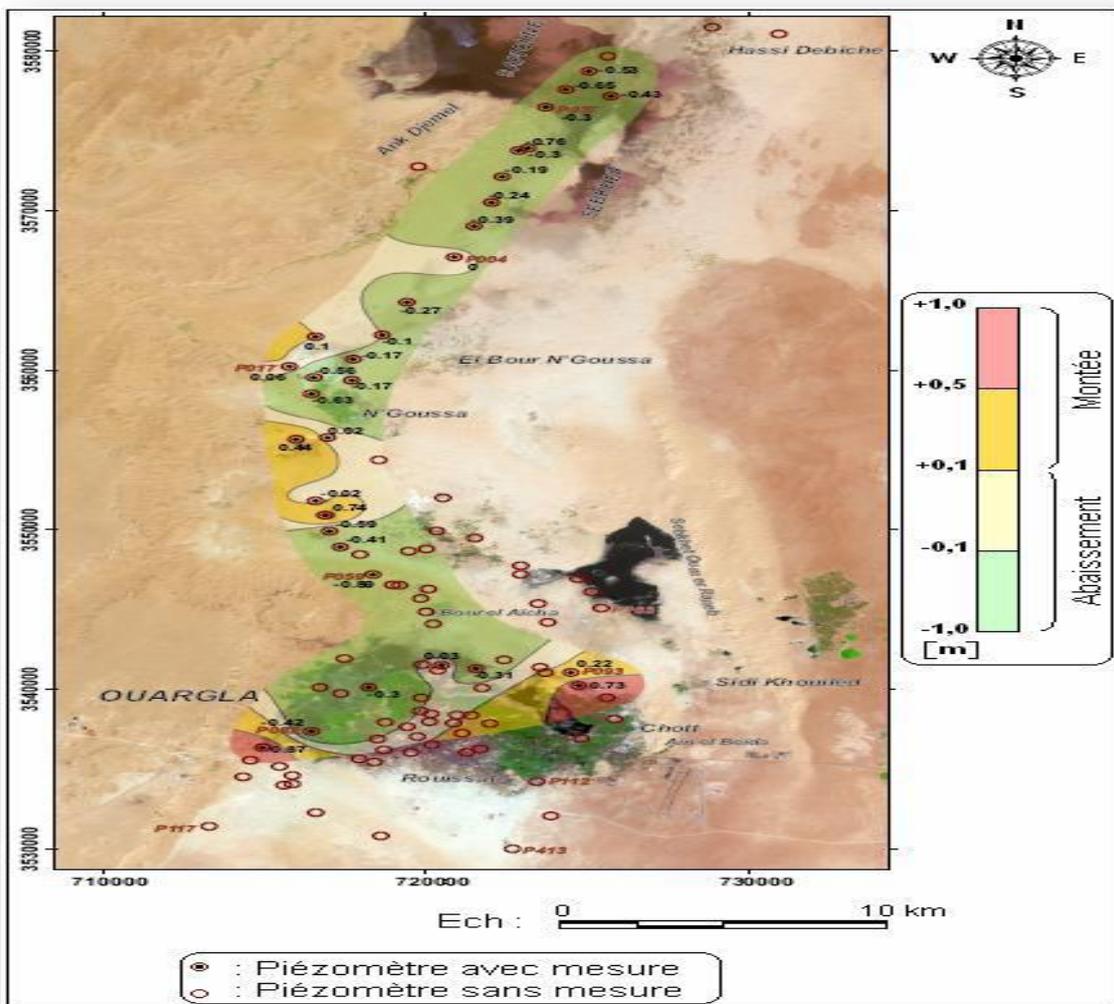


Fig. 12 : Carte de variation piézométrique de la nappe phréatique dans la cuvette de Ouargla, période 1992-2002 (BG, 2004)

2.4.2.3.2.3 – La piézométrie entre 2002 et 2003 :

La carte de la figure (13) ci-dessous montre l'évolution de niveau piézométrique d'une année à l'autre. Elle concerne la fin de période estivale de deux années successives. On constate que hors de la palmeraie nord de Ouargla où il y a une légère montée de la nappe, les niveaux sont plutôt stables, avec toutefois des points en baisse au Sud d'Oum Raneb, ville de Ouargla et Bour El Haïcha.

D'une année à la suivante et en considérant la même saison, on constate que les variations de niveau s'équilibrent et qu'elles sont généralement faibles. Les variations les plus importantes sont observées sur des puits exploités ou anciennement exploités, elles sont dues à l'activité humaine.

Dans la région de Ouargla, les variations de niveau sont plus importantes et contrastées que dans le reste de la vallée.

Au niveau de la palmeraie nord, la montée semble être généralisée, entre 0,10 m et 0,50 m. [9]

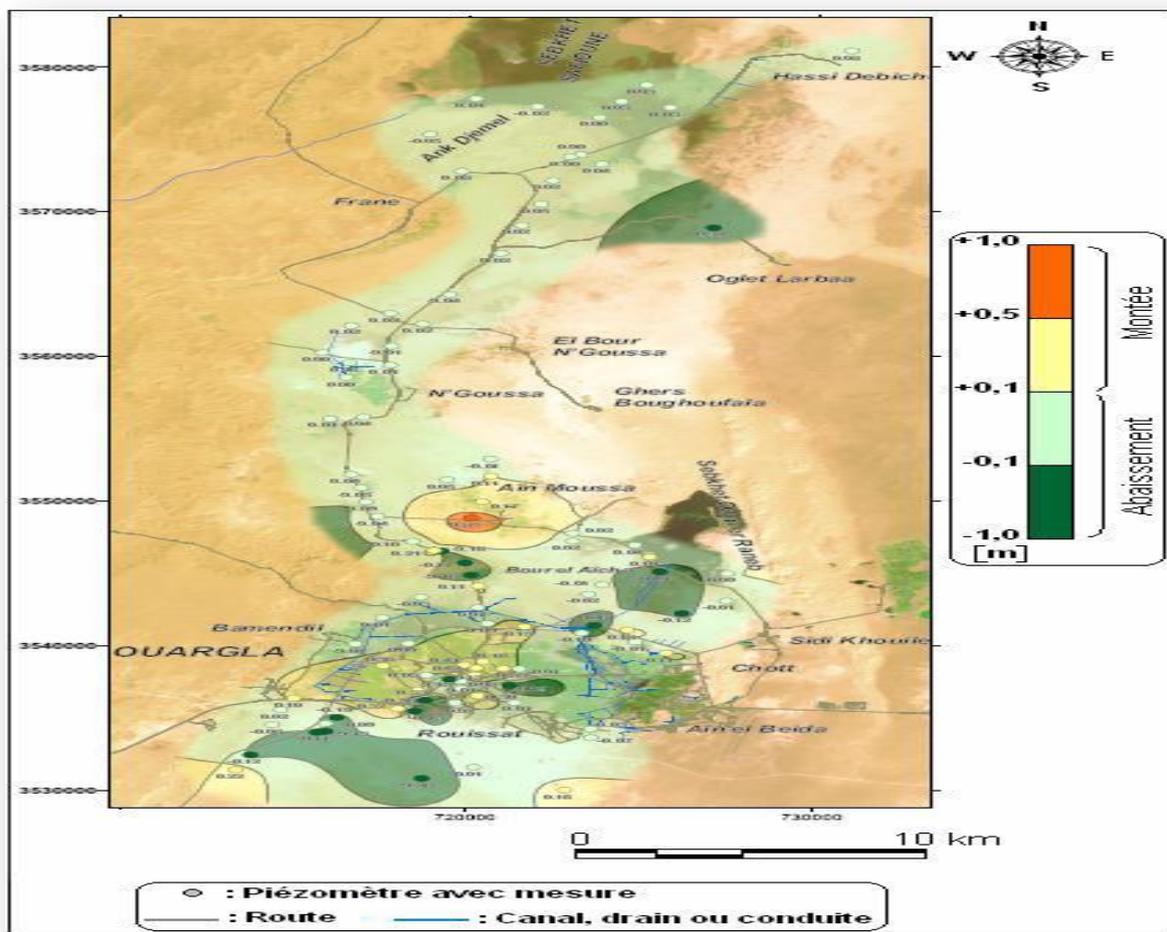


Fig. 13: Carte de variation piézométrique de la nappe phréatique dans la cuvette de Ouargla, période 2002-2003 (BG, 2004)

2.4.2.3.2.4 – La piézométrie en 2003 : (Fig. 14)



Le point le plus haut de la nappe est situé sous la ville de Ouargla, de là, la nappe présente des pentes de :

- 2 ‰ vers Sebkhet Ba-Mendil au Nord;
- 1,5 ‰ vers le Chott à l'Est et
- 1 ‰ vers le Sud.

En limite Sud-Est de la région d'étude, il existe un deuxième point haut, sous une plantation irriguée à partir de la nappe du "CT".

Une faible pente (0,4 ‰) existe entre les piézomètres situés au bord de Sebkhet Ba-Mendil et ceux d'Oum Raneb. Cette pente passe à 1 ‰ d'Oum Raneb en direction de N'Goussa.

A N'Goussa, l'irrigation des plantations crée un point haut d'où les eaux s'écoulent aussi bien vers le Nord que vers le Sud où la nappe est à une cote plus basse.

De N'Goussa, la nappe présente une pente de 0,6 à 1 ‰ vers Sebkhet Safioune, point bas de toute la zone. [10]

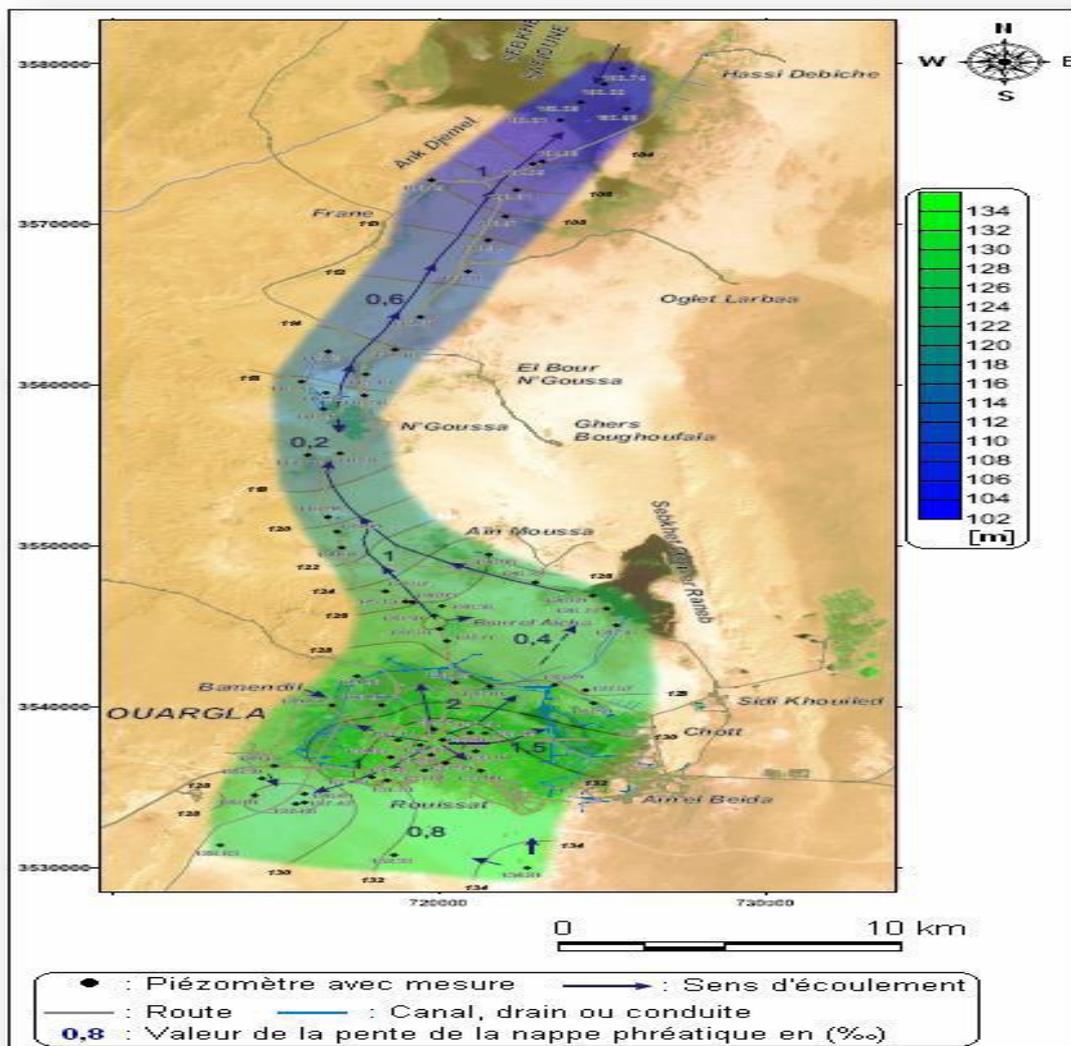


Fig. 14 : Carte piézométrique de la nappe phréatique dans la cuvette de Ouargla en 2003 (BG, 2004)



2.4.2.3.2.5 – La piézométrie en 2007 : (Fig. 15)

Dans la partie sud de la cuvette, la nappe s'écoule du point le plus haut (130 m d'altitude) situé sous la ville de Ouargla vers les différents Chotts environnant :

- Ba-Mendil au Nord-Ouest;
- Oum Raneb au Nord -Est.

Entre la zone des Chotts et N'Goussa, la nappe présente une faible pente (<1 ‰) en direction de N'Goussa.

Dans la partie nord de la cuvette (N'Goussa et ses environs), les eaux de la nappe s'écoulent aussi bien vers le Nord que vers le Sud où la nappe est à une cote plus basse.

- 100 à 105 m d'altitude à Sebket Safioune toute au Nord;
- 108 m d'altitude aux environs sud de N'Goussa (Garet Mellala).

La nappe présente une direction d'écoulement générale du Sud vers le Nord Nord-Est avec une pente faible ne dépassant pas 2 ‰.

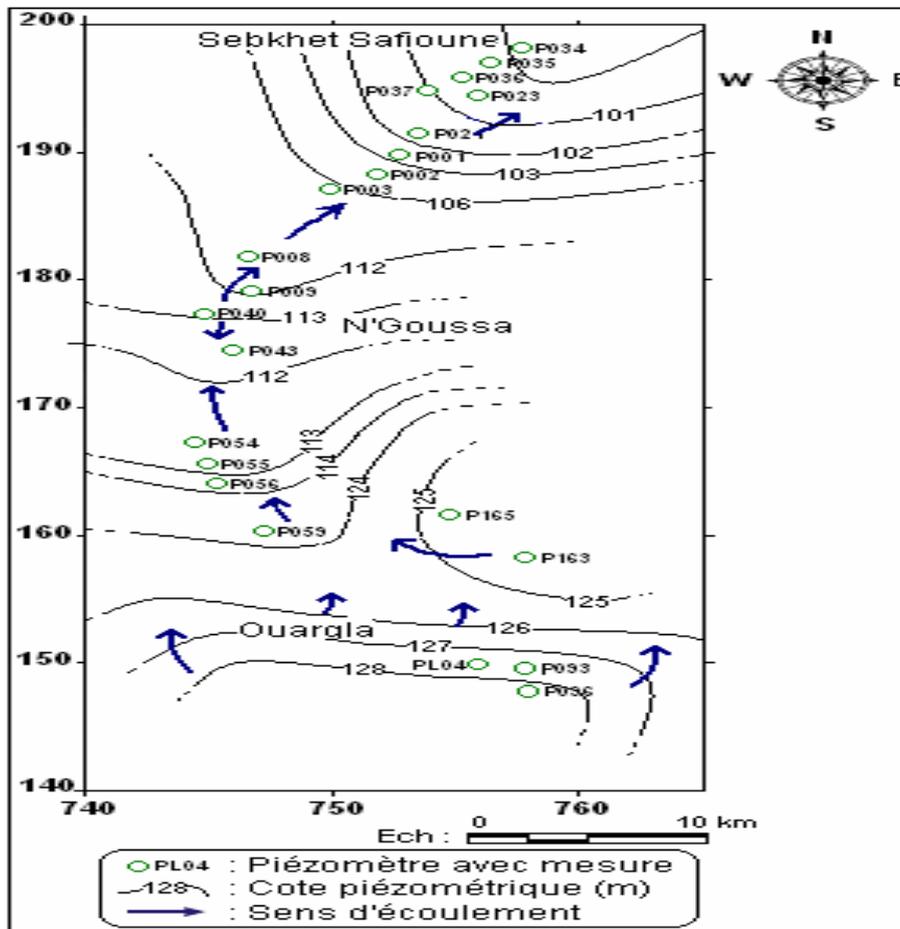


Fig. 15: Carte piézométrique de la nappe phréatique dans la cuvette de Ouargla en 2007 (DHW-Ouargla, 2007)

2.4.2.3.2.6 – Profondeur de la nappe en 2007 : (Fig. 16)

Les régions dans lesquelles la nappe phréatique est la plus profonde sont situées au Sud de Ouargla, au Sud- Ouest d'Oum Raneb, dans la région de Bour El Haïcha, dans les collines de Ank Djemel et dans les versants au Nord-Ouest de N'Goussa. Ces zones où la nappe est profonde ne correspondent pas à des dépressions du niveau piézométrique, mais à des points hauts de la topographie (dans les conditions naturelles).

Les zones dans lesquelles la nappe phréatique est moins profonde sont situées à proximité de palmeraies irriguées (Ouargla et N'Goussa) ou de zone de rejet des eaux (à proximité de Sebkhet Oum Raneb).

Les zones où la nappe est moins profonde sont situées dans des points bas topographiques. Ils forment un alignement depuis le pourtour de Ouargla jusqu'à Sebkhet Safioune. Le point où la nappe se trouve le plus près de la surface du sol dans la région de Sebkhet Safioune se trouve au Sud de la Sebkha.

Dans l'agglomération de Ouargla, la profondeur moyenne de la nappe phréatique est de l'ordre de 2 m. Dans la palmeraie nord, la profondeur est inférieure à 1 m, alors que dans la palmeraie de Chott Aïn Baïda, dans des palmeraies abandonnées ou en périphérie de palmeraie, l'on trouve de l'eau à moins de 0,5 m de la surface du sol. [11]

Au niveau du Chott et de Sebkhet Ba-Mendil, l'eau est entre 0,5 et 1 m excepté près de la cité universitaire où l'on trouve de l'eau stagnante.

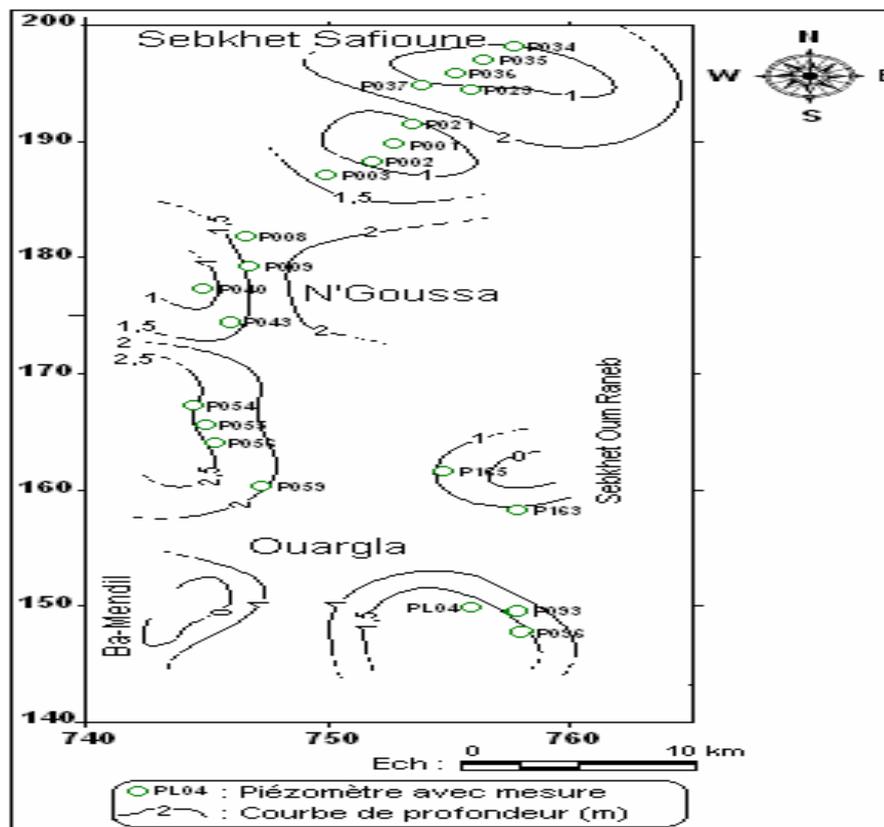


Fig. 16 : Carte de profondeur de la nappe phréatique dans la cuvette de Ouargla en 2007 (DHW-Ouargla, 2007)



2.5– Essais de pompage :

2.5.1 – Introduction :

Un essai de pompage sert à rechercher des paramètres du système de l'aquifère, c'est-à-dire, faire un essai de nappe pour tirer des informations hydrogéologiques tels que le coefficient d'emmagasinement (S), la transmissivité (T) et la conductivité hydraulique (K). Les données être sûres, précises et utilisables (Genetier, 1984).

2.5.2 – Résultats et interprétations :

Des essais de pompage à débit constant ont été réalisés, en collaboration de l'ONA-Ouargla avec le bureau d'étude Suisse « BG » en 2003, sur huit puits dans la nappe phréatique. Cinq d'entre eux ont été équipés en station d'essais, comportant chacune trois piézomètres. Ces essais sont répartis : (Fig. 17)

- Dans la ville de Ouargla (trois essais);
- Au Sud (un essai dans la plantation de Krima);
- A l'Ouest (un essai à Ba-Mendil);
- Au Nord (un essai à Bour El Haïcha et deux essais à Ain Moussa).

Ces essais ont été effectués avec un équipement spécialement préparé à cet effet comprenant une pompe à moteur thermique, un tuyau d'exhaure, un tuyau de refoulement et deux fûts pour le jaugeage des débits.

Tableau (1) : Résultats des essais de pompage

N ⁰	Situation	X (UTMWGS 84) (m)	Y (UTMWGS 84) (m)	T(m ² /s)	S (%)
P402	Ain Moussa	721456	3549807	9,37.10 ⁻³	7.1
P415	Ain Moussa	720284	3550248	3,29.10 ⁻⁴	
P408	Bour El Haïcha	719954	3545181	5,85.10 ⁻⁴	5,9
P426	Ba-Mendil	716564	3540169	1,86.10 ⁻²	
P427	Ville de Ouargla	/	/	9,09.10 ⁻⁴	
P428	Ville de Ouargla	719474	3538552	1,46.10 ⁻⁴	11
P434	Ville de Ouargla	719624	3537984	2,63.10 ⁻⁴	
P413	Krime	722629	3530328	3,19.10 ⁻⁴	

(ONA-BG, 2003)

Avec: X et Y : Coordonnées cartésienne métrise

T : transmissivité. ; S : Coefficient d'emmagasinement

A partir de résultats obtenus (tab. 1), on constate que les valeurs de transmissivité présentent une homogénéité pour chaque essai. Elles sont semblables, que ce soit en pompage ou après l'arrêt de celui-ci (à la remontée), tant pour les mesures effectuées dans le puits de pompage que dans les piézomètres.

