

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieure
Et de la recherche scientifique

UNIVERSITE HASSIBA BEN BOUALI DE CHLEF
FACULTE DES SCIENCES ET DES SCIENCES
DE L'INGENIEUR
Section hydraulique

MEMOIRE
En vue de l'obtention du diplôme de magister
En hydraulique

**CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'EVAPORATION ET L'EVAPOTRANSPIRATION DES EAUX
DE LA NAPPE PHREATIQUE EN ZONE ARIDE
(CAS DE LA REGION DE OUARGLA)**

Présenté par : **EL FERGOUGUI MYRIAM MARIE**

Directeur de thèse : **MEZA NOURADDINE.** P.H.D .Charge de cours.

Président : **Mr SAAED HAMOUDI** M C Université de Chlef

Membres de jury :

- Mr REMINI BOUALEM	Professeur	Université de Blida
-Mr MEDDI MOHAMED	M C	Université de Khemis - miliana
- Mr ABADA MOHAMED	M C	Université de Khemis - miliana

Année universitaire 2002-2003

RESUME

Dans les régions sahariennes , le niveau de la nappe phréatique dans la majorité des surfaces mises en valeurs est de l'ordre de 0m à 1.5m et les eaux sont excessivement salées . L'évaporation des eaux de la surface de la nappe phréatique est l'une des principale causes de la salinisation des sols , de la surconsommation de la ressource en eau d'irrigation et de la dégradation du milieu.

L'analyse des résultats des travaux sur l'évaluation de l'évaporation des eaux de la nappe phréatique dans la région de Ouargla montre qu'à une profondeur de 1.0 m l'intensité de l'évaporation des eaux de la nappe phréatique est égale à l'évapotranspiration et que les 10% de l'évapotranspiration son acceptées généralement dans la pratique de l'irrigation et du drainage se situent à une profondeur de 2m à 2.5m.

Ceci permet de conclure que tout amélioration des sols, de la production agricole et de l'utilisation de la ressource en eau d'irrigation ne peut avoir lieu que si le niveau de la nappe phréatique est maintenu à une profondeur de l'ordre de 2m.

SUMMARY

In the saharian regions , the level of the phreatic sheet in most of surface under investigation is between 0 m to 1,5m and waters are excessively salted . Evaporation of waters in the phreatic sheet is one of the chief causes of saltering the ground , the surconsumption water resources and the degradation of surrounding .

The analysis of results obtained from works of evaluating the evaporation of phreatic sheet waters in the region of ouargla show that at a depth of 1,0 m the intensity of sheet waters is equal to the evapotranspiration and that 10% evapotranspiration accepted generally in the practice of irrigation and drainage is situated at the depth of 2m ta2.5m.

This permits to conclude that all amelioration of grounds , the agricultural production and the use of resources in irrigation water cannot take place unless the level of phreatic sheet is maintained a depth of 2m.

في المناطق الصحراوية مستوى سطح طبقة المياه السطحية تكون غالبا على بعد 0م الى 1.5م و خاصة على الأراضي المستصلحة و مياهها تكون مالحة .

تبخر سطح طبقة المياه السطحية هو العنصر الأساسي في ملوحة الأراضي و تدهور البيئة . تحاليل نتائج أعمال البحوث في التبخر سطح طبقة المياه السطحية لمنطقة ورقلة بين أن لما تكون المياه السطحية على بعد 1م من مستوى سطح الرضي فان تبخره يكون يسوي تبخر مياه سطح الرضي.

لما تكو سطح طبقة المياه السطحية على بعد 2م إلى 2.5م من مستو سطح الرضي .%ويكون 10 و هذا مما نستنتج أن لكي نستصلح الأراضي المزروعة علينا ان نحرص حتى لى يصل سطح طبقة المياه السطحية إلى 2م.

Mots clés : Profondeur Critique de la Nappe Phréatique – Salinité des Eaux Evaporation – Salinisation de la Coucha Active du Sol - Volume des Eaux.

AVANT PROPOS

Avant de conclure ce travail , c'est pour moi un agréable devoir d'exprimer ici ma sincère reconnaissance à ceux qui m'ont aidé et ont accepté de juger ce travail.

Au terme de ce travail , c'est avec un réel plaisir que j'exprime ma gratitude à Monsieur MEZA N, chargé de cours à l'université de Ouargla. Je lui suis redevable à plus d'un titre pour avoir accepté de diriger ce travail.

Il m'est très agréable d'adresser mes remerciements très chaleureux à Monsieur SAAED H, maître de conférence à l'université de Chlef , pour avoir accepté de présider le jury de ce mémoire et de critiquer et d'orienter le présent travail , qu'il veuille trouver ici l'expression de ma profonde gratitude.

Monsieur REMINI B, maître de conférence à l'université de Blida, me fait l'honneur d'être membre de ce jury.

Que Monsieur MEDDI M, maître de conférence à l'université de Khemis-miliana ,soit assuré de ma reconnaissance pour m'avoir fait l'honneur d'être membre de ce jury.

Que Monsieur ABADA M, chargé de cours à l'université de Khemis- miliana , veuille bien trouver ici le témoignage de mes sincères remerciements pour avoir accepté de faire partie de ce jury.

Toute ma gratitude à Monsieur GHAMRI A, directeur du bureau d'étude Oued Righ pour avoir mis à ma disposition ses compétences et traitements informatiques.

Grâce à son aide , sollicitude, encouragement et son soutien permanent m'ont permis de traverser toutes les étapes difficiles et de mener à terme cette réflexion scientifique.

-

SOMMAIRE

Pages

INTRODUCTION	3
---------------------------	----------

CHAPITRE N°I .- CADRE NATUREL DE L'ETUDE

I-1-Situation géographique	5
I-2- Facteurs influençant le processus de migration des sels solubles dans les sols et les eaux de la nappe phréatique	5
I-2-1-Facteurs climatiques	5
I-2-2-Facteurs hydrologiques	5
I-2-3-Facteurs hydrogéologiques	11
I-2-4- Facteurs pédologiques	15
I-2-5- Facteurs anthropiques	15
Conclusion	16

CHAPITRE N°II -THEORIE ET PRATIQUE SUR LA MINERALISATION DES EAUX DE LANAPPEPHREATIQUE ET LES ECHANGES D'EAUX ENTRE LA ZONE D'AERATION ET LA ZONE SATUREE .

II-1- Méthodes des prévisions de la minéralisation des eaux de la nappe phréatique et de la salinisation des sols de la zone d'aération	17
II-2- Analyse des travaux sur l'évaporation des eaux de la nappe phréatique	22

CHAPITRE N°III- DISPOSITIF EXPERIMENTALE ET METHODES DE MESURES.

III-1- DISPOSITIF EXPERIMENTAL

III-1-1- Situation géographique du site expérimental.....	29
III-1-2 -Mesures des paramètres physico-hydriques.....	29
III-1-3 -Implantation des piézomètres et mode opératoire.....	32
III-1-4 -Dispositif de mesure de l'évapotranspiration.....	33

III-2-METHODES DE MESURES

III-2-1Methode de mesure utilisée pour la détermination de l'évaporation à la surface du sol en absence d'une nappe phréatique.....	33
III-2-2 Evaluation de l'évaporation de la nappe phréatique	34

CHAPITRE N°IV -RESULTATS EXPERIMENTAUX .

IV-1- Paramètres physico- hydriques du sol	35
IV-2- salinité du sol	36
IV-3- Minéralisation de l'eau de la nappe phréatique	36
IV-4- Evapotranspiration	37
IV-5- Evaluation de l'évaporation des eaux de la nappe phréatique	37

CHAPITRE V –TRAITEMENT DES RESULTATS.

V-1- Variation du résidu sec dans la tranche de sol Analyses chimiques du sol De 1m en fonction de la profondeur des eaux de la nappe phréatique	37
V-2 – Variation du résidu sec dans le sol et les eaux de la nappe phréatique	40
V- I-3- Fluctuation du niveau des eaux de la nappe phréatique	40
V-1-3-1- Fluctuation de la nappe phréatique	41
V-1-3-2 -Evaluation de l'évaporation des eaux de la nappe phréatique	41
CONCLUSION	49
ANNEXES	50
BIBLIOGRAPHIE	82

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau N°01 :Analyses chimiques des eaux de la nappe de l'albien .
Tableau N°02 :Analyses chimiques des eaux de la nappe du sénonien.
Tableau N°03 :Analyses chimiques des eaux de la nappe du miopliocène.
Tableau N°04:Profondeurs des eaux de la nappe phréatique recommandées en fonction de leurs minéralisation.
Tableau N°05:Résumant les caractéristiques physico-hydrrique du sol.
Tableau N°06: Evaluation de l'évapotranspiration.

LISTE DES FIGURES

- Figure N°01 :Température mensuelle maximale enregistrée de (1989-2000) station Ouargla.
Figure N°02 :Température mensuelle moyenne enregistrée de (1989-2000) station Ouargla.
Figure N°03 :Température mensuelle minimale enregistrée de (1989-2000) station Ouargla.
Figure N°04 :Précipitations mensuelle enregistrée de (1990-2000) station Ouargla.
Figure N°05 :Humidité enregistrée en (1990-2000) station Ouargla.

Figure N°06 :Evaporation enregistrée en (1995-2000) dans la cuvette de Ouargla.
Figure N°07 :Intensité de l'évaporation de la nappe phréatique en fonction de sa profondeur dans la région d'Ouzbékistan.
Figure N°08 :Intensité de l'évaporation de la nappe phréatique en fonction de sa profondeur (méthode des échantillons de sol sur 1m d'épaisseur).
Figure N°09 :Minéralisation des eaux de la nappe phréatique de la région d'Ouzbékistan en fonction de sa profondeur.
Figure N°10: Intensité de l'évaporation de la nappe phréatique en fonction de sa profondeur dans la vallée de Vakcha.
Figure N°11:Résidu sec déposé dans le sol d'un mètre d'épaisseur durant la période expérimentale. Piézomètre (P1 et P2).
Figure N°12:Résidu sec déposé dans le sol d'un mètre d'épaisseur durant la période expérimentale. Piézomètre (P3et P4).

Figure N°13: Résidu sec des eaux de la nappe phréatique en fonction de sa profondeur [1].
Figure N°14: Résidu sec du sol et des eaux de la nappe phréatique en fonction de sa profondeur .
Figure N°15: Résidu sec des eaux de la nappe phréatique de la cuvette de Ouargla en fonction de sa profondeur.
Figure N°16 : Variation du rapport du résidu sec dans la couche de 1m d'épaisseur de sol et des eaux de la nappe phréatique en fonction du niveau des eaux de la nappe phréatique.
Figure N°17 : Evaluation de l'évapotranspiration durant la période expérimentale.
Figure N°18 : Variation du rapport de l'évaporation de la nappe phréatique et de l'évapotranspiration en fonction de la profondeur des eaux de la nappe.
Figure N°19 : Variation du rapport de l'évaporation de la nappe phréatique et de l'évapotranspiration en fonction de la profondeur des eaux de la nappe phréatique. Piézomètre N°1, N°2, N°3.

LISTE DES CARTES

Carte N°1 : Coordonnées géographiques de la cuvette de Ouargla.

Carte N°2 : Topographie locale de Ouargla.

Carte N°3 : Implantation des piézomètres dans le site expérimental.

LISTE DES ANNEXES

Annexe N° 1 : Température.

Annexe N° 2 : Précipitation.

Annexe N° 3 : Humidité relative.

Annexe N° 4 : Les vents .

Annexe N° 5 : Evaporation.

Annexe N° 6 : Résultats des analyses des échantillons du sol en fonction de la fluctuation de la nappe phréatique. Date de prélèvement 12/11/2000.

- Annexe N° 7 : Résultats des analyses des échantillons du sol en fonction de la fluctuation de la nappe phréatique. Date de prélèvement 02/12/2000.
- Annexe N° 8 : Résultats des analyses des échantillons du sol en fonction de la fluctuation de la nappe phréatique. Date de prélèvement 30/12/2000.
- Annexe N° 9 : Résultats des analyses des échantillons du sol en fonction de la fluctuation de la nappe phréatique. Date de prélèvement 21/01/2001.
- Annexe N° 10 : Résultats des analyses des échantillons du sol en fonction de la fluctuation de la nappe phréatique. Date de prélèvement 05/02/2001.
- Annexe N° 11 : Résultats des analyses des échantillons du sol en fonction de la fluctuation de la nappe phréatique. Date de prélèvement 25/02/2001.
- Annexe N° 12 : Résultats des analyses des échantillons du sol en fonction de la fluctuation de la nappe phréatique. Date de prélèvement 19/03/2001.
- Annexe N°13 : Résultats des analyses des échantillons du sol en fonction de la fluctuation de la nappe phréatique. Date de prélèvement 26/04/2001.
- Annexe N°14 : Résultats des analyses des échantillons du sol en fonction de la fluctuation de la nappe phréatique. Date de prélèvement 10/06/2001.
- Annexe N°15 : Résultats des analyses des échantillons du sol en fonction de la fluctuation de la nappe phréatique. Date de prélèvement 05/07/2001.
- Annexe N°16 : Résultats des analyses des échantillons du sol en fonction de la fluctuation de la nappe phréatique. Date de prélèvement 25/08/2001.
- Annexe N° 17 : Evapotranspiration , (janvier , Février , Mars) 2001 .
- Annexe N° 18 : Evapotranspiration , (Avril , Mai , Juin) 2001.
- Annexe N° 19 : Evapotranspiration , (Juillet , Août) 2001.
- Annexe N° 20 : Programme de calcul du nombre de PECLET d'après la formule d' AVERIANOV.
- Annexe N°21 : Résultats des analyses des eaux de la nappe phréatique de la cuvette de Ouargla.
- Annexe N°22 : Rapport des concentrations , piézomètre N°1 ET, N°2 .

Annexe N°23 : Rapport des concentrations , piézomètre N°3 ET, N°4 .

Annexe N°24 : Rapport des concentrations , piézomètre N°5 .

Annexe N°25 :Fraction d'eau évaporée de la nappe phréatique d'après la lois d' AVERIANOV.

Annexe N°26 : Rapport des concentrations , piézomètre N°3 ET, N°4 .

Annexe N°27 : Rapport des concentrations , piézomètre N°5 .

Annexe N°28: Nombre de PECLET , piézomètre N°1 ET, N°2 .

Annexe N°29: Nombre de PECLET , piézomètre N°3 ET, N°4 .

Annexe N°30: Nombre de PECLET , piézomètre N°5 .

Annexe N°31Coordonnées géographiques des piézomètres implantées par l' A.N.R.H.

BIBLIOGRAPHIE

- 1-A.N.R.H, 2000. programme de recherche dans les sondages de la nappe phréatique.
- 2-AIDAROV I.P,1971. Théorie et pratique de lutte contre la salinisation des terres .
TravauxVASKHNIL.Moscou .
- 3- AIDAROV I.P,1978. KLIKOV V.E ,CHOULGUIN D.F , PESTOV L.F. Modèle mathématique de la dynamique des ions sodium et calcium dans les sols. Pédologie. N°8 p135 à 139 .
- 4 -AIDAROV I.P,1978. KLIKOV V.E ,CHOULGUIN D.F. Prédiction du régime salin des sols après apport d'améliorants solide et liquide. Problemes de pédologie.p157 à 162.
- 5 - AIDAROV I.P, PESTOV L.F, KHATCHATOURIAN V.KH, 1983.Argumentation des mesures de luttés contre la salinisation des terres irriguées en zone aride .
Théorie et pratique de la régulation complexe en mise en valeur . p28à34.
- 6 -AVERIANOV SF,1978. Lutte contre la salinité des terres irriguées .Ed. Koloss, Moscou.
- 7- AUBERT G, HALLSWORTH- EILER RG, LELYK G. L. A. R .A.P, 1983. Rapport intitulé (Land dégradation and soil conservation) issues on the canadian prairie.p84.
- 8- BALAEVA L.B,1981..Synthèse de l'expérience des U.S.A et de l' URSS dans la mise en valeur des terres salées .p23à 44 .
- 9- BARON VA, 1981. Rédition du régime des eaux de la nappe phréatique dans les terres irriguées .Ed Nedra Leningrad.
- 10- BOROVSKI VM,1974. .Méthode quantitative dans la mise en valeurs des sols salés.Ed.Naoka Alma–Ata. p60 à 74 .
- 11-BOROVSKI V.M,1981.Théoretical principals of soil salinisation –desalinisation .Ed Naoka Alma– Ata. 290p..
- 12- CHOUMAKOV B.B, BEZNINA S.A,1989. Les aspects écologiques du développement de la mise en valeur des terres .Journal .(mise en valeur des terres)N°5 ,p2à4.

- 13-CHOUMAKOV B.B, 1990. Irrigation .p 342 à 349.Moscou .
- 14-C.I.I.D., 1986 . Les besions en eaux des cultures . Bull d'iirigation et du drainage. N°24 . F.A.O. Rome .
- 15- CORNET A, 1964. Introduction à l'hydrogéologie saharienne . Revue de Géog Dyn.,Paris. Masson , vol VI , 5-72.
- 16- D.H.W, 2000. Rapport de la SCET coopération intitulée : Etude préliminaire de l'assainissement de la cuvette de Ouargla et la vallée de Oued Righ novembre 1964.
- 17- D.S.A, 2000.Direction des Services Agricol .Rapport des bilans annueIs . Ouargla .
- 18-DUBIEF J , 1954. Essai sur l'hydrologie superficiel au sahara. N.S. UNESCO. P262-278.
- 19-DURANT J.H, 1983. Les sols irrigables.SES ,Alger , 190p
- 20-FABRE J, 1976. Introduction à la géologie du sahara algerien .Alger : SNED.
- 21- FA0, 1990. An international action programme on water and sustainable agricultural development .A strategy for the implementation of the Mar del Plata action plan ef the 1990. Rome (Italy).
- 22-HAKIMI M, 1976 . Contribution à la prospective d'une agriculture irriguée dans les régions Nord- sahariennes . Première conférence régionale Afro –Asiatique de la C.I.I.D. 45p
- 23-HALILET T,1998.Etude expérimentale de sable additonne d'argile .Comportement physique et organisation en conditions salines et sodiques . these d'état
- 24-KATZ DM, 1981.Hydrologie de la mise en valeur des terres . Ed. Université d'état de Moscou .
- 25-KENZOOM PA ,1957.Valeurs critique des facteurs déterminant la salinité des sols et leur signification pratique. Journal mise en valeur des terres de la vallée de VAKMCHSKA. T1 STALINABAB.

- 26-KHACHATOURIAN V.KH, 1982. Méthodes de détermination de l'évaporation des eaux de nappe phréatique dans les terres irriguées . mise en valeur des terres irriguées . Moscou , p.158-169.
- 27-KHADRAOUI A ,1999. Etude des nappes phréatiques nuisibles dans les zones agricoles et urbaines au Sahara septentrional.Ed A.N.R.H. Sud Ouargla. 16p .
- 28-KOVDA VA, 19984. Les problemes de lutttes contre la désertification et la salinisation des terres irriguées .Moscou édition Kolos . p 90-297.
- 29- -MEZA N , EL FERGOUGUI M , 2002. Contribution à l'étude de l'évaporation et évapotranspiration des eaux de la nappe phréatique des zones arides cas de la région de Ouargla. Colloque 2002 ENSH.
- 30-MEZA N , GUENANE H , DEKOUMI N,1989. Contribution à l'étude des paramètres de drainage en milieu saharien (vallée de Oued Righ , périmètre de Sidi Mehdi).2 émes journées technologiques du centre universitaire de Ouargla .
- 31- MEZA N , SAOULI S., 2000 Profondeur du niveau de la nappe phréatique des drains et leurs impacts sur les volumes des eaux de lessivage en régions sahariennes(cas de la vallée de Oued Righ) . Colloque méditerranéen eau – environnement , CMEE 2000.
- 32-MEZA N , 2001. L'irrigation et le drainage en région saharienne et leurs impacts sur le milieu . Cas de la vallée de Oued Righ . In environnement en Algérie. Laboratoire d'étude et de recherche sur le Maghreb et la Méditerranée.Ed Université Mentouri.2001
- 33-PARVENOVA I.N, 1968. Evaluation quantitative des processus de migration des sels solubles dans les conditions d'irrigation (problemes de l'hydrogéologie de mise en valeur) N° 9 , Moscou.
- 34-PESTOV LF , KHATCHATOURIAN V. KH. 1982. Methode de la determination de l'évaporation de la nappe phréatique dans les terres irriguées . Journal mise en valeur en valeur des terres irriguées .Ed , p 150-169.
- 35-RAIMINI V.E , BROUEVITCH L.A , KATZ D.M . 1978. Recommdation méthodologiques pour l'étude des balances hydriques sur les terres irriguées.Ed. UNIGIIM, 41 p.

36-ROGON P .Biographie d'un désert .Paris : Plon.1989

37-TESCO Etude agro –économique .Réaménagement et extension des palmiers de Oued Righ, Ed Budapest .1985-1986.

38- VOLOBOUEV V.R, 1975. Lessivage et drainage des terres salées , Moscou..

INTRODUCTION

La présence dans le sol de fortes teneurs en sels a le même effet que la sécheresse.

Elle réduit la quantité d'eau assimilable par les racines des plantes. Selon le degré de salinité, cet effet réduit la capacité de croissance des cultures et diminue le rendement annuel [7]

On peut repartir en deux grandes catégories les facteurs qui déterminent la fréquence, l'étendue et le degré de salinisation des sols.

Facteurs à long termes tels que, les matériaux originels dans les couches géologiques, la topographie du paysage, le drainage du sol, l'hydrologie des eaux souterraines, les conditions climatiques régionales à long termes.

Facteurs à court termes, susceptibles de changer, sont les précipitations, l'évaporation, les pratiques agricoles.

La modification de l'un ou l'autre de ces facteurs peut changer la salinité et peut également servir à prévoir les degrés de salinité dans les régions données [7].

La salinisation est un phénomène assez fréquent et un problème assez sérieux dans la région de Ouargla qui est caractérisée par une faible pluviométrie, une eau d'irrigation salée, une nappe phréatique peu profonde et salée, une texture sableuse et une forte évaporation.

L'évapotranspiration atteint dans la région des valeurs importantes environ 1800mm/an en moyenne. La nappe phréatique participe pour une grande part à cette évapotranspiration.

La hauteur d'eau de la nappe phréatique évaporée permet de prévoir les quantités de sels déposées dans le sol.

La nappe phréatique dans cette région se situe à une profondeur variable de 0 à 10m, elle s'écoule du Sud vers le Nord avec une vitesse de 0.5 l/s par km de front de cette nappe, [15].

La salinité de ses eaux atteint par endroit 300g/l.

Le phénomène de la remontée de la nappe phréatique a été accentué dans cette dernière décennie et toutes les oasis en souffrent. A El OUED par exemple les dépressions (GAOUT) ont été égorgés d'eau. Le même phénomène est observé à TAIBET et dans la wilaya de OUARGLA.

Dans les cinq dernières années, il a été constaté une chute de rendement de la production du au dépôt de sel dans les terres nouvellement mis en valeurs.

De ce fait, la problématique posée est de trouver une solution pour la limitation de l'arrivée d'un volume très important d'eau au niveau de cette cuvette afin d'augmenter le rendement de la production.

La mise en valeur des sols salés pose un problème technique dont la solution ne peut être envisagée que par la mise en œuvre du drainage et de lessivage.

Ces deux techniques ne peuvent être appliquées qu'après une étude du sol portant sur ses possibilités de drainage, la nature des sels qu'il contient, sa granulométrie, la composition du complexe adsorbant, ses propriétés physiques et son mode de formation dont son alimentation en sels solubles. [7]

Pour cela, il est nécessaire de rappeler les éléments influençant sur les processus de migration des sels solubles dans les sols et la nappe phréatique.[8], [10],[11].

-FACTEURS HYDROLOGIQUES : eaux superficielles, qualité et quantité des eaux d'irrigati

-FACTEURS GEOLOGIQUES ET HYDROGEOLOGIQUES : Formation de la nappe, profondeur de la nappe, profondeur du substratum, échange entre la nappe phréatique et les eaux souterraines profondes, drainage naturel.

-FACTEURS PYSICO-CHIMIQUE : concentration en sels de la nappe et concentration en sels du sol.

-FATEURS PHYSIQUES : eau d'irrigation, évapotranspiration, niveau de la nappe phréatique, sol

-FACTEURS PEDOLOGIQUES :Caractéristiques des sols.

Les dangers qu'encourent ces périmètres imposent une parfaite connaissance des régimes hydriques et salins des sols et de leur variabilité spatio-temporelle afin d'élaborer les réglés nécessaires a une meilleure gestion des eaux et des sols.

Notre travail entre dans le cadre du projetde recherche dans les régions arides. Université de Ouargla , CRSTRA avec l'intitulé : "Etude du Régime d'Irrigation à Caractère Lessivant et des Paramètres de Drainage des Sols Salés ou à Risque de Salinisation Occupés par le Palmiers et des Cultures Sous - Jacente".Chef de projet monsieur MEZA NOURADDINE .

CHAPITRE N°1

CADRE NATUREL DE L'ETUDE

I-1 SITUATION GEOGRAPHIQUE.

La région de Ouargla est située au Sud –Est du pays ,à 790 Km de la capitale et sur une large cuvette de la vallée d'Oued Mya. Elle est située entre La wilaya d' El OUED au Nord et La wilaya de TAMANRASSET et d'ILLIZI au Sud, La TUNISIE à l'Est et La wilaya de GHARDAIA et de la wilaya de DJELFA à Ouest.[18].

Les coordonnées géographiques sont les suivantes :

Altitude moyen	137 m
Latitude	31° 57 Nord
Longitude	5° 20 Est

Le relief est caractérisé par une faible pente , carte N°1.

I-2 FACTEURS INFLUENCANTS LE PROCESSUS DE MIGRATION DES SELS SOLUBLES DANS LES SOLS ET LES EAUX DE LA NAPPE PHREATIQUE

L'évolution de la salinité des sols et des eaux de la nappe phréatique est régie par un ensemble de facteurs naturels et économiques.

Les conditions géologiques, géomorphologiques, hydrogéologiques, hydrologiques, pédologiques, climatiques ,ainsi que la végétation forment les facteurs naturels. Les facteurs anthropiques sont définis par les réseaux d'irrigations ,les irrigations , travaux du sol et autres actions anthropiques.[6]

Les différentes combinaisons des facteurs naturels et anthropiques sont la cause de la migration, des sels solubles et de l'évolution de la salinité des sols et des eaux de la nappe phréatique .

Dans le contexte des régions sahariennes les principales causes de la salinisation des sols sont l'évaporation intensive et un drainage naturel très faible (une vitesse d'écoulement des eaux de la nappe phréatique très faible) .[35]

Les facteurs qui ont le plus d'influence sur la migration des sels solubles dans la nappe phréatique sont les facteurs climatiques, hydrogéologiques , géologiques , pédologiques et anthropiques.

I-2-1 FACTEURS CLIMATIQUES.

*TEMPERATURE.

Les mesures des dernières 11 années (1989-2000) de la température montrent que :

-La variation inter-annuelle de la moyenne mensuelle de la température est de l'ordre de 2°C pour les 11 ans figures,(N°01, N°02, N°03) .

