

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

Année 2007 السنة

Faculté des Sciences de la Terre
Département de géologie

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de
Magister en géologie appliquée
Spécialité : Hydrochimie

THEME

Etude hydrogéologique et hydrochimique de la nappe
Aquifère libre d'El-Oued Souf.

Présentée par :
Mr BOUSELSAL Boualem
(Ingénieur en hydrogéologie)

Directeur du mémoire : CHAAB. S Maître de Conférence
Université Annaba

Devant le jury composé de :

Président : Mr CHOUABBI A., Maître de Conférence Université Annaba
Examineurs : Mr HANI A., Maître de Conférence Université Annaba
Mr CHAFFAI H., Maître de conférence Université Annaba

Remerciements

Je tiens à exprimer mon profonde gratitude avant tout à dieu tout puissant qui ma aidé et donné le courage pour mener a bien ce modeste travail.

Ma gratitude et mes vifs remerciements vont directement à mon directeur du mémoire Mr : CHAAB.S maître de conférence à l'université d'Annaba, d'avoir encadré et suivi mon travail de près avec sa rigueur scientifique exceptionnelle et ses conseils qui m'ont permis de mener à bien ce travail.

Je remercie tout particulièrement messieurs les membres jury :

- Mr CHOUABBI A., Maître de Conférence à l'université d'Annaba qui a accepté de présider le jury
- Mr HANI A., Maître de Conférence à l'université d'Annaba et Mr CHAFFAI H., Maître de conférence à l'université d'Annaba d'avoir bien voulu assister au jury et critiquer ce mémoire.

Mes remerciements vont à tous les enseignants du département de géologie à l'université d'Annaba.

Mes remerciements vont aux responsables du ANRH de Ouergla et DHW d' El-Oued pour ces aides.

Enfin, je tiens à remercier tous les amis et les collègues qui m'on aides et encouragés pour réalisé ce mémoire, je cite spécialement : Djamel, Said, Nabil, Sofiane, Mohamed, Foade.

Résumé

Ce travail est une contribution à l'étude hydrogéologique de la nappe libre superficielle d'El-Oued avec une actualisation des données des études ; entreprises par la DHW de l'oued Souf, l'ANRH d'Ouargla et dernièrement par l'Hydroproject d'Oran en association avec le Bureau d'étude suisse Bonnard et Gardell en 2003 .

Une description de la géométrie et de la structure des nappes a été faite grâce à l'étude géophysique, réalisée dans la région d'El-Oued (N-E Algérie) et qui montre que la nappe libre superficielle est constitué de : sables, sables argileux, et argiles sableuse. Le substratum est constitué d'argiles. La profondeur de ce dernier varie entre 10 et 83 m.

L'examen des cartes piézométriques montre que la nappe libre ne présente pas une tendance générale à la hausse ou à la basse, mais reste locale en relation directe avec l'action de l'homme, c'est-à-dire hausse du niveau dans les agglomération suite aux rejets direct ou à l'irrigation anarchique des palmiers dans les maisons avec l'absence d'un réseau d'assainissement généralisé. La baisse du niveau est observée dans les zones agricoles irriguées à partir de la nappe libre superficielle.

L'étude hydrochimique définit plusieurs faciès, les plus répandus sont les faciès sulfaté calcique et sulfaté sodique provenant soit des évaporites, soit des eaux des aquifères profonds. Les mesures de conductivités ont mis en évidences des conductivités élevées par évaporation des eaux et concentration des sels qu'elles contenait, dans les zones d'eau libre que sont les chotts et les ghouts inondés ou humides, et aussi sous les zones agricoles actives et denses. Les taux de nitrate sont au-dessus des normes de l'OMS pour l'eau de boisson à cause des rejets des eaux usées et à l'activité agricole.

L'examen de la carte de vulnérabilité (méthode de GOD) montre que la nappe phréatique d'El-Oued à une vulnérabilité forte a modéré. Ce sont les zones urbains, les zones des chott, et les zones agricoles irriguées à partir des nappes profondes qui présentent une vulnérabilité forte.