On peut toutefois grouper les transmissivités en deux classes :

- D'une part des transmissivités élevées, proche de 10^{-2} m²/s, représentées par deux sites;
- D'autre part des transmissivités faibles, dont la moyenne est proche de 3.10^{-4} m²/s, représentées par les six autres sites d'essais.

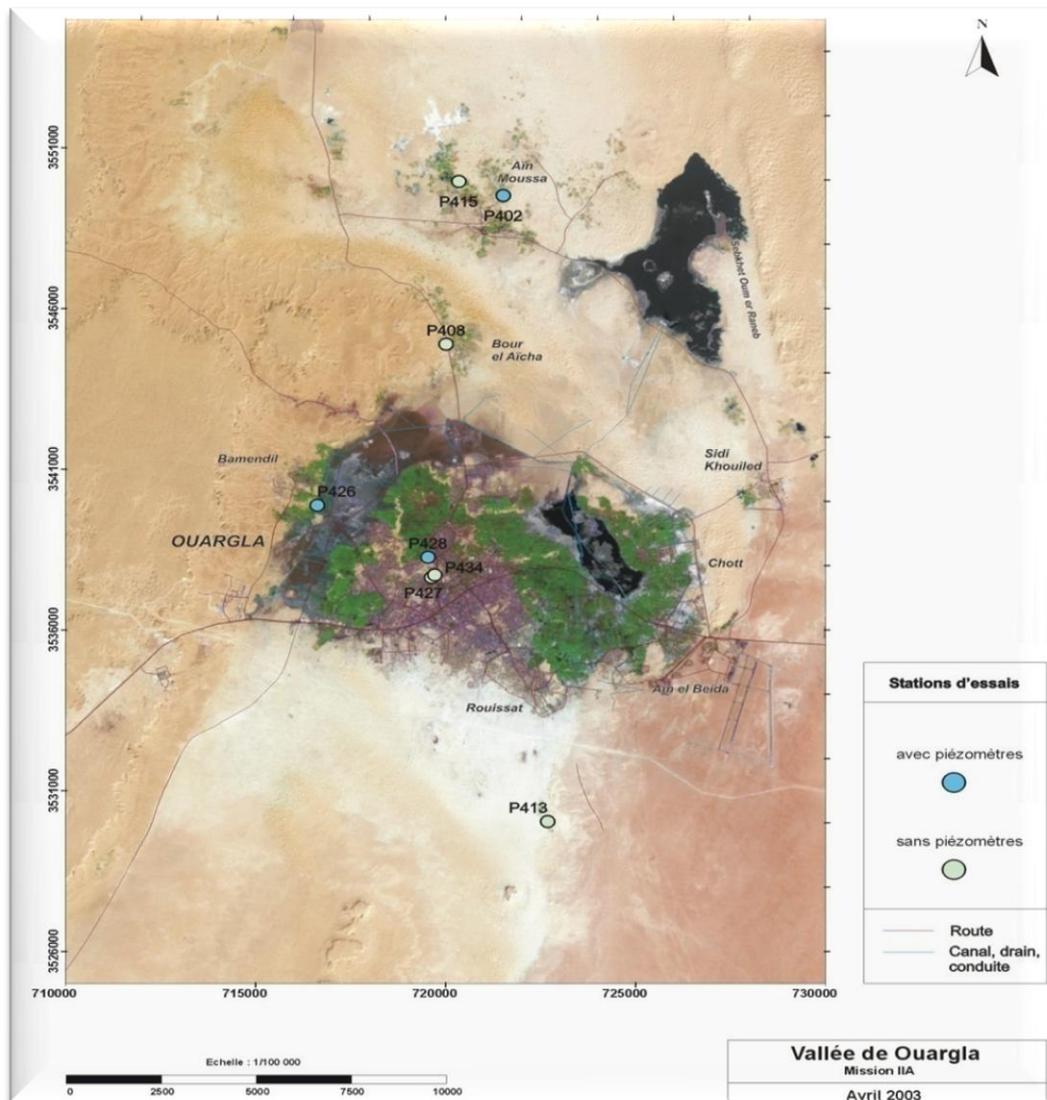


Fig. 17: Plan de situation des pompages d'essai (BG 2004) [4]

Les transmissivités élevées ont été observées sur deux stations d'essais comprenant chacune un puits de pompage peu profond servant usuellement à l'irrigation et trois piézomètres.

Il s'agit du :

- P426 à Ba-Mendil où la valeur de "T" égale à $1,86.10^{-2}$ m²/s est la plus élevée mesurée;



- P402 à Aïn Moussa où une transmissivité de $9,37 \cdot 10^{-3}$ m²/s a été déterminée.

Les faibles transmissivités sont plus largement réparties.

Au sud de Ouargla, une transmissivité de $3,19 \cdot 10^{-4}$ m²/s a été mesurée dans un puits de la plantation de Krime, dans l'axe de la vallée d'Oued Mya. Dans la ville de Ouargla, des transmissivités de $1,4 \cdot 10^{-4}$ (P428), $9,09 \cdot 10^{-4}$ (P427) et $2,63 \cdot 10^{-4}$ m²/s (P434) ont été déterminées. Ces trois puits servent à l'irrigation. Au Nord de Ouargla, une transmissivité de $5,85 \cdot 10^{-4}$ m²/s a été mesurée à Bour El Haïcha sur un puits creusé dans les formations sablo-graveleuses du Mio-Pliocène du flanc occidental de la vallée. Ce puits exploite de petites venues d'eau alimentant une nappe libre à l'origine des palmeraies bour de ce bord de vallée.

2.6 – Etude isotopique du "CDTN" :

Le Centre de Développement des Techniques Nucléaires "CDTN" a fait une importante étude isotopique portant sur les eaux du "CI", du "CT" et de la nappe phréatique.

Toutes les études confirment que les eaux du "CI" et du "CT" sont des eaux anciennes, alors que les eaux de la nappe phréatique montrent de grandes variations :

- Dans les chotts et sebkhas, elles présentent des caractéristiques évaporées;
- Dans les autres points, elles présentent un mélange d'eaux profondes, d'une fraction d'eaux évaporées et d'eaux récentes provenant des précipitations.

Cela semble évident, la nappe phréatique recueille les différentes eaux infiltrées :

- Eaux de pluies récentes et toutes les eaux anciennes provenant du "CI" et du "CT";
- Eaux d'irrigation, depuis le premier puits artésien de Sedrata il y a mille ans jusqu'à celles des forages actuels ainsi que les eaux d'AEP, les fuites du réseau d'assainissement et l'assainissement individuel.

Conclusion :

La nappe phréatique circule dans les sables dunaires et les alluvions d'O. Mya. Elle est en moyenne à 2 m de profondeur par rapport au sol. Elle forme un dôme sous la ville de Ouargla.

Les profondeurs les plus faibles (0,5 m) ont été mesurées à proximité de Sebkhet Oum Raneb et en bordure des palmeraies. En considérant l'ensemble de la cuvette, il semblerait que le niveau piézométrique est en une légère baisse d'une année à l'autre à l'exception des points suivants :

- Zones irriguées proches de Sebkhet Oum Raneb;
- Agglomération de Ouargla.

L'évolution de la profondeur de la nappe est jugée anarchique et dépendant largement des fuites du réseau d'AEP, du réseau d'assainissement et de drainage de la palmeraie.

En fin de saison hivernale, la nappe au niveau de Sebkhet Safioune est à 1 m de profondeur. En Eté le niveau baisse de 10 à 20 cm par ascension capillaire et évaporation.

La nappe s'écoule généralement du point le plus haut situé sous la ville de Ouargla vers le point le plus bas situé à Safioune.



Les écoulements souterrains sont faibles et estimés à environ 1,5 hm³/an soit un débit de 4 000 à 5 000 m³/jour (BG, 2004).



Introduction :

Dans le cadre de cette étude, on a effectué un échantillonnage au niveau de quelque forages hydrauliques à savoir que le temps et les moyens qui nous sont impartis ne nous permettent pas d'effectuer des analyses sur l'ensemble des forages de la cuvette de Ouargla et pour cela le choix des lieux de prélèvement basé sur la répartition spatiale des points d'eau de façon à couvrir tout le secteur étudié.

L'analyse chimique a été faite sur treize échantillons d'eau :

- Deux échantillons pour la nappe du Continental Intercalaire;
- Quatre échantillons pour la nappe du Complexe Terminal ;
- Sept échantillons pour la nappe phréatique.

Les paramètres physico-chimiques caractéristiques mesurés pour tous les prélèvements sont les suivants :

- Température (T), Potentiel d'Hydrogène (PH), Conductivité (C);
- Calcium (Ca²⁺), Magnesium (Mg²⁺), Sodium (Na⁺), Potassium (K⁺);
- Bicarbonates (HCO₃⁻), Chlorures (Cl⁻), Sulfate (SO₄²⁻);
- Nitrates (NO₃⁻).

1 - Analyse des paramétrés physico-chimiques :

1.1 - La nappe du Continental Intercalaire "CI" :

Depuis la mise en exploitation à l'échelle de la région de Ouargla, les forages captant le "CI" ont fait l'objet de plusieurs prélèvements et d'analyses chimiques afin de suivre l'évolution de la qualité chimique des eaux. Nous présentons dans le tableau (1) ci-dessous les résultats d'analyse des paramètres physico-chimiques caractéristiques, effectuée sur les eaux du "CI".

**Tableau. (1) : Caractéristiques physico-chimiques des eaux, nappe du "CI", Ouargla**

Forage Paramètres	El H'deb2 (2005)	El H'deb2 (2007)	El H'deb1 (2007)
	Valeurs moyennes		
Température in situ (°C)	45	42	49
PH	7.12	7.8	7.9
Conductivité $\mu\text{s}/\text{cm}$	2100	2400	2500
Calcium mg/l	152	172,3	208.4
Magnesium mg/l	64,6	131,2	8,41
Bicarbonates mg/l	113,5	184,15	61,1
Sodium + Potassium mg/l	280	262	K+= 23
Chlorures mg/l	312,5	300	456
Sulfates mg/l	482	480,6	613,3
Minéralisation totale mg/l	1400	1500	1500

(Source : à l'ANRH)

La nappe du "CI", plus ou moins isolées des nappes supérieures ou inférieures, présente des caractéristiques à peu près constante malgré l'augmentation de la concentration en ions : (Ca^{2+} , Mg^{2+} et HCO_3^-).

Sur l'ensemble de la région de Ouargla, la minéralisation totale de l'eau du "CI" est assez souvent à moins de 1,5 g/l, sa plus forte concentration correspond à la partie la plus profonde et la plus exploitée de la nappe (surtout autour des champs pétroliers : Guellala) (Fig. 1).

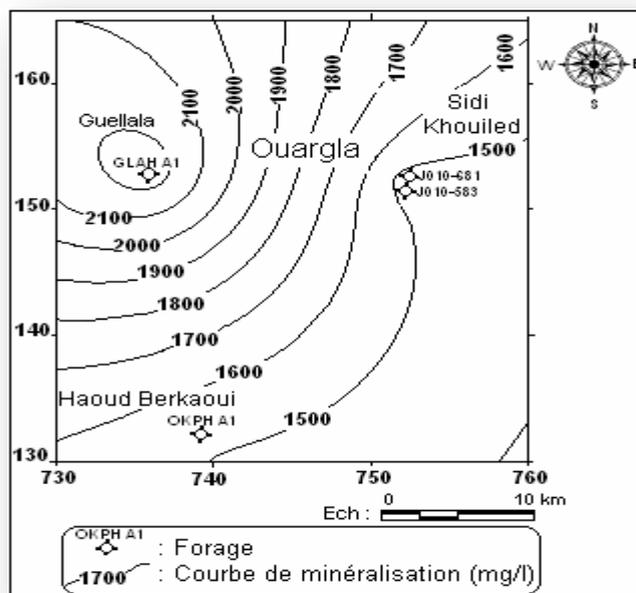


Fig. 1 : Carte de minéralisation totale des eaux, nappe du "CI", Ouargla (DHW-Ouargla, 2007)

1.1.1 - Représentation graphique des eaux du "CI" :

L'objectif principal d'une représentation graphique est de permettre une approche rapide des résultats analytiques en vue de caractériser facilement une eau, de suivre son évolution ou de la comparer à d'autres eaux de compositions physico-chimiques voisines ou de proximité géographique. Parmi les représentations graphiques les plus courantes, on a :

- Diagramme de Schoeller-Berkaloff :

Ce diagramme est une représentation graphique semi-logarithmique, sur l'axe des abscisses sont représentés les différents ions. Pour chacun de ces ions (ou des groupements $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ et $\text{CO}_3^{--} + \text{HCO}_3^-$) la teneur réelle en (mg/l) est reportée sur l'axe des ordonnées. Les points obtenus sont reliés par des droites. L'allure du graphique obtenu permet de visualiser le faciès de l'eau concernée.

Le report des résultats d'analyse sur diagramme de Schoeller-Berkaloff met en évidence la même variation des caractères chimiques qui existent entre les eaux des deux forages captant le "CI" (El H'deb1 et 2) (Fig. 2).

Tableau. (2) : Classification des eaux selon Stabler, nappe du "CI", Ouargla 2007

forage	Anions	Cations
El H'deb 1	$r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{Cl}^-) > r\%(\text{HCO}_3^-)$	$r\%(\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r\%(\text{Ca}^{2+}) > r\%(\text{Mg}^{2+})$
El H'deb 2	$r\%(\text{SO}_4^{2-}) > r\%(\text{Cl}^-) > r\%(\text{HCO}_3^-)$	$r\%(\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r\%(\text{Ca}^{2+}) > r\%(\text{Mg}^{2+})$

Source : à l'ANRH



Selon Stabler (tableau. 2), ces eaux présentent généralement un faciès sulfaté sodique avec des teneurs en ions supérieures aux normes de potabilité fixées par l'OMS. Elles sont cependant utilisables, moyennant un certain nombre de précautions.

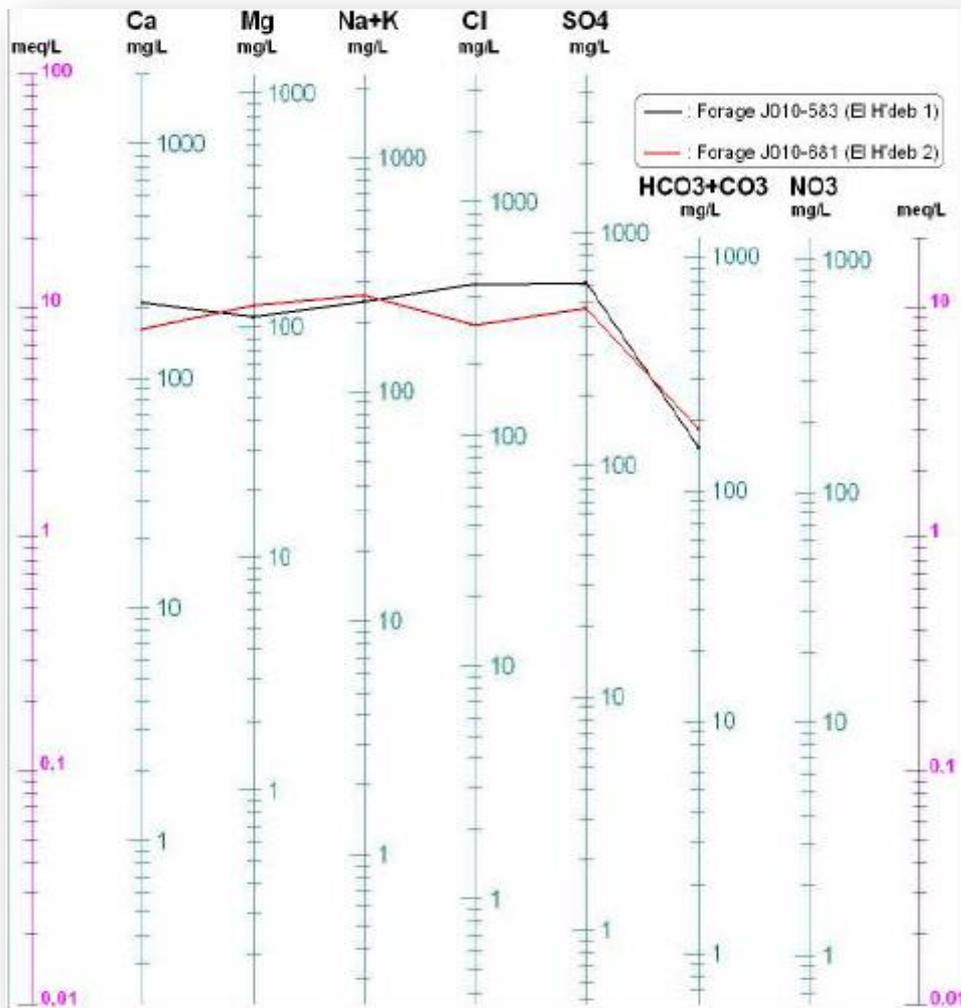


Fig. 2 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff d'analyse des eaux, nappe du "CT",

Ouargla 2007(Source : ANRH de Ouargla).

1.2 - La nappe du Complexe Terminal "CT" :

Les résultats d'analyses effectuées sur les différents forages captant le "CT", ont permis d'identifier les caractéristiques suivantes : (tableau. 3)



Tableau.(3) : Caractéristiques physico-chimiques des eaux,nappe du "CT", Ouargla 2007

Forage	Lala Mimouna	Ifri	Bahmid1	Oum Raneb
	Valeurs moyennes			
Température in situ (°C)	20	21	19	19
PH	7.8	7.9	7.9	7.7
Conductivité µs/cm	2200	2300	4400	4310
Calcium mg/l	172	188.3	236.2	333.4
Magnésium mg/l	97.2	209	143	237.2
Bicarbonates mg/l	136	105.8	186.5	119.7
Sodium + Potassium mg/l	184	453	282	418
Chlorures mg/l	324	323.7	399.2	430.4
Sulfates mg/l	596.4	452	865.6	630.6
Minéralisation totale mg/l	1660	1730	3180	3240

Source : à l'ANRH

Les échantillons Oum Raneb et Bahmid 1 présentent des eaux fortement minéralisées (3 g/l) que les échantillons Ifri et Lala Mimouna (1,6 g/l).

Les échantillons Oum Raneb et Bahmid 1 : eaux très dures, à dominante sulfato-chloruro-sodique; Les échantillons Ifri et Lala Mimouna : eau dure, à dominante sulfatochloruro-sodique.

La carte ci-dessous (Fig. 3), fait ressortir deux zones à peu près distinctes :

- Une zone moins minéralisée (1,6 g/l) au Sud correspond à la partie la plus profonde et moins exploitée de la nappe (Ouargla ville);
- Une zone plus minéralisée (3 g/l) que la précédente, correspond à la partie moins profonde et plus exploitée de la nappe située au Nord-Est de la zone de Ouargla (champs irrigués d'Oum Raneb).

L'accroissement de la minéralisation vers la zone d'Oum Raneb, traduit la convergence des écoulements souterrains de la nappe vers ces zones agricoles fortement exploitées (constituent localement, exutoires artificiels).



Sur l'ensemble de la région de Ouargla, la minéralisation totale de l'eau du "CT" est assez souvent de 2 à 3 g

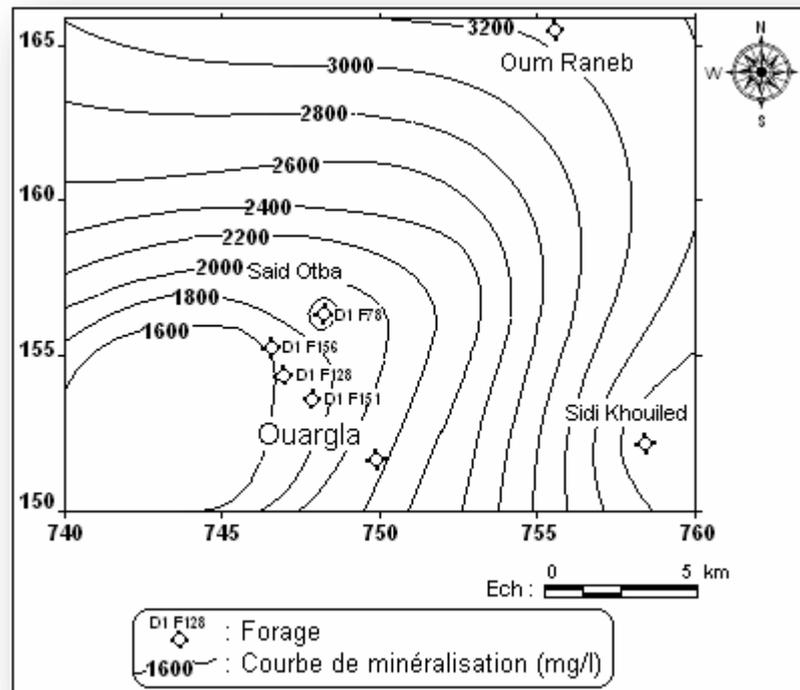


Fig. 3 : Carte de minéralisation totale des eaux, nappe du "CT", Ouargla 2007
(DHW-Ouargla, 2007)

1.2.1 - Représentation graphique des eaux du "CT" :

- Diagramme de Schoeller-Berkaloff :

Le report des résultats d'analyse sur diagramme de Schoeller-Berkaloff met en évidence la même variation des caractères chimiques qui existent entre les eaux du "CT". (Fig. 4)

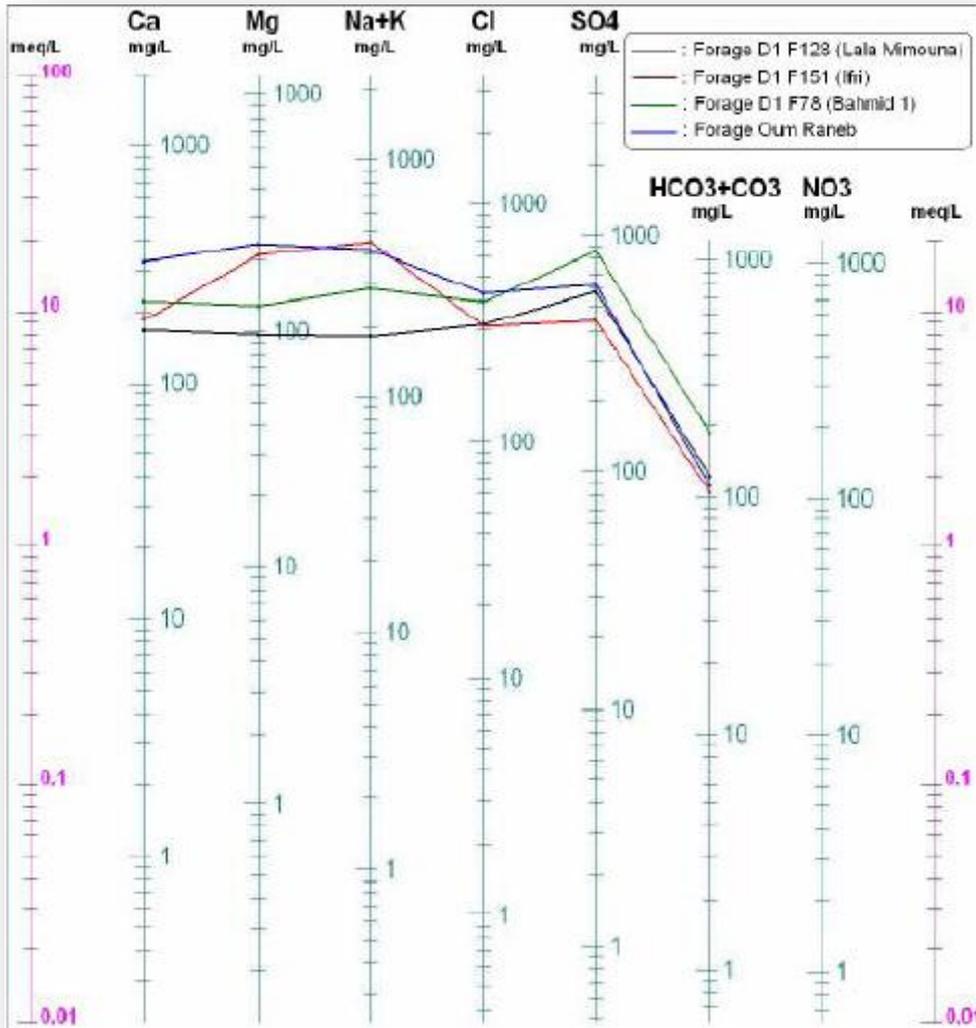


Fig. 4 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff d'analyse des eaux, nappe du "CT", Ouargla (2007) (Source : ANRH de Ouargla)

Selon *Stabler* (tab. 5), ces eaux présentent généralement un faciès sulfaté sodique avec des teneurs en ions supérieures aux normes de potabilité fixées par l'OMS. Elles sont cependant utilisables, moyennant un certain nombre de précautions.