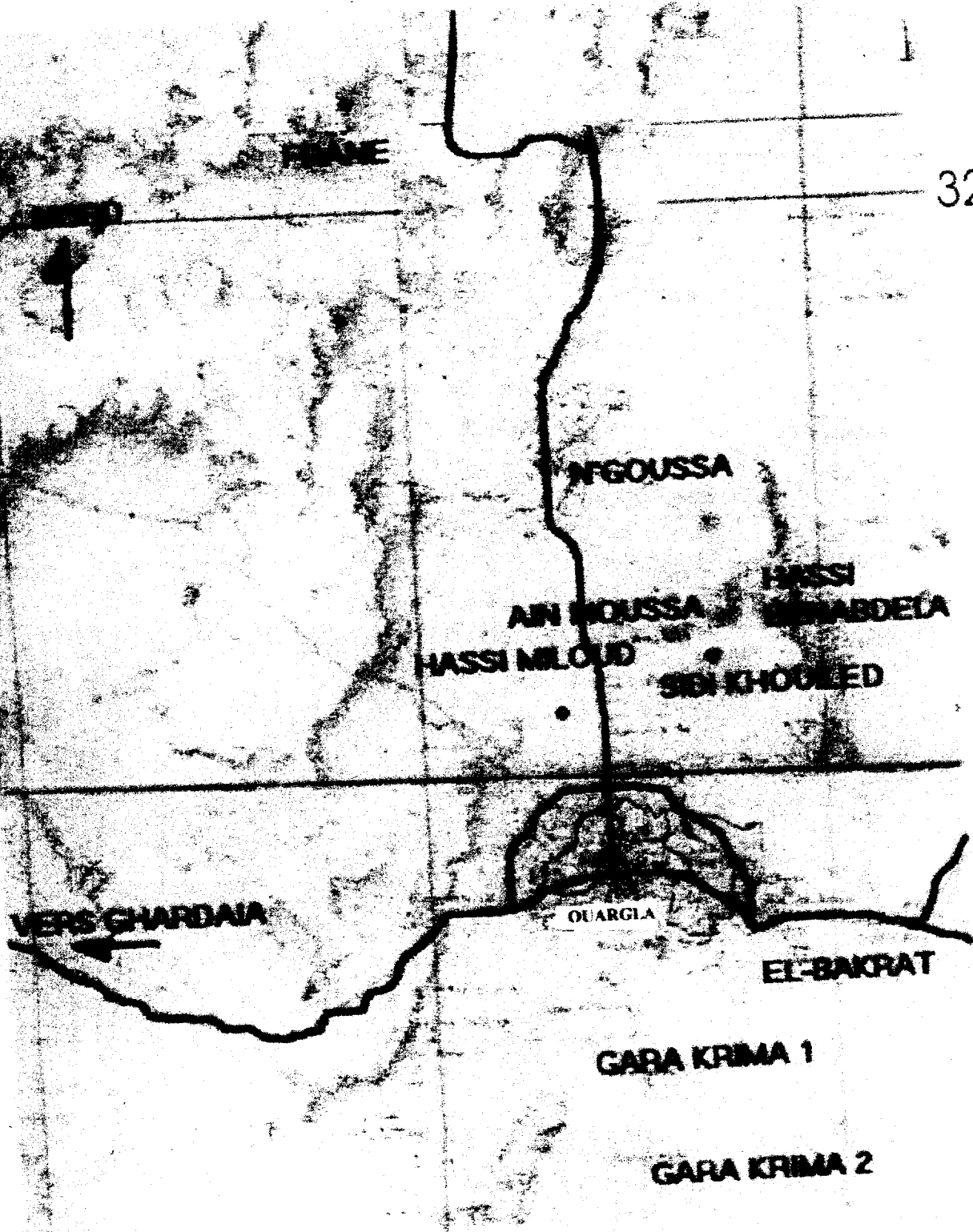
-Un minimum de température de 18°est observé en janvier et décembre et un maximum de 45° en juillet et août.

5°

5°30

6

32°30



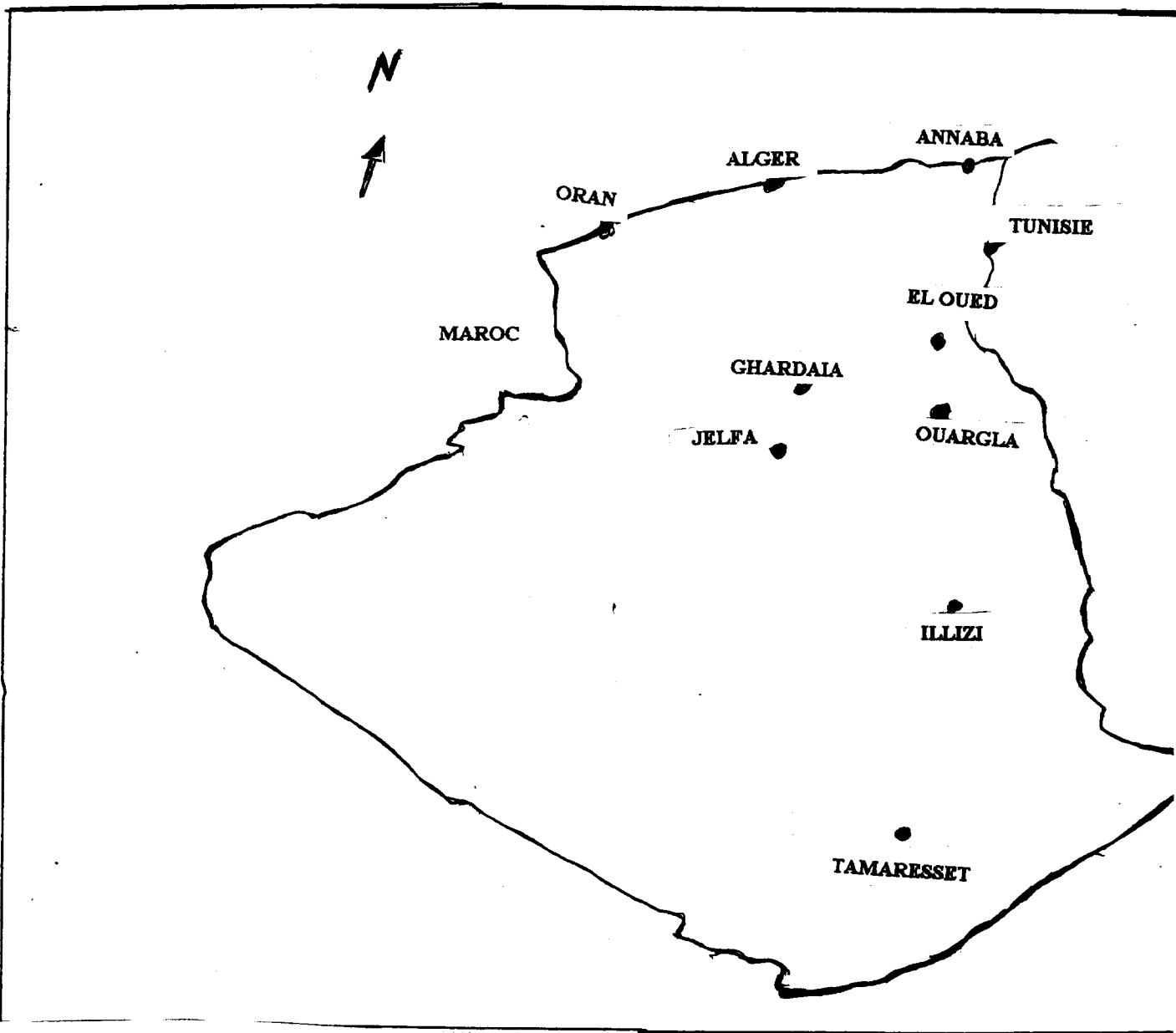
32°

31°30'

Carte N°1 COORDONNEES GEOGRAPHIQUES DE LA CUVETTE DE
OUARGLA

Carte d'état major de l'algerie 1958

Echelle : 1/200.000



CARTE N°2 SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA CUVETTE DE OUARGLA
Carte d'état major de l'algerie 1958
Echelle 1/3000 000

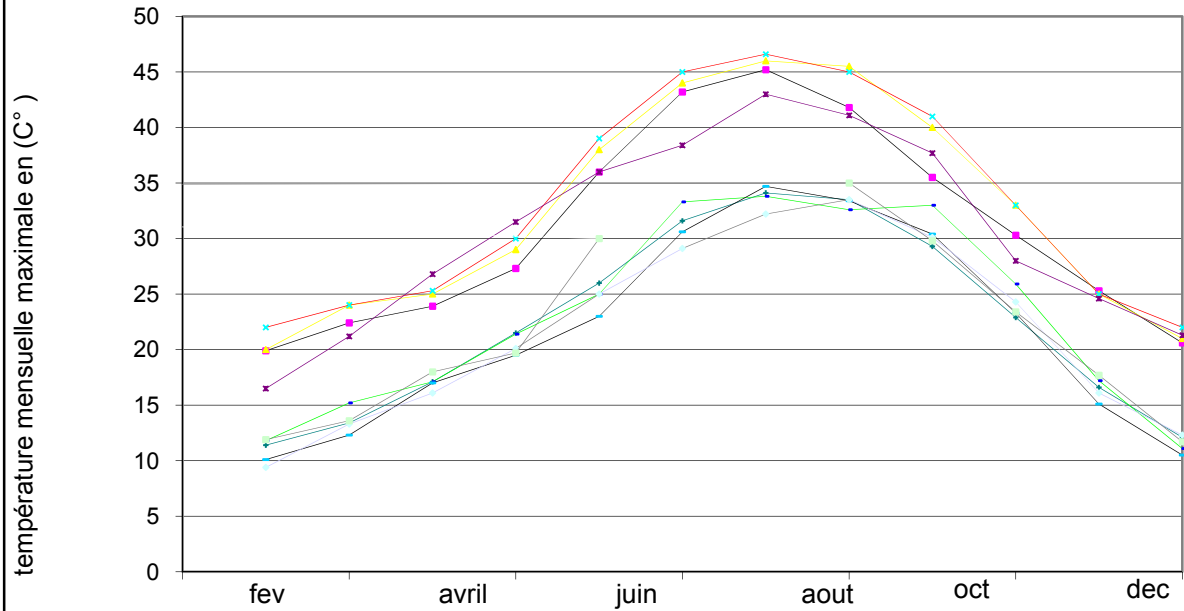


figure N°01
 TEMPERATURE MENSUELLE
 MAXIMALE
 enregistrée de (1989 - 2000)
 O.N.M.(station de Ouargla)

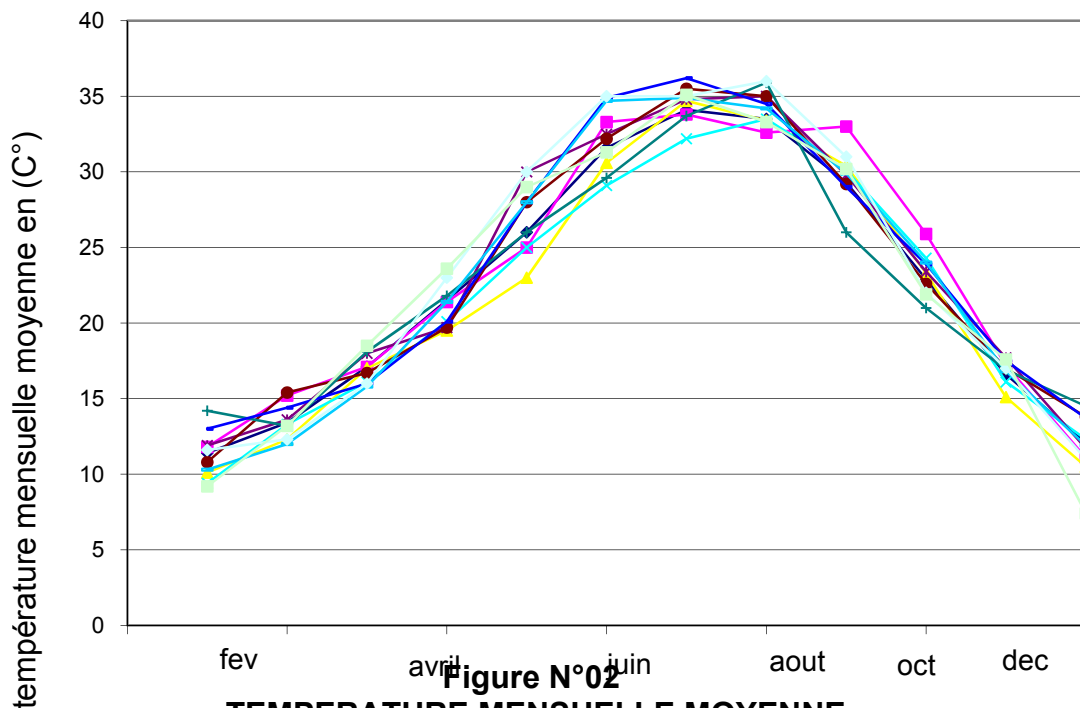


Figure N°02
TEMPERATURE MENSUELLE MOYENNE
enregistrée de (1989-2000)
O.N.M (station Ouargla)

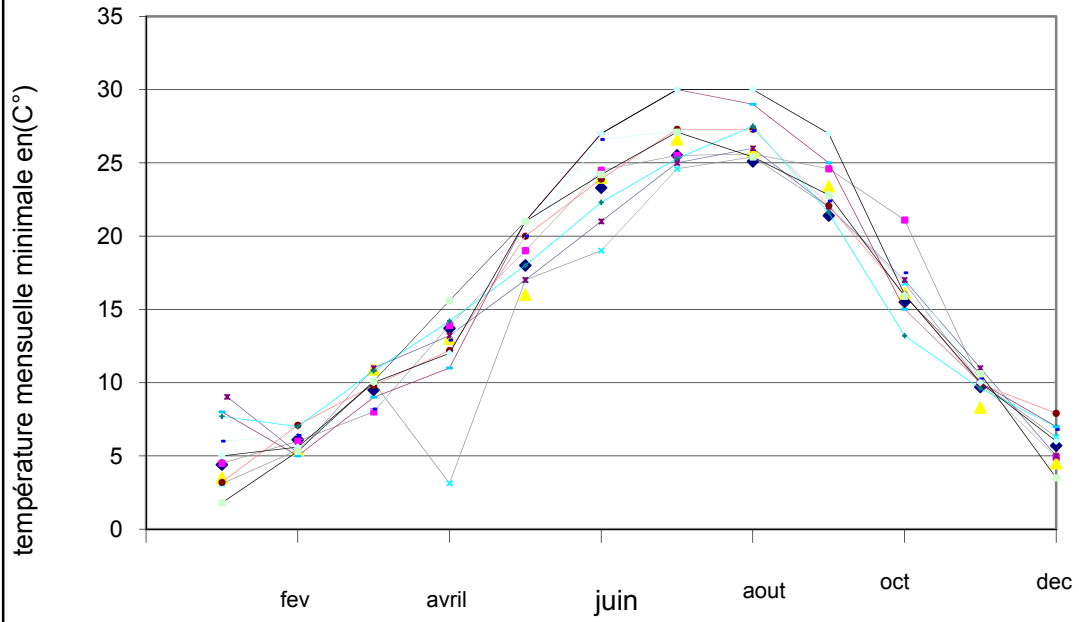
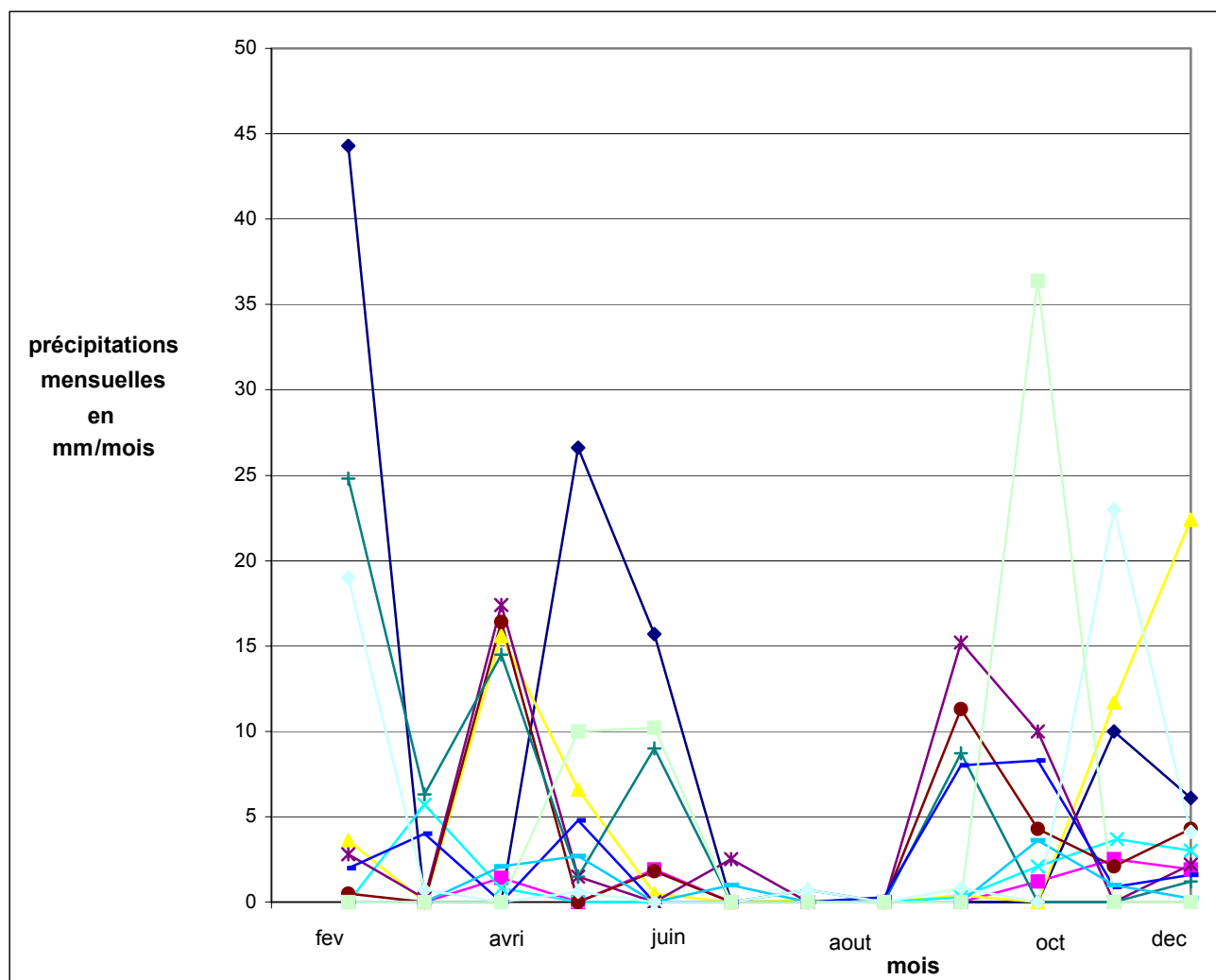


Figure N° 03
**TEMPERATURE MENSUELLE
 MINIMALE**
 enregistrée de (1989-2000)
 O.N.M (station Ouargla)

* PRECIPITATIONS

Les précipitations enregistrées pour la même période (1990 à 2000) (figure N°04) sont très faible et irrégulières et insignifiantes quantitativement à l'exception des précipitations enregistrées en janvier 1990.

Les précipitations proviennent essentiellement des perturbations orageuses, courtes et violentes. La plupart des précipitations se produisent durant l'hiver, bien que certains hivers soient pratiquement secs (1991-1998-2000), [15].



**Figure N°04 PRECIPITATIONS MENSUELLES ENREGISTREES
en(1990-2000) OUARGLA**

-1990, -1991 , -1992 , -1993 , -1994 , -1995 , -1996 , -1997 , -1998, 1999 , -2000

*HUMIDITE DE L AIR

L'humidité est généralement inférieure à 50% de mars à octobre , elle varie de 22% à 68% (figure N°05).

L'humidité de la région de Ouargla est faible en moyenne .[22]

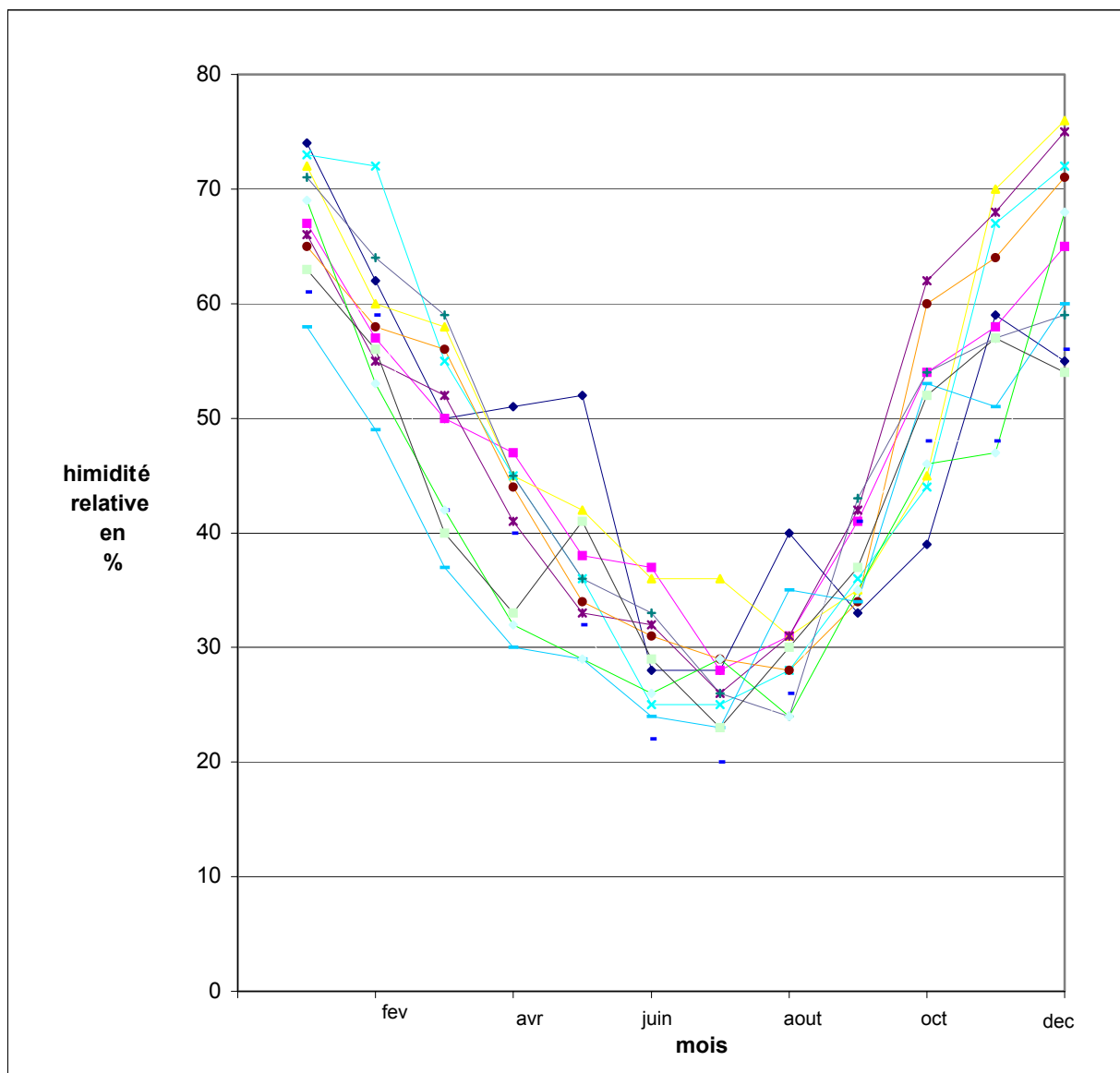


Figure N°05 HUMIDITE ENREGISTREES EN(1990-2000)
A OUARGLA

-1990, -1991 , -1992 , -1993 , -1994 , -1995 , -1996 , -1997 , -1998, -1999 , -2000

* VENT

La vitesse moyenne des vents varie de 3 à 6m/s , elle est plus importante au printemps 4 à 6m/s (tableau N°4), (annexe N°4).

* L' EVAPORATION

L'analyse de l'évaporation mensuelle enregistrée dans la période 1995 à 2000 (figure N°06) montre que:

- La variation de l'évaporation croit de janvier à juillet et décrois jusqu'à décembre .
- L'écart inter annuelle est important .La courbe N°5 correspondant à l'année 1999 donne une valeur maximale de 600mm au mois de juillet tandis que la courbe N°2 correspondant à l'année 1996 donne une valeur de 214mm pour le même mois .

Les valeurs enregistrées témoignent d'une évaporation intense.L'évaporation moyenne inter- annuelle est de l'ordre de 2199mm/an.

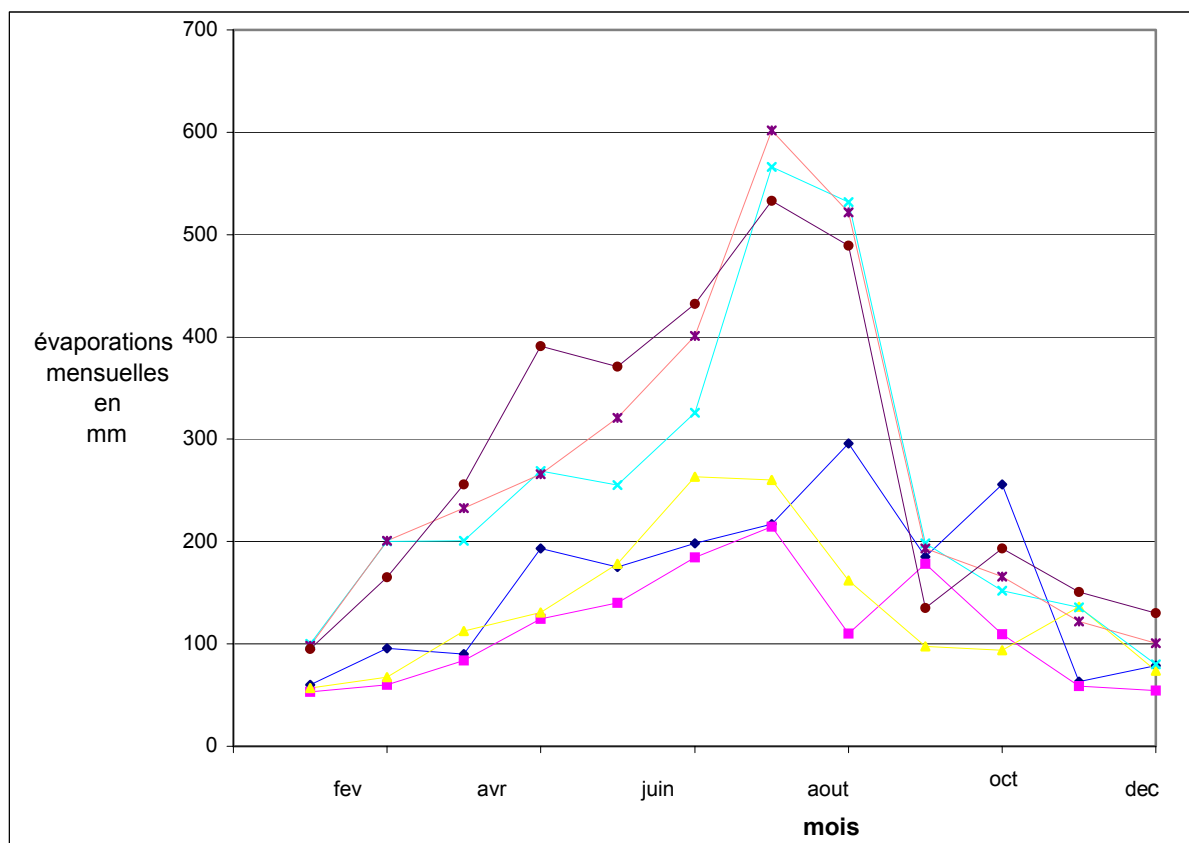


Figure N°06 EVAPORATION ENREGISTREE EN (1995-2000)
DANS LA CUVETTE DE OUARGLA

-1990, -1991, -1992, -1993, -1994, -1995 .