Tableau. (5) : Classification des eaux selon *Stabler*, nappe du "CT", Ouargla 2007

Forage	Anions	Cations
Lala Mimouna	$r\%(SO_{4.2-}) > r\%(Cl-) > r\%(HCO_{3-})$	$r\%(Na_{+}+K_{+}) > r\%(Ca_{2+}) > r\%(Mg_{2+})$
Ifri	$r\%(SO_{4.2-}) > r\%(Cl-) > r\%(HCO_{3-})$	$r\%(Na_{+}+K_{+}) > r\%(Mg_{2+}) > r\%(Ca_{2+})$
Bahmid 1	$r\%(SO_{4.2-}) > r\%(Cl-) > r\%(HCO_{3-})$	$r\%(Na_{+}+K_{+}) > r\%(Ca_{2+}) > r\%(Mg_{2+})$
Oum Raneb	$r\%(SO_{4.2-}) > r\%(Cl-) > r\%(HCO_{3-})$	$r\%(Na_{+}+K_{+}) > r\%(Ca_{2+}) > r\%(Mg_{2+})$

Source : à l'ANRH



1.3 - La nappe phréatique :

Nous présentons dans les tableaux (6 et 7) ci-dessous les résultats d'analyse des paramètres physico-chimiques, effectuée sur les eaux de la nappe phréatique (parties nord et sud de la cuvette de Ouargla).

Tableau.(6) : Caractéristiques physico-chimiques des eaux, nappe phréatique, Ouargla nord 2007

Paramètres	Forage		
	N'Goussa 1	N'Goussa 2	N'Goussa 3
	Valeurs moyennes		
Température in situ (°C)	24	18	18
PH	7.4	7.6	7.2
Conductivité $\mu\text{s}/\text{cm}$	6700	8400	6700
Calcium mg/l	681.3	881.7	841.6
Magnesium mg/l	133.6	170.1	594.3
Bicarbonates mg/l	351.9	920.7	586.5
Sodium + Potassium mg/l	57.4	27.4	203.6
Chlorures mg/l	520	17440	14677.5
Sulfates mg/l	395.6	1203.9	2286.1
Minéralisation totale mg/l	2300	20800	19300

Source : à l'ANRH

Pour la répartition de la conductivité, les valeurs élevées sont localisées dans les sebkhas et dans les régions basses où la nappe est peu profonde et l'évaporation importante :

- Sebkhet Oum Raneb (Saïd 1) au Sud, avec des valeurs de conductivité atteignant 40 000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et; - Sebkhet Ba-Mendil au Sud, avec des valeurs atteignant 20 000 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Le centre ville de Ouargla et N'Goussa, est souligné par des valeurs faibles, s'étendant de 5 000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (Rouissat) à 8 400 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (N'Goussa 2) avec une auréole de valeurs plus élevées lorsque l'on s'approche en bordures nord des agglomération.[1]



Tableau. 3-7 : Caractéristiques physico-chimiques des eaux, nappe phréatique, Ouargla sud 2007

Forage	Ba-Mendil	Rouissat	Adjadja	Saïd 1
	Valeurs moyennes			
Température in situ (°C)	18	18	23	18
PH	7.8	7.9	7.5	7.3
Conductivité µs/cm	20 000	500	6000	40 000
Calcium mg/l	1202	641.28	601.2	1162.3
Magnésium mg/l	89.9	77.7	658.2	651.37
Bicarbonates mg/l	703.84	0	114.2	230.2
Sodium + Potassium mg/l	177.2	36.2	92.8	100
Chlorures mg/l	2700	940	20 560	6320
Sulfates mg/l	673.4	744.7	3 606.3	1250.5
Minéralisation totale mg/l	5700	2800	26100	10000

Source : à l'ANRH

L'interpolation des données ponctuelles a permis de tracer des courbes d'égale minéralisation des eaux de la nappe phréatique (Fig. 5).

La carte montre une augmentation progressive de la minéralisation le long des directions d'écoulement. Ainsi elle fait ressortir deux zones distinctes localisées de part et d'autre de la ligne de partage des eaux (déterminée par la piézométrie) aux environs sud de N'Goussa.

* La première zone sera celle qui correspond à toute la partie nord qui s'étend de la ligne de partage jusqu'à Sebkhet Safioune avec cependant les zonalités locales suivantes :

-- une zone faiblement minéralisée (<10 g/l) caractérise l'entourage de N'Goussa et Hassi Miloud. Cette faiblesse de minéralisation peut être due à une dilution des eaux en provenance des nappes profondes "CT" (eaux d'irrigation); -- une zone fortement minéralisée (> 20 g/l) au niveau de Sebkhet Safioune.[2]

* La deuxième zone est celle qui correspond à la partie sud de la cuvette et qui concerne tous les chotts de Ouargla et les autres agglomérations (Ouargla et Aïn Baïda).



L'examen de la carte au niveau de cette zone montre que les courbes iso-minéralisation convergent vers les chotts de Ouargla et de ses zones environnantes (Ba-Mendil et Aïn Baïda), ce qui traduit l'accroissement de la minéralisation depuis les zones sud (de Rouissat et Aïn Baïda) où elle prend des valeurs inférieures à 10 g/l, pour atteindre 10 g/l aux environs de Sebket Oum Raneb (Saïd 1) et 30 g/l, aux environs de Chott Aïn Baïda (Adjadja).

Par ailleurs, pour ces deux zones, la minéralisation totale indique que les chotts et sebkhas sont les principales zones de perte (par évaporation) de la nappe phréatique.

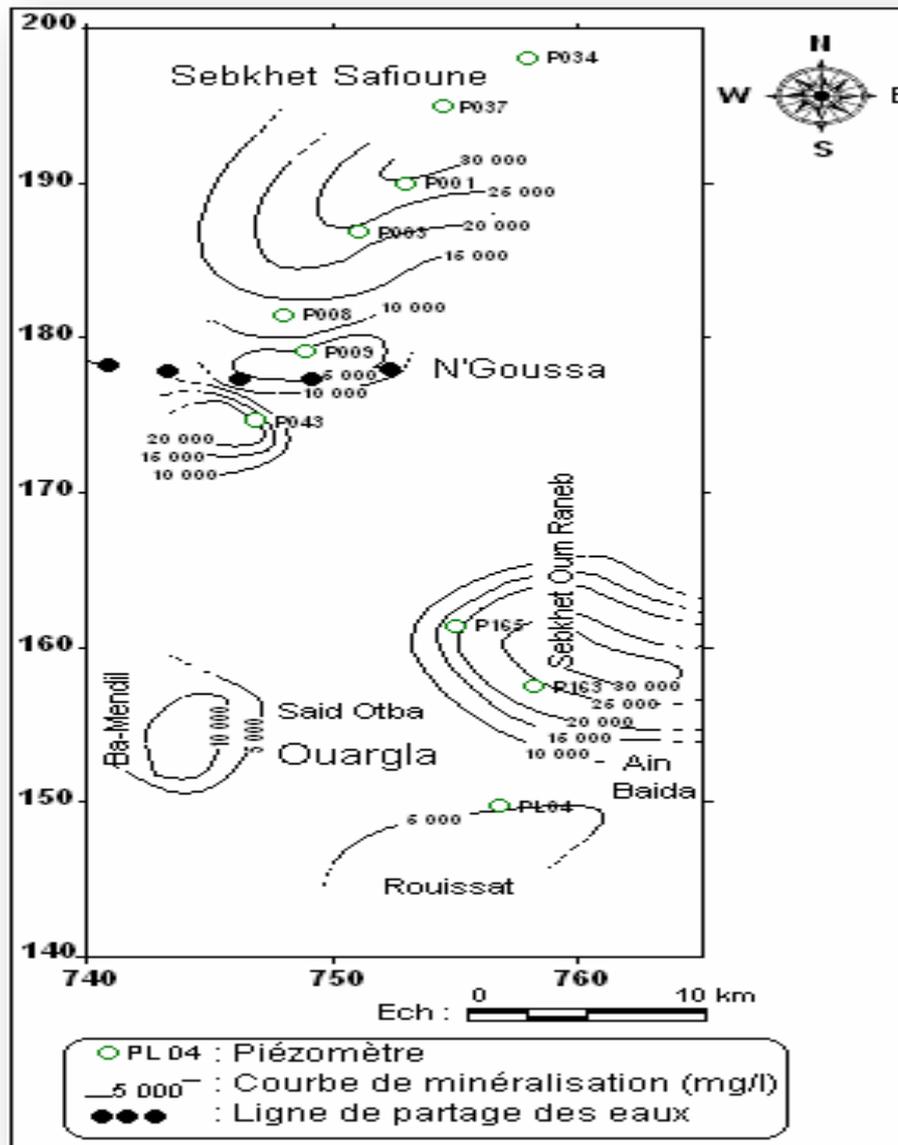


Fig. 5 : Carte de minéralisation totale des eaux, nappe phréatique, Ouargla 2007
(DHW-Ouargla, 2007)



Concernant les teneurs en nitrates des eaux et par manque de données de l'année 2007, nous avons obligé d'utiliser les données du bureau d'étude BG regroupant les données archives de la DHW et de l'ONA Ouargla de l'année 2003 ; donc, la carte ci-dessous montre que les fortes teneurs en nitrates (>100 mg/l) sont situées au Nord (au niveau de Sebkhet Safioune), puis à l'Est de Frane dans des Sebkhas loin de zones exploitées.

Elles correspondent à des zones d'évaporation où les eaux se concentrent en sels (pas de lessivage). Les faibles teneurs (< 20 mg/l) sont situées à l'Ouest de N'Goussa et au Sud-Est au niveau de Sebkhet Oum Raneb et aux palmeraies de Ouargla excepté les palmeraies de Ba-Mendil et de Chott (Ain Baïda) où les concentrations de nitrates sont comprises entre 40 et 140 mg/l. (Fig. 6).

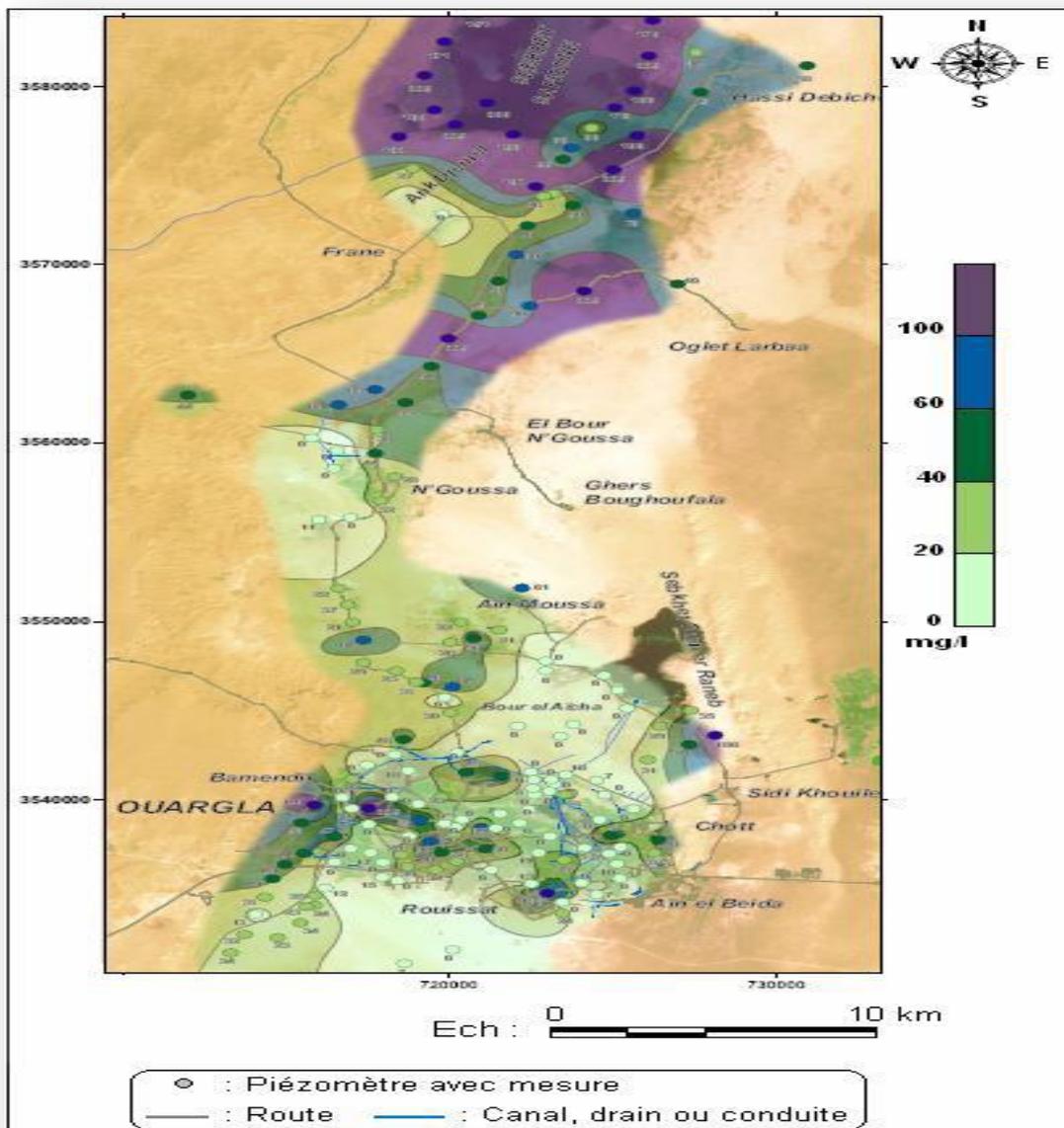


Fig. 6 : Carte des teneurs en nitrates des eaux, nappe phréatique, Ouargla (BG, 2003)



1.3.1 - Représentation graphique des eaux de la nappe phréatique :

- Diagramme de Schoeller-Berkaloff :

Le report des résultats d'analyse sur diagramme de Schoeller- Berkaloff met en évidence la nette différence des caractères chimiques qui existent entre les eaux de chotts et sebkhas et celles au niveau des agglomérations (Rouissat et N'Goussa 1) surtout pour les anions (Chlorures et Sulfates) (Fig. 7)

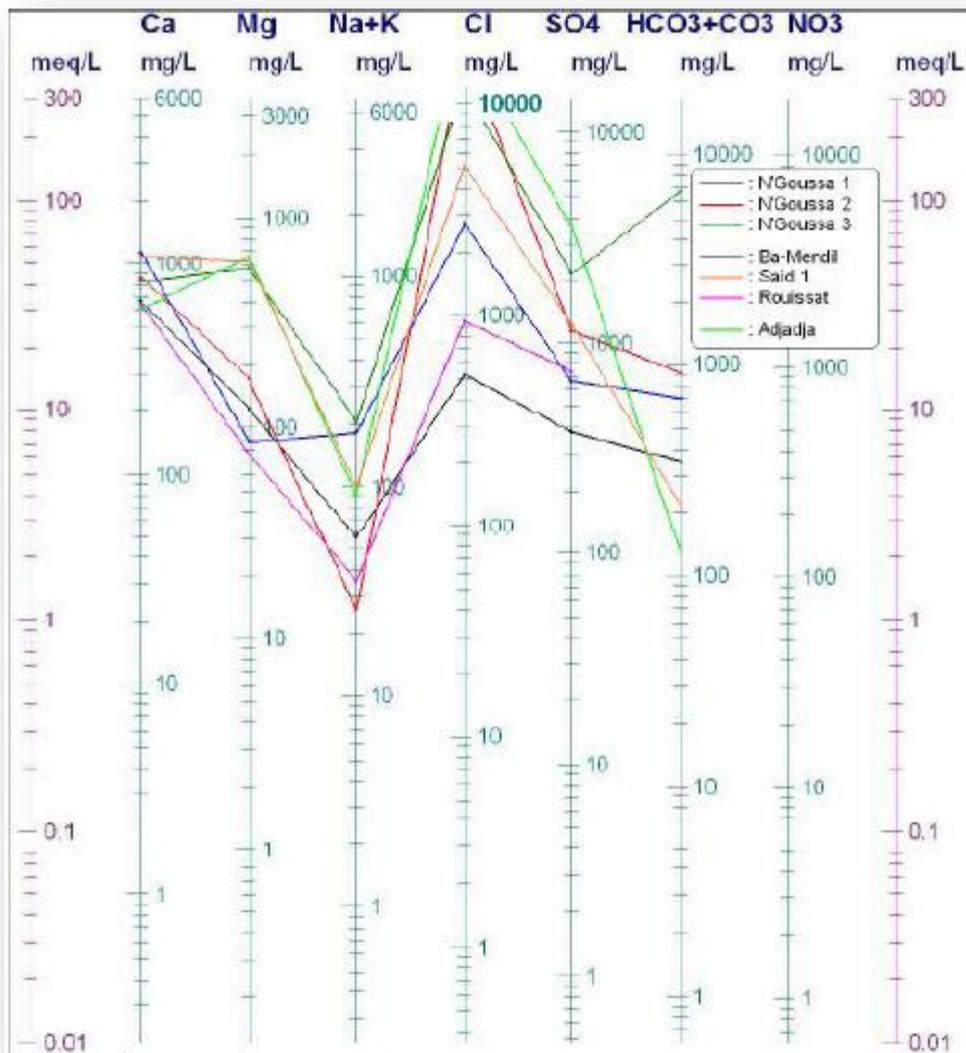


Fig. 7 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff d'analyse des eaux, nappe phréatique , Ouargla 2007 (Source : ANRH de Ouargla)



Selon Stabler (tabl. 8), ces eaux présentent généralement un faciès chloruré calcique avec des teneurs en ions très élevées par rapport aux normes de potabilité fixées par l'OMS. Elles sont souvent de qualité très dégradée.

Tableau. (8) : Classification des eaux selon Stabler, nappe phréatique, Ouargla 2007

Zone	Anions	Cations
N'Goussa 1	$R\%(Cl^-) > r\%(SO_{42-}) > r\%(HCO_{3-})$	$r\%(Ca_{2+}) > r\%(Mg_{2+}) > r\%(Na_{+}+K_{+})$
N'Goussa 2	$R\%(Cl^-) > r\%(SO_{42-}) > r\%(HCO_{3-})$	$r\%(Ca_{2+}) > r\%(Mg_{2+}) > r\%(Na_{+}+K_{+})$
N'Goussa 3	$R\%(Cl^-) > r\%(SO_{42-}) > r\%(HCO_{3-})$	$r\%(Ca_{2+}) > r\%(Mg_{2+}) > r\%(Na_{+}+K_{+})$
Ba-Mendil	$R\%(Cl^-) > r\%(HCO_{3-}) > r\%(SO_{42-})$	$r\%(Ca_{2+}) > r\%(Na_{+}+K_{+}) > r\%(Mg_{2+})$
Rouissat	$R\%(Cl^-) > r\%(SO_{42-}) > r\%(HCO_{3-})$	$r\%(Ca_{2+}) > r\%(Mg_{2+}) > r\%(Na_{+}+K_{+})$
Adjadja	$R\%(Cl^-) > r\%(SO_{42-}) > r\%(HCO_{3-})$	$r\%(Mg_{2+}) > r\%(Ca_{2+}) > r\%(Na_{+}+K_{+})$
Saïd 1	$R\%(Cl^-) > r\%(SO_{42-}) > r\%(HCO_{3-})$	$r\%(Ca_{2+}) > r\%(Mg_{2+}) > r\%(Na_{+}+K_{+})$

Source : à l'ANRH



Introduction:

La nappe phréatique se situe dans les couches sable gypseuses quaternaires de oued MYA, cette nappe coule de SUD vers le NORD en infero_flux. Sa surface libre où la frange capillaire se manifeste souvent sur le sol sous forme de petits chotts qu'on trouve de part et d'autre de la ville de Ouargla. Cette nappe est alimentée par les eaux d'irrigation, les fuites de réseau d'AEP ainsi que les eaux usées et les rares précipitations qui contribuent à alimenter la nappe.

Le réseau de surveillance et de contrôle de la nappe phréatique est constitué de 157 piézomètres, selon les études effectuées, le sens d'écoulement des eaux est en général d'orientation nord où il arrive au niveau de sebkhat Sefioune qui est le principal exutoire. Les eaux de cette nappe présentent une forte minéralisation en sels dissous, cette forte minéralisation est due au phénomène de dissolution des sels contenus dans les sables gypso argileux du quaternaire et la concentration des sels par évaporation.

1-Analyse du phénomène de remontée de la nappe phréatique :

1.1- Avant 1956 (date du premier forage à l'Albien) :

Les fluctuations du niveau de la nappe phréatique sont étroitement liées à l'histoire des palmeraies, à l'exploitation des ressources en eau artésienne et aux efforts d'assainissement consentis pour lutter contre les nuisances qui en ont résulté.

Les chroniques rapportent qu'en 1881, les fossés entourant le Ksar sont comblés pour lutter contre le paludisme, ce qui indique qu'à cette époque ils étaient remplis d'eau stagnante et que la nappe phréatique était proche de la surface du sol.

En 1949, le réseau de drainage est rénové, 20 km de drains nouveaux sont réalisés ainsi que 5 grands collecteurs. Ces travaux se poursuivent en 1950 et fin 1951, grâce à 30 km de drainages nouveaux, le niveau de la nappe phréatique a baissé de plus de 1 mètre [1]

1.2- Après 1956 :

En 1956, le forage Albien I au sud-est du Ksar a servi à la revivification des palmeraies anciennes et à la création de nouvelles plantations. Parallèlement, l'exploitation de la nappe du Mio-Pliocène est développée, le réseau de drainage étendu et rénové. Les eaux de drainage qui se déversent dans le Chott provoquent une élévation sensible du niveau de l'eau en saison froide. En même temps, le développement de la ville et l'évacuation des eaux urbaines provoquent une augmentation du niveau de la nappe phréatique.

Le problème est d'abaisser le niveau du Chott et celui de la nappe phréatique de façon à mieux drainer les palmeraies tout en permettant la mise en place d'un réseau d'assainissement efficace*¹ On a commencé par installer, en 1956, une éolienne d'exhaure qui permettait d'évacuer l'eau dans la sebkha d'Oum Raneb. Le débit de 120 m³/h s'est révélé insuffisant et deux groupes motopompes ont été adjoints à l'éolienne portant le débit total à 255 m³/h. Ce débit étant toujours insuffisant, d'autres solutions sont envisagées : bassin évaporatoire dans le Chott et les sebkhas, pompage et évacuation vers la sebkha d'Oum Raneb et déjà vers la Sebkhet Sefioune.



2 - Les causes de la remontée de la nappe phréatique :

Les causes de la remontée de la nappe phréatique sont multiples :

➤ Les fuites de réseau d'AEP.

➤ Assainissement :

Le taux de raccordement de la vallée à un réseau d'assainissement, est seulement de 4.5% , l'absence du réseau de drainage et d'assainissement ,favorise l'infiltration de ces eaux usées dans la nappe . [2]

➤ Irrigation :

L'irrigation des zones agricoles à partir des forages du Complexe Terminal et du Continental Intercalaire est aussi l'une des causes de la remontée. [3]

➤ Forage d'eau :

La vétusté des forages, due au caractère corrosif des eaux du CI et CT (charge de FeSO_4 et H_2S) provoque une communication inter-nappe qui a son tour conduit à une augmentation du niveau piézométrique .(La durée de vie d'un forage est estimée à 15 ans) .

Les eaux perdues par défaut de bouchage, de fermeture ou de tubages détériorés des forages viennent s'ajouter dans la nappe superficielle. [4]

➤ Perméabilité et vitesse d'écoulement :

La faible vitesse due à la faible pente et la présence d'argile dans toute la formation sauf dans la région des chotts au nord, permet une stagnation des eaux infiltrées et par conséquent une remontée des eaux par accumulation. [5]

➤ Précipitation :

Cet apport est présenté par les pluies torrentielles à caractère exceptionnel tombées en 24 heures, qui servent à la recharge de la nappe superficielle, surtout après les sécheresses prolongées, le nombre de jours d'orage par an est de 7.8 en moyenne.

Cet apport très faible s'ajoute aux autres eaux et s'infiltré dans le sol pour alimenter la nappe superficielle. [6]

➤ Surface topographique :

La zone d'étude présente une topographie relativement basse, La commune de Ouargla appartient à une zone dont l'altitude varie de 128 à 132 m.

Cette topographie favorise l'accumulation des différents types d'eaux infiltrées dans la zone bases de la vallée. [7]

➤ Surface du substratum imperméable de la nappe superficielle :

Le substratum de la nappe superficielle se présente sous forme de dôme au nord de la vallée, et sous forme de cuvette au nord-ouest à l'est de la vallée et dans la zone sud de Ouargla ville , coïncidant avec une topographie basse , il provoque une remontée des eaux infiltrées . [8]



3-Mécanismes de la remontée la nappe phréatique :

Avant la découverte des eaux fossiles, le volume de la nappe phréatique était stationnaire, sauf de cas exceptionnels (crues torrentielles) ; il y'avait un équilibre entre la capacité d'eau apportée et celle évacuée. Profitant des conditions topographique et hydrogéologique favorable de la région.

Les Oasiens utilisaient uniquement les eaux de la nappe phréatique pour les besoins en eau potable et agricole ;il existait un équilibre entre les prélèvements et les rejets ,et le niveau piézométrique de la nappe reste stationnaire .Mais au début des années 60 ,avec l'apparition des forages profonds ,le niveau d'eau de la nappe phréatique s'élevait progressivement ,puisque les rejets dans la nappe phréatique étaient devenus considérables Les prélèvement à partir des nappes de Complexe Terminale et le Continental Intercalaire ont augmenté considérablement le volume des apports . [9]

Illustre bien l'évolution du comportement de la nappe phréatique (figure01).

Cette remontée s'explique par les mécanismes suivants (figure02):

- Agrandissement de la superficie des terres agricoles, ce qui a engendré une augmentation du débit de pompage de la nappe profonde, contribuant par le biais des retours d'irrigation à augmentation du volume de la nappe supérieure (facilite par une perméabilité élevée du sol de type sable dunaire) .
- L'absence d'un réseau d'assainissement collectif sur tout la région de Ouargla ; les eaux utilisées sont collectées individuellement dans les fosses septique .Cette situation a contribue à la suralimentation et à la pollution de la nappe phréatique par le biais du rejet des eaux usées.

La figure(03) représente l'évolution dans le temps du débit des rejets domestique et des retours d'irrigation durant la période 1967-1992, Nous constatons que le débit croit linéairement avec le temps, mais à partir de 1980, il s'est accélère et même triple. [10]

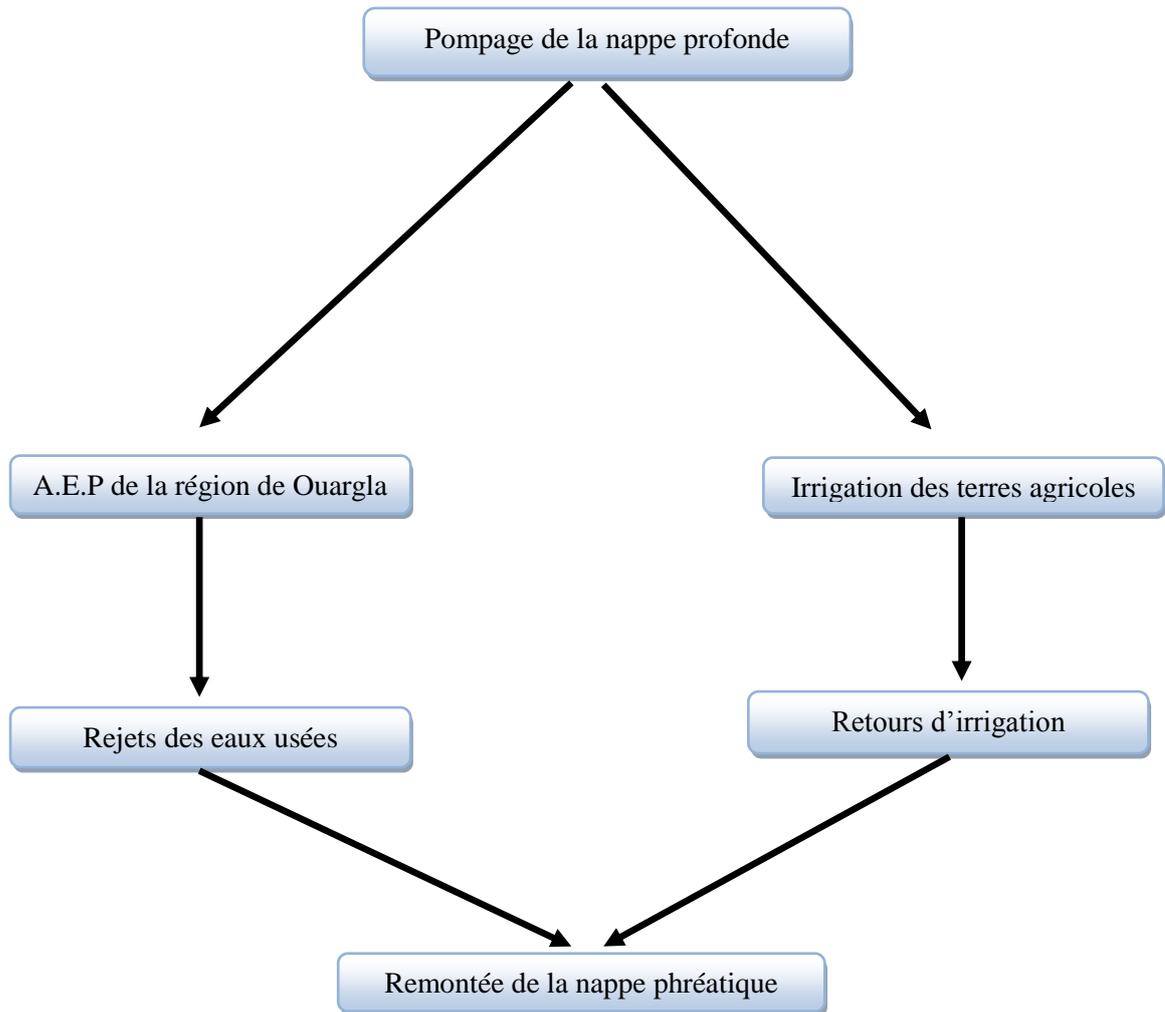


Fig. 1 : Processus du phénomène de la remontée des eaux dans la région de Ouargla.

(Source : à l'ABH de Ouargla)

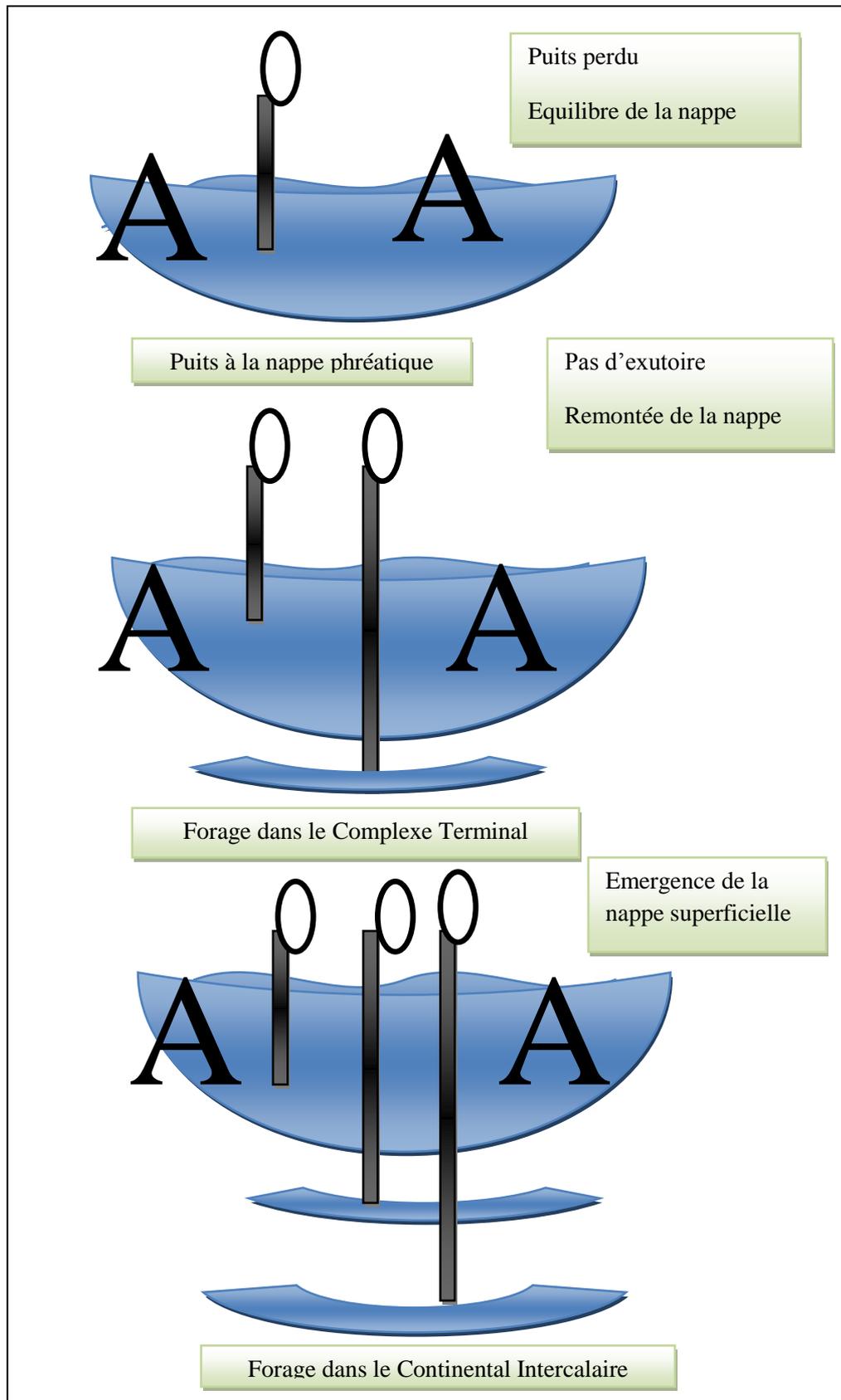


Fig. 2 : Evolution du comportement de la nappe phréatique (Source : à l'ABH de Ouargla)



Tableau (1) : Evolution du débit des rejets domestique et les retours d'irrigation dans la région de Ouargla

Débit (l/s)	0	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1200
Années	1955	1963	1972	1978	1984	1986	1987	1988	1990	1993	1995

(Source :à l'ABH de Ouargla)

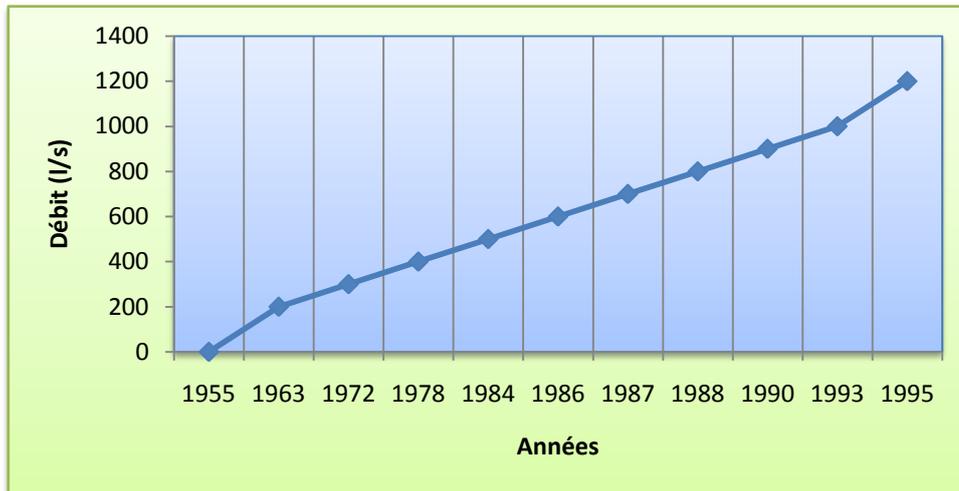


Fig. 3 :Evolution du débit des rejets domestique et les retours d'irrigation dans la région de Ouargla(Source :à l'ABH de Ouargla)

4 – Analyse générale des problèmes :

La région de Ouargla souffre depuis longtemps d'un excès d'eau, ayant créé des problèmes écologique dans les zones urbaines et agricoles. En effet, les fluctuations saisonnières du niveau de la nappe phréatique provoquent souvent des affaissements de terrain.

Dans les zones agricoles, la nappe phréatique a créé un milieu anaérobie, néfaste pour les cultures et le palmier.

Au cours de la dernière décennie, le niveau piézométrique de la nappe a régulièrement augmenté. Actuellement il est devenu critique.



Photo (1) : Le problème de salinité et l'excès d'eau



Cette situation pose de graves problèmes dans la vallée. L'eau stagnante et affleurant par endroit dont la salinité est très élevée met en péril la pérennité des palmeraies et l'ensemble de l'agriculture oasisienne. Par ailleurs, les eaux usées déversées sans traitement directement dans les deux grands drains (Est et Ouest) ne sont pas pompées pour être évacuées vers l'exutoire stagnant et constituent ainsi un facteur grave de pollution de l'environnement. [11]

4.1-La pollution des eaux :

Une étude de pollution des eaux a été réalisée dans la cuvette de Ouargla par l'ANRH avec la collaboration de l'Entreprise de distribution des eaux (EDEMIO), cette étude a porté sur des prélèvements d'échantillons d'eau pour l'analyse bactériologique et d'éléments indésirables (nitrate) prélevés sur 18 forages exploités à Ouargla.

Les tests ont donné des résultats négatifs, ce qui confirme l'absence des germes dans les eaux de ces forages. Quant à la teneur en nitrate, les résultats des échantillons d'eau prélevés dans la nappe du complexe terminale montre une variation faible à moyenne de 15 à 47 mg/l, selon les quartiers de la ville, la profondeur de la nappe du continentale intercalaire étant importante (1400m) celle-ci présente une absence de nitrate.

Quant aux eaux de la nappe phréatique, elles se caractérisent généralement par une salinité très élevée de type chloruré-sodique. [12]

L'accroissement de la salinité suit le sens de l'écoulement des eaux de la nappe phréatique (lessivage latérale), il est à remarquer, qu'une eau relativement moins chargée en sels, avec un résidu sec de 32 à 60 g/l se localise au nord de la cuvette en direction des chotts. La zone de Ouargla-Rouissat présente une salinité comprise entre 8 et 16 g/l, alors que la zone Bour EL Haicha, qui est la ligne de partage des eaux de la nappe phréatique présente une salinité d'environ 4g/l. [13]

Enfin, la teneur en salinité des chotts et sebkhas oscille entre 200 et 300g/l.

Tableau (2) : Teneurs en fluor des eaux de quelques régions d'Ouargla

région	point d'eau	aquifère	Mg/l
OUARGLA	N° goussa	Mio pliocène (CT)	1.47
	sokra	Sénonien (CT)	1.5
	El-Bour	Albien(CI)	0.8

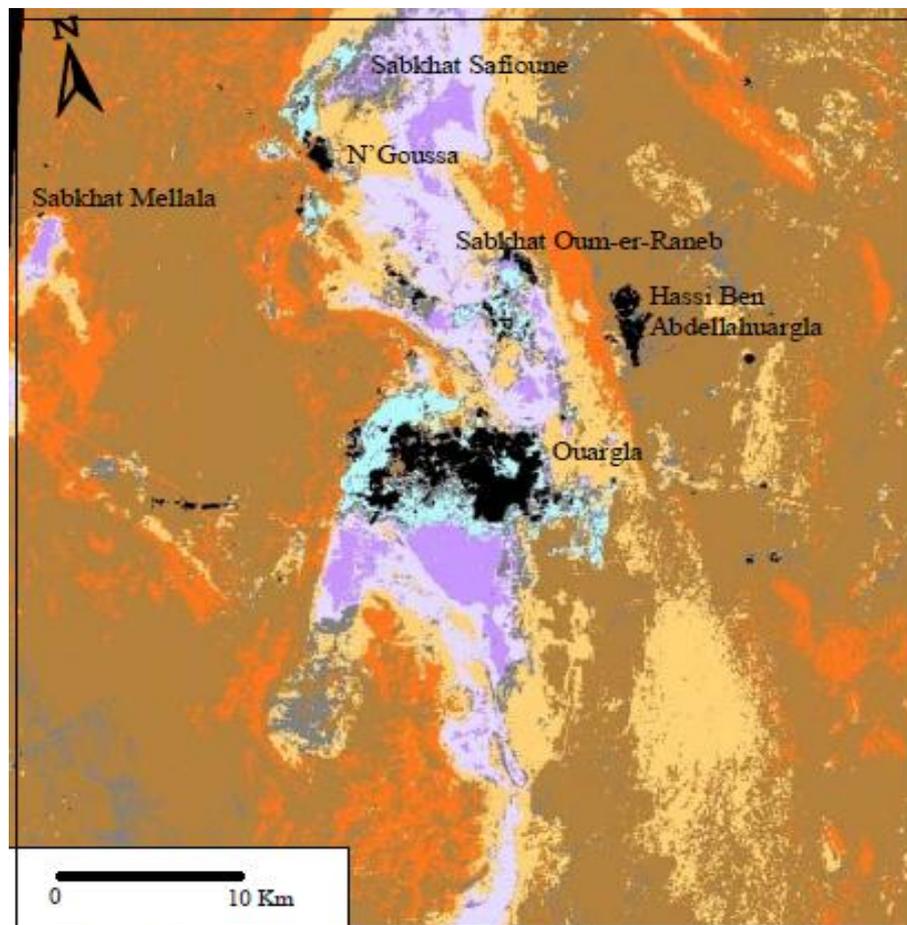
Source : à l'ANRH de Ouargla

4.2-risque de salinisation des sols dans la cuvette de Ouargla :

L'image satellite réalisée, a permis d'opérer une première classification réduite à 13 classes (4 salins, 2 gypseux, 3 à regs, 3 sableux, 1 à affleurement rocheux) qu'ils ont pu faire coïncider avec les états de surfaces du sol. Les zones couvertes par certaines des classes décrites ci-dessus ont ensuite été utilisées pour constituer la partie visible d'un masque dans lequel a été effectuée l'image IRC ; une nouvelle CAH en deux ou en plusieurs classes, a permis d'individualiser des zones plus précises, qui ont pu être isolées par un masquage.



Cette méthode a permis de distinguer les zones particulières des regs et des dunes principalement. Les classes représentant des superficies trop petites, ont été réunies à ceux qui étaient spatialement les plus proches d'eux.