I-2-2–FACTEURS HYDROLOGIQUES

La cuvette de Ouargla et Sebkhaf Safioune constituent l'exutoires naturels des principaux Oueds du bassin du M'zab.[18]

Oued M'zab et Oued N'sa venant du versant oriental de la dorsale mozabitique. En outre, elles se trouvent en plein lit de Oued M'ya venant de Sud Ouest.

Tous ces Oueds font partie du grand bassin du MERHIR.

OUED N'SA

Le bassin du N'SA d'une superficie de 7800Km² est situé à l'Ouest de la cuvette de Ouargla, prend naissance à Tilrhemt (Laghouat) à une altitude de 750m , parcourt une distance de 320Kms pour se jeter enfin à SEBKHAT N'GOUSSA au Nord de Ouargla .

Cet Oued est fonctionnel et conserve ses traces assez nettes. Il atteint Sebkhaf Safioune qui se situe à environ de 10km. de sebkhaf N'goussa pratiquement toutes les années.

OUED M'ZAB

Le bassin de M'zab d'une superficie de 5000Km² prend naissance dans la région de Botma Rouila(dans la wilaya d'El Bayaed) à 750Km d'altitude , coule sensiblement de l'Ouest à l'Est sur un trajet de 320Kms et se déverse enfin à Sebkhaf Safioune .

Les écoulements du Oued M'ZAB, sont perturbés au niveau des villes de la vallée du M'ZAB par une série de barrages qui font partie du système hydraulique mozabite.

Suite à ses barrages à l'amont, l'écoulement atteint très rarement Sebkhaf Safioune. On note que les dernières crues atteignant Sebkhaf Safioune remonte à janvier 1990.

OUED M'YA

La cuvette de Ouargla, se trouve complètement sur le lit de Oued M'YA. Ce dernier couvre une superficie de 19800Km² et prend son origine à l'Ouest de Ain Hadjadj à une altitude de 800m. Son écoulement est stoppé par le cordon dunaire de Tinedjouine vers la cote 200m et à 200Kms à l'amont de Ouargla. Le cours fossile du M'ya inférieur est jalonné par de vastes sebkhaf jusqu'à Ouargla. L'oued ne coulerait plus de nos jours que sur la moitié de son ancien parcours.

Bien que ces oueds ne soient plus fonctionnels ou du moins sporadiquement à l'amont, ils alimentent la nappe phréatique de la région de Ouargla par un écoulement souterrain, après avoir traversés des sédiments anciens salés alcalinisés .[19]

I -2.3 FACTEURS HYDROGEOLOGIQUES

*FACTEURS GEOMORPHOLOGIQUE

La région de Ouargla est constituée : [23]

-d'Alluvions actuelles (chott) : ce sont des formations récentes, qui occupent les dépressions de la vallée de Ouargla (partie Nord),

-de dunes récentes : Ce sont des dépôts sableux localises au Nord –Est et au Sud–Est près du lit del'oued Mya .

-de plateaux calcaires : ce sont des formations importantes de plus de 250 m d'altitude, elles reposent sur des schistes. Leurs parties supérieures passent à des grès riches en fossiles. On le trouve à la partie Ouest.

-d'alluvions regs : ce sont des formations caillouteuses ou le pourcentages des cailloux est dominant, ces formations occupent la partie Nord – Ouest de la vallée de Ouargla.

Son relief est caractérisé par une pente légèrement égale à 1% mais elle n'est pas constante.

*HYDROGEOLOGIE

Des travaux de prospection géophysique et hydrogéologique récents [20, 22, 35] entrepris dans le cadre des recherches pétrolières ont définis la nature des différentes ressources existantes au Sahara.

Ces travaux montrent l'existence de deux grands ensemble aquifère

a -Le continental intercalaire (CI).

b -Le continental terminal (CT) .

a- Le Continental Intercalaire (CI)

La nappe de l'Albien

Elle couvre pratiquement le Sud Est algérien sur une superficie de 600.000 Km², elle est contenue sur une épaisseur de plusieurs centaines de mètres. Sa capacité en eau a été évaluée à 50.000 milliards de m³ [29]. Son toit se situe généralement au-delà de 1500m.

C'est un aquifère dont les eaux sont de bonne qualité .[1].Tableau N°01.

**TABLEAU N°01 : ANALYSES CHIMIQUES DES EAUX DE LA NAPPE DE
L'ALBIEN ,
WILAYA DE OUARGLA.[1] , 1998.**

ZONES		ROUISSAT	H.BENABDELLAH	N'GOUSSA
NAPPE			ALBIEN	
CARACTERISTIQUES				
PH		8.52	7.70	8.03
CE (mmhos/cm)		1.90	2.87	1.73
Cation	Ca ⁺⁺ (meq/l)	3.64	6.60	2.20
	Mg ⁺⁺ (meq/l)	15.16	13.29	16.00
	Na ⁺⁺ (meq/l)	7.61	16.13	13.74
	K ⁺ (meq/l)	0.77	0.64	0.36
Anions	Cl ⁻ (meq/l)	11.27	21.55	12.82
	SO ₄ ⁻⁻ meq/l)	12.08	14.17	16.67
	HCO ₃ ⁻ (meq/l)	0.40	2.24	2.03
	NO ₃ ⁻ (meq/l)	1.10	0	0.82
Résidus Secs (g /l)		1.59	2.35	2.17

b -Le Continental Terminal (CT)

Les nappes du continental terminal appelé aussi Miopliocene sont moins profondes que celles du continental intercalaire (moins de 400m) et une superficie de 350.000Km² avec des eaux généralement chargées en sels . Elles se divisent en :

- Nappe du Sénonien.
- Nappe du Miopliocene.
- Nappe phréatique.

-La nappe du Sénonien

La nappe du Sénonien rencontrée généralement entre 200m et 400m,elle englobe le lit du sénonien (carbonaté) plus l'éocène. La qualité des eaux du sénonien est moins bonne que celle du CI et meilleure que celle du Miopliocene.

**TABLEAU N°02 : ANALYSES CHIMIQUES ES EAUX DE LA NAPPE DU
SENONIEN,
WILAYA DE OUARGLA . [1] ,1998.**

ZONE		Ouargla	Rouissat	S.khouiled	H.B.Abdellah	N'goussa	AinBeida
NAPPE		SENONIEN					
CARACTERISTIQUES							
PH		8.40	7.66	8.32	7.98	8.22	8.08
CE (mmhos/cm)		2.04	2.56	3.17	2.15	2.68	3.95
cations	Ca++ (meq/l)	4.99	10.16	6.89	4.79	6.39	11.64
	Mg++ (meq/l)	12.61	7.49	16.52	11.31	15.61	8.75
	Na++ (meq/l)	8.70	12.61	18.62	10.22	11.30	20.22
	K+ (meq/l)	0.26	0.41	0.51	0.64	0.26	0.62
anions	Cl- (meq/l)	8.59	11.92	21.41	14.08	13.10	22.25
	SO4-- (meq/l)	13.67	17.71	21.35	12.50	17.29	14.8
	HCO3- (meq/l)	2.30	1.68	2.50	1.60	2.40	1.72
	NO3- (meq/l)	0.40	0.68	1.26	0.32	0.39	0.18
Résidu sec	(g/l)	1.67	1.83	2.82	1.84	2.26	2.57

La nappe du Miopliocène.

Elle se trouve à des profondeurs inférieures à 180m. Elle est exploitée depuis longtemps dans la région de Oued Rhigh et de Ouargla .

L'analyse des eaux tableau N°03 relève que les eaux du complexe terminal présentent des faciès chlorures –sodiques, sulfates sodiques, sulfates- magnésiques à chlorures –magnésiques, avec une conductivité électrique (CE) limitée entre 2-5 mmhos /cm et une concentration de sels solubles comprise entre 1.5g /l – 6 g/l et jusqu'à 9g/l dans la région EL BOUR.[1]

**TABLEAU N°03 : ANALYSES CHIMIQUES DES EAUX DE LA NAPPE
DU MIOPLIOCENE .
WILAYA DE OUARGLA .[1], 1998.**

ZONE		Ouargla	Rouissat	S.khouiled	H.B .Abdellah	N'goussa	Ain Beida
NAPPE		MIOPLIOCENE					
CARACTERISTIQUES							
PH		8.40	8.58	7.98	7.98	8.00	8.00
CE (mmhos/cm)		4.27	4.74	3.07	2.99	2.32	4.40
cations	Ca++ (meq/l)	4.50	7.90	6.99	6.29	2.20	7.20
	Mg++ (meq/l)	20.04	18.46	17.44	21.03	20.55	31.66
	Na++ (meq/l)	20.35	35.35	16.30	14.78	19.57	10.87
	K+ (meq/l)	0.51	0.72	0.41	0.41	0.44	0.31
anions	Cl- (meq/l)	25.49	34.09	20.99	22.54	23.94	14.08
	SO4-- (meq/l)	15.62	23.44	21.35	16.67	20.00	30.73
	HCO3- (meq/l)	1.98	0.14	1.30	1.40	1.80	1.75
	NO3- (meq/l)	0.16	0.64	1.11	1.13	0.87	0.48
Résidu sec (g/l)		2.91	4.01	2.083	2.76	2.98	3.92

-La nappe phréatique.

Les résultats des différentes études réalisées sur la nappe phréatique de Ouargla par l'O.C.R.S .l'Organisme Saharien ,de la SCET amènent aux conclusions suivantes.[1].

1)-Le sens de l'écoulement de la nappe est Sud-Nord suivant la pente du lit fossile de l'Oued M'ya .

2)-L'alimentation de cette nappe s'effectue essentiellement sous la ville et sous les palmeraies de Ouargla et de N'goussa, par les eaux d'irrigations et les eaux usées.

Cette alimentation se fait à travers les couches de sables de Miopliocène formant les falaises à l'Ouest de Ouargla.[18]

3)-Le résidu sec est très variable suivant les zones pour une même période. On peut déduire que pendant la période chaude d'été, la décharge de la nappe phréatique se réalise essentiellement par évaporation. Lorsque le niveau de la nappe phréatique est très proche du niveau du sol, elle est soumise à l'évaporation directe et la salinité de la nappe phréatique augmente.[1]

La salinité des eaux de la nappe phréatique dans la vallée oscille entre 2 et 36 mmhos/cm. Est située généralement à une profondeur qui varie de (0m à 10m), elle est généralement contenue dans du sable et gravier. Elle s'écoule du Sud au Nord suivant la pente de la vallée. Le mouvement très lent est de l'ordre de 0.5 l/s/Km de front de la nappe.

Les apports proviendraient de précipitations infiltrées, de possibilité d'échanges avec la nappe miocène, par l'intermédiaire des puits ascendants et de l'excédent des eaux d'irrigation.

La température de l'eau varie entre 15 à 20 degrés.

I-2-4 FACTEUR PEDOLOGIQUE

Toute la surface de l'ancienne palmeraie et ses extensions sont salées. Les sols présentent en moyenne une minéralisation en résidu sec de l'ordre de 9g/l, la conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée (25°) est supérieure à 4 dS/m, le sodium échangeable représente moins de 15% de la CEC et le PH est généralement compris entre 8.5 et 10. L'argile dans le sol est considérée comme sodique et elle est dispersable et mobile.[23]

Le sol de la région est de type léger à prédominance sableuse et à structure particulière. Il est caractérisé par un PH alcalin, une faible activité biologique. Il pose d'énormes problèmes de mise en valeur, il présente souvent des croûtes calcaires ou gypseuses et la plus part du temps salée [23].

I-2-5 FACTEURS ANTHROPIQUES

***L'AGRICULTURE ET L'IRRIGATION DANS LA REGION DE OUARGLA**

L'inventaire réalisé par la direction de l'hydraulique de la wilaya de Ouargla [16], l'agence nationale des ressources hydrauliques [1] et la direction des services agricoles [17] au cours de l'année 1999, fait ressortir un nombre de 281 forages dans la région de Ouargla, dont 238 forages puisent de la nappe Miocène, 34 forages puisent de la nappe du Sénonien et 9 forages puisent de la nappe de l'Albien. Avec un débit total de 115.5hm³/an.

Selon la même source le secteur de l'agriculture à lui seul prélève un débit de 25105L/s. 11945L/s sont consommés par les périmètres de la mise en valeur, et 13160L/s pour les anciennes palmeraies. Soit un surplus de 1 l/s/ha données par les eaux d'irrigation des anciennes palmeraies.

Selon le service des statistiques de la direction des services agricoles [16] le nombre total de palmiers dans la région de Ouargla en 2000 est de 800000. La production de dattes est de 291990 qx sur une superficie de 6995ha, soit 41 qx/ha, ou 41kg/palmier.

Alors que la norme agricole de production pour un palmier est de 180kg.

Les palmeraies sont irriguées périodiquement par planche (deux fois par semaine).

Ce type de réseau d'irrigation à la parcelle est constitué de canaux en terres, ce qui a pour conséquence d'énormes pertes d'eau par filtrations.

La même source stipule[16] a l'heure actuelle les périmètres de la mise en valeurs connaissent des baisses des rendements de la récolte d'une année à une autre.

La campagne 90/91-97/98 a enregistré une chute remarquable de production. Le rendement moyen du blé est passé de 40qx/ha à 25qx/ha .

CONCLUSIONS

L'étude des paramètres influençant le processus de migration des sels solubles, montre que les plus importants sont , les paramètres climatiques, La qualité des eaux de la nappe phréatique et l'eau d'irrigation.

La combinaison des différents facteurs géologiques, hydrogéologique, pédagogiques et climatiques étudiés précédemment entraîne une salinisation de plus en plus accentuée des sols. La faible pluviométrie ne permet pas le lessivage du sol .Les grandes chaleurs provoquent une évaporation accentuée et une cristallisation des sels qui affleurent à la surface.

1°)- Les paramètres climatiques

L'étude des paramètres climatiques représentés montre qu'une température élevée combinée à une faible précipitation et une évaporation conséquente favorise le dépôt des sels dans le sol.

Les précipitations sont tellement faibles pour pouvoir influencer sur le processus des migrations des sels solubles dans les couches superficielles du sol.

La comparaison évaporation / précipitation montre que les quantités d'eaux évaporées dépassent de loin les précipitations ce qui conduit à une sécheresse du sol de plus en plus accentuée et un dépôt de sels soluble dans les couches de sol superficielles.

2°)-Présence de la nappe phréatique.

La présence de la nappe phréatique dont les eaux salée de 8 à100 g/l en moyenne et à proximité de la surface du sol est le danger principal du développement de la salinisation des terres . .

3°)-Ressource en eau

L'irrigation se fait généralement par l'eau de la nappe du Miopliocene, qui se distingue par sa teneur en sel élevé, de 3 g/l en moyenne.

50% des eaux d'irrigation des anciennes palmeraies alimentent la nappe phréatique.

CHAPITRE N° II

THEORIE ET PRATIQUE SUR LA MINERALISATION DES EAUX DE LA NAPPE PHREATIQUE ET LES ECHANGES D'EAU ENTRE LA ZONE D'AERATION ET LA ZONE SATUREE

II-1 METHODES DE PREVISIONS DE LA MINERALISATION DES EAUX DE LA NAPPE PHREATIQUE ET DE LA SALINISATION DES SOLS DE LA ZONE D'AERATION.

La prévision de la variation de la minéralisation des eaux de la nappe phréatique et de la salinisation des sols de la zone d'aération est réalisée généralement par la méthode des bilans, analytique, numérique, de corrélation et par analogie hydrogéologique.

Les plus répandues sont la méthode des bilans et analytique de [6, 9, 24,33,37]. Nous citerons en exemple certaines des relations les plus utilisées.

a) - METHODE DES BILANS

Les différentes relations définissent le taux de sel soluble (C) en (mg/l) dans une couche de sol considérée pour une période de temps (t) , comme étant égale à .

-relation de S.F AVERIANOV.

$$C = \alpha C_1 + \frac{aS \delta 10}{n} + (1 - \alpha) C_2 \quad (-1-)$$

Où .

C_1 et C_2 : taux des sels soluble dans la couche de sol au temps t_1 et t_2 .

α : coefficient de distribution des sels solubles prenant en considération quelle partie des sels solubles est dissoute dans la solution de sol à saturation.

α : fraction d'eau échangée entre le sol de la zone d'aération et la nappe phréatique .

δ : densité du sol de la couche considérée en (T/ m^3).

S : variation du niveau des eaux de la nappe phréatique pour une période de temps (t) en (m).

n :porosité du sol de la couche considérée en(%).

-relations de V.A BARON

-relation de N.I PARFENOVA

$$C = \frac{C_i h_0 n + C_w \Delta h n + (C_w V_{in} + C_0 V_f - C_i V_{ETP} - C_i V_d) t}{(h + \Delta h) n} + (C_w - C_w') \operatorname{erfc} \frac{x}{2\sqrt{D^* t}} + \operatorname{erf} \frac{x}{\sqrt{D^* t}} \quad (3-)$$

Où

- C : taux des sels solubles dans la couche de sol considérée pour une période de temps (t) en (g/l).
 C_0 : minéralisation de l'eau d'irrigation (g/l).
 C_w' : minéralisation des eaux de la nappe phréatique en (g/l).
 C_w : concentration de la solution de sol de la zone d'aération en g/l.
 C_i : concentration initiale de la solution de sol dans la couche considérée (g/l).
 h : profondeur de sol considérée en (mm).
 h_0 : variation du niveau des eaux de la nappe phréatique. pendant la période de temps (t) provoquées par les eaux d'irrigation infiltrées en (m)
 h_w : couche d'eau correspondante au volume de la solution de sol en (m).
 Δh : variation de la profondeur de la nappe phréatique en (mm).
 V_{in} : vitesse d'infiltration en (m/j).
 V_f : vitesse d'infiltration des eaux à partir du réseau d'irrigation vers la nappe phréatique en (mm/j) .
 V_d : vitesse d'infiltration des eaux de la couche de sol considérée vers le drain en (mm/j).
 V_{ETP} : intensité d'évaporation de transpiration des eaux de la nappe phréatique en (mm/j).
 t : temps d'observation.
 D^* : coefficient de diffusion et de convection en (m^2/j).
 n : porosité de la couche de sol considérée en(%).
 erf : fonction d'erreur.
 erfc : fonction d'erreur complémentaire.

$$\operatorname{erf}(u) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^u e^{-x^2} dx \quad (-4-)$$

$$\operatorname{erfc}(u) = 1 - \operatorname{erf}(u)$$

Les principales composantes du bilan salin des eaux de la nappe phréatique sont l'apport de sels solubles avec les eaux d'infiltration et les pertes d'eaux par filtration à partir du réseau d'irrigation, tandis que les dépenses se réalisent avec le déplacement des sels solubles des eaux de la nappe phréatique vers la zone d'aération sous l'influence de l'évaporation et l'évacuation des sels solubles avec les flux de filtration de la couche considérée sous l'influence de drainage.

b) -METHODE ANALYTIQUE

Les méthodes analytiques se présentent comme une description mathématique des processus de mouvement des sels solubles .

Ce sont des solutions particulières des principales équations différentielles .

$$m \frac{\partial C}{\partial t} = D^* \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - V \frac{\partial C}{\partial x} + \delta(C_i - C) \quad (-5-)$$

où $D^* \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$: Terme de diffusion

$V \frac{\partial C}{\partial x}$: Terme de convection

$\delta(C_i - C)$: Terme d'échange

Pour le cas des sols légers , ou la capacité d'échange (Ce est de 4 ÷ 6 meq/100g de terre) [35] peut être négligé ce qui est généralement le cas des zones arides et en particuliers des régions sahariennes [2].

$$m \frac{\partial C}{\partial t} = D * \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - V \frac{\partial C}{\partial x} \quad (-6-)$$

Parmi les nombreuses solutions des équations obtenues par les différents auteurs, nous citerons en exemple quelques solutions particulières très utilisées pour les sols légers en milieu semi-fini, homogène et unidimensionnel pour des conditions aux limites déterminées [9].

b-1 EN REGIME SALIN NON STATIONNAIRE .

b-1-1 -Pour un profil salin uniforme L'équation s'écrit comme suite : [6]

$$\bar{C} = \frac{C - C_0}{C_1 - C_0} = 0.5 \left[\operatorname{erf} \frac{x - Vt}{\sqrt{4D^*t}} + e^{\frac{Vx}{D^*}} \operatorname{erfc} \frac{x + Vt}{\sqrt{4D^*t}} \right] \quad (-7-)$$

1) $x - Vt > 0$

2) $C(0,t) = C_1$

3) $C(x, 0) = C_0$

4) $\frac{\partial C}{\partial x} = 0$ pour $x \rightarrow \infty$

5) $v(C - C_2) = D^* \frac{\partial C}{\partial x}$

D^* : coefficient de diffusion et de convection en (m^2/j).

\bar{C} : concentration réduite de la solution de sol en (g/l).

C_0 : concentration de la solution de sol à la surface de sol en (g/l) .

C_1 : concentration de la solution de sol à la profondeur x en (g/l) .

x : profondeur de sol .

V : vitesse de filtration d'eau dans les pores en (m/j).

t : temps d'observation.

erf : fonction d'erreur.

erfc : fonction d'erreur complémentaire.

b-1-2- Pour un profil salin non uniforme L'équation s'écrit comme suit : [9]

$$C = C_i - (C_i - C_2) \left(\frac{W}{1+b} + \frac{W}{1-b} - \frac{2x}{1-b^2} \right) + 0.5 e^{-(b^2-1)a^2 z} \left((C_0 - C_i) F(az_0) + (K_0) \phi(az_0) + \sum_{j=0}^{K=Z} ((K_{j+1} - K_j) \phi(aZ_{j+1} - K_{K-1} \phi(az_{Ki})) \right) \quad (-8-)$$

$$F(az_j) = \text{erf}(az_j) + (\text{erfc}(az_j) - 4a \cdot \text{ierfc}(az_j)) e^{4a^2 z}$$

$$\phi(az_j) = \text{ierfc}(az_j) + (\text{ierfc}(az_j) - 4a^2 \text{ierfc}(az_j)) e^{4a^2 z}$$

$$x = e^{a^2(1+4z-b^2)} \cdot \text{erfc}(az_0)$$

$$w^\pm = e^{2a^2 z(1 \pm b)} \text{erfc}(a(z \pm b))$$

$$Z_{\mp} = 1 + h_j^0 \mp Z$$

$$b = (1+M)^{1/2}$$

$$M = \frac{\text{Pr}}{\text{Pe}^2} = \frac{4\beta D^*}{u^2}$$

$$h_j^0 = \frac{h}{\sqrt{t}}$$

$$Z = \frac{x}{\sqrt{t}}$$

$$K_J = \frac{C_{J+1} - C_J}{a(h_{J+1}^0 - h_J^0)}$$

Conditions aux limites

$$C(x,0) = C_0(x), \quad -D^* \frac{\partial C(0,t)}{\partial x} + VC(0,t) = VC_m$$

$$\frac{\partial C(l,t)}{\partial x} = 0$$

$$a = \frac{V}{2} \sqrt{\frac{t}{D^*}}$$

$$b = \sqrt{1 + \frac{4 \delta D^*}{V^2}}$$

a- pour $t=0$

$$1) C = C_J + \left(\frac{C_{J+1} - C_J}{h_{J+1} - h_J} \right) x - h_J$$

$$h_J < x < h_{J+1}$$

$$2) C = C_K = C_{np}$$

$$h_J < x < \infty$$

b- pour $t > 0$

$$3) V(C - C_i) = D^* \frac{\partial C}{\partial x} \text{ avec } x=0$$

$$4) \frac{\partial C}{\partial x} = 0, \quad C = \text{cte}, \quad x \rightarrow \infty$$

C_i : concentration en saturation de la tranche de sol considérée (g/l).

C_2 : concentration à la surface de sol en (g/l).

V : vitesse d'infiltration en (mm/j).

erf : fonction d'erreur .

D^* : coefficient de diffusion et de convection en (m^2/j).

δ : densité du sol.

b-2 REGIME STATIONNAIRE

La prévision de la salinité des sols dans les conditions naturelles pour des eaux de nappe phréatique proche de la surface sol et fortement minéralisées. [6]

$$-D \frac{\partial C(0)}{\partial x} + V_N C(0) = V_N C(0) \quad (-9-)$$

avec les conditions initiales et limites suivantes.

$$C(l) = C_{NP}$$

$$V(l) = V_{NP} = \text{cte}$$

$$V_0 = V_N = \text{cte}$$

$$D = \text{cte}$$

$C(l)$: concentration des sels solubles à la surface du sol (eau d'irrigation).

C_{NP} : concentration des sels solubles au niveau de la nappe phréatique .

L : profondeur de la nappe phréatique (du niveau 0,0 du sol jusqu'au niveau 0,0 de la nappe phréatique.)

$U(l) : V_{NP}$: vitesse réelle à la surface du sol et au niveau de la nappe phréatique .

La solution analytique pour une tranche de sol de 0 à L où L est la couche de sol au dessus du niveau de la nappe phréatique . La salinité moyenne C_m dans la couche(L) .[6,34].

$$\bar{C}_m = \frac{1}{2Pe\bar{l}}(e^{2Pe} - e^{2Pe(1-\bar{l})})$$

$$\bar{C}_m = \frac{C_m}{C_{np}}$$

$$Pe = \frac{\varepsilon\Delta}{2mD^*}$$

$$\bar{l} = \frac{l}{\Delta}$$

C_{np} : minéralisation des eaux de la nappe phréatique en (g/l) .

\mathcal{E} : évaporation de la nappe phréatique en (m)

m: porosité du sol

D^* : coefficient de diffusion –convexion en (m^2/j) .

C_m :salinité de la couche de sol considérée.

L : couche de sol considérée en (1m).

Δ :profondeur de la nappe phréatique en(m)

Pe : paramètre de Péclet

II-2 ANALYSE DES TRAVAUX SUR L'EVAPORATION DES EAUX DE LA NAPPE PHREATIQUE

L'analyse des résultats de plusieurs travaux sur l'évaporation et la variation des eaux de la nappe phréatique révèle les faits suivants. [26, 28,30,], figure N°(7, 8, 9)

L'évaporation et la minéralisation des eaux de la nappe phréatique diminuent au fur et à mesure que leur profondeur augmente . La minéralisation des eaux de la nappe phréatique croit au fur et à mesure que la vitesse de leur écoulement diminue et l'intensité de leurs évaporation augmente.

L'influence de la profondeur des eaux de la nappe sur l'intensité de leurs évaporation et leurs minéralisation est accentuée par le type de climat .Plus le climat est aride plus les processus sont importants.(figure N°8). L'évaporation des eaux de la nappe phréatique et l'accroissement de leurs minéralisations jusqu'à 20g /l - 30g/l dans les régions arides de la vallée de VAKHCHA et de la STEPPE DE FAIM commence à une profondeur de 4m, tandis que dans les régions se trouvant plus au Nord à l'exemple de la dépression PRE - CASPIENNE commence à une profondeur de 2m -2.5m .