	1. Sols à très faible risque de salinisation; (Hamada, reg, pseudo-reg, ...etc.)
	2. Sols à faible risque de salinisation ; formations éoliennes (dunes, Nebkha, ...etc.)
	3. Sols à risque de salinisation moyen. Sol gypseux à croûtes gypseuses de surface et de sub-surface. La nappe phréatique salée (CE entre 5 et 10 dS.m ⁻¹) est à plus de 5 m de la surface du sol
	4. Sols à risque de salinisation élevé. Sol gypso-salin. La nappe phréatique très salée (CE > 30 dS.m ⁻¹) est entre 1 et 2 m de la surface du sol
	5. Sols à risque de salinisation très élevé. Sol salin de la sebka. La nappe phréatique très salée (CE > 30 dS.m ⁻¹) est à moins de 1 m de la surface du sol. Le centre de la sebka est partiellement inondé, notamment en hiver
	6. Affleurements rocheux du grès du Mio-Pliocène « Regosols »
	Zones non classées
	Végétation, eaux, ombres, agglomération ..etc

Fig. 4 : Carte de risque salinisation de la cuvette de Ouargla (l'ANRH de Ouargla)

➤ Origine de la salinité :

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

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

Cette concentration des sels dans les horizons de surface s'explique par la remonté de la nappe phréatique salée avec un dépôt ascensionnel : la manifestation la plus apparente est celle des néoformations d'efflorescences blanchâtre et parfois des croutes à la surface de sol cette teneur en sels dans les sols, qui est une contrainte pour l'agriculture, mais peut être corrigé par un lessivage d'hiver. Du point de vue qualitatif les sels solubles de l'extrait de pate saturé sont dominés par le chlorure et représentent un fort taux de la saumure anionique totale .selon les zones et parmi les cations, le sodium vient en premier place le **PH** des ces sols halomorphes et souvent alcalin résultant surtout d'une importante teneur en gypse.

4.3-L'impact sur les fondations des bâtiments :

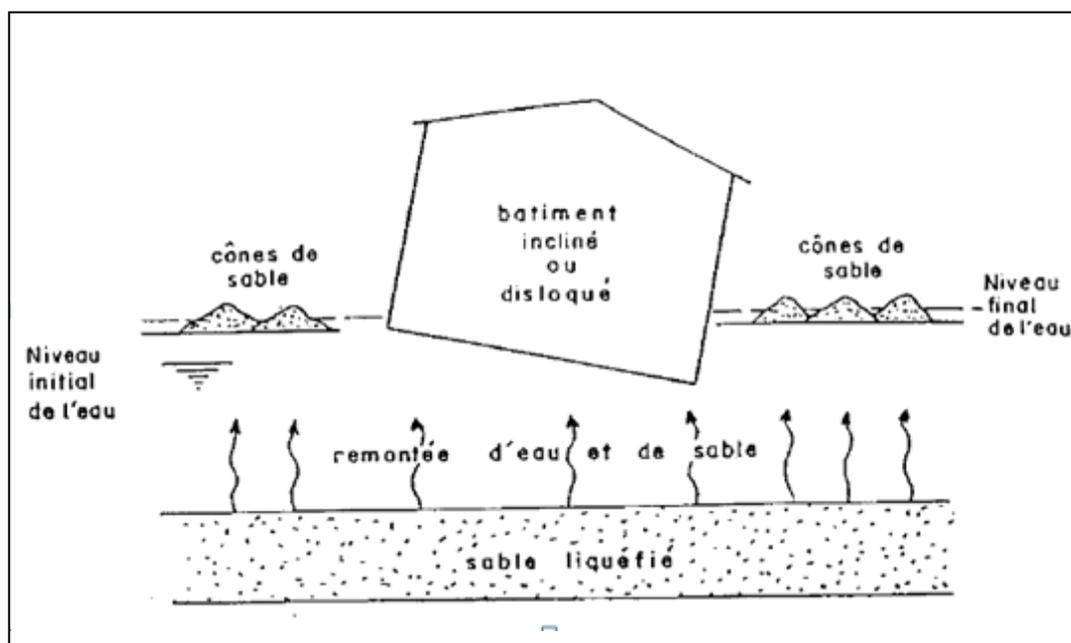


Fig. 5 : L'impact phénomène de la remontée sur les fondations [source :internet]

Phénomène de la remontée du nappe phréatique permet à cause les problèmes de mouvement de sol et la fissuration des bâtiment tel que l'excès d'eau jusqu'a niveau des fondations des bâtiments (1-1.5) m.



Permet la circulation d'eau entre les bases des bâtiments et la couche de sol ce qui fait le milieu devient poreux entre des deux dernières, cette circulation où mouvement créer un phénomène appeler **liquéfiables des sols**.

4.4-L'impact sur les routes :

Nous posons la question suivant, pourquoi les routes de la ville de Ouargla et Oued souf sont recorrigé à chaque 05 au 06 années ?

Le cause principale de ce problème est le phénomène de la remontée du nappe phréatique tel que la remontée d'eau verticalement jusqu' a la couche de la routé puis, il est change dans le sens horizontalement, ce mouvement crée d'un milieu poreux sous la couche de la route ; et réduire de fissuration et rupture des cette routes



Photo(2) : Effondrement la route dans la ville de Ouargla



Photo(3) : Effondrement de la berge gauche



4.5- Impact de nappe sur les réseaux :

Les apports d'eau de ruissellement croissant au rythme de l'accroissement des surfaces Imperméabilisées raccordées aux réseaux de collecte, les inondations par débordement de réseau se sont faites plus nombreuses. L'enjeu des techniques alternatives fondées sur L'infiltration des EP dans le terrain est donc de limiter le ruissellement pour éviter la saturation des réseaux et réduire le coût imputable aux inondations. Cependant, il faut s'assurer que les eaux infiltrées ne vont pas polluer une nappe considérée comme une ressource d'eau potable, et il est donc conseillé, avant de mettre en place des dispositifs d'infiltration, de réaliser d'abord une carte de vulnérabilité de la nappe en tant que ressource et là où un captage existe, de déterminer le *Bassin d'alimentation de captage* (BAC). Par ailleurs, la multiplication des surfaces aménagées pour l'infiltration pourrait rompre l'équilibre hydrodynamique et provoquer localement une remontée de nappe qui risque d'affecter les réseaux enterrés.

4.5.1- Les eaux claires parasites permanentes (ECPP) :

Un réseau endommagé peut subir l'entrée intempestive d'eaux claires parasites permanentes qui aggravent la dégradation des joints et contribuent à l'usure voire à une érosion des ouvrages.

L'essentiel de ces ECPP sont vraisemblablement des eaux de pluie ou de fuites d'AEP infiltrées dans le sol puis drainées par le massif de sable et gravier qui entoure les conduites d'assainissement, ce qui leur permet d'entrer dans le réseau dès qu'elles y trouvent une faille. Cela peut être aussi dans certains cas de l'eau de nappe lors du battement saisonnier ou d'une remontée qui peut être exceptionnelle ou tendancielle. Une entrée d'eau (figure 24) a lieu dès que la nappe remonte suffisamment pour noyer le réseau par en-dessous et mettre en charge sa paroi extérieure, ou que le taux d'infiltration par le haut à travers le terrain sus-jacent est localement élevé. De plus, l'entrée d'eau par une fissure ou un joint dans un réseau favorise ensuite le développement racinaire des végétaux (figure 25) qui achève de déstructurer l'ouvrage endommagé



Photo (4) : Infiltration d'eau claire parasite permanente (ECPP) dans un réseau d'assainissement.



Photo (5) : Système racinaire pénétrant dans une conduite d'assainissement

Conclusion :

Les perturbations du régime d'écoulement souterrain en milieu urbain sont à la fois complexes et différées par rapport à leurs causes. Les changements passés en revue ici sont relatifs à l'état et à l'usage antérieur du sol. On a décrit leur effet boomerang : ils impactent la stabilité et l'intégrité des installations urbaines. Parmi les structures affectées par la remontée tendancielle de nappe ou par la crue de nappe, on trouve les fondations et les espaces souterrains des bâtiments, les chaussées, tunnels routiers et tranchées couvertes, les équipements d'assainissement comme les collecteurs, stations de relevage, puisards, fosses septiques, etc. Le rabattement de la nappe engendre des sollicitations cycliques qui dégradent les structures souterraines et produisent l'entrée d'eaux claires parasites dans les réseaux et l'inondation des parkings. On doit désormais envisager la situation où la nappe (masse d'eau souterraine) principale s'élève à tel point que si tous les pompages d'alimentation cessaient (réduction de la demande en période de crise économique, qualité diminuée en dessous du tolérable), le niveau piézométrique dépasserait le niveau antérieur au développement industriel. C'est pourquoi une cartographie du risque remontée de nappe est appelée à se développer.



Recommandation :

1 - Actions recommandées pour contrôler le niveau de La nappe phréatique :

1.1 - Introduction :

La pente générale de la nappe phréatique ainsi que les transmissivités sont faibles dans l'agglomération de Ouargla et les palmeraies qui l'entourent.

Les quantités d'eau qui s'écoulent sont peu importantes. Les apports d'eau extérieurs (CI, CT ou précipitations) restent pratiquement sur le site et ont fait monter le niveau de la nappe en remplissant les pores du terrain, créant un dôme sous la région.

Les réseaux de drainage et de collecte des eaux usées permettent un écoulement vers les points bas qui étaient autrefois ennoyés en hiver quand l'évaporation était faible. En Eté l'évaporation importante réduisait l'importance des zones inondées.

Pour contrôler le niveau de la nappe phréatique, il faut limiter les apports et augmenter les sorties.

1.2 - Actions pour limiter les apports d'eau :

a - Réduction des fuites AEP :

Dans les cinq dernières années, un taux de fuites AEP de l'ordre de 50 % est estimé (EDEMIAO-Ouargla, 2007), ce qu'est énorme.

Pour faire descendre ce pourcentage de fuites, il faut procéder un programme de recherche diagnostiquer le réseau AEP et contrôler (ex : pose de compteurs) la distribution et les projets de réparation des fuites.

b - Réduction de la consommation :

La consommation est relativement importante. L'arrosage des zones vertes et jardins dans les zones urbanisées se fait régulièrement avec l'eau de l'AEP. Elle serait plus judicieuse avec une irrigation à partir des eaux de la nappe phréatique dont la qualité est généralement acceptable sous agglomération.

De même, il faut :

- Sensibiliser la population;
- Interdire l'irrigation à partir du réseau AEP, ou instaurer une tarification progressive.

c - Limitation des palmeraies :

Certaines palmeraies sont peut-être sur irriguées, pour tenter de lutter contre une salinisation due à un mauvais drainage. Cette procédure est mal orientée, pour cela, il faut :

- Sensibiliser les irrigants;
- Créer un organisme d'irrigation;
- Réfléchir sur la dimension souhaitable de la palmeraie dans les zones urbanisées (Ouargla et N'Goussa)

2 - Actions pour augmenter les évacuations d'eau :

a - Réseau d'eaux usées :

Les systèmes de fosses septiques et puits perdus réinfiltrent l'eau usée localement et participent à la remontée de la nappe phréatique. De plus, le réseau de collecte et d'évacuation des eaux usées est mal fonctionné, donc il faut :

- Optimiser et assurer le bon fonctionnement de ce réseau.

b - Réseaux de drainage urbain et d'irrigation :

En l'absence de pente, seul un réseau de drainage permet de déplacer l'eau infiltrée dans la nappe et ainsi de contrôler sa hauteur.

Avec les faibles transmissivités au niveau de l'agglomération de Ouargla, seul des drains horizontaux sont envisageables. Donc, il faut réaliser un réseau de drainage urbain et améliorer le réseau de drainage agricole.

c - Développement d'espaces verts irrigués à partir de la nappe phréatique :

L'arrosage de ces espaces verts ne doit pas être réalisé à partir du réseau d'AEP mais à partir de puits captant la nappe phréatique.

Si la nappe phréatique se trouve à moins de 5 m de profondeur les racines puiseront directement dans la nappe, lorsque les plantations seront suffisamment développées.



Photo(1) : Espaces verts de Ouargla

**d - Maintien des zones d'évaporation :**

Pour éviter que le chott ne se transforme en cloaque, il est important que seule l'eau de drainage y entre et pour éviter une sur salinisation il faut qu'il y ait un renouvellement de l'eau.

Pour que l'évaporation reste importante, il faut que la profondeur de l'eau soit faible. Donc, une réflexion sur le rôle des chotts et sebkhas (Ba-Mendil, Oum Raneb et Safioune) doit être nécessaire.

e - Conduite d'évacuation vers Sebkhet Safioune :

Le surplus d'eau dans la zone de Ouargla doit être évacué. Sebkhet Oum Raneb située à proximité de la ville de Ouargla étant de superficie insuffisante et de rôle environnemental dégradé, donc il faut chercher d'un autre site favorable pour les rejets.

Les critères suivants rendent Sebkhet Safioune de constituer le site le mieux adopté pour évacuer ces rejets :

- Superficie disponible d'environ 8 000 ha;
- Pas de zone urbanisée à proximité;
- Absence de potentiel agricole développé;
- Milieu très pauvre sur le plan de la biodiversité.

4 - L'assainissement :

Le projet d'assainissement prévoit à l'horizon 2015 le raccordement de 100% de la population de l'agglomération de Ouargla. La suppression de l'assainissement autonome et des rejets directs dans le milieu contribuera à :

- · Limiter la réalimentation en eau de la nappe phréatique ce qui devrait permettre ponctuellement d'abaisser son niveau.
- · Limiter la pression de pollution en nitrates et phosphore et améliorer la qualité bactériologique des eaux.

5 - Epuration :

La mise en place de la station est conditionnée par l'interception de tous les rejets d'eaux usées qui ne s'infiltreront plus dans le sous-sol. L'alimentation de la nappe phréatique en milieu urbain sera ainsi moins importante.

La suppression des rejets limitera également sa pollution par les nitrates et le phosphore.

Le traitement des eaux usées de l'agglomération de Ouargla contribue à l'amélioration de L'hygiène des populations et de la qualité de vie.

Les nuisances olfactives liées aux stagnations d'eaux usées brutes dans la zone humide seront Supprimées .Les risques de contamination du bétail et des personnes fréquentant la zone humide seront aussi supprimés.

6-Recommandation pour la route :

Le géocomposite présente sous forme de rouleaux de 4 m de large (photo 1).



Photo (2) : Conditionnement du conduite

Il est mis en œuvre sur un fond de forme préalablement réglé à la pente voulue et est déroulé perpendiculairement aux tranchées collectrices ou aux fossés latéraux (figure 1 & photo2)

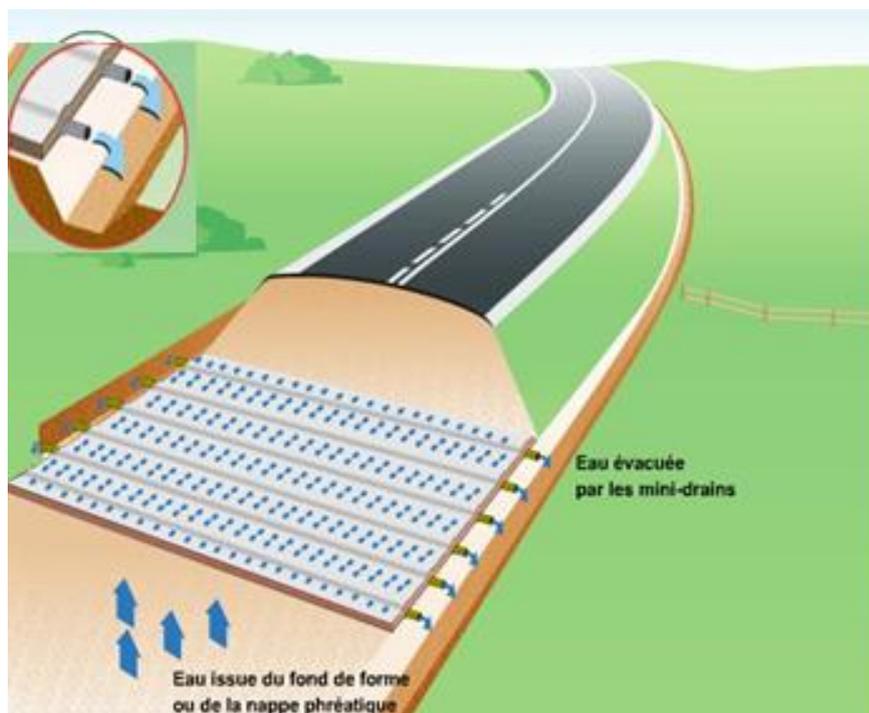


Fig. 1: Principe de déroulement du SOMETUBE (Source :internet -afitex-)



Photo (3): Mise en œuvre du géocomposite SOMTUBE FTF

6.1-Cas des remblais sur sols compressibles avec des drains verticaux :

En drainage sous remblai sur sols compressibles en association avec des drains verticaux, la connexion hydraulique SOMTUBE - drains verticaux se fait par simple recouvrement comme illustré ci-dessous (photos 4& 5).



Photos 4& 5 : Connexion hydraulique SOMTUBE FTF – drains verticaux

(Source :internet -afitex-)

6.2-Joints transversaux (bout à bout) :

Afin d'assurer la continuité de l'écoulement dans les mini-drains entre deux rouleaux, des joints transversaux sont réalisés. Il faut peler sur 20 cm minimum le filtre pour dégager les mini-drains. L'extrémité du lé suivant est introduite dans cette ouverture, en veillant à bien positionner les mini-drains côte à côte (figure 1 et photo 4).

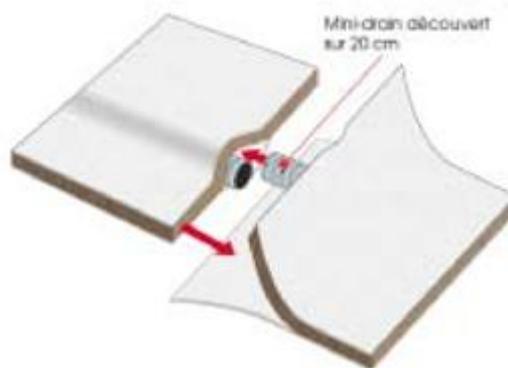


Fig. 2 : Traitement des joints transversaux (bout à bout)
(Source :internet -afitex-)



Photo 6: Traitement des joints transversaux (bout à bout)

La liaison est réalisée par joints à chaud (air chaud ou flamme) sur toute la largeur du lé.

6.3-Joints longitudinaux (cote à cote) :

Ils sont réalisés par simple recouvrement sur une largeur de 5 à 10 cm. Pour éviter tous déplacements (vent, remblai, etc.), le recouvrement est fixé par points à chaud (air chaud ou flamme). L'espace entre ces points est de 2 m au maximum (figure 3 & photo 5).

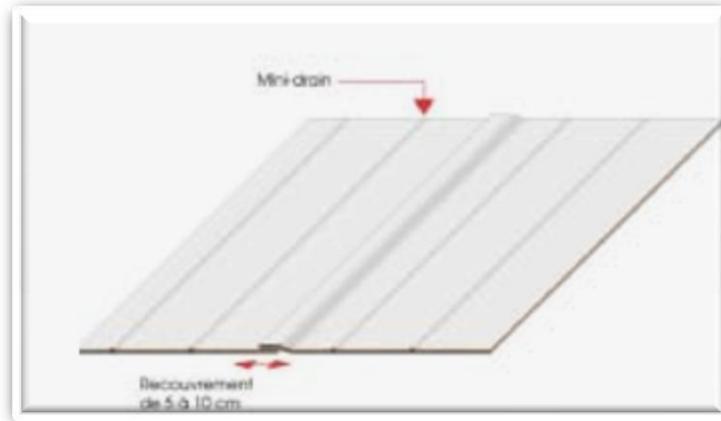


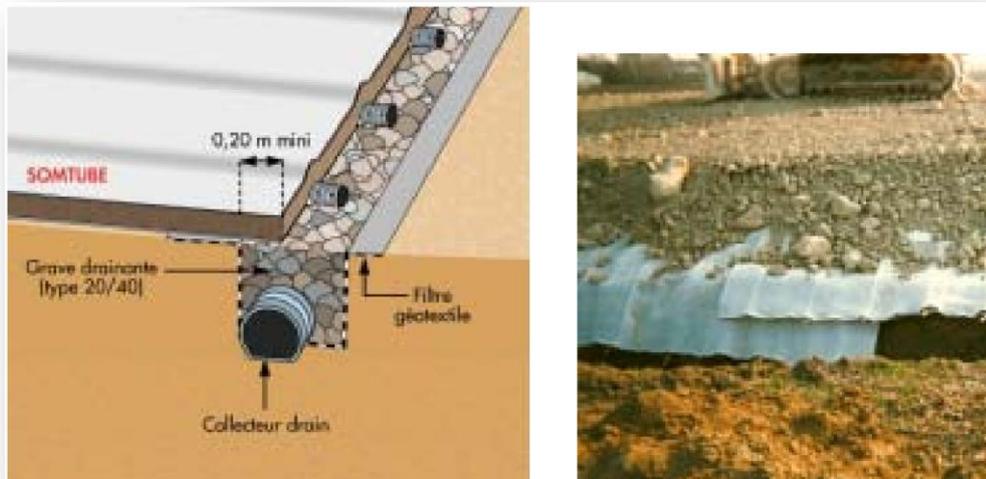
Fig. 3 : Traitement des joints longitudinaux (cote à cote) (Source : internet -afitex-)



Photo 7 : Traitement des joints longitudinaux (cote à cote)

6.4-Raccordement à la tranchée drainante ou au fossé :

Le raccordement à la tranchée collectrice se fait par simple recouvrement sur une longueur minimale de 0,20 m (figure 4 et photo 6).

**Fig. 4 : Raccordement à la tranchée****Photo 8 : Raccordement au fossé**

(Source : internet -afitex-)

Le géocomposite SOMTUBE FTF doit ensuite être recouvert de matériaux afin de ne pas l'exposer aux rayons U.V.

Le remblaiement sur le SOMTUBE FTF se fait à l'avancement. Dans tous les cas, lors de la mise en œuvre du remblai, on veillera à ne pas déplacer les lés les uns par rapport aux autres (photos 7 & 8).

**Photos 9 & 10: Remblaiement à l'avancement**

Le compactage de la première couche sur le SOMTUBE FTF, comme le remblaiement se fait à l'avancement (photo 11)



Photo 11 : compactage de la première couche à l'avancement.

7 - Drainage :

7.1-Introduction :

Le drainage est l'évacuation des eaux de surface ou souterraines excédentaires par des moyens naturels ou artificiels en vue de l'assèchement d'un terrain trop humide ou inondé, afin de le valoriser pour l'agriculture, l'élevage ou la construction.

Le drainage permet de réguler l'humidité excessive des sols, due à leur nature ou à la présence de sources ou de nappes d'eau près de la surface. Cette humidité entraîne nombre d'inconvénients, parmi lesquels une diminution de l'activité biologique de la terre, de mauvais échanges thermiques néfastes au développement des cultures, une résistance inférieure des plantations aux sécheresses, une diminution de l'efficacité des engrais, un manque d'oxygène entraînant une asphyxie des racines, une désagrégation des particules, et une instabilité du sol lui-même.

7.2- Effets positifs de l'assainissement du sol :

- Meilleure aération du sol.
- Amélioration de la structure du sol.
- Pénétration plus profonde des racines.
- échauffements plus rapides du sol.
- Augmentation des processus de nitrification.
- Diminution des mauvaises herbes et des maladies des cultures.
- Accès possible aux parcelles en temps opportun.

7.3 -Systèmes de drainage :

7.3.1- Drainage de surface :

Pratiqué dans les zones plates, à très faible pente ou à surface irrégulière, en présence de défauts d'infiltrabilité ou de drainage interne.