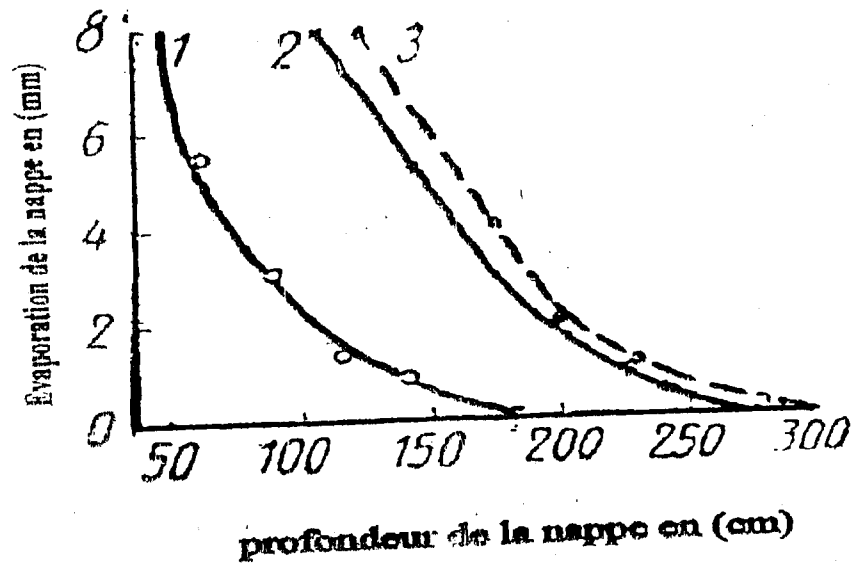


Figure N°07 INTENSITE DE L'EVAPORATION DE LA NAPPE PHREATIQUE EN FONCTION DE SA PROFONDEUR DANS LA REGION D'OUZBESKISTAN.
 1 - REGION NORD (BARABA), 2 - REGION SUD (BOUKHARA), 3 - STEPPE DE LA FAÏM.

Rapport des évaporations nappe/sol en %

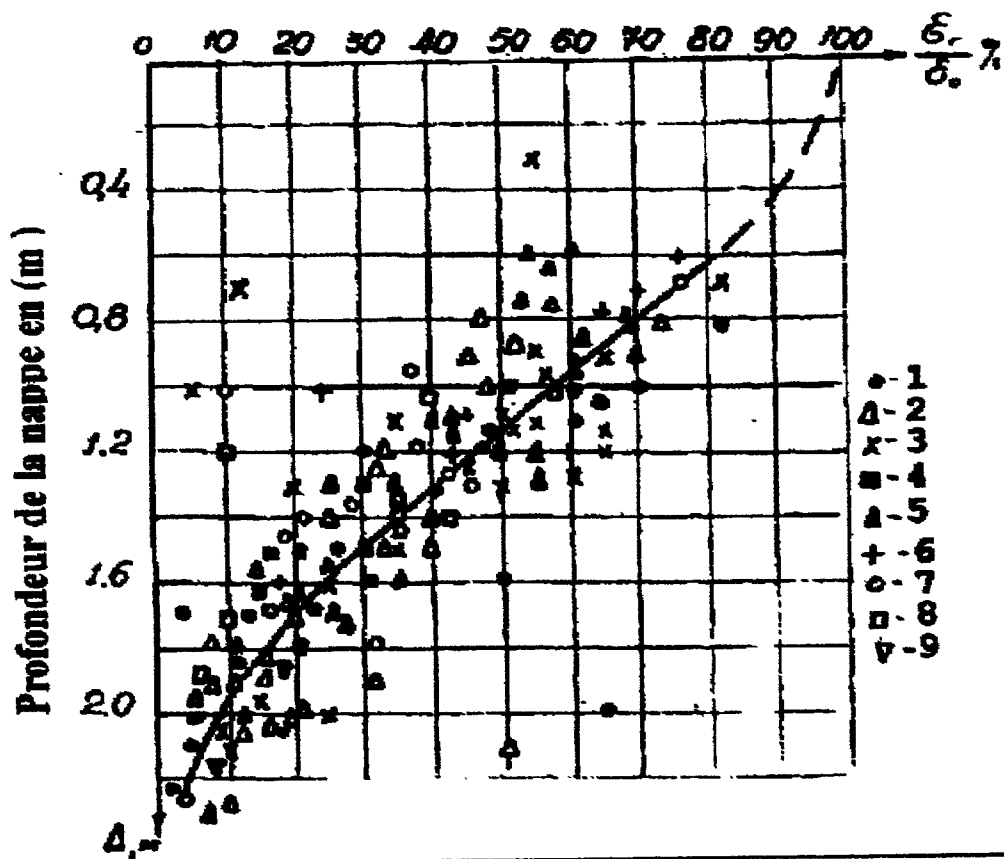
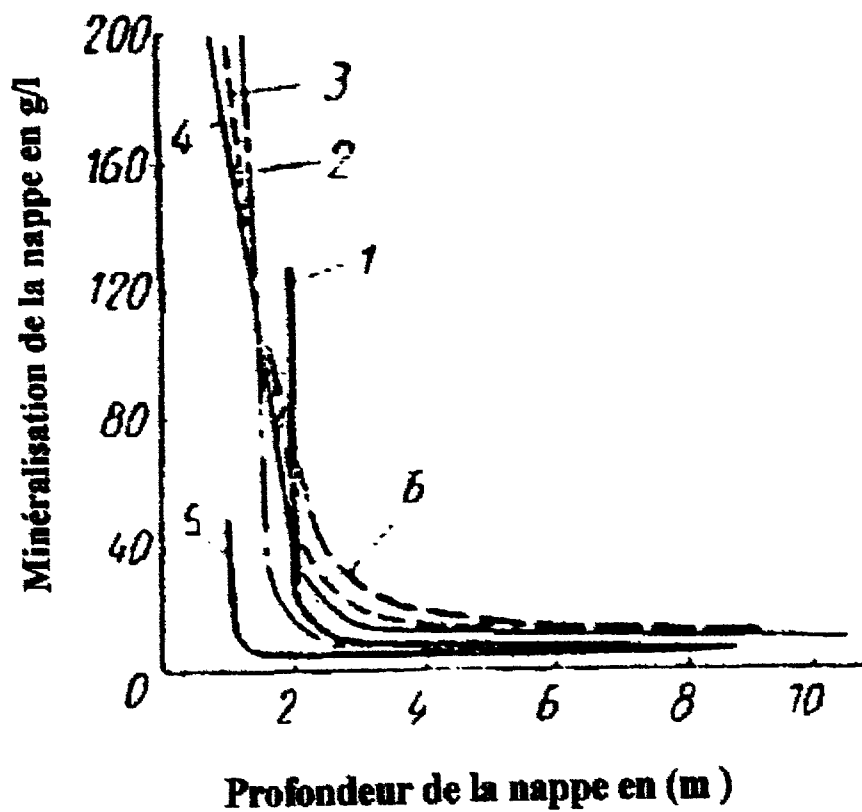


Figure N°9 INTENSITE DE L'EVAPORATION DE LA NAPPE
PHREATIQUE EN FONCTION DE SA PROFONDEURS
(Méthode des échantillons de sol sur 1m d'épaisseur.)

1 - BLED ROZE; 2 - CHINAFYA EL NACIRIA; 3 - KEF CHINAFYA; 4 - LE BAS
RALICE; 5 - AMRA; 6 - DOUBLE DJLLA; 7 - 30 Juillet; 8 - DALMAG; 9 - EL VAGDA



**Figure N° 10 MINERALISATION DE LA NAPPE PHREATIQUE
DE LA REGION D OUZBESKISTAN EN FONCTION
DE SA PROFONDEUR**

1-DELTA DE L AMONDARIA, 2- GOULOUJDJA, 3-STEPPE DE LA
FAIM, 4- BARABA. 5- VALLEE CASPIENNE, 6- VAKCMA

Rapport des évaporations nappe/sol en %

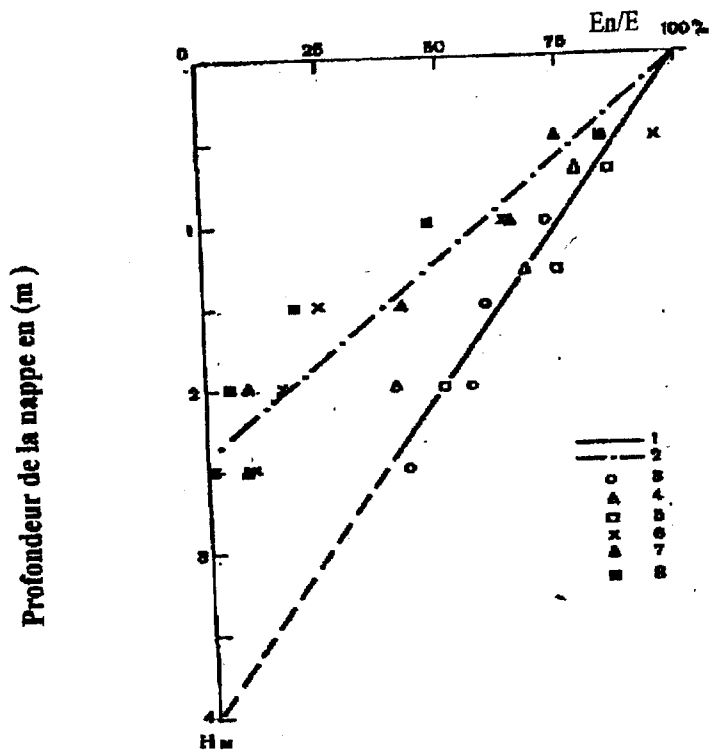


Figure N°5

**RAPPORT DE L'EVAPORATION DES EAUX DE
LA NAPPE PHREATIQUE SUR L'EVAPOTRANSPIRATION
EN FONCTION DE SA PROFONDEUR**

1-coton ; 2- betteraves à sucre ; 3, 6 -1968 ; 4, 7- 1969 ; 5,8- 1970

Plusieurs auteurs [10] , ont relevé la relation directe entre la minéralisation et la profondeur minimale des eaux de la nappe phréatique ou elle doit se maintenir afin d'éviter un énorme sel soluble. Tableau N°4.

TABLEAU DES PROFONDEURS DES EAUX DE LA NAPPE PHREATIQUE RECOMMANDEES EN FONCTION DE LEURS MINERALISATION .[10]

TABLEAU N°4

Minéralisation des eaux de la nappe phréatique en (g/l)	Profondeur de la nappe phréatique en (m)	Source bibliographique
Environ 1 1.0-2.0 2.0-3.0 3.0-5.0 >5	0.8-1.0 1.0-1.5 1.5-2.5 2.5-3.0 >3	P.A.KERZOOM, 1957 pour des sols limons moyens de la vallée VAKMCHSKA
1.5-3.0 3.0-5.0 5.0-7.0	1.5-2.2 2.2-3.0 3.0-3.5	F.M. RAHIMBAYEF , 1967
Jusqu à 2.0 4.0 6.0 10.0	2.0 2.5 3.0 3.3	V.A.KOVDA, 1960 Résidu sec de la solution du sol
1.0-3.0 3.0-5.0 5.0-8.0 8.0-10.0	1.6 2.1-2.3 2.3-2.5 2.5-2.9	D.M.KATZ , 1963 Région de BOUKHARA pour les sols à limon moyen.
1.5 1.5-3.0 3.0-4.0 7.0	1.0 1.0-2.0 2.0-3.0 3.0-4.0	P.A.KENZOOM et GRABOVSKAYA pour la majorité des sols salés du TADJIKINSTAN. 1960

L'analyse des résultats des travaux sur l'évaporation de la nappe phréatique (figure N°8) pour les différentes régions de l'IRAQ, montre que : [34]

Pour une profondeur de la nappe de 2 à 2.3m l'évaporation est de 3%à 7% de l'évapotranspiration

Pour une profondeur de la nappe de 1.4 à 1.8m l'évaporation est de 14% à 35% de l'évapotranspiration.

Pour une profondeur de la nappe de 1.2 à 1.0m l'évaporation de cette dernière est de 43% à 56% de l'évapotranspiration .

De même que l'analyse des courbes de la fraction d'eau évaporé de la nappe en fonction de sa profondeur pour différentes cultures.(Toutes phases végétatives confondues)dans la région de VAKCHA (figure N°10) montre que pour une profondeur de la nappe de 4m dans le cas du coton et pour une profondeur de la nappe de 2.4m dans le cas du betterave à sucre l'évaporation de la nappe est presque nulle.

L'analyse des processus physique du transfert des sels solubles dans les sols et les eaux de la nappe phréatique permet de tirer la conclusion suivante.

Les différents travaux cités précédemment ont pour conséquence la définition d'une certaine profondeur appelée profondeur critique des eaux de la nappe phréatique et de salinisation des sols, c'est la profondeur minimale possible du niveau des eaux de la nappe phréatique pour laquelle après évaporation, la concentration maximale des sels solubles dans le sol est inférieure ou égale à la concentration admissible pour les cultures existantes dans des conditions naturelles concrètes.

La profondeur critique d'évaporation des eaux de la nappe phréatique est celle où l'évaporation des eaux est pratiquement nulle pour différentes régions, certains auteurs ont évalués la profondeur critique d'évaporation des eaux de la nappe phréatique et donnent des relations empiriques.[6,12,13,24]

-Pour les régions arides de l'OUZBESKISTAN

$$Q(h) = q_0 e^{-\frac{h^n}{\alpha}}$$

q_0 : valeur maximale de l'évapotranspiration en mm/j.

n et α : coefficient empirique dont les valeurs sont comprises dans les intervalles (1-3) et (0-30) respectivement pour les régions du sud de OUZBESKISTAN.

S.F. AVERIANO (1965) exprime $Q(h)$ de la manière suivante :

$$Q(h) = q_0 \left(1 - \frac{h}{h_{cri}}\right)^n$$

Avec n qui appartient à l'intervalle $1 < n < 3$

Cette expression montre que la relation entre l'évaporation et la profondeur est linéaire.

Sur la base des résultats des expériences faite dans le lysimètre KATZ.D.M. (1981) dans les différents oasis centrales a obtenue la résolution suivante.

Q : évaporation des eaux de la nappe phréatique en (mm).

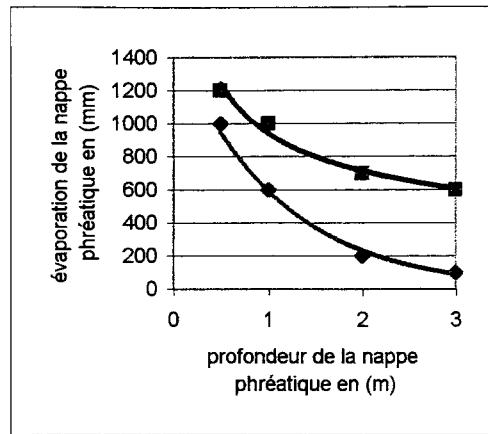
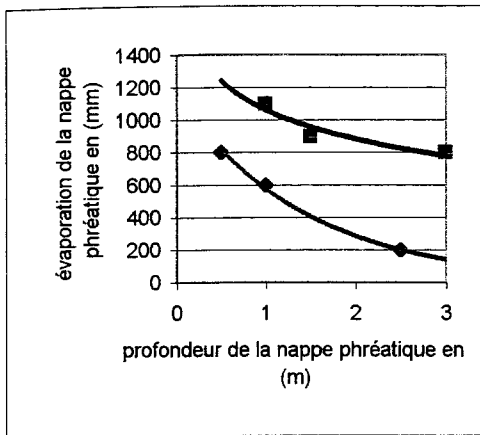
$$Q(h) = \frac{K}{h^n}$$

h : profondeur de la nappe en (m).

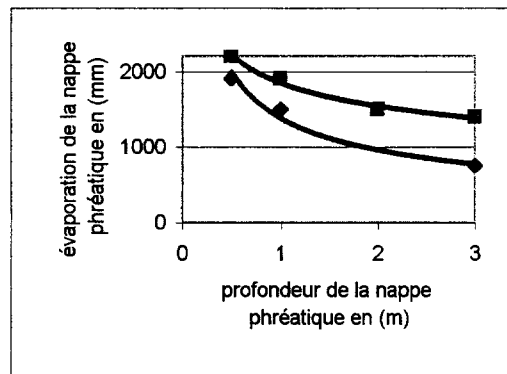
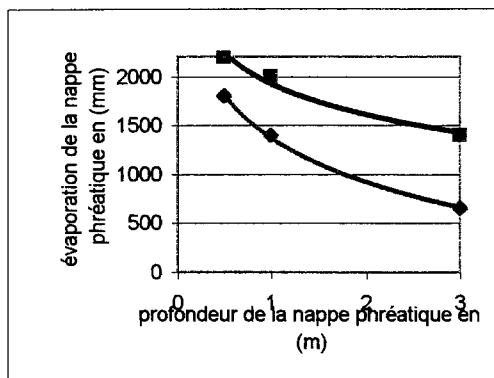
K et n : coefficient empirique.

Des différentes relations citées, nous pouvons conclure, que la profondeur critique des eaux de la nappe phréatique, doit être évalué sur une base expérimentale, pour chaque cas concret de conditions naturelles.

conton [1962- 1967]



LUZERNE[1962- 1967]



SOL NU [1962- 1967]

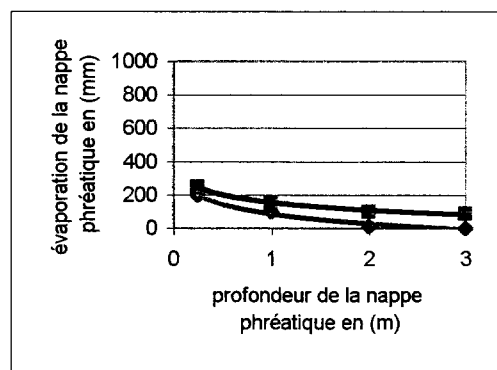
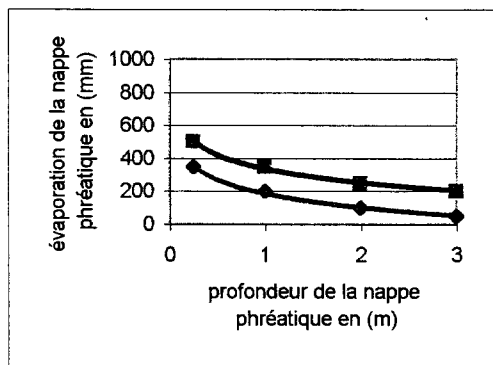


Figure N°10 INTENSITE DE L'EVAPORATION DE LA NAPPE PHREATIQUE EN FOCTION DE SA PROFONDEUR DANS LA VALLEE DE VAKCHA

courbe bleu : évaporation de la nappe phréatique
 courbe noir : évaporation totale

CHAPITRE N° III

DISPOSITIF EXPERIMENTAL ET METHODES DE MESURES

III 1 -DISPOSITIF EXPERIMENTAL

III-1-1 SITUATION GEOGRAPHIQUES DU SITE EXPERIMENTAL.

Le périmètre expérimental se situe à six kilomètres, au Sud - Ouest de la ville de Ouargla. , Couvrant une superficie de 30 hectares dont les altitudes sont comprises entre 132,50m et 134,00 m carte N°2.

Le site se trouve dans une zone peu élevée ,en bordure d'un chott .La dénivelée topographique entre le chott et le site est d'environ de deux mètres.

Il est divisé en 8 parcelles ,4 sont aménagées et les 4 autres forment l'extension qui est pratiquement inexploitées.

Le palmier est la principale culture de l'exploitation avec 1126 palmiers et quelque cultures céréalières et fourragères .

III-1-2 MESURES DES PARAMETRES PHYSICO- HYDRIQUES.

L'analyse granulométrique ,la teneur en eau et la densité du sol ont été déterminées au laboratoire de L.T.P.S. Laboratoire de travaux public Sud

*ANALYSE GRANUOLMETRIQUE

L'analyse granulométrique a été effectuée à l'aide de passoires et tamis de contrôle AFNOR(norme X-11-501) .

Le poids de l'échantillon à analyser est défini dans les limites suivante :

$$200D < P < 600D$$

P : est le poids de l'échantillon exprimé en gramme.

D : la dimension maximum exprimé en millimètre des plus gros éléments c'est à dire le diamètre du trou de la plus petite passoire ou tamis au travers de laquelle passent les plus gros éléments .

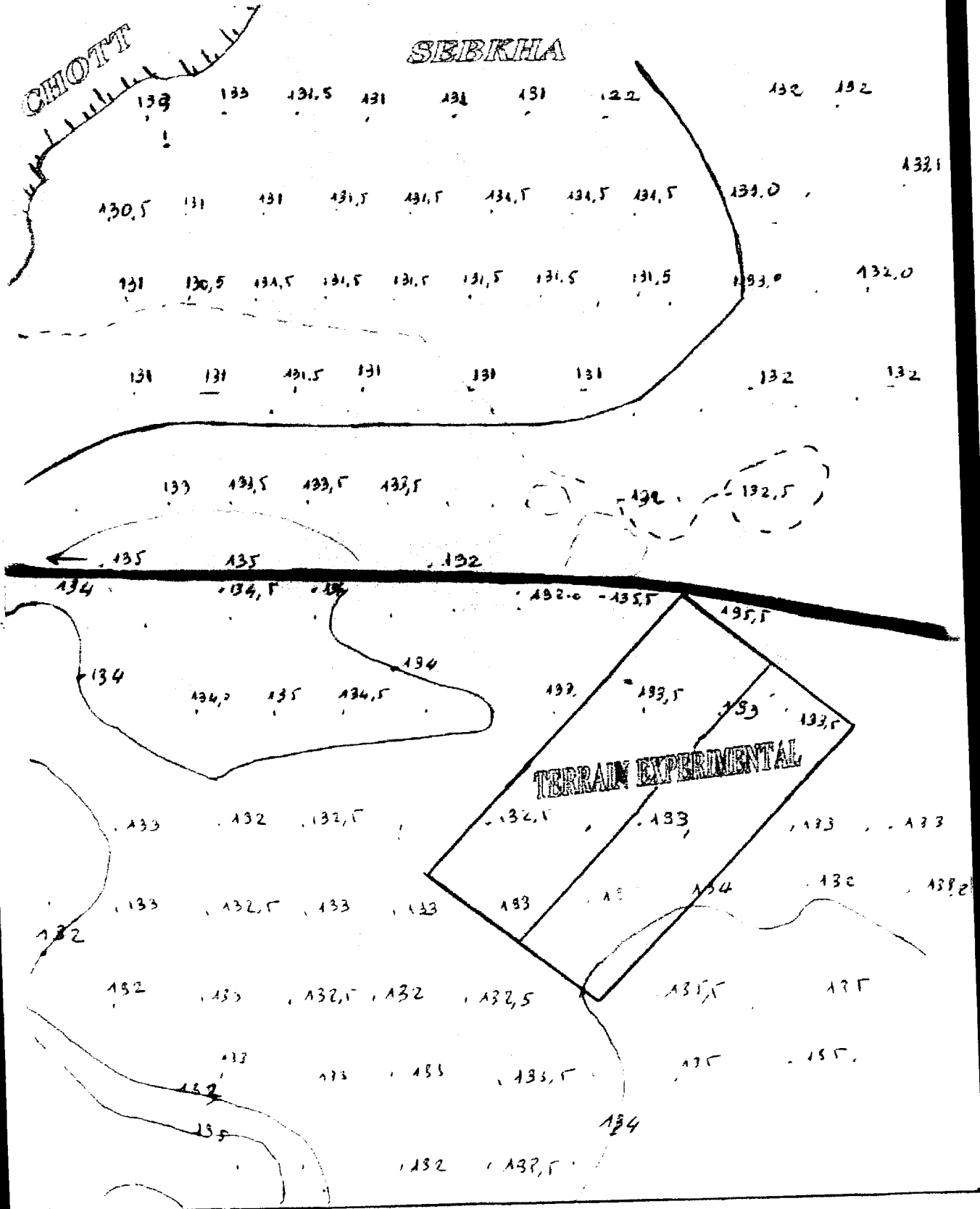
Le matériaux préalablement échantillonné est séché dans une étuve réglée à 105 C°. Après dessiccation complète, on procède à l'élimination des fines particules par lavage continue .

L'eau de lavage est déversé sur un tamis de 0.08mm destiné à retenir les éléments supérieurs qui auraient pu être entraînés. Le refus du tamis 0.08mm est pesé.

Après dessiccation complète du matériau lavé , on procède au tamisage par voie sèche.

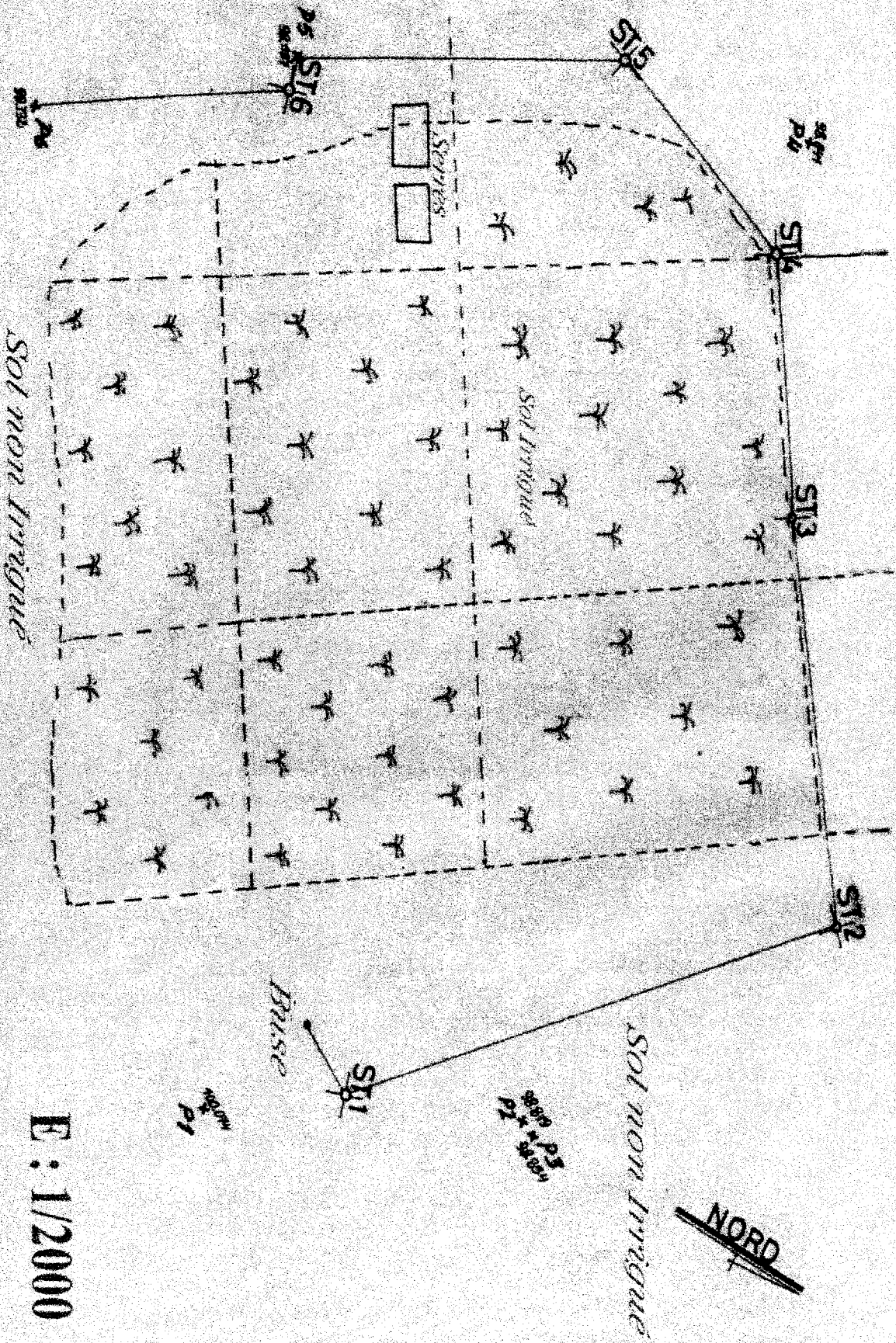
CHOTT

SEBKHA



Carte N° :04 TOPOGRAPHIE LOCALE
 SOURCE : Carte topographique de OUARGLA 1/10000

IMPLANTATION DES PIEZOMETRES



E : 1/2000

* DENSITE

La densité est déterminée par la méthode du moule. Le volume intérieur du moule est connu avec une incertitude de 2⁰/100. La balance a une portée maximale et minimale compatible avec la masse à peser et telle que les pesées sont effectuées avec une incertitude de 1/1000 de la valeur mesurée.