Objectif : Réduire les risques de submersion prolongée du sol sans provoquer d'érosion:

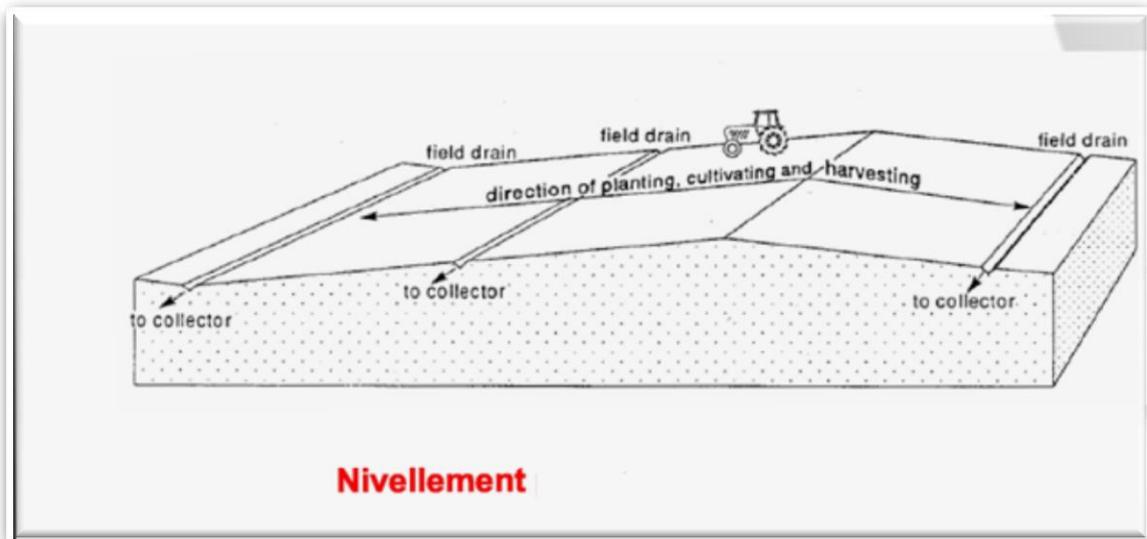
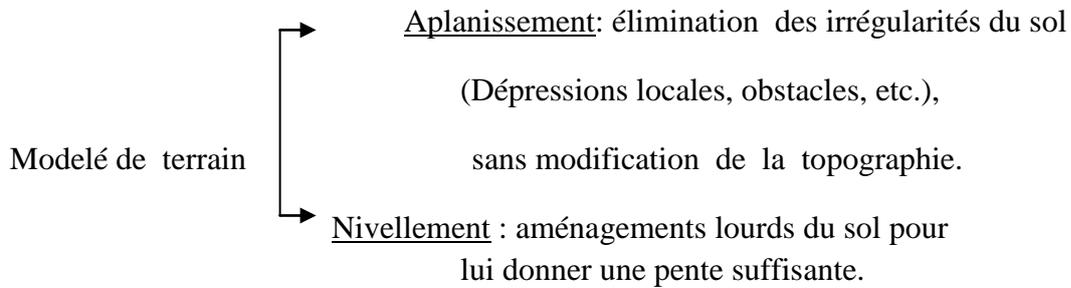


Fig.5 : Drainage de surface

Source : Drainage basic (EPFL)

7.3.2-Drainage par fosses :

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

6.3.2.1- Le rôle des fosses :

- Interceptor 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.

7.3.2.2- Avantage des fosses :

- Mise en œuvre simple et rapide
- Coût peu élevé

7.3.2.3- Inconvénients :

- perte de surface cultivable
- gêne les façons culturales ,labour et autre travail mécanisé.
- entretien régulier (curage des fossés) pour maintenir une capacité d'écoulement.
- maladies hydriques

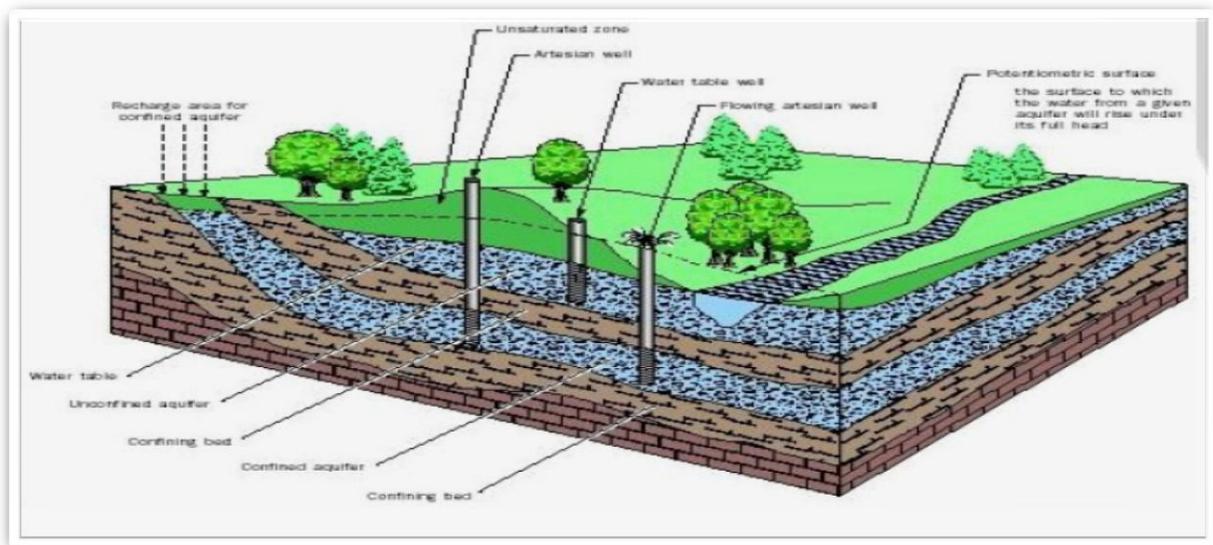


Fig.6: Drainage de surface par fossé

Source : Drainage basic (EPFL)

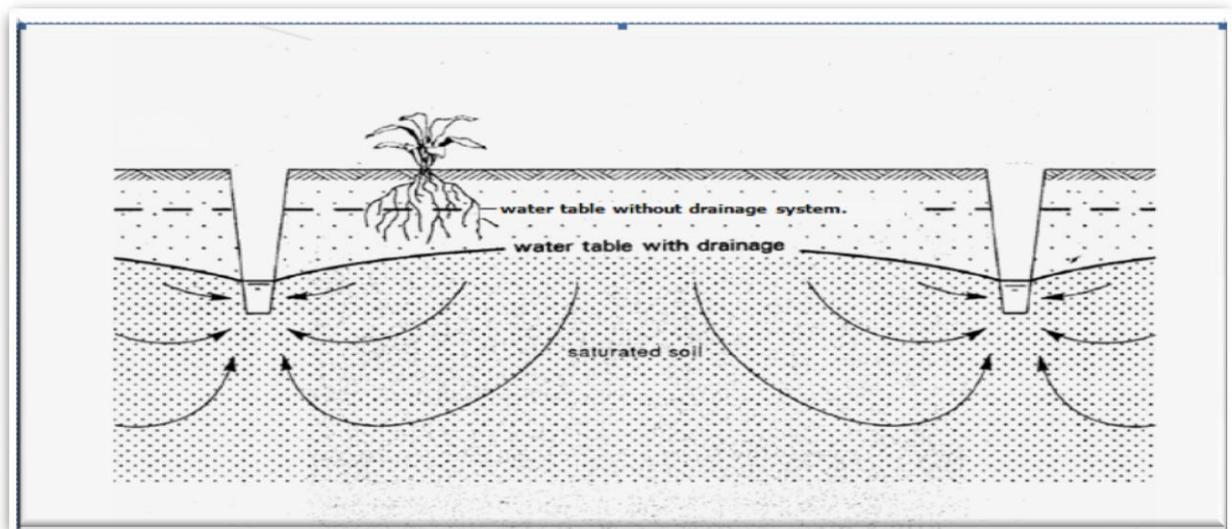


Fig.7 : Drainage de surface par fossé

Source : Drainage basic (EPFL)



Photo (12): drainage par fossé OUARGLA

Source : rapport BG 2004

6.3.3- Drainage par drains enterres :

- 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 .



Photo(13) : Drains enterres

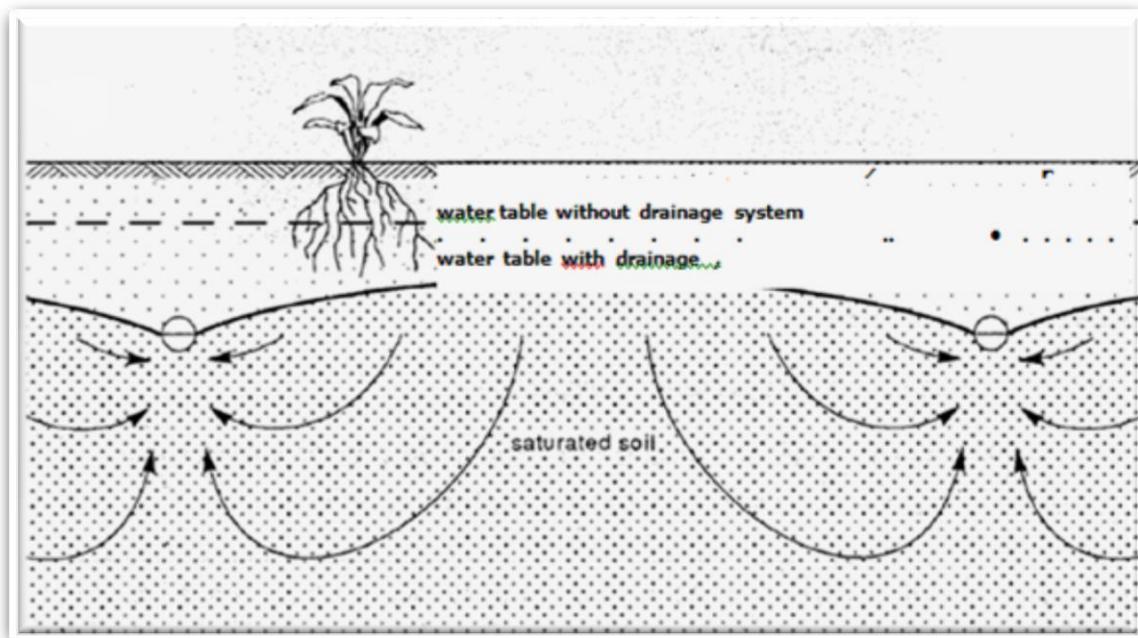
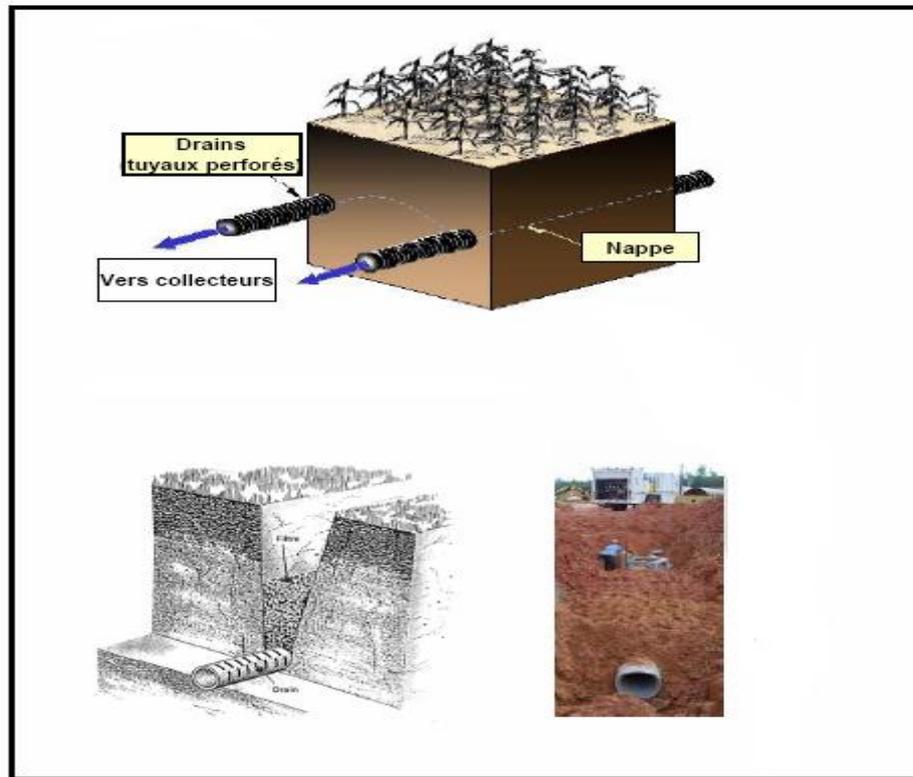


Fig. (8) : Drainage par drains enterrés

Source : Drainage basic (EPFL)



8 - Méthode de drainage avec le système du bloc:

cette méthode consiste à construire des mailles de drains entourant un bloc, ces drains sont fabriqués en matière Polyéthylène et troués selon des dimensions étudiées tout au long du périmètre du canal pour faciliter la pénétration de l'eau à l'intérieur du canal, sur le canal on pose une membrane de géotextile et une couche de cailloux dont les diamètres sont gradués selon la granulométrie de manière que le diamètre de la couche extérieure qui touche le sol soit le plus petit pour purifier l'eau des granules de sol, alors que celui de la couche extérieure soit le plus grand, afin d'augmenter la perméabilité de l'eau sol (gradient hydraulique), en respectant que la profondeur des amonts soit de 2.15m.

Ces mailles sont des polygones, on principe des rectangles avec une largeur 'a' et une longueur 'b', la forme du polygone se varie selon le plan d'occupation des sols (P.O.S) et les directions de débits des drains suivant celles de courbes des sols selon la carte des courbes des niveaux et la position de collecte suit cette carte dans le but d'éviter la contre pente.

On a réparti la zone d'étude (Saïd otba) en trois zones dont la superficie sont plus ou moins identiques et on a mis tout exprès pour que les longueurs des drains soient petits le plus possible et la même chose avec les longueurs de collectes pour éviter les grandes profondeurs ainsi que les grands diamètre.

Dans cette étude, on a divisé la zone d'étude (Saïd otba) en trois zones approximativement pareilles quant à la surface, afin d' :

- Eviter les grandes profondeurs.
- Eviter les grands drains.
- Des stations de pompes non conteuses avec un moyen débit.

-Eviter la contre ponte.

8.1-Composants du réseau de drainage proposé :

8.1.1- Description de mailles :

La zone du nord (la première) : superficie de 1206497 m², elle en globe la zone d'agglomération 16 mailles, et la longueur de maille moyenne b=173m et la largeur moyenne a=121m, y comprend 6715 m de drains, et 1755m de collectes.

La zone du moyenne (la deuxième): superficie de 811990 m², elle occupe la zone d'agglomération de 13 mailles. la longueur moyenne de maille b=174m et la largeur moyenne a=124m, y comprend 5950m de drains, et 1532m de collectes.

La zone du sud (la troisième): superficie de 916017m², elle occupe la zone d'agglomération de 13 mailles. la longueur moyenne de maille b=165m, et la largeur moyenne a=122m, elle comporte 4990m de drains, et 947m de collectes.

8.1.2- Les collectes :

Elles joignent les avals de drains avec la station de pompage des trois zones étudiées en tenant compte que chaque station de pompage soit au point le plus bas dans la zone et le plus près de collecte des eaux sales. Qui passe par toute la zone vert la station de pompage centrale qui se situe dans la première zone à la proximité du marché. Les collectes sont fabriqués de polyéthylène de haute densité (P.E.H.D) et la profondeur de drain ne dépasse pas 5.50m ,et la profondeur du collecteur est plus basse que celle du drain .

8.1.3-Station de pompage:

A travers les stations de pompages, on fait avancer les eaux collectées du bassin de chaque station pour aboutir au collecte centrale des eaux usées les plus proche de chaque station , laquelle est munie de deux pompes submersibles au plus de deux à l'intérieure d'un bassin de collectage propre à chaque zone selon les données naturelles.

8.2-Description du réseau de drainage horizontal proposé:

Construire un réseau de drainage des eaux de la couche superficielle dans la superficie étudiée pour drainer les eaux excessives entraînant l'émergence de la plupart de plate-forme d'édifices et régler la profondeur de la couche d'eau superficielle à préférence de hopt =1.75m. Afin de protéger la plate-forme d'édifices de l'émergence avec les eaux agressives.

Les canaux de drainage inclus dans l'étude assurent le réglage de niveau de la couche superficielle à une profondeur préférée .Il s'agit de canaux plastique annelés et perforés, enterrés et fabriqués en PEHD. Ce genre de canaux est utilisé en cas de grandes profondeurs de canaux de drainage, et il résiste les charges mieux que d'autres matières. Et peut être enterré au sol jusqu'à 5m profondeur. Les caractéristiques de ce genre des canaux de drainage sont :

- Le diamètre ϕ
- Le pas δ
- L'hauteur h_s

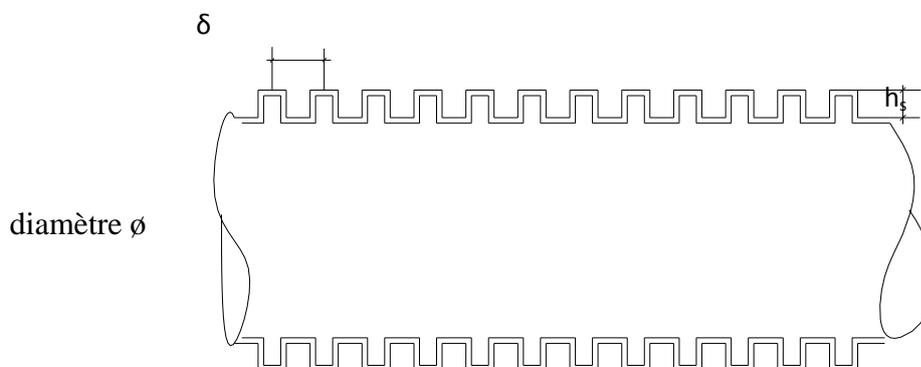


Fig. 9:.canal de drainage spiral

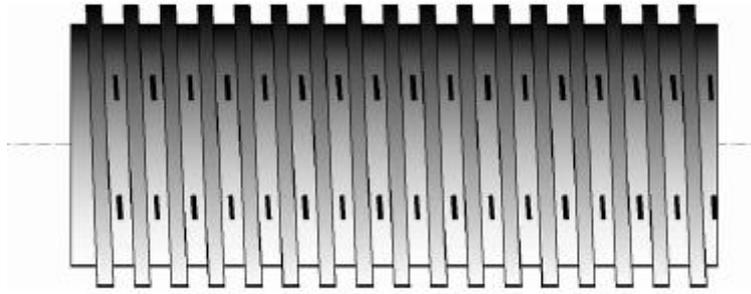


Photo (14) :canal de drainage spiral

La longueur globale des canaux de drainage est de 17655m avec des diamètres de 100à160mm et pente de 0.002à0.008.

La vitesse d'écoulement de l'eau dans le canal de drainage est de 0.38 à 1m/s

Les collectes qui rassemblent les eaux de canaux de drainage dans les limites d'étude sont en forme de canaux plastiques lisse de haute densité dont la longueur globale est de 4234m. Quant aux diamètres, ils sont de 100 jusqu'a 300 mm. (ABRAMOV.S.K, 1971)

Ces drains ce trouvent à l'intérieur d'une couche caillouteuse (gravier) selon la granulométrie ; Ces diamètres se varient de 25/40, 15/25, 15/8 .

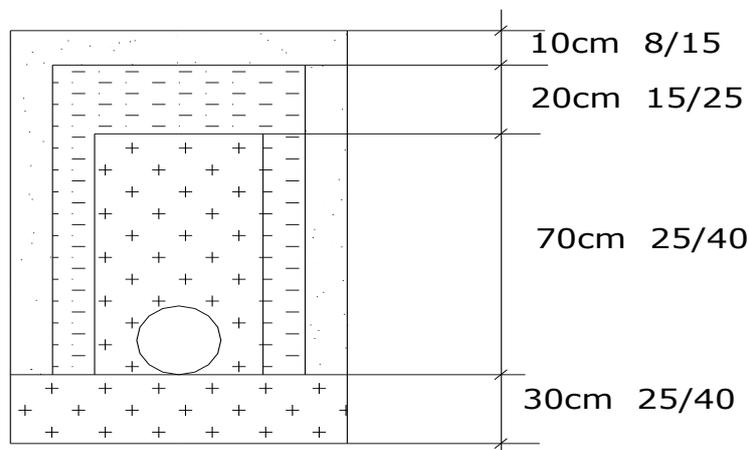


Fig. 10 :La position des granules de la couche caillouteuse de drain (DHW)

8.3-Détermination de la résultante de l'eau de la nappe phréatique:

Le débit de drainage dans les zones urbaines est déterminé à partir du système de distribution des eaux potables à l'addition du système d' assainissement des eaux usées ainsi que les débits entrants et sortants de la nappe phréatique de la zone d'étude donc il faut déterminer la résultante prévue de l'eau à partir de l'équation d'équilibre de l'eau de la nappe phréatique , cette dernière se détermine selon la région émergée qui atteint 238951.682m² .



8.3-1 Les éléments d'équation du bilan d'eau :

L'expression du bilan correspond à la différence entre les entrées dans la nappe phréatique et les sorties.

$$\Delta Q = \text{les entrées} - \text{les sorties}$$

8.3.1-1 Les entrées

Les entrées d'eau dans la nappe phréatique responsables de la remontée du niveau piézométrique de cette nappe sont :

- a) **Les eaux infiltrée après irrigation** : d'après les données des services agricoles de (DSA) la quantité d'eau destinée pour l'irrigation est **1733761 m³/an**. la hauteur d'eau infiltrée dans la nappe phréatique est estimée à 30% de la quantité délivrée soit la quantité totale :

$$\rightarrow QF = 0.3 \times 1733761 \approx 5201283 \text{ m}^3/\text{an}$$

- b) **Les fuites d'AEP** :

D'après les données des services de l'AEP (DHW) et d'après l'étude de (BG 2004) les fuites d'AEP sont estimées à 2329m³/j, donc **850085m³/an**

- c) **Les rejets d'assainissement** : Pour les rejets totaux, un volume (Q_{Rejet}) de **1200000 m³/an** rejoint la nappe, est estimé par (ONA, 2008).

- d) **Les précipitations:**

Pour une pluviométrie moyenne annuelle de 40 mm, le coefficient d'infiltration est de 5 à 10 % Donc, pour une pluviométrie de 35 mm/an (station de Ouargla, 1990-2006) et une surface de **25 ha** la lame d'eau rejoignant effectivement la nappe phréatique est de l'ordre de :

$$\rightarrow QP\text{-Inf} = 35\text{mm/an} \times 10 \times 1000\text{ha} \approx 350000 \text{ m}^3/\text{an}$$

8.3.1-2 Les sorties : Il s'agit de :

L'évaporation : En zones arides, l'évaporation et l'évapotranspiration sont les mécanismes majeurs de pertes en eau. Dans des bassins arides fermés, ils sont les seuls modes de perte en eau

- a) - **Evaporation à partir des plans d'eau libres**

L'estimation de l'évaporation à partir des plans d'eau libres a été faite à partir des données relevées sur bac. Nous disposons d'une série de mesures allant de 1990 à 2006.

Tableau.4-2 : l'évaporation mensuelle

MOIS	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Σ an
E (mm)	285	169	138	84	87	128	156	240	309	354	372	357	2679

Concernant une surface totale des plans d'eau libres de 25 ha, le volume d'eau évaporé est estimé à :

$$\rightarrow QE\text{-Pl} = 2.5 \text{ m/an} \times 250\,000 \text{ m}^2 = 6250000 \text{ m}^3/\text{an}$$



b) - Evaporation à partir des zones humides

nous avons utilisé le logiciel CROPWAT pour estimé l'évaporation annuelle, la valeur estimée est de

75 mm/an, pour une superficie totale de 540 ha correspondant aux zones humides, le volume évaporé est de l'ordre de :

$$\rightarrow QE-Zh = 75\text{mm/an} \times 10 \times 540\text{ha} = \mathbf{405000 \text{ m}^3/\text{an}}$$

Donc:

les entrées=7601368 m^3/an

les sorties=6655000 m^3/an

$$\Delta Q = 7601368 - 6655000 = +946368 \text{ m}^3/\text{an}$$

7.4-Intensité de drainage(I_d):

Elle est calculée par la relation suivante :

$$I_d = \frac{W_{NP}}{10^4 \times T_{période}}$$

D'après la relation on obtient :

$$I_d = 0.00818 \text{ m/j}$$

Les résultats obtenus sont enregistrés aux tableaux: 6-1 , 6-2 , 7 , 8-1 , 8-2 , 9 , 10 , 11 .

8.5-Conditions des calculs hydrauliques :

L'objectif de calculs hydrauliques du réseau de drainage est de déterminer la coupe horizontale de conduites de drainage et de collectes qui assurent le drainage du débit maximal en vitesses acceptables.

Pour effectuer le calcul hydraulique il faut dessiner les coupes transversales d'éléments du réseau tout entier et on doit aussi installer son joint vertical.

Principe de joint vertical d'élément du réseau réalisent les conditions suivantes:

-assurer le fonctionnement normal de conduites de drainage ainsi que celles d'assainissement.

-le pente de conduites et les collectes enterrées dans le sol est ainsi :

$I \geq 0.002$ pour les diamètres inférieur ou égale 100mm.

$I \geq 0.015$ pour les diamètres entre 125pour 200mm.

Toutes les pentes jusqu'à 0.001 en cas de diamètre supérieur de 200mm .

La jointure entre la conduite de drainage et la collecte se fait à travers les regards de joint.

Le joint dans le regard se fait à condition que l'arête inférieur de la conduite de drainage soit plus haute que l'arête supérieure de la collecte. (ABRAMOV.S.K 1971)



8.6-Calcul hydraulique :

Calcul le débit spécifique par la relation suivant:

$$q_d = I_d * S_d \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

après avoir calculé les débits collectés de chaque conduite drainage.

Et les calculs hydrauliques sont effectuée ainsi :

Supposant $r_h=0.81$ soit : $r_h=h/D$

Soit : r_h : rapport d'hauteur d'eau dans la conduite.

h : hauteur d'eau dans la conduite (m).

D : diamètre de conduite (m).

Selon l'abaque (calcul de la vitesse et du débit on fonction de l' hauteur) on distingue r_Q

$$\text{Soit : } r_Q = Q_r / Q_{ps}$$

Sachant que :

r_Q : rapport de débit d'eau dans la conduite.

Q_r : débit réel d'eau dans la conduite (m^3/s).

Q_{ps} : débit à l'état de pleine section (m^3/s).

On peut calculer Q_{ps} le débit dans l'état de pleine section (m^3/s) d'après la relation constatée de la précédente :

$$Q_{ps} = Q_r / r_Q$$

Et d'autre coté on a l'équation de chezy à l'état de pleine section Q_{PS} :

$$Q_{PS} = \omega * C * \sqrt{R * i}$$

Avec : W : surface plein section

$$\omega = \frac{\pi * D^2}{4}$$

C : coefficient de chezy ($\text{m}^{1/2}/\text{s}$).

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6}$$



Avec : $K=1/n$,

K : coefficient de rugosité ($m^{1/3}/s$) .

R : rayon hydraulique de pleine section (m)

$$R = \frac{D}{4}$$

I : pente de la conduite.

$$\text{Alors : } Q_{PS} = K * D^{\frac{8}{3}} * \sqrt{i} * \left(\frac{1}{4}\right)^{\frac{5}{3}} * \pi$$

Donc on peut calculer le diamètre de débit Q_{PS} :

$$D = \left(\frac{Q_{PS}}{K * \sqrt{i} * \left(\frac{1}{4}\right)^{\frac{5}{3}} * \pi} \right)^{\frac{3}{8}}$$

Après avoir calculé les diamètres on les met approximativement par excès donc on obtient les diamètres normaux de tronçons (D_n). ensuite on calcule les débits de pleine section en fonction de diamètres normaux (Q_{PSN}).

$$Q_{PSN} = K * D_N^{\frac{8}{3}} * \sqrt{i} * \left(\frac{1}{4}\right)^{\frac{5}{3}} * \pi$$

Afin de calculer les caractéristiques de conduite

- surface pleine section W

-périmètre inondé χ

-rayon hydraulique R

7.6.1-Calcul de la surface pleine section W :

$$\omega = \frac{1}{8} * (\varphi + \sin \varphi) * D^2 \quad (\text{m}^2) \quad \text{Avec : } \varphi : \text{ angle inondé (rad).}$$

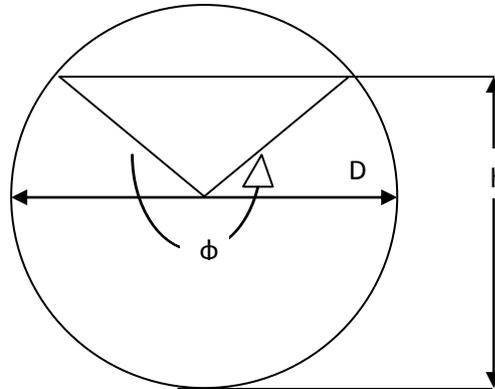


Schéma : montre l'angle φ

-calcul l'angle φ :

Selon cette relation

$$h = D * \sin^2 \left(\frac{\varphi}{4} \right) \quad (\text{m})$$

On a r_Q avec :

$$r_Q = \frac{Q_r}{Q_{PSN}}$$

A partir de l'abaque calcul de la vitesse et du débit on fonction de l' hauteur on constate r_h On peut calculer ainsi :

$$h = r_h * D_N$$

Alors on peut calculer l'angle inondé φ après avoir les hauteurs de l'eau dans la conduite (h)

8.6.2-Calcul le périmètre inondé χ :

$$\chi = \frac{D}{2} * \varphi \quad (\text{m})$$



8.6.3-Calcul le rayon hydraulique R :

On calcule en fonction de la surface de pleine section W et le périmètre inondé χ

Avec:
$$R = \frac{W}{\chi} \quad (\text{m})$$

8.6.4-Calcul coefficient (chezy) C:

$$C = \frac{1}{n} * R^{\frac{1}{6}} \quad (\text{m}^{1/2}/\text{s})$$

8.6.5-Calcul la vitesse V :

On calcule la vitesse à partir de la relation suivante :

$$V = C * \sqrt{R * i} \quad (\text{m/s})$$

-la vitesse $0.35 \leq V \leq 1.00$

Les résultats obtenus sont enregistrés aux tableaux: 12, 13, 14, 15, 16, 17.

Conclusion:

En employant la méthode de drainage horizontal avec les mailles, on a divisé la zone d'étude en trois sous –zones identiques, chacune de ces zones est séparée des autres. Les eaux de drainage sont collectées et rejetés dans les collecteurs principaux des eaux usées proches de la station de pompage. Pour plusieurs raisons comme :

- . Fixer le niveau de la nappe phréatique sans nuire les structures urbaines
- .Eviter les grandes profondeurs couteuses.
- . Eviter les grandes stations pompage à hautes puissance.

Conclusion générale

Le problème de la remontée des eaux de la nappe phréatique dans la région de Ouargla constitué une menace réelle pour l'activité agricole et même pour la vie civile sous l'effet de ce problème dans les dernières années et en basant sur ses raisons naturelles et humaines, il est devenu clair que l'opération de drainage présente la meilleure solution à long terme pour la région à l'addition du reboisement approprié.

Notre zone d'étude : Said Otba a besoin d'une solution qui résoud radicalement ce problème, à ce propos on a présenté notre contribution, dans laquelle on a proposé le dimensionnement de réseau de drainage horizontal pour drainer les eaux phréatiques, basé sur système de bloc, qui réalise les objectifs suivants :

- Fixer le niveau de la nappe phréatique sans nuire les structures urbaines.
- Un dégagement des eaux drainées en envoyant à travers les conduites vers la station de pompage proche.
- Eviter les grandes stations pompage à hautes puissances.
- Une vitesse d'écoulement convenable de l'eau dans les conduites.

En adoptant cette méthode, on assure le drainage des eaux de la nappe phréatique et ainsi on peut résoudre plusieurs problèmes tels que : la poussée des cannes, et la propagation de mauvaises odeurs et du moustique... Etc, tout en assurant la maintenance de la pompe biologique et le réseau de drainage horizontal.

A la suite de la mise en œuvre de ce projet, on peut reboiser la région d'eucalyptus qui est considéré comme un remède naturel pour le problème de la remontée des eaux, on soigne alors ces arbres dont les racines atteignent les eaux souterraines, par conséquent, on peut établir un espace vert pour la distraction des familles qui rafraichit l'atmosphère chaude de la ville pendant la canicule d'été.

Enfin, on espère que notre contribution accomplisse toutes les conditions techniques afin de réaliser le projet de drainage horizontal des eaux phréatiques en forme et en efficacité exigées.

Références Bibliographiques

- [1]- A. khadraoui / *Sols et hydraulique agricole dans les oasis algériennes*
- [2]- A. khadraoui / *Eau et impact environnemental dans le Sahara algérien*
- [3]- Bureau d'étude BG « *Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et*
- [4] Belkhira Chachoua 2008 : *contribution a l'étude de la remontée des eaux de la nappe de la nappe phréatique dans la région de Ouargla "modélisation hydrodynamique de la remontée*
- [5] Bellaoueur A : *Etude hydrogéologique des eaux souterraines de la région de Ouargla Soumise à la remontée des eaux de la nappe phréatique et Perspectives de solutions palliatives*
- [6]- Charles Ollier et Maurice Poirée / *Assainissement Agricole*
- [7]- *Etude agro-économique pour le réaménagement des palmeraies de l'oued R'HIR (BRL)*
- [8]- Hessen.M / *Cours de hydraulique appliqué / ENSH – Blida 2008*
- [9]- kenneth K. tanji / *drainage des zone aride*
- [10]- Marc Soutter ;André Mermoud / *ingénierie des eaux et des sols*
- [11]- M^{eme} bahbouh / *Cours de drainage 5^{eme} année / ENSH – Blida 2009.*
- [12]- M^{eme} Azeiz / *Cours d'irrigation 4^{eme} année / ENSH – Blida 2008*
- [13]- *Office national d'irrigation-drainage (ONID)*
« *Compte rendu sur la situation de drainage dans la région »*
d'irrigation Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique».
- [14] Ouled Belhkir C : *Contribution à l'étude et l'établissement du bilan hydrologique de la cuvette de Ouargla*
- [15]- Tierclin, J-R. 1998. *Traité d'irrigation, édition Lavoisier technique et documentation 11, Rue Lavoisier ; F 75384 Cedex 8. Paris*
- [16] Temzi, D. 2003 : *projection d'un réseau d'irrigation sous pression et étude comparative entre l'irrigation par aspersion et l'irrigation localisée dans la vallée du Bas Isser Algérois (W-Boumerdes)*
- [17] Touil Y. 2003 : *étude de possibilité de réutilisation des eaux de drainage dans la cuvette de Ouargla*
- [18]- V-Ambertsoumian / *Lande drainage*

Les sites

www.FAO.com
www.persee.fr
www.univ-blida.dz
www.riob.org/divers/sahara
www.lorraine.ecologie.gouv.fr
www.vitamedz.com
www.sisyphe.upmc.fr

Tableau 6-1.calcul des débits de tronçons drainés de la premier région

nombre de maille	tronçon de maille	longueur de tronçon(ml)	Surface(m ²)	intensité de drainage(m/j)	débit de tronçon(m ³ /s)	débit de collecté(m ³ /s)
I	1--2	220	26176.1	0.00818	0.002478247	0.002478247
	3--2	285	26716.74	0.00818	0.002529432	0.002529432
II	5--4	120	28528.52	0.00818	0.002700964	0.002700964
	9--8	95	18206.09	0.00818	0.001723678	0.001723678
	8--7	85	52979.3	0.00818	0.005015864	0.013324848
	6--4	150	16844.62	0.00818	0.00159478	0.00159478
III	11--10	120	23556.8	0.00818	0.002230262	0.002230262
	12--10	125	16551.63	0.00818	0.001567041	0.001567041
IV	12--10	125	16551.63	0.00818	0.001567041	0.001567041
	10--8	130	29447.85	0.00818	0.002788002	0.006585305
	8--7	85	18780.82	0.00818	0.001778092	0.013324848
	33--32	110	21601.29	0.00818	0.002045122	0.002045122
	34--32	115	17706.56	0.00818	0.001676385	0.001676385
V	22--20	260	29107.88	0.00818	0.002755815	0.002755815
	21--20	290	15579.39	0.00818	0.001474993	0.001474993
VI	20--19	55	10690.82	0.00818	0.001012163	0.005242972
	18--16	110	34960.87	0.00818	0.003309953	0.003309953
	17'--17	105	25361.33	0.00818	0.002401107	0.002401107
	17'--16	170	29004.91	0.00818	0.002746067	0.005147174
VII	17'--16	170	29004.91	0.00818	0.002746067	0.005147174
	16--14	110	25725.35	0.00818	0.002435571	0.010892698
	15--14	295	26993.01	0.00818	0.002555588	0.002555588
VIII	28'--28	170	29004.91	0.00818	0.002746067	0.002746067
	28'--27	225	27190.94	0.00818	0.002574327	0.005320394
	29'--29	200	25600.99	0.00818	0.002423797	0.002423797
	29'--27	165	18680.02	0.00818	0.001768548	0.004192346
IX	28'--27	370	27190.94	0.00818	0.002574327	0.005320394
	26--24	125	29369.72	0.00818	0.002780605	0.002780605
X	6--4	150	16844.62	0.00818	0.00159478	0.00159478
	31--30	130	16576.91	0.00818	0.001569434	0.001569434
	33--32	110	21601.29	0.00818	0.002045122	0.002045122
	32--30	185	37119.67	0.00818	0.003514339	0.007235846
XI	34--32	115	17706.56	0.00818	0.001676385	0.001676385
	32--30	185	37119.67	0.00818	0.003514339	0.002045122
	35--30	200	20077.49	0.00818	0.001900855	0.001900855

Tableau 6-2.calcul des débits de tronçons drainés de la premier région

XII	47--45	270	58503.22	0.00818	0.005538847	0.005538847
	46--45	115	30145.64	0.00818	0.002854066	0.002854066
	47'-47	110	32032.23	0.00818	0.003032681	0.003032681
	47'--45	160	18259.44	0.00818	0.001728729	0.00476141
XIII	47'-45	160	18259.44	0.00818	0.001728729	0.00476141
	45--43	105	30839.37	0.00818	0.002919746	0.010535222
	44'-44	100	19348.18	0.00818	0.001831807	0.001831807
	44'--43	155	16729.53	0.00818	0.001583884	0.003415691
XIV	44'--43	155	16729.53	0.00818	0.001583884	0.003415691
	49--48	110	15908.45	0.00818	0.001506147	0.001506147
	48--39	150	16194.9	0.00818	0.001533267	0.005839307
	43--39	105	30839.37	0.00818	0.002919746	0.016870659
XV	50--48	260	29573.44	0.00818	0.002799893	0.002799893
	48--39	150	16194.9	0.00818	0.001533267	0.005839307
	42--40	145	29430.74	0.00818	0.002786383	0.002786383
	42--39	90	34870.64	0.00818	0.00330141	0.006809639
XVI	40--39	90	13870.22	0.00818	0.001313176	0.006809639
	41--40	140	28624.81	0.00818	0.00271008	0.00271008
	38--37	80	23571.91	0.00818	0.002231692	0.002231692
	36--27	170	28869.17	0.00818	0.002733215	0.002733215
	29'--27	165	18680.02	0.00818	0.001768548	0.004192346

Tableau 7.calcul des débits de tronçons drainés de la deuxième région

nombre de maille	tronçon de maille	longueur de tronçon(ml)	Surface(m ²)	intensité de drainage(m/j)	débit de tronçon(m ³ /s)	débit de collecté(m ³ /s)
I	1'-1	170	19606.35	0.00818	0.001856	0.001856
	1'-2	110	16267.96	0.00818	0.00154	0.003396
	3--2	325	18130.41	0.00818	0.001717	0.001717
II	9--8	130	21533.96	0.00818	0.002039	0.002039
	8--6	235	11302.6	0.00818	0.00107	0.003109
	7--6	230	25393.7	0.00818	0.002404	0.002404
	5--4	100	18976.39	0.00818	0.001797	0.001797
	2--4	110	14521.58	0.00818	0.001375	0.006488
	1'-2	90	16267.96	0.00818	0.00154	0.003396
III	12--11	220	19320.27	0.00818	0.001829	0.001829
	13--11	225	19129.62	0.00818	0.001811	0.001811
IV	40--38	210	16017.98	0.00818	0.001517	0.001517
	39--38	120	18092.33	0.00818	0.001713	0.001713
V	47--45	120	17960.56	0.00818	0.0017	0.0017
	45--43	90	15567.96	0.00818	0.001474	0.007027
	43--41	70	14218.33	0.00818	0.001346	0.008373
	42--41	250	15559.69	0.00818	0.001473	0.001473
VI	44--43	130	25459.77	0.00818	0.00241	0.00241
	45'-45	150	40691.28	0.00818	0.003852	0.003852
	45--43	90	15567.96	0.00818	0.001474	0.007027
VII	35--34	115	19995.45	0.00818	0.001893	0.001893
	36--34	210	23992.03	0.00818	0.002271	0.002271
VIII	25'-25	120	24681.2	0.00818	0.002337	0.003853
	19'-18	120	23591.97	0.00818	0.002234	0.0042
	17'-16	150	40234.35	0.00818	0.003809	0.005591
	16--18	160	18602.97	0.00818	0.001761	0.009336
IX	17'-17	120	18818.45	0.00818	0.001782	0.001782
	17'-16	150	24638.11	0.00818	0.002333	0.005591
	15--16	235	20959.1	0.00818	0.001984	0.001984
X	32--31	220	16667.33	0.00818	0.001578	0.001578
	19'-19	100	20769.97	0.00818	0.001966	0.001966
	19'-18	120	23591.97	0.00818	0.002234	0.0042
XI	29'-46	250	17356.06	0.00818	0.001643	0.003465
	30--46	80	19245.77	0.00818	0.001822	0.001822
	28--27	110	18092.33	0.00818	0.001713	0.001713
	27--29	300	32758.24	0.00818	0.003101	0.006202
XII	27--29	300	32758.24	0.00818	0.003101	0.006202
	26--27	100	14661.06	0.00818	0.001388	0.001388
	24--23	110	17971.68	0.00818	0.001701	0.001701
	23--25	180	22237.9	0.00818	0.002105	0.005905
XIII	23--22	120	22158.49	0.00818	0.002098	0.002098
	23--25	180	22237.49	0.00818	0.002105	0.005905
	25'-21	155	16017.98	0.00818	0.001517	0.001517
	25'-25	115	24681.2	0.00818	0.002337	0.009758

Tableau 8-1.calcul des débits de tronçons drainés de la troisième région

nombre de maille	tronçon de maille	longueur de tronçon(ml)	Surface(m ²)	intensité de drainage(m/j)	débit de tronçon(m ³ /s)	débit de collecté(m ³ /s)
I	2--1	160	16744.9	0.00818	0.001585339	0.001585339
	4--2	100	19497.8	0.00818	0.001845972	0.005145941
	5--4	160	16632.13	0.00818	0.001574662	0.001574662
	5'-5	110	16680.13	0.00818	0.001579207	0.001579207
II	3--2	135	18110.52	0.00818	0.00171463	0.00171463
	4--2	100	19497.8	0.00818	0.001845972	0.005145941
	7--4	115	18726.71	0.00818	0.001772969	0.005401866
	7--6	100	20272.2	0.00818	0.001919289	0.001919289
III	5'-4	160	16632.13	0.00818	0.001574662	0.003153869
	11--9	230	20590.99	0.00818	0.001949471	0.001949471
	4--9	140	19742.58	0.00818	0.001869147	0.015570823
IV	4--9	140	19742.58	0.00818	0.001869147	0.015570823
	10--9	160	19834.32	0.00818	0.001877833	0.001877833
	7--4	115	18726.71	0.00818	0.001772969	0.005401866
	7--8	75	18057.47	0.00818	0.001709608	0.001709608
V	14--12	400	15668.42	0.00818	0.001483422	0.001483422
	14--13	90	15554.3	0.00818	0.001472618	0.001472618
VI	16'-19	275	17999.7	0.00818	0.001704138	0.003597226
	20--22	50	21327.18	0.00818	0.002019171	0.002019171
	19'-20	120	20563.16	0.00818	0.001946836	0.005624912
	19'-19	40	13169.72	0.00818	0.001246855	0.006871767
VII	22--20	50	21327.18	0.00818	0.002019171	0.002019171
	21--20	35	17521.93	0.00818	0.001658905	0.001658905
	21'-32	150	13227.67	0.00818	0.001252342	0.001252342
	16'-16	230	19995.45	0.00818	0.001893088	0.001893088
VIII	19'-19	40	13169.72	0.00818	0.001246855	0.006871767
	23--19	175	19621.68	0.00818	0.001857701	0.012326694
	23--24	110	22158.49	0.00818	0.002097876	0.002097876
	26'-26	90	37269.28	0.00818	0.003528504	0.003528504
	25--26	160	16125.81	0.00818	0.001526726	0.006713017
IX	26'-26	90	37269.28	0.00818	0.003528504	0.003528504
	27--26	40	17510.13	0.00818	0.001657788	0.001657788
	31'-31	150	14285.61	0.00818	0.001352503	0.008868428
	21'-31	70	28690.52	0.00818	0.002716302	0.003968643
	20--21	35	17521.93	0.00818	0.001658905	0.001658905
	19'-20	120	20563.16	0.00818	0.001946836	0.005624912
X	31'-31	150	14285.61	0.00818	0.001352503	0.008868428
	31'-29	60	27603.43	0.00818	0.00261338	0.011481809
	34--29	150	17971.68	0.00818	0.001701485	0.009741393
	35--34	100	16667.33	0.00818	0.001577995	0.001577995
	33'-31	40	14286.45	0.00818	0.001352583	0.003547282