La teneur en eau pondérale des sols est déterminée par étuvage à 105°C°. La masse du sol est choisie en fonction de la dimension des éléments les plus gros que le sol contient.

$$m < 200D$$

m : masse de l'échantillon exprimé en gramme.

D: dimension maximale des plus gros éléments du sol.

L'enceinte thermique ou l'étuve de dessiccation à température 105°C° est de classe d'exactitude C, comme défini la norme NF.15-016. L'évaporation de l'eau est considérée comme achevée si la masse de la prise d'essai n'a pas varié de 2/1000 entre deux pesées consécutives .

La durée totale du séchage est au minimum de 4 heures.

III-1-3 IMPLANTATION DES PIEZOMETRES ET MODE OPERATOIRE

Cinq piézomètres temporaires ont été implantés en dehors des limites des secteurs mis en valeur carte N°3 afin d'éviter l'influence directe de l'apport d'eau d'irrigation(régime stationnaire).La décharge de la nappe phréatique se fait uniquement par évapotranspiration .

La distance séparant les différents piézomètres est de:

p1-p2 est de 110m.

p2-p3 est de 364m.

p3-p4 est de 178m.

p4-p5 est de 98m .

Avant chaque campagne de mesure , les piézomètres sont nettoyés et protégés à la fin de l'opération.

La mesure de la profondeur de l'eau de la nappe phréatique est réalisée à l'aide d'une sonde électrique de type A. OTT 27-39

La prise de l'échantillon de l'eau de la nappe phréatique pour analyse chimique a été réalisée sur le quatrième volume (3 volumes sont rejetés et le 4ème volume est pris pour analyser). En même temps une prise d'échantillon du sol sur trois profondeurs de 0-30cm, 30-60cm, 60-90cm, sur un rayon de 1m au niveau de chaque piézomètres est réalisée .

Chaque campagne de mesure comporte deux étapes.

Première étape : analyse des eaux de la nappe phréatique .

Cette étape consiste à la détermination du résidu sec et de la mesure de la profondeur des eaux de la nappe phréatique à raison de deux fois par mois.

Deuxième étape :Analyse du sol .

Elle consiste à la détermination du résidu sec et de la concentration en chlorure du sol .

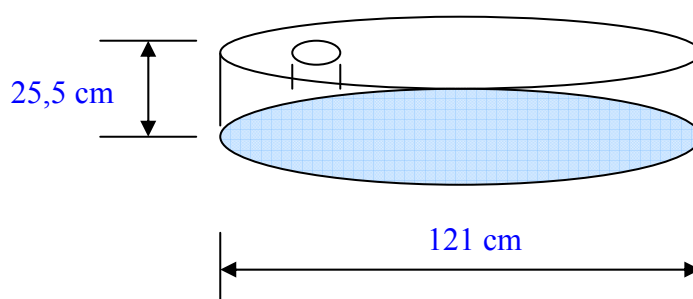
Les méthodes utilisées sont , l'analyse des concentrations en chlorures où on a utilisé la méthode absorbance à réactif thiocyanate de mercurique ($\text{Hg}(\text{SCN})_2$) à lecture directe par le spectrophotomètre DR/2000 HACH de 480nm de longueur d'onde ,après avoir déterminer la conductivité électrique. Et l'analyse des concentrations en résidu sec ou on a utilisé un sol dilué à 1/5 par étuvage à 110C°.

III-1-4 DISPOSITIF DE MESURE DE L'EVAPOTRANSPIRATION

L'évaporation est mesurée sur le site expérimental par un bac de classe A de 121cm de diamètre et de 25.5 cm de profondeur fabriqué en fer galvanisé de 0.79 mm d'épaisseur .Le bac est monté sur un cadre en bois formant une plate forme .

Le bac est rempli d'eau jusqu'à 5cm du bord et le niveau ne doit jamais descendre au-dessous de 7.5 cm.

La lecture de l'évaporation donnée par le bac A est prise chaque jour à 9h ,13h,18h..



III-2- METHODES DE MESURES

III-2-1- METHODE DE MESURE UTILISEE POUR DETERMINER L'EVAPORATION A LA SURFACE DU SOL EN ABSENCE D'UNE NAPPE PHREATIQUE

Le bac de classe A permet de mesurer l'effet intégré du rayonnement , du vent ,de la température et de l'humidité sur l'évaporation d'une surface d'eau libre .

L'emplacement du bac et le milieu environnant jouent sur les résultats .

Selon l'emplacement la méthode de l'évaporation en bac peut être mise au second rang après la formule de Penman.

Pour établir une relation entre l'évaporation en bac et l'évapotranspiration de la culture de référence (ET) , il est suggéré d'utiliser des coefficients empiriques qui tiennent compte du climat et du milieu environnant.

L'évapotranspiration de culture de référence (ET) est établit par la relation suivante :

$$ET = E K_p \quad (14)$$

$$K_p \text{ varie de } 0.4 \text{ à } 0.85 \quad [21]$$

Afin de pouvoir calculer l'évapotranspiration dans notre site, on a récolté les données climatiques de la station de l'aéroport qui a les mêmes caractéristiques physiques que notre site (surface plane illimitée et nue).

Les données climatiques (température de l'air, l'humidité de l'air, vitesse du vent) sont données en annexe (N°1 au N°5).

III-2-2- EVALUATION DE L'EVAPORATION DE LA NAPPE PHREATIQUE.

Pour la détermination du paramètre recherché, on a utilisé la solution de S.F. AVERIANOV, qui permet d'évaluer la quantité des sels solubles dans le sol en présence d'une nappe phréatique salée et proche de la surface du sol dans des conditions naturelles [6,34].

En intégrant l'équation d'AVERIANOV de 0 à ℓ , où ℓ est la couche de sol au dessus du niveau de la nappe phréatique, S.F. AVERIANOV obtient la relation pour la détermination de la salinité moyenne de la couche considérée d'épaisseur (ℓ).

$$\bar{C} = \frac{1}{2 P_e \ell} (e^{-2 P_e} - e^{-2 P_e (1 - \bar{\ell})})$$

$$P_e = \frac{\varepsilon \Delta}{2 m D^*}, \quad \bar{\ell} = \frac{\ell}{\Delta}, \quad \bar{C} = \frac{C_s}{C_n}$$

\bar{C} : concentration réduite, g/l.

C_n : concentration en sel des eaux de la nappe phréatique, g/l.

C_s : concentration en sel de la couche de sol considérée, g/l.

Δ : profondeur de la nappe phréatique, m.

ε : évaporation de la nappe phréatique, m.

m : porosité de la couche de sol considérée, %.

D^* : coefficient diffusion-convexion, m^2/j .

Pe : nombre de Peclet.

Ayant les concentrations moyennes de la solution du sol sur 1m d'épaisseur, des eaux de la nappe phréatique et la profondeur, on détermine les valeurs de nombre de Peclet (Pe), par itération de façon à obtenir la concentration réduite.

Connaissant les caractéristiques physiques du sol, la porosité et le coefficient de diffusion-convexion des sols du site expérimental, on détermine l'évaporation de la nappe phréatique en (mm/j).

la porosité effective et le coefficient de diffusion-convexion ont été déjà déterminés [31].

$$m=0.33 \text{ et } D^*=0.029 \text{ m}^2/\text{j}$$

CHAPITRE N°IV

RESULTATS EXPERIMENTAUX

IV-1 PARAMETRES PHYSICO- HYDRIQUES DU SOL

Les échantillons prélevés dans les différents sondage ont montré que le sol du site expérimental est constitué de sable de différentes couleurs : marron , jaune et rouge.

Les sables marrons constituent la tranche comprise entre 0 et 2 m. Les essais d'identifications montrent une teneur en eau comprise entre 22% et 27% et les densités varient entre 1.10 t/m³ et 1.40 t/m³. Les valeurs obtenues sont faibles, ceci est d'une part à l'existence des sels et d'autre part aux pertes de poids constatés après passage à l'étuve. Ce phénomène n'est pas du uniquement à l'évaporation de l'eau ,mais aussi à la décomposition des éléments végétaux contenus dans le sol .

L' analyse granulométrie représenté montre que l'on est en présence d'un sable fin.

Les sables jaunes constituent la tranche comprise entre 2-7m ont une teneur en eau d'environ 18%. Le degré de saturation est supérieur à 60%. Les densités varient entre 1.60 et 1.70 t/m³. Leur granulométrie est dans la catégorie des sables fins.

Les sables rouges constituent la tranche comprise entre 8-10m .Ce sont les sables du substratum de toute la ville de Ouargla ils se présentent comme des sables fins, les densités mesurées sont voisines de 1.6 t/m³ . Ces sables dans les derniers mètres sont gresifiés.

TABLEAU N°05 RESUMANT LES CARACTERISTIQUES_PHYSICO- HYDRIQUE DU SOL .

janvier 2000.

Sondage	Intervalle échantillonné	Nature	W%	D t/m ³	% des INF à 0.2mm	% des INF à 80µ
1	0à1m.	Sable marron	22.2	1.14	60	27
	2à6m.	sable jaune	24.4	1.60	70	15
	8à10m	sable rouge	19.9	1.60	82	27
2	0à1m	Sable marron	27.6	1.10	65	30
	3à6m	sable jaune	16.3	1.70	85	15
3	5à7m	Sable jaune	17.9	1.70	70	20
	8à10m	sable rouge	14.8	1.60	98	29
4	4à5m	Sable jaune	17.4	1.80	75	20

IV-2 SALINITE DU SOL

Le résidu sec des sols mesuré au niveau de chaque piézomètre sur une couche d'épaisseur de 1m est donné aux annexes (N°6 au N°16).

On constate que/ Figure N°11 ,12

-La concentration en résidu sec dans le sol a augmenté de 14.2g/l en moyenne à la fin de la saison expérimentale.

-Le résidu sec a augmenté dans la tranche de sol sur 1m d'épaisseur de février à Août

IV-3 MINERALISATION DE L'EAU DE LA NAPPE PHREATIQUE

On donne à l'annexe N°17 les résultats des analyses de la minéralisation des eaux de la nappe phréatique du site expérimental et ceux donnés par [1] pour les eaux de la nappe phréatique de la cuvette de Ouargla durant les années (1994-1996-1998-2000).

La minéralisation de l'eau de la nappe phréatique située dans le site expérimental atteint 25g/l en s'approchant de la surface du sol et celle déterminée par [1] atteint 400g/l dans les zones des chotts.

IV-4 EVAPOTRANSPIRATION

Les tableaux des annexes N°(20,21,22) donnent les valeurs expérimentales de l'évapotranspiration (E_T) mesurée par le bac classe A jour par jour compté du 1^{er} janvier au 31 Août.

La vitesse des vents (V) et l'humidité relative (Hr) sont données par l'O.N.M.

Le coefficient (Kp) est déterminée d'après le bulletin de [22]

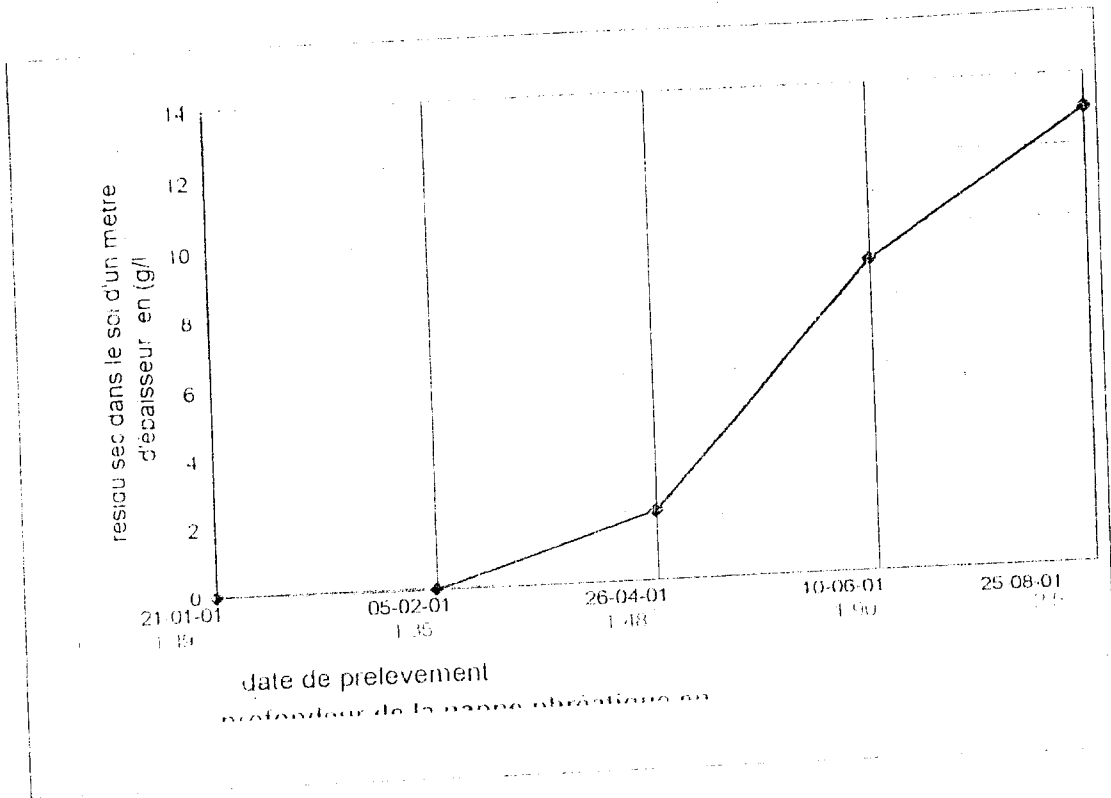
Les valeurs de l'évapotranspiration du site expérimentale du tableau N°6 sont déduites directement à partir des mesures journalières de l'évapotranspiration données par les tableaux des annexes(N° 20 , 21 ,22°).

Evapotranspiration ET moyen journalière enregistrée au mois de novembre et décembre 2000 sont données par l'O.N.M. Ouargla.

TABLEAU N°06 EVALUATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION

date	1/11/00 au 30/11/00	30/12/00 au 31/12/00	31/12/00 au 21/01/01	21/01/01 au 05/02/01	05/02/01 au 25/02/01
Et moyen en mm/j	6.026	6.75	1.79	1.51	2.5
date	25/02/01 au 19/03/01	19/03/01 au 26/04/01	26/04/01 au 10/06/01	10/06/01 au 05/07/01	05/07/01 au 25/08/01
Et moyen en mm/j	3.94	3.57	7.07	8.98	11.91

PIEZOMETRE N° 1



PIEZOMETRE N°2

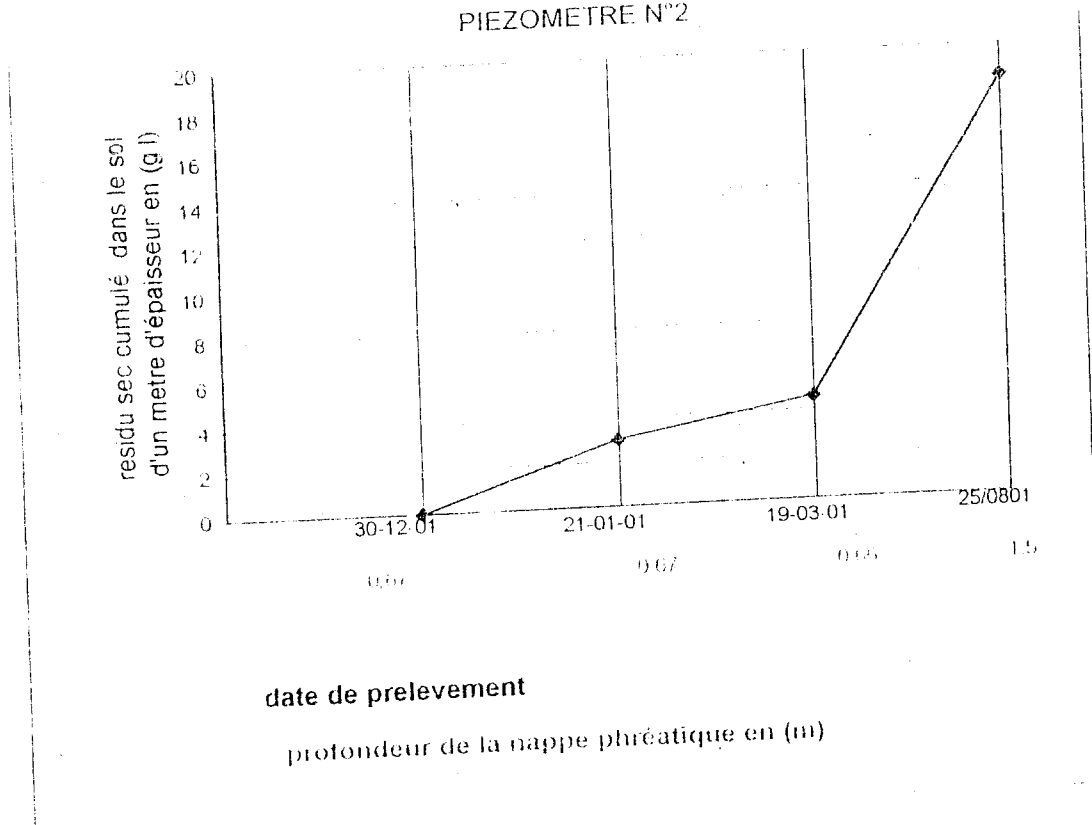
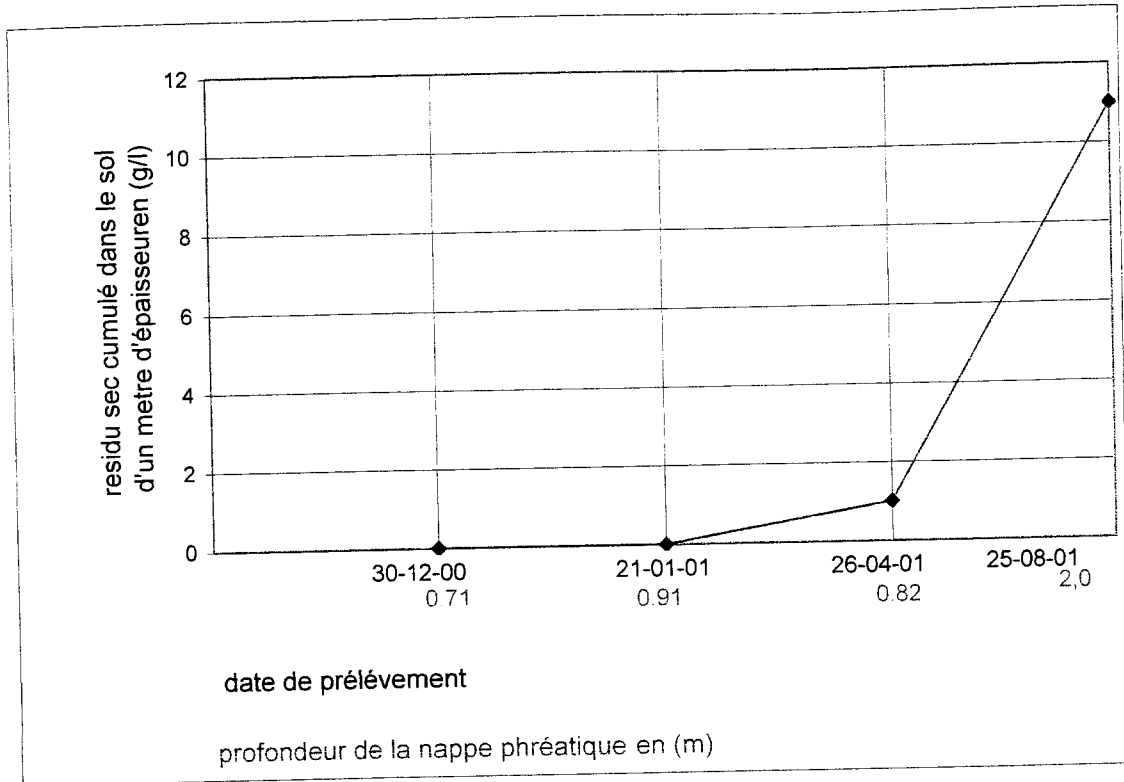


FIGURE N° RESIDU SEC DEPOSE DANS LE SOL D'UN METRE D'EPAISSEUR DURANT LA PERIODE EXPERIMENTALE

PIEZOMETRE P3



PIEZOMETRE P4

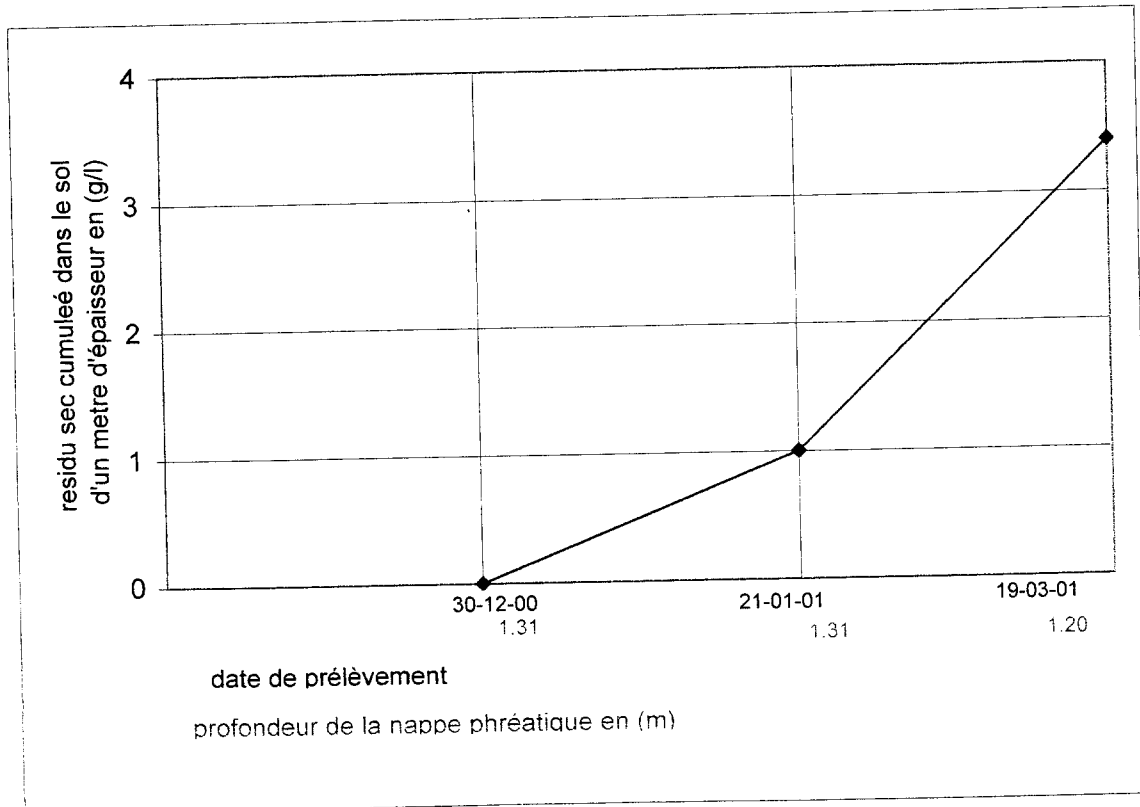


Figure N° 12 RESIDU SEC CUMULE DEPOSE DANS LE SOL D'UN METRE D'ÉPAISSEUR DURANT LA PERIODE EXPERIMENTALE

CHAPITRE N°V

TRAITEMENT DES RESULTATS

V-1 VARIATION DU RESIDU SEC DANS LA TRANCHE DE SOL DE 1m EN FONCTION DE LA PROFONDEUR DES EAUX DE LA NAPPE PHREATIQUE

a- Les tableaux numérotés 8 à 12 donnés en annexes du N°6 au N°12 ont montré que la minéralisation des sols diminue sous l'effet des pluies.

Ce phénomène est constaté au niveau des cinq piézomètres durant les périodes d'observation s'écoulant du 12 novembre au 30 décembre 2000 et du 21 janvier au 05 février 2001.

Les précipitations enregistrées durant cette période sont respectivement de 36.4mm et 32mm .

PIEZOMETRE P1

b- La minéralisation du sol au niveau du piézomètre P1 est restée constante aux environs de 5g/l entre la période 30/12/2001 et 21/01/2001 ou la nappe était à des profondeurs respectives de 1.34m et de 1.49m.

Elle a augmenté de 2g /l pour la même profondeur de la nappe durant la période écoulée entre le 05/02/2001 et le 26/04/2001.

Malgré que la température est moins forte durant le printemps qu'en été, l'augmentation de la minéralisation du sol est plus conséquente.

En effet cette minéralisation a augmenté de 7 g/l entre le 26/04 et de 10/06 et de 3.7g/l entre le 10/06 et 25/08 de la même année .

La profondeur de la nappe phréatique mesurée aux dates sus-indiquées était respectivement de 1.48m, 1.9m et 2.5m.

PIEZOMETRE P2

c- Pendant la période du 30/12/2001 au 21/01/2001, la profondeur de la nappe phréatique au niveau du piézomètre P2 est restée constante à 0.67m tandis que la minéralisation a augmenté de 3g/l .

Durant la période du 05/02 au 19/03 de la même année ,la nappe était respectivement à une profondeur de 0.58m et 0.66m , la minéralisation du sol a augmenté de 1.6g/l .

En période chaude du 10/06/2001 au 25/08/2001, l'augmentation de la minéralisation est de 14g/l et la nappe est restée a une profondeur constante de 1.5m.

PIEZOMETRE P3

d- Le phénomène observé au niveau du piézomètre P1 se produit au niveau de ce piézomètre. La minéralisation du sol est restée constante durant la période du 30/12/2001 au 21/01/2001 ou la profondeur de la nappe était respectivement de 0.71m et 0.91m.

Du 19/03/2001 au 26/04/2001 le niveau de la nappe a baissé de 0.72m à 0.82m et l'augmentation de la minéralisation a été de 1g/l.