Tableau 8-2.calcul des débits de tronçons drainés de la troisième région

XI	33'--31	40	14286.45	0.00818	0.001352583	0.003547282
	21'--31	70	28690.52	0.00818	0.002716302	0.003968643
	21'--32	150	13227.67	0.00818	0.001252342	0.001252342
	33'--33	170	23181.17	0.00818	0.002194699	0.002194699
	33'--31	40	14286.45	0.00818	0.001352583	0.003547282
	33'--33'	100	26592.98	0.00818	0.002517715	0.00503543
XII	33'--33'	100	26592.98	0.00818	0.002517715	0.00503543
	34--35	100	16667.33	0.00818	0.001577995	0.001577995
	36--37	170	23482.71	0.00818	0.002223247	0.002223247
	34--36	60	13128.45	0.00818	0.001242948	0.00652032
XIII	34--36	60	12081.98	0.00818	0.001143873	0.00652032
	29--34	150	17354.76	0.00818	0.001643078	0.009741393
	29--30	290	16678.11	0.00818	0.001579016	0.001579016
	36--38	90	32258.72	0.00818	0.003054124	0.003054124

Tableau 9.calcul des débits de tronçons collecté de la première région

collecteur	longueur de collecteur (m)	tronçon qui collecté	débit du tronçon (m ³ /s)	débit collecté (m ³ /s)
<u>7--4</u>	160	8--7	0.00171	0.00171
<u>4--2</u>	130	2--1	0.001585	0.0033
		2--3	0.001715	
<u>13--4</u>	200	<u>4--2</u>	0.0033	0.009305
		<u>7--4</u>	0.00171	
		4--5	0.002701	
		4--6	0.001595	
<u>19--14</u>	235	19--20	0.005243	0.005243
<u>13--ST01</u>	400	<u>19--14</u>	0.005243	0.018691
		16--14	0.010893	
		15--14	0.002556	
<u>30--27</u>	225	32--30	0.007236	0.010706
		31--30	0.001569	
		35--30	0.001901	
<u>39--37</u>	80	43--39	0.016871	0.02952
		48--39	0.005839	
		40--39	0.00681	
<u>37--27</u>	175	<u>39--37</u>	0.02952	0.031751
		38--37	0.002232	
<u>27--24</u>	140	<u>30--27</u>	0.010706	0.054703
		<u>37--27</u>	0.031751	
		36--27	0.002733	
		28--27, 28'--27	0.00532	
		29--27, 29'--27	0.004192	
<u>ST01--24</u>	10	<u>27--24</u>	0.054703	0.063389
		23--24	0.005905	
		26--24	0.002781	

Tableau 10.calcul des débits de tronçons collecté de la deuxième région

collecteur	longueur de collecteur (m)	tronçon qui collecté	débit du tronçon (m ³ /s)	débit collecté (m ³ /s)
<u>4--6</u>	110	5--4	0.001797	0.008285
		2--4	0.006488	
<u>6--11</u>	270	<u>4--6</u>	0.008285	0.013798
		7--6	0.002404	
		8--6	0.003109	
<u>11--14</u>	50	<u>6--11</u>	0.013798	0.017438
		12--11	0.001829	
		13--11	0.001811	
<u>41-38</u>	140	42--41	0.001473	0.009846
		43--41	0.008373	
<u>38--37</u>	180	<u>41--38</u>	0.009846	0.013076
		39--38	0.001713	
		40--38	0.001517	
<u>29'--29</u>	175	46--29'	0.003465	0.003465
<u>29--20</u>	70	<u>29'--29</u>	0.003465	0.009667
		27--29	0.006202	
<u>25--20</u>	15	23--25	0.005905	0.015663
		25'--25	0.009758	
<u>18--20</u>	120	<u>25--20</u>	0.015663	0.02533
		<u>29--20</u>	0.009667	
<u>18--31</u>	30	<u>18--20</u>	0.02533	0.038866
		19'--18	0.0042	
		16--18	0.009336	
<u>31--33</u>	100	<u>18--31</u>	0.038866	0.040444
		32--31	0.001578	
<u>33--34</u>	15	35--34	0.001893	0.004164
		36--34	0.002271	
<u>ST02--33</u>	27	<u>33--31</u>	0.040444	0.080888
		<u>31--33</u>	0.040444	
<u>37--ST02</u>	70	<u>38--37</u>	0.013076	0.030514
		<u>11--14</u>	0.017438	

Tableau 11. calcul des débits de tronçons collecté de la troisième région

collecteur	longueur de collecteur (m)	tronçon qui collecté	débit du tronçon (m ³ /s)	débit collecté (m ³ /s)
<u>9--15</u>	90	11--9	0.001949	0.005384
		4--9	0.001557	
		10--9	0.001878	
<u>14--15</u>	150	12--14	0.001483	0.002956
		13--14	0.001473	
<u>29--25</u>	190	30--29	0.001597	0.02282
		34--29	0.009741	
		31'--29	0.011482	
<u>23--25</u>	150	<u>29--25</u>	0.02282	0.029533
		26--25	0.006713	
<u>29--23</u>	225	23--24	0.002098	0.043958
		23--19	0.012327	
		<u>23--25</u>	0.029533	
<u>39--15</u>	42	<u>14--15</u>	0.002956	0.00834
		<u>9--15</u>	0.005384	
<u>ST03--29</u>	15	<u>29--23</u>	0.043958	0.052298
		<u>39--15</u>	0.00834	

Tableau 12. calcul hydraulique des tronçons drainés de la première région

tronçon	débit collecté (m ³ /s)	D _n (m)	pente	W(m ³ /ha)	X(m)	R(m)	C(m ^{1/2} /s)	V(m/s)
1--2	0.002478	0.1	0.007	0.004085	0.164745	0.024794	37.79982	0.497984
3--2	0.002529	0.1	0.008	0.003791	0.157628	0.024048	37.60771	0.521627
5--4	0.002701	0.1	0.008	0.004111	0.165035	0.024912	37.82965	0.53405
9--8	0.001724	0.1	0.004	0.003591	0.152845	0.023496	37.46249	0.363182
8--7	0.013325	0.18	0.004	0.019424	0.366878	0.052943	42.8943	0.624217
6--4	0.001595	0.1	0.003	0.003906	0.160204	0.024381	37.69401	0.322372
11--10	0.00223	0.1	0.005	0.004251	0.167847	0.025328	37.93421	0.426891
12--10	0.001567	0.1	0.003	0.003805	0.15781	0.024112	37.62442	0.319998
10--8	0.006585	0.16	0.003	0.009704	0.252201	0.038476	49.38737	0.530602
34--32	0.001676	0.1	0.003	0.004129	0.165236	0.024991	37.8497	0.327731
22--20	0.002756	0.1	0.008	0.004139	0.165343	0.025033	37.86017	0.535776
21--20	0.001475	0.1	0.003	0.003577	0.152656	0.023434	37.44595	0.31397
20--19	0.005243	0.16	0.002	0.01152	0.27693	0.041599	41.20457	0.375841
18--16	0.00331	0.11	0.008	0.004704	0.17598	0.026729	38.27605	0.559707
17--17'	0.002401	0.11	0.005	0.005004	0.186955	0.026766	38.28485	0.442894
17--16	0.005147	0.12	0.007	0.007598	0.228446	0.033259	39.69631	0.605699
16--14	0.010893	0.18	0.007	0.011622	0.275015	0.042258	41.31264	0.710539
15--14	0.002555	0.1	0.008	0.003803	0.157786	0.024104	37.62226	0.522434
28--28'	0.002746	0.1	0.008	0.004134	0.165287	0.025011	37.8547	0.535466
23--27	0.00532	0.12	0.006	0.008389	0.241189	0.034782	39.99359	0.577756
29'--29	0.002424	0.1	0.007	0.003899	0.160126	0.024352	37.68659	0.492044
24--25	0.002192	0.1	0.005	0.004898	0.188246	0.02602	38.1051	0.434635
26--24	0.002781	0.1	0.008	0.004972	0.190766	0.026066	38.11621	0.550416
31--30	0.001569	0.1	0.003	0.003807	0.15783	0.024119	37.62622	0.320059
32--30	0.007236	0.14	0.005	0.011204	0.277943	0.040312	40.98926	0.581932
35--30	0.001901	0.1	0.004	0.004105	0.164965	0.024884	37.82252	0.377345
46--45	0.002854	0.1	0.008	0.004268	0.168028	0.0254	37.95209	0.540998
47'--47	0.003033	0.11	0.008	0.004203	0.165212	0.02544	37.96214	0.541571
45--43	0.010535	0.2	0.003	0.016462	0.330165	0.049861	42.46767	0.519399
44'--44	0.001832	0.1	0.004	0.003899	0.160122	0.024351	37.68629	0.371938
44'--43	0.003416	0.12	0.005	0.005888	0.197749	0.029776	38.97096	0.475507
49--48	0.001506	0.1	0.003	0.003601	0.152981	0.02354	37.47419	0.314918
48--39	0.005839	0.16	0.003	0.010553	0.264251	0.039936	40.92534	0.447958
43--39	0.016871	0.24	0.002	0.028619	0.439573	0.065105	44.39838	0.50663
50--48	0.0028	0.1	0.008	0.004241	0.167734	0.025283	37.92286	0.539333
42--40	0.002786	0.1	0.008	0.004234	0.167658	0.025252	37.91512	0.538892
40--39	0.00681	0.16	0.004	0.010588	0.264496	0.040032	40.94166	0.518083
41--40	0.00271	0.1	0.008	0.004116	0.165086	0.024932	37.83472	0.534336
38--37	0.002232	0.1	0.005	0.004253	0.167861	0.025334	37.93558	0.426953
36--27	0.002733	0.1	0.008	0.004128	0.165214	0.024983	37.84754	0.535061
29'--27	0.004192	0.11	0.008	0.005595	0.198739	0.028154	46.88216	0.703591
47'--45	0.004761	0.12	0.007	0.006815	0.213733	0.031885	39.41802	0.588892

Tableau 13.calcul hydraulique des tronçons drainés de la deuxième région

tronçon	débit collecté (m ³ /s)	D _n (m)	pente	W(m ³ /ha)	X(m)	R(m)	C(m ^{1/2} /s)	V(m/s)
1'-1	0.001856	0.1	0.004	0.004072	0.16461	0.024738	37.78548	0.37587
1'-2	0.003396	0.14	0.003	0.006574	0.206487	0.031838	39.40841	0.385144
3--2	0.001717	0.1	0.004	0.003587	0.152781	0.023475	37.45697	0.362968
9--8	0.002039	0.1	0.005	0.003893	0.160053	0.024325	37.67969	0.415548
8--6	0.003109	0.14	0.004	0.005145	0.181328	0.028373	38.65888	0.411846
7--6	0.002404	0.11	0.006	0.003815	0.156837	0.024325	37.67973	0.455213
5--4	0.001797	0.1	0.004	0.003797	0.157703	0.024074	37.61465	0.369118
2--4	0.006488	0.16	0.004	0.010018	0.256473	0.039062	40.77471	0.509684
12--11	0.001829	0.1	0.004	0.003897	0.160097	0.024342	37.6839	0.371844
13--11	0.001811	0.1	0.004	0.003806	0.157823	0.024117	37.62566	0.36955
40--38	0.001517	0.1	0.003	0.00361	0.153096	0.023577	37.48397	0.315247
39--38	0.001713	0.1	0.004	0.003584	0.152745	0.023463	37.45379	0.362845
47--45	0.0017	0.1	0.004	0.003575	0.152627	0.023424	37.44339	0.362442
43--41	0.008373	0.18	0.004	0.011684	0.275488	0.042411	41.33753	0.538413
42--41	0.001473	0.1	0.002	0.003893	0.160045	0.024322	43.06159	0.300336
44--43	0.00241	0.1	0.007	0.003892	0.160037	0.024319	37.67812	0.491602
45'-45	0.003852	0.14	0.008	0.005179	0.181785	0.02849	33.15888	0.500601
45--43	0.007027	0.16	0.004	0.010905	0.268703	0.040584	41.03514	0.522831
35--34	0.001893	0.11	0.004	0.003682	0.15395	0.02392	37.57423	0.367534
36--34	0.002271	0.1	0.007	0.003586	0.152779	0.023474	37.45674	0.48015
25'-25	0.003853	0.14	0.003	0.007617	0.223958	0.034012	39.84463	0.402483
19'-18	0.0042	0.14	0.004	0.007473	0.222766	0.033546	39.75312	0.460492
17'-16	0.005591	0.14	0.007	0.005614	0.189448	0.029631	47.28356	0.68098
16--18	0.009336	0.16	0.008	0.010479	0.263743	0.039733	40.89045	0.729021
17'-17	0.001782	0.1	0.004	0.003786	0.157573	0.024029	37.60268	0.368649
15--16	0.001984	0.11	0.004	0.003828	0.15702	0.024378	37.6934	0.372219
32--31	0.001578	0.1	0.003	0.003892	0.16004	0.02432	37.67839	0.321838
19'-19	0.001966	0.11	0.004	0.003817	0.156865	0.024333	37.68178	0.37176
29'-46	0.003465	0.14	0.003	0.006616	0.206924	0.031974	39.43632	0.386237
30--46	0.001822	0.1	0.004	0.003892	0.160039	0.02432	37.67829	0.371623
28--27	0.001713	0.1	0.004	0.003584	0.152745	0.023463	37.45379	0.362845
27--29	0.006202	0.16	0.004	0.009673	0.251965	0.038391	40.65706	0.503827
26--27	0.001388	0.11	0.002	0.003815	0.156838	0.024326	37.67978	0.262818
24--23	0.001701	0.11	0.003	0.003816	0.156849	0.024329	37.68057	0.321913
23--25	0.005905	0.16	0.004	0.010833	0.268219	0.040388	35.14474	0.446703
23--22	0.002098	0.1	0.006	0.003584	0.152745	0.023463	37.4538	0.444393
25'-21	0.001517	0.1	0.003	0.003027	0.139687	0.021668	44.88018	0.361846

Tableau 14. calcul hydraulique des tronçons drainés de la troisième région

tronçon	débit collecté (m ³ /s)	D _n (m)	pente	W(m ³ /ha)	X(m)	R(m)	C(m ^{1/2} /s)	V(m/s)
2--1	0.001585	0.11	0.003	0.003644	0.153389	0.023756	37.53124	0.31684
4--2	0.005146	0.16	0.003	0.009147	0.244155	0.037463	40.49159	0.429267
5'-4	0.003154	0.14	0.003	0.006132	0.199076	0.030801	39.19147	0.376734
5'-5	0.001579	0.11	0.003	0.003372	0.146548	0.023011	37.33247	0.310181
3--2	0.001715	0.1	0.004	0.003585	0.152763	0.023469	37.45538	0.362906
7--4	0.005402	0.16	0.004	0.008105	0.228454	0.035477	40.12571	0.478
7--6	0.001919	0.1	0.005	0.003586	0.152776	0.023474	37.4565	0.40579
11--9	0.001949	0.1	0.005	0.003604	0.15302	0.023553	37.47748	0.4067
4--9	0.01557	0.22	0.003	0.022448	0.386787	0.058038	43.55614	0.574732
10--9	0.001878	0.11	0.004	0.003583	0.151551	0.023646	37.5021	0.36472
7--8	0.00171	0.1	0.004	0.003582	0.152718	0.023454	37.4514	0.362752
14--12	0.001483	0.1	0.003	0.003584	0.15274	0.023462	37.45333	0.314217
14--13	0.001473	0.1	0.003	0.003576	0.152635	0.023427	37.44409	0.313907
16'--19	0.003597	0.12	0.005	0.006105	0.201268	0.030334	39.09178	0.481431
20--22	0.002019	0.1	0.005	0.003803	0.157779	0.024101	37.62162	0.412993
19'--20	0.005625	0.18	0.002	0.011246	0.270278	0.041607	41.20588	0.375888
19'--19	0.006872	0.18	0.003	0.011237	0.270208	0.041585	41.20218	0.460202
21--20	0.001656	0.12	0.002	0.004356	0.167595	0.025993	38.09838	0.274694
16'--16	0.001893	0.11	0.004	0.003682	0.15395	0.02392	37.57423	0.367534
23--19	0.012327	0.22	0.003	0.017429	0.336551	0.051786	42.73654	0.532679
23--24	0.002098	0.1	0.006	0.003584	0.152745	0.023463	37.4538	0.444393
26'--26	0.003528	0.12	0.008	0.004442	0.168766	0.026322	38.17844	0.554019
25--26	0.006713	0.14	0.008	0.006268	0.200617	0.031245	47.70343	0.754203
27--26	0.001658	0.14	0.003	0.005549	0.188633	0.029414	22.22387	0.208767
31'--31	0.008868	0.18	0.004	0.012673	0.288487	0.043929	41.5805	0.551184
21'--31	0.003969	0.12	0.008	0.005173	0.183435	0.028202	38.61988	0.580091
31'--29	0.011482	0.2	0.003	0.017592	0.341414	0.051527	42.70085	0.530902
35--34	0.001578	0.1	0.003	0.003814	0.157919	0.02415	37.63429	0.320334
21'--32	0.001252	0.1	0.002	0.002838	0.134862	0.021044	47.28931	0.30679
33'--33	0.002195	0.11	0.005	0.003724	0.154572	0.024093	37.61956	0.412902
33"--31	0.003547	0.12	0.007	0.005098	0.182592	0.027919	38.55506	0.538991
33"--33'	0.005035	0.14	0.008	0.005799	0.192808	0.030074	39.03577	0.605485
36--37	0.002223	0.1	0.006	0.003809	0.157859	0.024129	37.62883	0.452758
34--36	0.00652	0.18	0.003	0.011048	0.268773	0.041107	41.12286	0.456669
29--34	0.009741	0.2	0.003	0.01449	0.30655	0.047267	42.09115	0.501223
29--30	0.001579	0.1	0.003	0.003815	0.157929	0.024153	37.63519	0.320364
36--38	0.003054	0.12	0.008	0.004565	0.171423	0.026632	32.78817	0.478588

Tableau 15.calcul hydraulique des tronçons collectés de la première région

collecteur	Débit collecté (m ³ /s)	D _n (m)	penne	W(m ³ /ha)	X(m)	R(m)	C(m ^{1/2} /s)	V(m/s)
<u>7--4</u>	0.00171	0.1	0.008	0.129948	7.267808	0.01788	35.79522	0.428108
<u>4--2</u>	0.0033	0.12	0.008	0.216523	9.461637	0.022884	37.29813	0.504662
<u>13--4</u>	0.009305	0.2	0.003	0.827196	19.22564	0.043026	35.5172	0.403518
<u>19--14</u>	0.005243	0.18	0.002	0.52035	14.73731	0.035308	40.09379	0.336923
<u>13--ST01</u>	0.018691	0.24	0.005	0.973349	20.31873	0.047904	42.18515	0.652876
<u>30--27</u>	0.010706	0.22	0.002	0.93326	20.21211	0.046173	41.92722	0.402909
<u>39--37</u>	0.02952	0.24	0.004	1.724711	29.05588	0.059358	43.71978	0.673673
<u>37--27</u>	0.031751	0.26	0.004	1.735186	28.45157	0.060987	43.9175	0.685942
<u>27--24</u>	0.054703	0.36	0.002	3.440675	40.39439	0.085177	46.43208	0.60603
<u>ST01--24</u>	0.063389	0.38	0.002	3.839005	42.64788	0.090016	46.86168	0.628772

Tableau 16.calcul hydraulique des tronçons collectés de la deuxième région

collecteur	débit collecté (m ³ /s)	D _n (m)	penne	W(m ³ /ha)	X(m)	R(m)	C(m ^{1/2} /s)	V(m/s)
<u>4--6</u>	0.008285	0.2	0.003	0.634397	16.32845	0.038852	40.73805	0.439814
<u>6--11</u>	0.013798	0.25	0.002	1.110237	21.86665	0.050773	42.5961	0.429241
<u>11--14</u>	0.017438	0.24	0.005	0.914671	19.59962	0.046668	42.00173	0.641595
<u>41--38</u>	0.009846	0.22	0.003	0.705443	17.02408	0.041438	41.17788	0.459117
<u>38--37</u>	0.013076	0.22	0.004	0.812576	18.59885	0.04369	41.54262	0.549178
<u>29'--29</u>	0.003465	0.14	0.004	0.288054	10.85453	0.026538	38.23031	0.393885
<u>29--20</u>	0.009667	0.18	0.007	0.516724	14.71399	0.035118	40.05766	0.628057
<u>25--20</u>	0.015663	0.22	0.005	0.863653	19.26128	0.044839	41.72278	0.62472
<u>18--20</u>	0.002533	0.14	0.002	0.301724	11.22557	0.026878	38.31168	0.280897
<u>18--31</u>	0.038866	0.35	0.003	2.051768	29.57377	0.069378	44.87122	0.64735
<u>31--33</u>	0.040444	0.3	0.004	2.015758	30.19208	0.066764	44.58498	0.728604
<u>33--34</u>	0.004164	0.16	0.002	0.527867	15.37179	0.03434	34.20719	0.283486
<u>37--ST02</u>	0.030514	0.3	0.002	2.154599	31.49182	0.068418	44.76711	0.523671
<u>33--ST02</u>	0.080888	0.38	0.004	3.453704	39.88303	0.086596	46.56009	0.866547

Tableau 17. calcul hydraulique des tronçons collectés de la troisième région

collecteur	débit collecté (m ³ /s)	D _n (m)	penne	W(m ³ /ha)	X(m)	R(m)	C(m ^{1/2} /s)	V(m/s)
<u>9--15</u>	0.005384	0.16	0.004	0.409967	13.09134	0.031316	39.29993	0.43985
<u>14--15</u>	0.002956	0.14	0.003	0.285961	10.83603	0.02639	38.19475	0.339846
<u>29--25</u>	0.02282	0.3	0.002	1.611611	26.28526	0.061312	43.95642	0.486756
<u>23--25</u>	0.029533	0.32	0.002	2.042456	30.22815	0.067568	44.67397	0.519326
<u>39--23</u>	0.043958	0.4	0.002	2.565912	32.73881	0.078375	45.79248	0.573322
<u>39--15</u>	0.00834	0.22	0.002	0.729138	17.35394	0.042016	41.27302	0.378344
<u>ST03--29</u>	0.052298	0.38	0.003	2.581107	33.28178	0.077553	45.71207	0.697254