Pendant la période chaude du 10/06 au 25/08 de la même année la profondeur de la nappe est passée de 1.69m à 2m tandis que, la minéralisation a augmenté de 10g/l.

PIEZOMETRE P4 e- La minéralisation du sol au niveau du piézomètre N°4 a augmenté de 1g/l, pendant la période du 30/12/2001 au 21/01/2001 ou la profondeur de la nappe est restée constante à 1.31m.

Durant la période du 05/02/2001 au 19/03/2001 la profondeur de la nappe phréatique a baissé de 1.06m et 1.20m , l'augmentation de la minéralisation était de 2.4g/l.

Après cette date, les mesures sur ce piézomètre sont suspendues et cela est dû au bouchage du piézomètre.

PIEZOMETRE P5

f- La profondeur de la nappe phréatique au niveau du piézomètre N°5 est restée constante jusqu'au mois de juillet à environ 1.9m.

Pendant la période chaude du 10/06/2001 au 25/08 de la même année le niveau de la nappe phréatique est descendu à 2.5m, alors que la minéralisation est passée de 10.5g/l à 24 g/l soit une augmentation de 14.5 g/l environ.

La minéralisation du sol est en fonction de la saison et de la profondeur de la nappe phréatique voir graphes représentées sur les figures N°(11,12 ,13).

V-2 VARIATION DU RESIDU SEC DANS LE SOL ET LES EAUX DE LA NAPPE PHREATIQUE

Le sol objet de l'étude expérimentale, est nu et n'est pas soumis à un lessivage par irrigation .Sa salinisation provient uniquement de la décharge des eaux de la nappe phréatique

D'après le graphe de la figure N°14, on constate que le residu sec du sol et des eaux de la nappe phréatique augmente lorsque le niveau se rapproche de la surface de sol . Ceci fait que les deux courbes sont pratiquement parallèles.

A partir d'une profondeur d'environ 0.95m, l'augmentation de la concentration devient de plus en plus accentuée.

les mêmes phénomènes sont observés dans le graphe de la figure N°13 (observations réalisés par [1], dans la cuvette de Ouargla durant les années (1994-1996-1998-2000)). Au delà de 8m de profondeur ,le residu sec devient faible. Dans la couche de 8 à 4 m le residu sec augmente au environ de 25g/l ,dans la couche de (4 à 2m) , de 25g/l à plus de 150g/l et dans la couche de (0 à 2 m) de profondeur , le residu sec augmente de 150 à 250g/l.

Le graphe de la figure N°16 portant sur le rapport du residu sec sol/nappe, montre que l'évolution se fait dans le même sens que celui du sol et des eaux de la nappe pris séparément figure N°14 .

Ceci montre que : la principale cause de l'évolution de la salinité du sol est l'évaporation des eaux de la nappe phréatique.

Le residu sec des eaux de la nappe phréatique augmente rapidement dans la couche de 2à 0m de profondeur , figure N°(14,15) et le rapport residu sec sol/ residu sec nappe devient supérieur à 1, figure N° 16.

Ce phénomène s'explique par le fait que les eaux de la nappe phréatique salées de nature déposent leurs sels sur le sol en s'évaporant.

VI-3 FLUCTUATION DU NIVEAU DES EAUX DE LA NAPPE PHREATIQUE

VI-3-1 FLUCTUATION DE LA NAPPE PHREATIQUE

Les résultats obtenues pour les différentes périodes, révèlent un rabattement considérable de la nappe phréatique. tableau N°.[6]

Ce rabattement est dû à un phénomène principal qui est l'évapotranspiration

Cette évapotranspiration est due à l'augmentation de la température enregistrée durant la période chaude (40 °C) environ (voir annexe N°1).

période chaude TABLEAU N°06

N	Profondeur de la nappe en(m) à la date indiquée	Profondeur de la nappe en(m) à la date indiquée	No de jours	Rabattement de la nappe en (m)
1	1.48 (24/04/01)	2.3 (25/08/01)	122	0.82
2	0.58 (19/03/01)	1.5(25/08/01)	129	0.92
3	0.82 (26/04/01)	2 (25/08/01)	122	1.18
5	1.92 (10/06/01)	2.5 (25/08/01)	77	0.58

Les résultats portés sur la figure N° (17, 18), montre que l'eau évaporée en grande quantité dépose ses sels dans le sol en particulier la zone racinaire (0m- 0.95m) d'épaisseur.

VI-3-2 EVALUATION DE L'EVAPORATION DES EAUX DE LA NAPPE PHREATIQUE

L'évaporation est évalué par le modèle mathématique d'AVERIANOV .S.F et l'évapotranspiration est mesurée par le bac classe A.

Le rapport évaporation nappe/ évaporation à la surface du sol en % est représenté par le graphe de la figure N°18.

On peut déduire du graphe que :

-Dans la couche situé entre 0-0.95m, la nappe est soumise à une évaporation direct. Le rapport de l'évaporation de la nappe à celle de la surface du sol est égale à 1.

- Ce rapport diminue au fur et à mesure que le niveau de la nappe baisse .

- Entre 0.95m et 1.5m l'évaporation de la nappe décroît de 70% par rapport à l'évapotranspiration.

- à de 2m de profondeur ce rapport (E/Et) est de 10%.

-Au delà de 2.5m l'évaporation de la nappe devienne inférieur 10% del'évapotranspirationration .figure N°18.

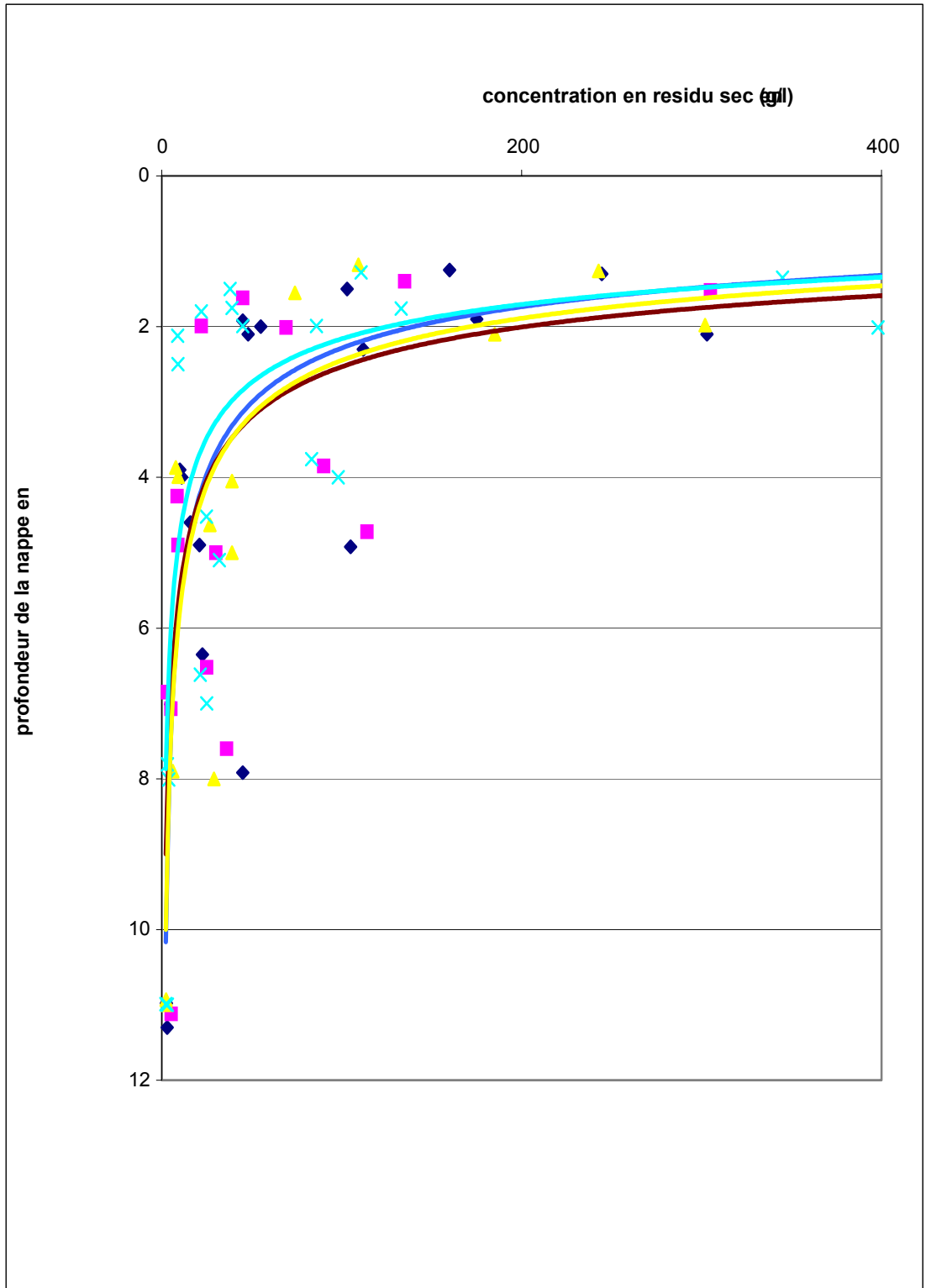
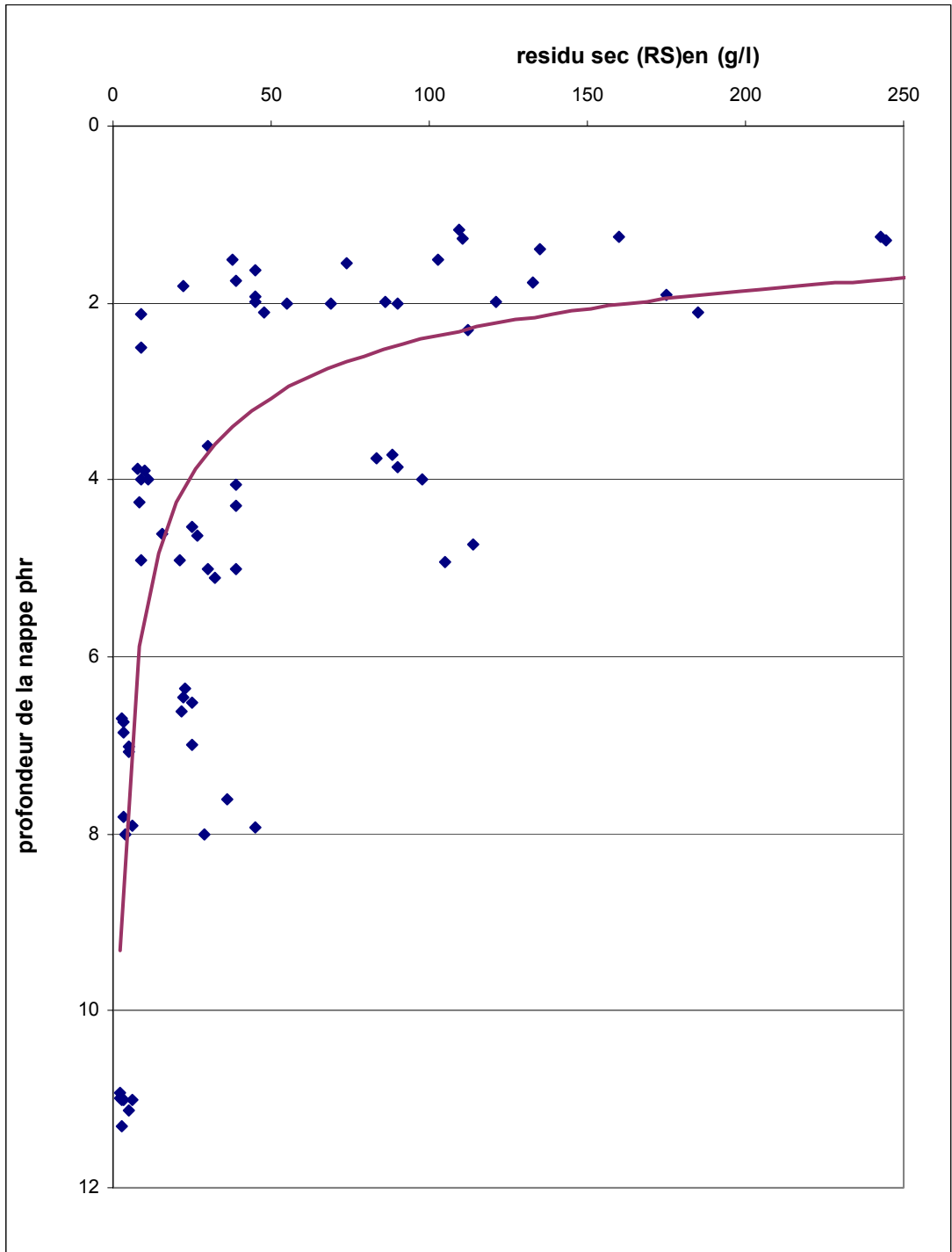


Figure N° 13 RESIDU SEC DES EAUX DE LA NAPPE PHREATIQUE EN FONCTION DE SA PROFONDEUR



**Figure N⁰ 15 RESIDU SEC DES EAUX DE LA NAPPE PHREATIQUE
EN FONCTION DE SA PROFONDEUR
Courbe moyenne**

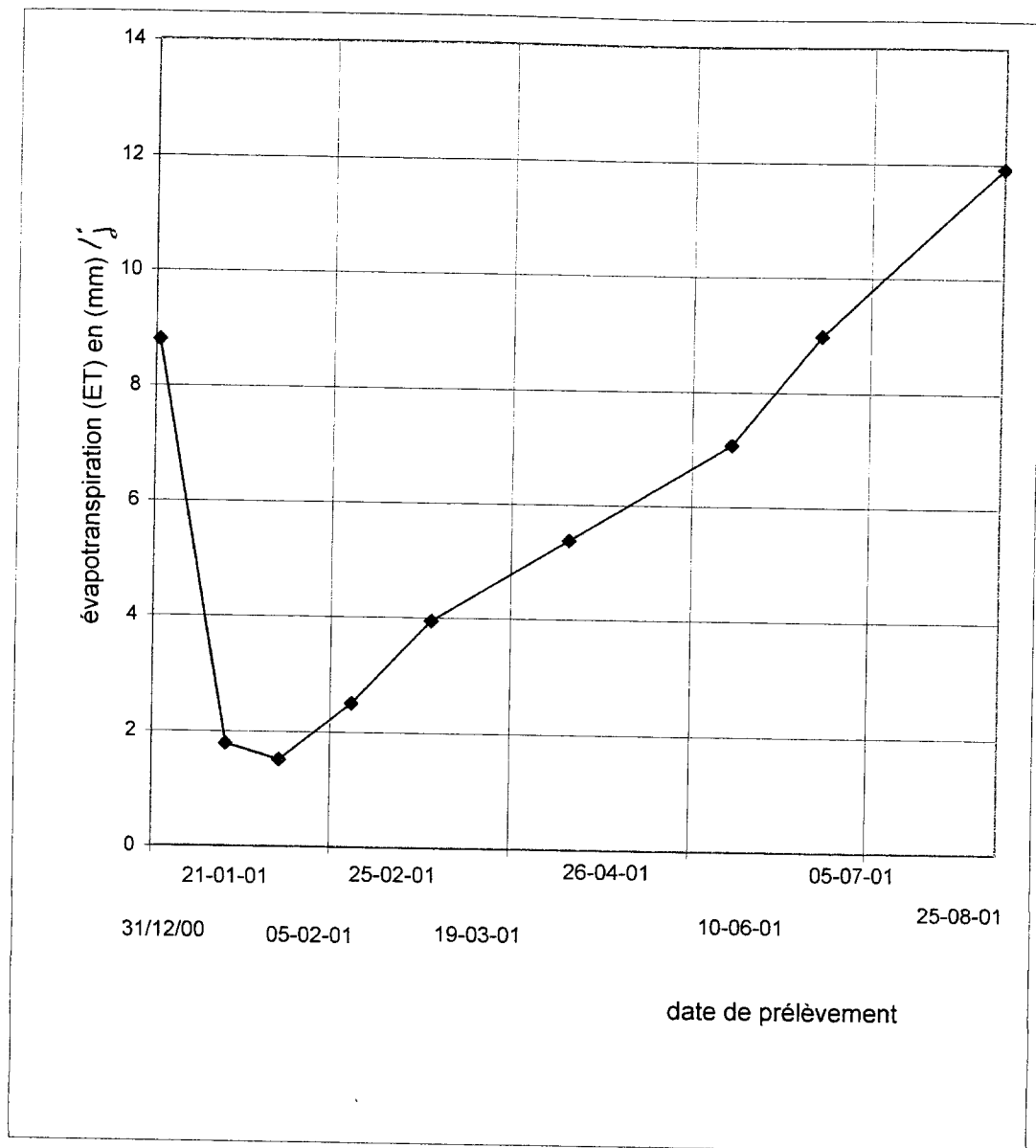


Figure N° 17 EVALUATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION DURANT LA PERIODE EXPERIMENTALE

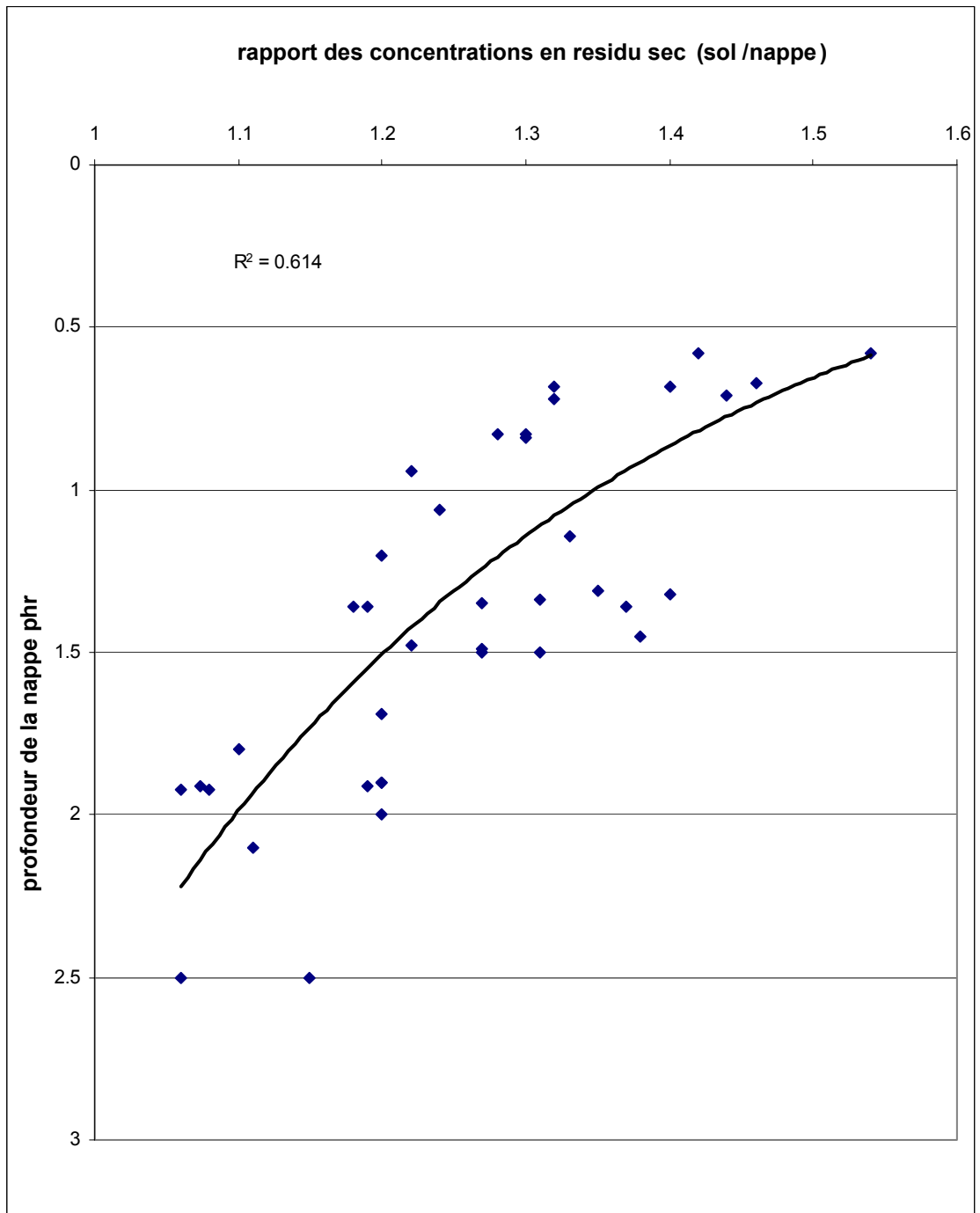
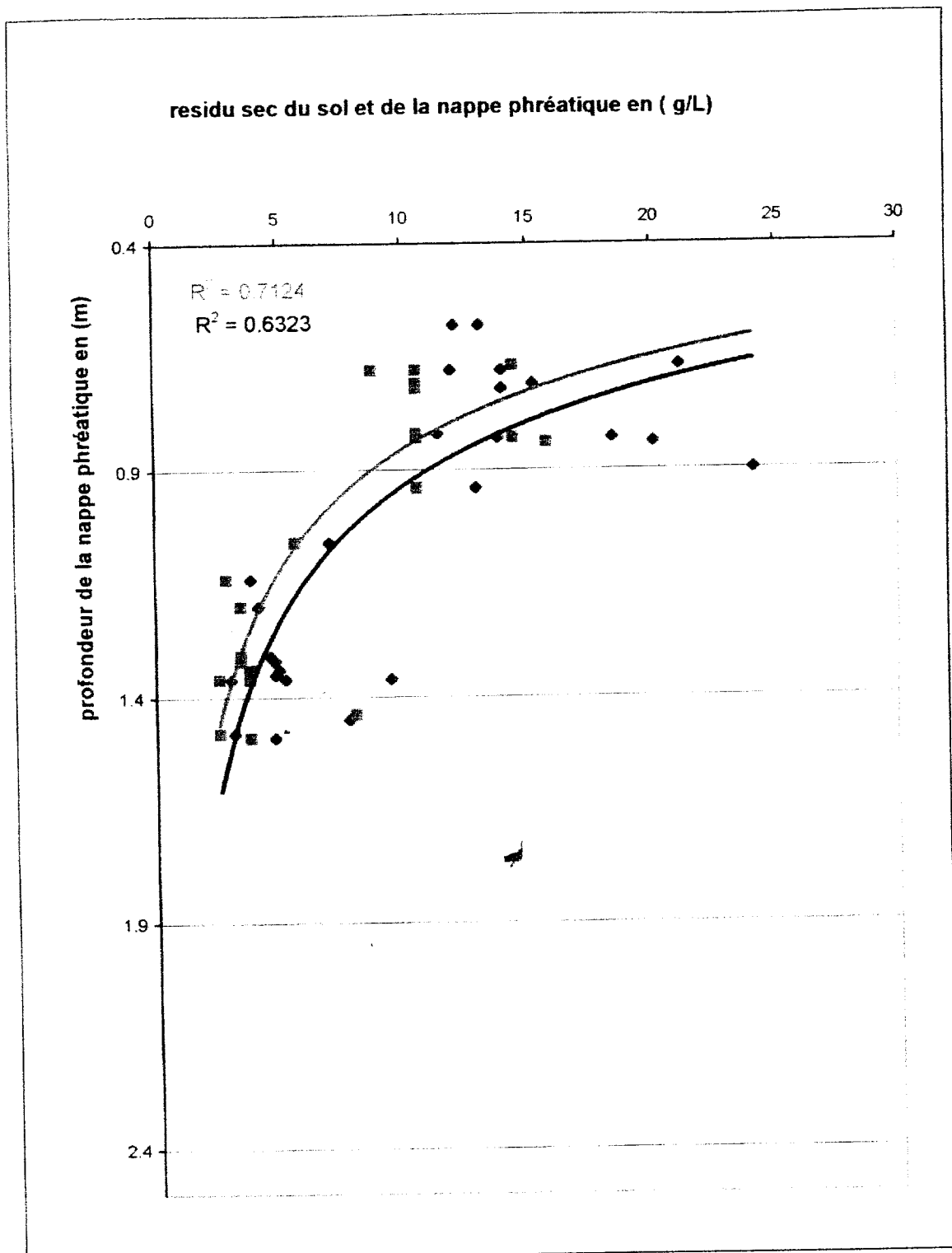


Figure N°16 VARIATION DU RAPPORT DU RESIDU SEC DANS LA COUCHE DE 1m D'ÉPAISSEUR DE SOL ET DES EAUX DE LA NAPPE PHREATIQUE EN FONCTION DU NIVEAU DE SES EAUX



**Figure N° RESIDU SEC DU SOL ET DES EAUX DE
NAPPE PHREATIQUE EN FONCTION DE LA
PROFONDEUR**

<p>■ residu sec du sol sur 1m d'épaisseur en fonction de la profondeur de la nappe phréatique</p>	<p>◆ residu sec de la nappe phréatique</p>
---	--

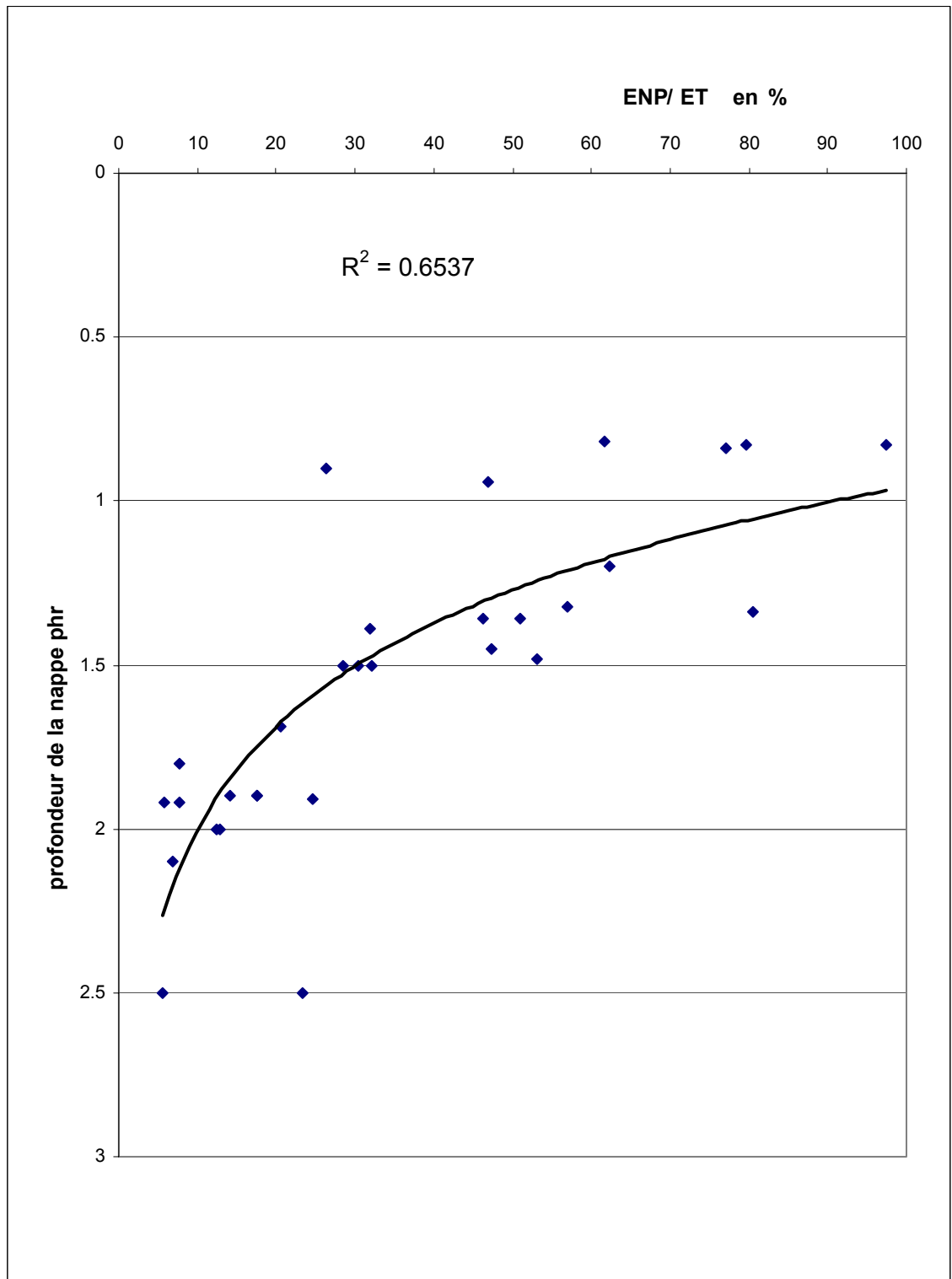
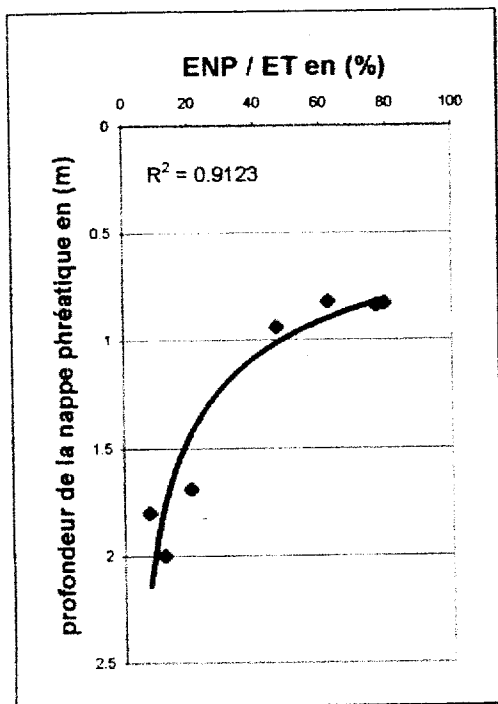
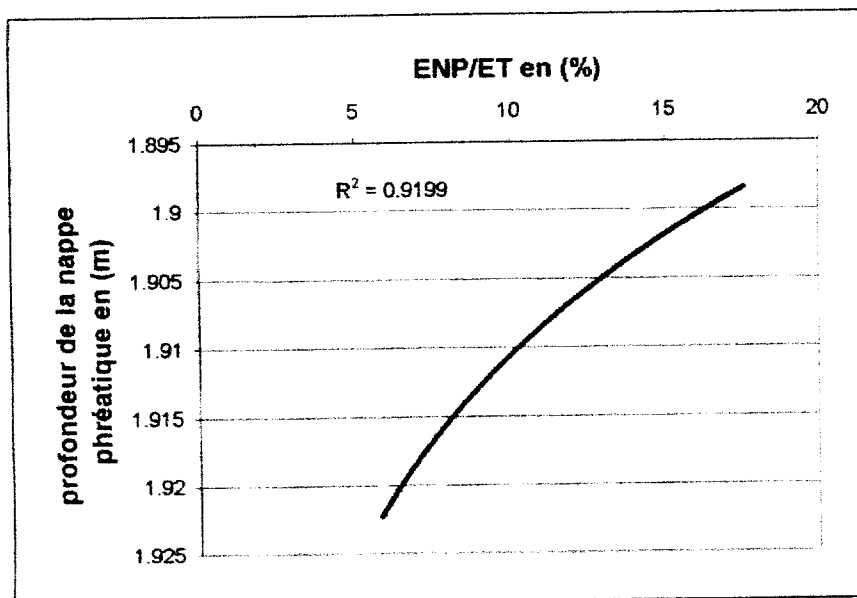
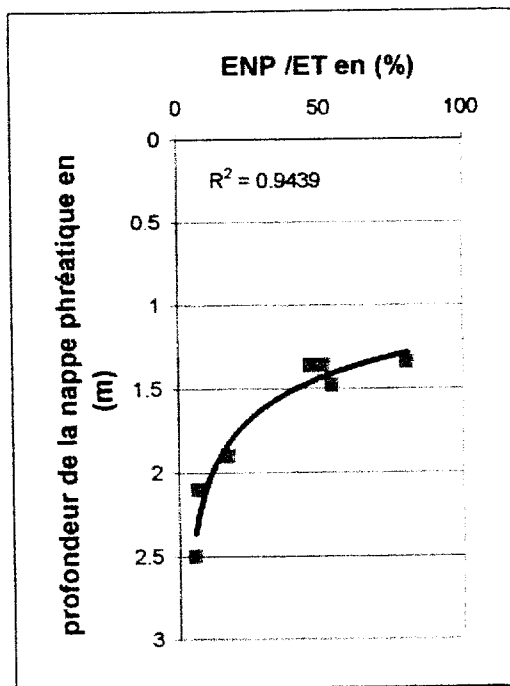


Figure N°18 VARIATION DU RAPPORT DE L'EVAPORATION DE LA NAPPE PHREATIQUE TE DE L'EVAPOTRANSPIRATION EN FONCTION DE LA PROFONDEUR DES EAUX DE LA NAPPE PHREATIQUE PROFONDEUR NIVEAU DE SES EAUX

PIEZOMETRE N° 1



PIEZOMETRE N°3



PIEZOMETRE N°5

Figure N° VARIATION DU RAPPORT DE L'EVAPORATION DE LA NAPPE ET DE L'EVAPOTRANSPIRATION EN FONCTION DE LA PROFONDEUR DES EAUX DE LA NAPPE

CONCLUSION GENERALE

Depuis l'indépendance , la cuvette de Ouargla a connu un développement important dans tous les domaines : Urbanistique , Agricole , Industriel.

Ce phénomène a été accentué par l'émigration. massive de la population vers Ouargla .

Durant cette même période , le secteur de l'agriculture a connu lui aussi un développement important avec la mise en valeur de nouveaux périmètres et le creusement de nouveaux forages et particulièrement les forages albiens donnant des gros débits .

Combiné , aux conditions climatiques et topographiques défavorables , le rejet de plus en plus de l'eau dans la nature a provoqué la remontée de la nappe phréatique dans la cuvette .

La remontée de la nappe phréatique , elle même chargée en sels , provoque la perte de la fertilité des sols par l'abaissement de rendement des cultures.

Plusieurs études consacrés au sujet on aboutit à la même conclusion

On se trouve au point de non retour , car il est impossible de déraciner la population actuelle ni de réduire l'irrigation des périmètres irriguées faute de perdre le patrimoine phoenicicol très chers aux paysans .

Même les procédés modernes d'irrigation économisant l'eau tel que le goutte à goutte s'avèrent impuissant car ne permettent pas le lessivage des sols à forte salinité.

La seule solution qui reste est le drainage : Irriguer abondamment puis lessiver et évacuer l'eau excédentaire par drainage afin de maintenir le niveau de la nappe au dessous d'un seuil correspondant au niveau à partir duquel le dépôt de sel devient néfaste pour les cultures .

Contexte régional

La cuvette de Ouargla est caractérisée par un climat sec et chaud avec une pluviométrie très faible, des sols hydromorphes à texture sableuse , une nappe phréatique salée se trouvant à une faible profondeur , une eau d'irrigation salée , une morphologie plate et un exutoire naturel hors cuvette.

Notre étude a consisté à la détermination de l'évapotranspiration par le bac classe A et l'évaporation de la nappe phréatique par la loi d'AVERIANOV .

D'autre part trois lysimètres ont été implantées sur le site expérimental en vue de la mesure directe de l'évaporation de la nappe phréatique, malheureusement , un seul est opérationnel et ses résultats ne permet pas d'être pris en considération.

Les analyses ont donnes les résultats suivants :

Dans la frange de 0 à 0.95m on est en présence d'un dépôt de sel très important provoquée par une évaporation directe de la nappe phréatique (100% de l'évapotranspiration).

-De 0.95m à 1.50m l'évaporation de la nappe phréatique et de la salinité décroît.

-Entre 1.5m et 2m l'évaporation de la nappe phréatique est réduite à 20%.

-Au delà de 2.5m l'évaporation devient négligeable.

profondeur parfaite de drainage est à 2.5m, néanmoins pour des raisons économiques (volume de terrassement) et des raisons topographiques, on draine à partir de 2.0m acceptant une évaporation de la nappe phréatique de 10%.

ANNEXE N°1

TEMPERATURE

Les valeurs sont données par l' Office National de la Météorologie. (station de Ouargla.) 1989-2000.

TABLEAU N°1

Mois année	°C	J	F	M	A	M	JU	JUI	AO	S	OC	N	D
1989	T max.	17.8	20.8	24.8	29.4	34	39.9	42.8	42.0	37.2	30.3	23.5	18.5
	T min	4.4	6.1	9.5	13.7	18	23.3	25.5	25.1	21.4	15.5	9.7	5.7
	Tm	11.4	13.4	17.1	21.5	26	31.6	34.1	33.5	29.3	22.9	16.6	12.1
1990	T max	18.5	21.4	24.2	29	34	39.9	42.0	41.6	35.5	29.9	22.9	18.2
	T min	4.5	6	8.5	13.9	19	24.5	25.5	25.6	24.6	21.1	10.0	4.9
	T m	11.8	15.2	17.1	21.4	25	33.3	33.8	32.6	33	25.9	17.2	11.1
1991	Tmax	16.1	19.2	23	26	31	37.4	42.8	41	37.3	30.1	22	16.4
	Tmin	3.5	5.4	10.9	13	16	24	26.6	25.8	23.4	16.1	8.3	4.5
	T m	10.1	12.3	17.0	19.5	23	30.6	34.7	33.4	30.4	23.3	15.1	10.5
1992	Tmax	15.6	1.2	23.2	27	32	36.6	39.7	41.5	37.4	32.4	16.1	18.3
	T min	3.1	5.4	10	3 13	17	19	24.6	25.4	22	16.8	10	6.3
	T m	.9.4	13.3	16.1	20.1	25	29.1	32.2	33.5	30.1	24.3	16.1	12.3
1994	Tmax	16 .	12.2	25	27	33	39	41	39.6	35	32	17	18
	Tmin	9.03	5.2	11	13.2	17	21	25	26	22	17	11	5
	Tm	11.9	13.6	18.0	19.7	30	32.5	34.8	35	29.8	23.4	17.7	11.7
1995	Tmax	18.4	23.7	23.7	27.2	6	39.8	43.7	43.1	36.2	29.2	24.1	20.3
	Tmin	3.2	7.1	9.8	12.2	20	23.9	27.3	27.3	22.1	16.0	9.9	7.9
	Tm	10.8	15.4	16.7	19.7	28	32.2	35.5	35.0	29.2	22.6	17	13.8
1996	Tmax	20.7	19.4	25.3	29.4	34	36.9	42.1	44.3	36.4	28.7	24.2	22.0
	Tmin	7.7	7.0	10.8	14.2	18	22.3	25.3	27.5	21.6	13.2	9.6	7.0
	T m	14.2	13.2	18.1	21.8	26	29.6	33.7	35.9	26.0	21.0	16.9	14.5
1997	Tmax	19.9	22.4	23.9	27.3	36	43.2	45.2	41.8	35.5	30.3	25.3	20.6
	Tmin	6.0	6.4	8.2	12.9	20	26.6	27.2	27.2	22.4	17.5	10.3	6.8
	Tm	13.0	14.4	16.0	20.1	28	34.9	36.2	34.5	29.0	23.9	17.5	13.7
1998	Tmax	20	24	25	29	38	44	46	45.5	40	33	25	21
	Tmin	8	5	9	11	21	27	30	29	25	15	10	7
	Tm	10.3	12	15.8	21.4	28	34.7	34.9	34.2	29.9	24	16.8	11.9
1999	Tmax	22	24	25.3	30	39	45	46.6	45	41	33	25	22
	Tmin	5	5.6	10	12	21	27	30	30	27	16	10	6
	Tm	11.6	12.3	16	23	30	35	35	36	31	32	17	11
2000	Tmax	16.5	21.2	26.8	31.5	36	38.4	43.0	41.1	37.7	28.0	24.6	21.3
	Tmin	1.8	5.3	10.1	15.6	21	24.2	27.1	25.4	22.8	15.9	10.6	3.5
	Tm	9.2	13.2	18.5	23.6	29	31.3	35.1	33.3	30.2	21.9	17.6	7.41

ANNEXE N°2

PRECIPITATION

Les valeurs sont données par l' Office National de la Météorologie. (station de Ouargla.) 1990-2000.

TABLEAU N°2

Année mois	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
unité	mm/mois										
J	44.3	0	3.6	0	2.8	0.5	23.4	2	0	19	0
F	0	0	0	5.7	0.2	0	6.3	4	0	0.7	0
M	0	1.4	15.6	0.8	17.4	16.4	14.8	0	2.1	0	0
A	26.6	0	6.6	0	1.4	0	1.5	4.8	2.7	0.6	10
MA	15.7	1.9	0.5	0	0	1.8	9	0	0	0	10.2
JU	0	0	0	0	2.5	0	0	0	1	0	0
JUI	0	0	0.1	0	0	0	0.7	0	0	0.7	0
AU	0	0	0	0	0	0	0	13	0	0	0
S	0	0	0.4	0.3	15.2	11.3	8.7	8	0	0.8	0
O	0	1.2	0	2.1	10	4.3	0	8.3	3.6	0	0
N	10	2.5	11.7	3.7	0	2.1	0	0.9	1	23	0
D	6.1	1.9	22.4	3	2.2	4.3	12	1.6	1.2	4.1	36.4
Total en mm/an	102.7	8.9	60.9	15.6	51.7	40.7	76.4	42.6	11.6	48.9	56.6

ANNEXE N°3

HUMIDITE RELATIVE

Valeurs de l'humidité relative moyenne mensuelle en pourcentage (%) de 1990 à 2000
Données par O.N.M.

Station : Ouargla

TABLEAU N°3

Mois année	J	F	M	A	MA	JU	JUI	AO	S	OC	N	D
1990	74	62	50	51	52	28	28	40	33	39	59	55
1991	67	57	50	47	38	37	28	31	41	54	58	65
1992	72	60	58	45	42	36	36	31	35	45	70	76
1993	73	72	55	45	36	25	25	28	36	44	67	72
1994	66	55	52	41	33	32	26	31	42	62	68	75
1995	65	58	56	44	34	31	29	28	34	60	64	71
1996	71	64	59	45	36	33	26	24	43	54	57	59
1997	61	59	42	40	32	22	20	26	41	48	48	56
1998	58	49	37	30	29	24	23	35	34	53	51	60
1999	69	53	42	32	29	26	29	24	35	46	47	68
2000	63	56	40	33	41	29	23	30	37	52	57	54

ANNEXE N°4

LES VENTS

Les vitesses maximales et vitesses moyennes des vents de 1980 à 1992 enregistré par la station de Ouargla .Source O.N M .

Vm : vitesse moyenne , Vmax : vitesse maximale

TABLEAU N°4

Année mois	M/s	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
J	Vm vmax	2 13	3 14	2 10	4 12	4 12	3 11	3 16	3 14	4 18	5 24	2 13	3 14
F	Vm vmax	4 13	3 14	4 17	4 18	4 18	3 13	4 22	3 19	4 21	3 10	3 18	3 14
M	Vm vmax	5 13	5 26	4 15	4 11	4 14	4 15	4 17	3 19	4 18	4 15	4 22	6 25
A	Vm vmax	4 11	6 18	4 12	5 16	6 15	4 14	4 18	5 17	5 19	5 19	5 16	5 24
MA	Vm vmax	4 15	6 23	5 12	5 13	6 16	5 12	5 19	5 22	5 17	5 33	6 21	5 21
JU	Vm vmax	5 20	5 12	5 14	5 11	5 14	5 10	5 20	6 28	4 18	4 30	7 33	5 17
JUI	Vm vmax	4 13	4 15	5 12	4 11	3 12	4 13	5 23	4 15	5 17	4 18	4 29	6 11
AO	Vm vmax	4 14	5 18	4 12	5 14	3 14	3 12	4 13	4 16	4 18	4 21	4 17	3 14
S	Vm vmax	4 14	4 18	2 4	4 12	3 10	4 15	4 11	3 15	4 16	3 20	4 19	3 25
OC	Vm vmax	3 10	4 12	4 11	4 11	4 13	4 12	3 15	3 14	3 15	3 16	4 23	3 17
N	Vm vmax	3 13	4 13	4 13	2 10	3 13	3 11	3 17	3 15	3 16	3 16	3 16	1 16
D	Vm vmax	3 14	4 12	4 14	4 12	4 11	3 12	3 20	3 16	2 17	3 16	2 13	2 13

Vitesses moyennes mensuelles des vents en m/s de 1995 à 1998-2000 enregistré par la station de Ouargla .Source O.N.M.

TABLEAU N°5

Années	1995	1996	1997	1998	2000
J	2.8	3.3	2.2	2.0	2.4
F	2.6	3.9	2.1	2.8	3.4
M	4.2	3.6	3.2	2.5	4.0
A	5.1	5.0	3.9	3.4	5.7
MA	5.0	4.2	4.3	4.5	5.1
JU	5.9	5.1	4.1	5.3	4.7
JUI	5.1	4.3	3.7	4.8	4.6
AO	4.5	3.9	3.3	5.0	4.3
S	4.9	3.5	3.5	4.9	4.4
OC	4.1	2.1	4.3	5.3	3.3
N	2.6	1.9	2.7	3.4	2.2
D	3.0	2.4	2.9	3.3	2.2

ANNEXE N°5

L'EVAPORATION

L'évaporation de la région de Ouargla est mesurée sur un bac Colorado de 121cm de diamètre et 25,5 cm de profondeur. Les valeurs mesurées de l'évaporations mensuelles exprimées en mm sont données par O.N.M.

Station Ouargla 1980 à 1992

TABLEAU N°6

Année mois	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
J	94	97	103	76	163	105	105	101	87	54	58	75	39
F	110	121	114	100	174	176	114	96	103	76	60	87	67
M	160	200	172	145	152	190	115	100	110	115	83	121	100
A	222	194	198	196	216	258	168	203	197	139	140	153	54
MA	339	241	288	274	228	265	161	259	236	210	115	183	177
JU	396	200	293	258	259	256	243	243	214	274	86	236	215
JUI	371	331	348	309	277	284	244	293	274	228	337	254	259
O	324	334	311	193	285	316	257	282	261	265	305	259	260
S	238	221	246	185	65	242	274	213	180	206	171	174	177
OC	267	133	143	132	99	216	132	86	109	155	108	159	128
N	200	95	88	150	113	148	114	90	84	73	106	82	64
D	100	114	83	123	106	142	59	80	685	61	74	69	50
E en Mm/an	2821	2281	2387	2141	2137	2604	1986	2043	1940	1856	1643	1852	1590

Station Ouargla 1995 - 2000

TABLEAU N°7

Année mois	1995	1996	1997	1998	1999	2000
J	60	53	57.2	100	98	95
F	96	60	67.7	200	201	165
M	90	84	112.6	201	233	256
A	193	124.4	130.6	269	266	391
MA	175	140.2	178.1	255	321	371
JU	198	184.5	263.1	326	401	432
JUI	217	214.6	260	566	602	533
AO	296	110	161.9	539	522	489
S	185	178.1	97.7	198	193	135
OC	256	109.4	93.6	152	166	193
N	63	59	136.6	136	122	151
D	79	54.4	74.1	80	101	130
E en mm/an	1908	1371.6	1638.9	3015	3226	3341

ANNEXE N°6

RESULTATS DES ANALYSES DES ECHANTILLONS DU SOL EN FONCTION DE LA FLUCTUATION DE LA NAPPE PHREATIQUE

Date Des prélèvements : 12 /11 /2000

TABLEAU N°8

PN	Profondeur de la nappe en (m)	Horizon des prélèvements en (cm)	Concentration moyenne du résidu sec en (mg /l)	Concentration moyenne en chlorures en (mg /l)
P1	1,36	30 60 90	9503	4550
P2	0,9	30 60 90	24150	12800
P3	0,67	30 60 90	23100	12200
P4	1,43	30 60 90	6345	2740
P5	1,9	30 60 90	27125	14500

ANNEXE N°7

RESULTATS DES ANALYSES DES ECHANTILLONS DU SOL EN FONCTION DE LA FLUCTUATION DE LA NAPPE PHREATIQUE:

date des prélèvements 2/ 12 /2000

TABLEAU N°9

PN	Hauteur de la nappe en (m)	Hauteur de prélèvement en (c m)	Concentration en résidu sec en (mg/l)	Concentration en chlorures en (mg /l)
P1	1,36	30 60 90	564 0 0 8 3325 moyenne pondérée est de 5256	3809 1810 1501 moyenne pondérée est de 2373,3
P2	0,83	30 60 90	28350 8610 3535 moyenne pondérée est de 13498,3	12798 3887 1596 moyenne pondérée est de 6093,66
P3	0,84	30 60 90	27825 13248 14648 moyenne pondérée est de 18573,6	12561 5980 6612 moyenne pondérée est de 8384,3
P4	1,45	30 60 90	7893 8663 6895 moyenne pondérée est de 7817	3563 3911 3941 moyenne pondérée est de 3805
P5	1,92	566 0 9 0	27475 22750 12250 moyenne pondérée est de 20825	12403 10270 5530 moyenne pondérée est de 9401

ANNEXE N°8

RESULTATS DES ANALYSES DES ECHANTILLONS DU SOL EN FONCTION DE LA
FLUCTUATION DE LA NAPPE PHREATIQUE:

date des prélèvements 30 /12 /2000

TABLEAU N°10

PN	Hauteur de la nappe en (m)	horizon des prélèvements en (cm)	Concentration en résidu sec en (mg/l)	Concentration en chlorures en (mg/l)
P1	1,34	30	7004	3162
		60	4969	2243
		90	3012	1274
			moyenne pondérée est de 4995	moyenne pondérée est de 2226,33
P2	0,68	30	16678	7529
		60	7340	3313
		90	2430	1097
			moyenne pondérée est de 8816	moyenne pondérée est de 3979,66
P3	0,94	30	17805	7631
		60	11641	5056
		90	9443	3507
			moyenne pondérée est de 12963	moyenne pondérée est de 5398
P4	1,31	30	3080	1390
		60	3400	1535
		90	2940	1327
			moyenne pondérée est de 3140	moyenne pondérée est de 1417,33
P5	1,92	30	16765	7568
		60	12434	5613
		90	10671	4817
			moyenne pondérée est de 13290	moyenne pondérée est de 5999,33

ANNEXE N°9

RESULTATS DES ANALYSES DES ECHANTILLONS DU SOL EN FONCTION DE LA FLUCTUATION DE LA NAPPE PHREATIQUE

Date des prélèvements : 21 / 01 /2001

TABLEAU N°11

PN	Hauteur de la nappe en (m)	Horizon des prélèvements en (cm)	Concentration en résidu sec (mg /l)	Concentration en chlorures en (mg/l)
P1	1,49	30 60 90	7321 3994 3107 moyenne pondérée est de 4807,33	3305 1803 1304 moyenne pondérée est de 2138
P2	0,67	30 60 90	31325 11048 5431 moyenne pondérée est de 15934,6	14141 4987 2328 moyenne pondérée est de 7152
P3	0,83	30 60 90	15418 12315 9134 moyenne pondérée est de 12289	6960 5559 4123 moyenne pondérée est de 5547,3
P4	1,31	30 60 90	6948 4443 2574 moyenne pondérée est de 4655	3136 2006 1103 moyenne pondérée est de 2081,66
P5	1,92	30 60 90	16363 12401 11000 moyenne pondérée est de 13254,66	7386 5598 4966 moyenne pondérée est de 5983,3

ANNEXE N°10

RESULTATS DES ANALYSES DES ECHANTILLONS DU SOL EN FONCTION DE LA FUCTUATION DE LA NAPPE PHREATIQUE

Date des prélèvements : 05/ 02 /2001

TABLEAU N°12

PN	Profondeur de la nappe en (m)	Horizon des prélèvements en (cm)	Concentration en résidu sec en (mg/l)	Concentration en chlorures (mg /l)
P1	1,50	30	1225	397
		60	1089	312
		90	1225	378
			moyenne pondérée est de 1179,6	moyenne pondérée est de 362
P2	0,66	30	8960	1437
		60	9170	1490
		90	9643	1557
			moyenne pondérée est de 9257,6	moyenne pondérée est de 1494,66
P3	0,71	30	21175	10121
		60	9398	1343
		90	7473	1214
			moyenne pondérée est de 12682	moyenne pondérée est de 4226
P4	1,14	30	2977.5	725
		60	3900	770
		90	4635	1013
			moyenne pondérée est de 3867.5	moyenne pondérée est de 836
P5	1,91	30	17185	8744
		60	2853	595
		90	8820	1300
			moyenne pondérée est de 9619,3	moyenne pondérée est de 3579,6

ANNEXE N°11

RESULTATS DES ANALYSES DES ECHANTILLONS DU SOL EN FONCTION DE LA FLUCTUATION DE LA NAPPE PHREATIQUE

Date des prélèvements : 25/ 02 /2001

TABLEAU N°13

PN	Profondeur de la nappe en (m)	Horizon des prélèvements en (cm)	Concentration du résidu sec en (mg /l)	Concentration en chlorures en (mg /l)
P1	1,35	30 60 90	7018 4060 3448 moyenne pondérée est de 4842	1805 1044 887 moyenne pondérée est de 1245,3
P2	0,58	30 60 90	12128 13108 9323 moyenne pondérée est de 11519,66	3319 3371 2543 moyenne pondérée est de 3077,66
P3	0,68	30 60 90	19075 8993 21875 moyenne pondérée est de 16647,6	4905 2453 5625 moyenne pondérée est de 4327,6
P4	1,06	30 60 90	7788 6300 4719 moyenne pondérée est de 6269	2124 1620 1287 moyenne pondérée est de 1677
P5	1,91	30 60 90	- - -	

ANNEXE N°12

RESULTATS DES ANALYSES DES ECHANTILLONS DU SOL EN FONCTION DE LA FUCTUATION DE LA NAPPE PHREATIQUE

Date des prélèvements : 19 / 03 / 2001

TABLEAU N°14

PN	Profondeur de la nappe en (m)	Horizon des prélèvements en (cm)	Concentration du résidu sec en (mg/l)	Concentration en chlorures en (mg/l)
P1	1,36	30	2258	516
		60	3483	736
		90	3413	780
			moyenne pondérée est de 3051,3	moyenne pondérée est de 677,33
P2	0,58	30	8383	1916
		60	13160	3008
		90	12023	2748
			moyenne pondérée est de 11188,6	moyenne pondérée est de 2557,3
P3	0,72	30	14034	3340
		60	6213	1420
		90	4988	1140
			moyenne pondérée est de 8411,66	moyenne pondérée est de 1966,6
P4	1,20	30	4078	932
		60	4148	948
		90	4270	976
			moyenne pondérée est de 4165,3	moyenne pondérée est de 952
P5	1,92	30	-	-
		60	-	-
		90	-	-
			-	-

ANNEXE N°13

RESULTATS DES ANALYSES DES ECHANTILLONS DU SOL EN FONCTION DE LA FUCTUATION DE IA NAPPE PHREATIQUE

Date Des prélèvements : 2 6 / 4 / 2001

TABLEAU N°15

PN	Profondeur de nappe en (m)	Horizon de prélèvement en (cm)	Concentration en résidu sec en (mg/l)	Concentration des chlorures en (m/l)
P1	1,48	30	2310	710
		60	3600	831
		90	3559	906
			moyenne pondérée est de 3156,3	moyenne pondérée est de 815,6
P2	Bouché	30	-	-
		60		
		90		
P3	0,82	30	15713	4190
		60	7223	2680
		90	5910	2561
			moyenne pondérée est de 9615,3	moyenne pondérée est de 3143,6
P4	1,32	30	4276	971
		60	5290	1020
		90	4921	2133
		moyenne pondérée est de 4829	moyenne pondérée est de 1374,6	
P5	Bouché	30		
		60		
		90		
			-	-

ANNEXE N°14

RESULTATS DES ANALYSES DES ECHANTILLONS DU SOL EN FONCTION DE LA FLUCTUATION DE LA NAPPE PHREATIQUE

Date des prélèvements : 10 / 06 / 2001

TABLEAU N°16

PN	Profondeur de la nappe phréatique en (m)	Horizon des prélèvements en (cm)	Concentration en résidu sec en (mg /l)	Concentration en chlorures en (mg /l)
P1	1.9	30	9310	2915
		60	9910	2762
		90	11530	2972
			moyenne pondère est de 10250	moyenne pondère est de 2883
P2	1.5	30	19580	4213
		60	17550	4428
		90	18100	5108
			moyenne pondère est de 18410	moyenne pondère est de 4583
P3	1.69	30	18525	5467
		60	18982	5489
		90	19549	5613
			moyenne pondère est de 19042	moyenne pondère est de 5523
P4	bouché	30 60 90	-	-
P5	1.9	30	10200	3512
		60	11238	3500
		90	11412	3587
			moyenne pondère est de 10550	moyenne pondère est de 3533

ANNEXE N°15

RESULTATS DES ANALYSES DES ECHANTILLONS DU SOL EN FONCTION DE LA FLUCTUATION DE LA NAPPE PHREATIQUE

Date des prélèvements : 05 / 07 / 2001

TABLEAU N°17

PN	Profondeur de la nappe phréatique en (m)	Horizon des prélèvements en (cm)	Concentration en résidu sec en (mg /l)	Concentration en chlorures en (mg /l)
P1	2.1	30 60 90	15280 14000 11100 moyenne pondère est de 13460	5966 4138 3126 moyenne pondère est de 4410
P2	1.5	30 60 90	35330 27320 25550 moyenne pondère est de 29400	9001 8430 8105 moyenne pondère est de 8512
P3	1.8	30 60 90	41120 26300 20780 moyenne pondère est de 25549	9000 7800 6822 moyenne pondère est de 7874
P4	bouché	-	-	-
P5	2	30 60 90	18250 14360 15540 moyenne pondère est de 16050	6434 5580 5389 moyenne pondère est de 5801

ANNEXE N°16

RESULTATS DES ANALYSES DES ECHANTILLONS DU SOL EN FONCTION DE LA FLUCTUATION DE LA NAPPE PHREATIQUE

Date des prélèvements : 25 / 08 /2001

TABLEAU N°18

PN	Profondeur de la nappe phréatique en (m)	Horizon des prélèvements en (cm)	Concentration en résidu sec en (mg /l)	Concentration en chlorures en (mg /l)
P1	2.5	30 60 90	moyenne pondère est de 14006	moyenne pondère est de 5249
P2	1.5	30 60 90	moyenne pondère est de 33125	moyenne pondère est de 9801
P3	2	30 60 90	moyenne pondère est de 39610	moyenne pondère est de 10008
P4	bouché	30 60 90	-	-
P5	2.5	30 60 90	moyenne pondère est de 24051	moyenne pondère est de 6950

ANNEXE N°17

Janvier 2001

TABLEAU N°19

jour		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
V	Km /j	210	270	180	180	0	0	0	0	84	108	0	0	360	360	240	108
Hr	%	50	40	40	36	38	36	40	52	52	42	42	38	56	60	72	70
Kp	-	0.75	0.75	0.75	0.65	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.75	0.75	0.8	0.8
ε	mm /j	2.56	2.56	2.5	2.6	2.57	2.4	2.59	2.56	3	2.5	2.1	2.4	2.8	2.56	2.66	2.5
ET°	mm /j	1.96	1.96	1.88	1.69	1.8	1.68	2.32	2.05	2.4	2	1.68	1.68	2.1	1.92	2.13	2
jour		17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
V	Km /j	180	108	240	420	210	96	210	210	0	0	210	240	300	300	210	
Hr	%	54	52	32	52	60	60	44	42	34	42	48	42	48	52	50	
Kp	-	0.75	0.8	0.65	0.75	0.75	0.8	0.75	0.75	0.7	0.8	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	
ε	mm /j	2.5	2.9	2.4	2.3	2.8	2.55	2.55	2.54	2.42	2.4	2.4	2.56	2.5	2.56	2.56	
ET°	mm /j	1.88	2.32	1.56	1.73	2.1	2.04	1.91	1.91	1.69	1.92	1.8	1.92	1.88	1.92	1.92	

ET=59.79mm/mois

DATE : Fevrier 2001

TABLEAU N°20

jour		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
V	Km /j	210	114	180	210	180	96	96	0	0	0	300	300	168	210	120	210
Hr	%	50	48	46	42	34	28	30	40	54	58	48	52	50	36	38	48
Kp	-	0.75	0.8	0.8	0.75	0.65	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.75	0.75	0.8	0.65	0.7	0.75
ε	mm /j	0.3	0.3	0.6	1.97	0.65	3	1.65	1.5	1.3	1.58	3	1.96	5.5	4.4	4.4	2.5
ET°	mm /j	0.23	0.24	0.48	1.48	0.42	2.1	1.16	1.05	1.04	1.26	2.25	1.74	4.4	2.86	3.08	1.88
jour		17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28				
V	Km /j	360	270	360	150	240	0	0	300	300	240	300	300				
Hr	%	50	60	60	62	38	26	20	18	48	60	50	54				
Kp	-	0.75	0.75	0.75	0.8	0.65	0.7	0.70	0.65	0.75	0.75	0.75	0.75				
ε	mm /j	5.5	4.4	4.2	4.5	3.2	4	4	5	5	5	6	5				
ET°	mm /j	4.13	3.3	3.15	3.6	2.08	2.8	2.8	3.25	3.75	3.75	4.5	3.75				

ET= 66.53mm/mois

DATE : Mars 2001

TABLEAU N°21

jour		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
V	Km /j	180	360	240	240	150	96	150	300	300	150	210	150	210	210	270	300
Hr	%	60	34	12	48	20	40	20	44	50	52	50	48	28	48	50	14
Kp	-	0.75	0.65	0.65	0.75	0.8	0.8	0.7	0.75	0.75	0.8	0.75	0.8	0.65	0.75	0.75	0.65
ε	mm /j	5.53	5.53	5.5	5.4	5.1	5.6	5.6	5.5	5.5	5.2	5.3	5	5.9	5.53	5.5	5.5
ET°	mm /j	4.15	3.59	3.58	4.05	4.08	4.48	3.92	4.13	4.13	4.16	3.97	4	3.84	4.15	4.13	3.58
jour		17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
V	Km /j	360	360	360	240	150	138	156	120	420	228	300	360	540	360	330	
Hr	%	28	60	46	42	44	24	22	24	12	18	42	28	38	50	48	
Kp	-	0.65	0.75	0.75	0.75	0.8	0.7	0.7	0.7	0.65	0.65	0.75	0.65	0.6	0.75	0.75	
ε	mm /j	5	5	5.1	5.1	5	5.3	5.1	5.7	5.2	5.2	5.1	5	5.1	5	5	
ET°	mm /j	3.25	3.75	3.83	3.83	4	3.71	3.57	3.99	3.38	3.38	3.83	3.25	3.06	3.75	3.75	

ET= 118.27mm/mois

ANNEXE N°18

DATE : Avril 2001

TABLEAU N°22

jour		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
V	Km /j	240	210	180	300	300	150	360	360	210	210	210	360	0	270	480	420
Hr		60	54	34	34	30	38	22	42	48	38	26	48	50	28	60	56
Kp	-	0.75	0.75	0.65	0.65	0.65	0.7	0.65	0.75	0.75	0.65	0.65	0.75	0.8	0.65	0.65	0.75
ε	mm /	2.2	2	2	2	2	4	4	4	6	8	6	6	4	8	4	6
ET°	mm /j	1.7	1.5	1.3	1.3	1.3	2.8	2.6	3	4.5	5.2	3.9	4.5	3.2	5.2	2.6	4.5
jour		17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
V	Km /j	300	240	270	330	360	240	150	180	240	240	150	300	360	360		
Hr	%	44	16	28	36	52	46	34	38	42	42	44	56	62	52		
Kp	-	0.75	0.65	0.65	0.65	0.75	0.75	0.75	0.65	0.75	0.75	0.8	0.75	0.75	0.75		
ε	mm /	4	6.9	4	4	4	7.9	8	6	7	11	9	11	7	8		
ET°	mm /j	3	4.5	2.6	2.6	3	5.9	6	3.9	5.3	8.3	7.2	8.3	5.3	6		

ET=124mm/mois

DATE : MAI 2001

TABLEAU N°23

jour		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
V	Km /j	300	210	360	360	240	210	300	360	420	420	420	210	210	300	480	360
Hr	%	46	58	46	56	42	26	14	58	36	38	44	56	38	22	16	10
Kp		0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.65	0.65	0.75	0.65	0.65	0.75	0.75	0.65	0.65	0.6	0.65
ε	mm /j	10	6	7	9	8.5	8.5	10	10	11	10	8	8	5	8	12	12
ET°	mm /j	7.5	4.5	5.25	6.75	6.38	5.53	6.5	7.5	7.15	6.5	6	6	3.25	5.2	7.2	7.8
jour		17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
V	Km /j	270	300	240	360	240	360	240	0	0	240	240	360	300	240.	-	
Hr	%	04	08	14	16	46	40	46	44	44	46	44	52	44	38	46	
Kp	-	0.65	0.65	0.65	0.65	0.75	0.75	0.75	0.8	0.8	0.75	0.75	0.75	0.75	0.65	-	
ε	mm /j	13	13	13	12	8	11	11	10	8	7	7	11	8	13	10	
ET°	mm /j	8.45	8.45	8.45	7.8	6	8.25	8.25	8	6.4	5.25	5.25	8.25	6	8.45	-	

ET=202.26mm/mois

DATE : juin 2001

TABLEAU N°24

jour		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
V	Km /j	210	270	360	240	180	180	300	240	360	480	360	300	270	240	210	240
Hr	%	24	34	23	34	30	23	34	54	30	10	25	36	41	44	43	37
Kp	-	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.75	0.65	0.6	0.65	0.65	0.75	0.75	0.75	0.65
ε	mm /	9	11	14	15	15	13	12	9	10	16	15	16	13	12	12	12
ET°	mm /j	5.9	7.2	9.1	9.8	9.8	8.5	7.8	6.8	6.5	9.6	9.8	10.4	9.8	9	9	7.8
jour		17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
V	Km /j	150	300	1080	420	180	600	360	300	240	240	300	150	180	210		
Hr	%	41	30	30	18	24	24	32	27	20	17	15	17	18	20		
Kp	-	0.8	0.65	0.5	0.65	0.65	0.6	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.7	0.65	0.65		
ε	mm /	14	14	12	13	13	13	12	13	15	15	13	12	8	8		
ET°	mm /j	11.2	9.1	6	8.5	8.5	7.8	7.8	8.5	9.8	9.8	8.5	8.4	5.2	5.2		

ET=251.1mm/mois

ANNEXE N°19

DATE : juillet 2001

TABLEAU N°25

°jour		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
V	Km /j	300	360	240	210	300	180	150	120	150	360	360	240	420	360	240	210
Hr	%	20	18	20	17	23	30	20	20	16	11	25	69	54	41	31	30
Kp	-	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.7	0.7	0.7	0.65	0.65	0.75	0.75	0.75	0.65	0.65
€	mm /	16.9	16.5	16.8	17.6	16.9	17	17.5	18	17.3	16.3	16.8	17	17.3	17	17.6	17.8
ET°	mm /j	11.0	10.7	10.9	11.4	11	11.1	12.3	12.6	12.11	10.6	10.9	12.8	13	12.8	11.4	11.6
jour		17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
V	Km /j	360	420	240	240	360	210	360	210	300	300	180	180	150	600	240	
Hr	%	18	15	28	48	27	29	35	46	41	23	25	26	27	38	21	
Kp	-	0.65	0.65	0.65	0.75	0.65	0.65	0.65	0.75	0.75	0.65	0.65	0.65	0.7	0.6	0.65	
€	mm /	17.2	17	16.6	17	17	17	16.9	17	17	17	17.5	17.5	18	18	18	
ET°	mm /j	11.2	11.1	10.8	12.8	11.1	11.1	11	12.8	12.8	11.1	11.4	11.4	12.6	10.8	11.7	

ET=359.91mm/mois

DATE : Août 2001

TABLEAU N°26

jour		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
V	Km /j	240	240	120	150	210	300	240	360	138	240	210	270	150	240	240	240
Hr	%	37	46	40	28	43	64	55	44	21	15	33	24	15	30	50	47
Kp	-	0.65	0.75	0.8	0.7	0.75	0.75	0.75	0.75	0.7	0.65	0.65	0.65	0.7	0.65	0.75	0.75
€	mm /j	17.5	17	17.4	17.6	17.5	17.7	17.3	17	17	17.3	17	17	17.2	17.5	17.1	17.5
ET°	mm /j	11.4	12.8	13.9	12.3	13.1	13.3	13	12.8	11.9	11.3	11.1	11.1	12	11.4	12.8	13.1
jour		17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
V	Km /j	180	0	150	138	210	240	600	360	420	360	270	210	420	420	360	
Hr	%	45	40	28	23	22	25	32	28	23	22	22	18	17	15	17	
Kp	-	0.75	0.8	0.7	0.7	0.65	0.65	0.6	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	
€	mm /j	17.4	17.5	17.5	17	17	17	17	16.5	16.5	16.5	16.5	16	16	16	16	
ET°	mm /j	13.0	14	12.3	11.9	11.1	11.1	10.2	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	

ET=366.5mm/mois

ANNEXE N°21

RESULTATS DES ANALYSES DE L'EAU DE LA NAPPE PHREATIQUE DE LA CUVETTE DE OUARGLA. Source,[1]

Concentration en Résidu sec

PERIODE DES HAUTES EAUX

TABLEAU N°27

PN	H en (m) 1994	Résidu sec en(g/l) 1994	H en (m) 1996	Résidu sec en (g/l) 1996	H en (m) 1998	Résidu sec en (g/l) 1998	H en (m) 2000	Résidu sec en (g/l) 2000
113	3,72	88,3	3,85	90,0	3,62	30	3,76	83,2
121	6,7	2,9	6,85	3,16	6,73	3,5	7,81	3,1
178	6,35	22,6	6,52	25,0	6,46	22	6,62	21,4
76	0,4	25,8	0,62	15,5	0,39	37	0,82	56,6
99	0,98	19,2	1,09	26,0	1,00	17,6	0,94	16,4
67	1,10	96,6	1,23	89,0	1,14	64,2	1,02	36
104	0,8	7,2	1,02	12,0	0,81	12,5	0,57	12,3
168	4,6	15,8	5,0	30,0	4,63	26,8	4,52	24,8
165	1,3	244,6	1,52	305,0	1,26	242,7	1,35	345
59	10,98	2,5	11,12	5,20	10,93	2,37	10,99	2,3
40	0,92	28,3	1,06	26,0	0,89	20,52	0,77	31,8
9	0,95	30,6	1,15	36,0	0,95	35,56	0,84	27,2
4	1,4	38,4	1,62	45,0	1,37	362,6	1,52	79,2
23	1,25	160	1,4	135,0	1,18	109,32	1,28	110,8
33	3,9	10	4,25	8,50	3,87	7,84	2,12	8,8

PERIODE DES BASSES EAUX.

TABLEAU N°28

PN	H en (m) 1994	Résidu sec en(g/l) 1994	H en (m) 1996	Résidu sec en (g/l) 1996	H en (m) 1998	Résidu sec en (g/l) 1998	H en (m) 2000	Résidu sec en (g/l) 2000
113	4.92	105	4.72	114	4.05	39	4	98
121	7.01	5	7.09	5.1	7.9	6.1	8.01	3.9
178	7.92	45	7.6	36	8	29	7	25
76	1.0	36	1.1	21	1.2	45	1.1	65
99	1.92	33	1.8	39	1.99	25	1.6	22
67	2.3	112	2	90	1.55	74	1.99	45
104	1.5	103	1.7	19	1.3	19	1.8	22
168	4.9	21	4.3	39	5	39	5.1	32
165	2.1	303	1.9	330	1.98	302	2.01	398
59	11.3	3	11	6.3	11	2.9	11	3.2
40	1.92	45	1.9	33	1.5	29	1.5	38
9	2.1	48	1.9	39.9	1.3	47	1.75	39
4	2	55	2.01	69	2	402	1.99	86
23	1.9	175	1.99	121	2.1	185	1.76	133
33	4	11	4.9	9	3.99	9.1	2.5	9

ANNEXE N°22

RAPPORT DES CONCENTRATIONS

PIEZOMETRES N°1

date	Profondeur de la nappe en (m)	Rapport des concentrations sol/nappe (Cs/Cn en mg/l)
12/11/2000	1.36	1.19
02/12/2000	1.36	1.37
30/12/2000	1.34	1.31
21/01/2001	1.49	1.27
25/02/2001	1.35	1.27
19/03/2001	1.36	1.18
26/04/2001	1.48	1.22
10/06/2001	1.9	1.26
05/07/2001	2.1	1.11
25/08/2001	2.5	1.15

PIEZOMETRES N°2

date	Profondeur de la nappe en (m)	Rapport des concentrations sol/nappe (Cs/Cn en mg/l)
12/11/2000	0.9	1.07
02/12/2000	0.83	1.28
30/12/2000	0.68	1.4
21/01/2001	0.67	1.46
25/02/2001	0.58	1.42
19/03/2001	0.58	1.54
10/06/2001	1.5	1.31
05/07/2001	1.5	1.47
25/08/2001	1.5	1.27

CS : concentration en résidu sec du sol , C : concentration en résidu sec de la nappe

ANNEXE N°23

PIEZOMETRE N°3

RAPPORT

date	Profondeur de la nappe en (m)	Rapport des concentrations sol/nappe (Cs/Cn) En mg/l
02/12/2000	1.45	1.38
21/01/2001	1.31	1.35
05/02/2001	1.14	1.33
25/02/2001	1.06	1.24
19/03/2001	1.2	1.20
26/04/2001	1.32	1.40

DES

CONCENTRATIONS

date	Profondeur de la nappe en (m)	Rapport des concentrations sol/nappe (Cs/Cn) en mg/l
02/12/2000	0.84	1.30
30/12/2000	0.94	1.22
21/01/2001	0.83	1.3
05/02/2001	0.71	1.44
25/02/2001	0.68	1.32
19/03/2001	0.72	1.32
26/04/2001	0.82	1.07
10/06/2001	1.69	1.20
05/07/2001	1.8	1.10
25/08/2001	2.0	1.26

PIEZOMETRE N°P4

CS : concentration en résidu sec du sol , C : concentration en résidu sec de la nappe

ANNEXE N°24

PIEZOMETRE N°5

CS : concentration en résidu sec du sol ,
C : concentration en résidu sec de la nappe

date	Profondeur de la nappe en (m)	Rapport des concentrations sol/nappe (Cs/Cn en mg/l)
12/11/2000	1.9	1.20
02/12/2000	1.92	1.06
30/12/2000	1.92	1.08
21/01/2001	1.91	1.074
05/02/2001	1.91	1.19
10/06/2001	1.9	1.20
05/07/2001	2.0	1.20
25/08/2001	2.5	1.06

ANNEXE N°25

FRACTION D'EAU EVAPOREE DE LA NAPPE PHREATIQUE D'APPRES LA LOIS D'AVERIANOV

PIEZOMETRE N°1

date	Profondeur de la nappe en (m)	ET en (mm/ j)	E en (mm) / j	E/ET en %
12/11/2000	1.36	*	1.92	*
02/12/2000	1.36	6.75	3.44	51
30/12/2000	1.34	6.75	5.44	80.5
12/01/2001	1.49	1.95	2.29	*
25/02/2001	1.35	2.58	2.65	*
19/03/2001	1.36	3.94	1.82	46.3
26/04/2001	1.48	3.6257	1.925	53.184
10/06/2001	1.9	8.98	1.57	17.5
05/07/2001	2.1	8.98	0.62	6.91
25/08/2001	2.5	11.91	0.67	5.61

PIEZOMETRE N°2

date	Profondeur De la nappe en (m)	ET en (mm/ j)	E en (mm) / j	E/ET en %
12/11/2000	0.9	6.026	1.59	26.41
2/12/2000	0.83	6.75	6.58	97.48
30/12/2000	0.68	6.75	13.53	100
21/01/2001	0.67	1.95	15.3	*
25/02/2001	0.58	2.58	20.30	*
19/03/2001	0.58	3.94	*	*
10/06/2001	1.5	7.07	2.27	32.10
05/07/2001	1.5	8.98	2.555	28.5
25/08/2001	1.5	11.91	3.62	30.48

ET : évapotranspiration de culture , E : évaporation de la nappe

ANNEXE N°26

FRACTION D'EAU EVAPOREE DE LA NAPPE PHREATIQUE D'APPRES LA LOIS D' AVERIANOV

PIEZOMETRE N°3

date	Profondeur de la nappe en (m)	ET en (mm/ j)	E en (mm) / j	E/ET en %
02/12/2000	1.45	6.75	3.2	47.4
25/02/2001	1.06	2.5	3.57	*
21/01/2001	1.31	1.95	3.48	*
05/02/2001	1.14	1.45	4.14	*
19/03/2001	1.2	3.94	2.46	62.31
26/04/2001	1.32	6.75	3.85	57.01
02/12/2000	1.45	6.75	3.2	47.4

PIEZOMETRE N°4

date	Profondeur de la nappe en (m)	ET en (mm/ j)	E en (mm) / j	E/ET en %
02/12/2000	0.84	6.75	6.8	100
30/12/2000	0.94	6.75	4.15	61.48
21/01/2001	0.83	1.95	6.97	*
05/02/2001	0.71	1.45	13.11	*
25/02/2001	0.68	2.58	10.67	*
19/03/2001	0.72	3.94	10	*
26/04/2001	0.82	3.62	2.23	61.6
10/06/2001	1.69	7.07	1.46	20.63
05/07/2001	1.8	8.98	0.7	7.8
25/08/2001	2.0	11.91	1.47	12.33

ET :

évapotranspiration de culture.

E : évaporation de la nappe.

ANNEXE N°27

FRACTION D'EAU EVAPOREE DE LA NAPPE PHREATIQUE D'APPRES LA LOIS D'AVERIANOV

PIEZOMETRE N°5

Date	Profondeur De la nappe en (m)	ET en (mm/ j)	E en (mm) / j	E/ET en %
12/11/2000	1.9	6.026	1.24	14.1
02/12/2000	1.92	6.75	0.392	5.81
30/12/2000	1.92	6.75	0.52	7.7
21/01/2001	1.91	1.95	0.48	24.62
05/02/2001	1.91	1.45	1.17	*
10/06/2001	1.9	7.07	1.24	17.56
05/07/2001	2	8.98	1.159	12.91
25/08/2001	2.5	11.91	2.79	23.4

ET : évapotranspiration de culture.

E : évaporation de la nappe.

ANNEXE N°28

NOMBRE DE PECLET

PIEZOMETRE N° 1

Cs/Cn	Profondeur de la nappe en (m)	PE
1.19	1.36	0.136224
1.26	1.9	0.156063
1.37	1.36	0.24466001
1.31	1.34	0.2120525
1.27	1.49	0.1780757
1.27	1.35	0.1872626
1.18	1.36	0.1296742
1.22	1.48	0.1488797
1.11	2.1	0.0683704
1.15	2.5	0.08722442

PIEZOMETRE N° 2

Profondeur De la nappe en (m)	Rapport Des concentrations Sol /nappe CS/Cn	PE
.68	1.40	0.4807481
0.58	1.42	0.6152555
0.58	1.54	0.7073555
1.5	1.31	0.20029296
1.5	1.47	0.2844569
0.9	1.07	0.07482043
0.83	1.28	0.28570731
0.67	1.46	0.53819851
1.5	1.27	0.1775129

Cs / Cn: rapport des concentrations sol//nappe

Pe : :nombre de Peclet

ANNEXE N°29

NOMBRE DE PECLET

PIEZOMETRE N°3

Profondeur De la nappe en (m)	Rapport Des concentrations sol /nappe Cs/ Cn	Pe
0.94	1.22	0.20403428
0.83	1.30	0.30226713
0.71	1.44	0.48626912
0.68	1.32	0.41085657
0.72	1.32	0.3793045
0.82	1.08	0.0956992
1.8	1.10	0.06582965
2.0	1.26	0.15342078
1.8	1.30	0.2982502
2.0	1.20	0.1287766

PIEZOMETRE N°4

Profondeur De la nappe en (m)	Rapport Des concentrations sol /nappe Cs/ Cn	Pe
1.31	1.35	0.23822513
1.14	1.33	0.247029001
1.2	1.20	0.15392640
1.32	1.40	0.265403354
1.45	1.38	0.242253543
1.06	1.24	0.19808554

Cs / Cn: rapport des concentrations. Sol / nappe

Pe : nombre de Peclet

ANNEXE N° 30

NOMBRE DE PECLET

PIEZOMETRE N°5

Profondeur De la nappe en (m)	Rapport Des concentrations sol /nappe Cs/ Cn	Pe
.9	1.2	0.12324243
2.5	1.06	0.036396
1.92	1.06	0.0393458
1.92	1.08	0.0519476
1.91	1.074	0.04828068
2.0	1.2	0.12114012
1.91	1.19	0.1173931
1.9	1.2	0.12324243

Cs / Cn: rapport des concentrations. Sol /nappe

Pe : nombre de Peclet

ANNEXE N°31

Coordonnées géographiques des piézomètres implantées par l'A.N.R.H

TABLEAU N°

PN	X	Y	situation
113	752.000	152.900	
121	751.700	150.800	
178			
76	742.000	162.500	Ouargla ville
99	751.800	155.00	Said Otba
67	749.500	158.000	Bamendil
104	145.700	153.400	
168	756.125	160.050	Sidi- khouiled
165	753.850	161.932	Sebkhet Oum Raneb
59	746.400	174.00	Bour El haicha
40	799.929	185.000	Sebkhet N'goussa
09	756.900	199.100	Sortie de N'goussa
04	749.500	184.000	El ogla
23	748.000	192.500	Sebkhet Sefioune
33	748.500	189.000	El Koum