Mots-clés : nappe phréatique, hydrogéologie, hydrochimie, piézométrie, vulnérabilité à la pollution.

ملخص

هذا العمل هو مساهمة في الدراسة الهيدروجيولوجية للطبقة المائية الحرة بولاية الوادي مع تحديث المعطيات بناء على الدراسات المنجزة من طرف مديرية الري للولاية، و الوكالة الوطنية للموارد المائية لولاية ورقلة، و من طرف شركة hydroproject لوهران بالتعاون مع مكتب الدراسات السويسري (Bonnard et Gardell) في 2003 .

إن الوصف الهندسي و التكويني للطبقة المائية الحرة تتحقق بناء على الدراسة الجيوفيزيائية التي أنجزت في منطقة وادي سوف (شمال شرق الجزائر) أوضحت أن الطبقة المائية الحرة تتكون من الرمل و الرمل الغضاري و الغضار الرمل، أما قاعدة الطبقة المائية الحرة فهي ممثلة بالغضار و يتراوح عمقها ما بين 10 و 83 متر.

إن فحص الخرائط البيزومترية بينت أن مستوى مياه الطبقة المائية الحرة لا يميل إلى الهبوط أو الصعود بصفة عامة و إنما يبقى تغييرها محليا راجع إلى فعل الإنسان أي بالصعود في المناطق الحضرية نتيجة للصرف الصحي و السقي المنزلي مع غياب قنوات الصرف، و الهبوط في المناطق الزراعية المسقية بواسطة مياه الطبقة المائية الحرة.

إن الدراسة الهيدروكيميائية أوضحت و جود عدة سحنات كيميائية و الأكثر انتشارا هي السحنة الكبريتوكلسية و السحنة الكبريتوصودية ذات المصدر التبخري و المياه الباطنية.

اعطت قياسات الناقلية الكهربائية أرقام عالية راجعة إلى تبخر المياه و زيادة تركيز الأملاح التي تحتويها في المسطحات المائية الحرة المتمثلة في الشطوط و الأغواط التي غمرتها المياه أو الرطوبة، و أيضا في المناطق الزراعية النشطة أو الكثيفة. إن تركيز النترات فوق المقادير المحددة من طرف المنظمة العالمية للصحة فيما يخص مياه الشرب، و هذا بسبب مياه الصرف الصحي و النشاط الزراعي .

إن فحص خريطة حساسية الطبقة المائية الحرة للتلوث حسب طريقة (GOD) أوضحت أن هذه الأخيرة تتكون من منطقتين إحداهما عالية الحساسية و الأخرى متوسطة حيث أن المناطق العمرانية و الشطوط و المناطق الزراعية المسقية بواسطة الطبقات المائية الباطنية تمثل حساسية عالية للتلوث.

الكلمات الدالة: الطبقة المائية الحرة، الهيدروجيولوجية، الهيدروكيميائية، البيزومترية، الحساسية للتلوث.

TABLE DE MATIERE

I- SITUATION GEOGRAPHIQUE

I.1. Situation géographique d'El-Oued	1
I.2. Aperçu sur la wilaya d'El-Oued	1
I.3. Relief et topographie d 'El-Oued	1
I.4 Conclusion	2

II-HYDROCLIMATOLOGIE

II.1. Introduction	6
II.2. Température	6
II.2.1. Températures moyennes mensuelles interannuelles.....	6
II.2.2. Températures moyennes annuelles.....	7
II.3. Les précipitations.....	7
II.3.1. Précipitations moyennes mensuelles interannuelles.....	7
II.3.2. Précipitations moyennes annuelles.....	8
II.4. Rythme climatique.....	9
II.5. Indice d'aridité	9
II.6.Diagramme d'Emberger.....	10
II.7.L'humidité.....	11
II.8. Le vent.....	11
II.9. Evaporation.....	12
II.9. 1. Evapotranspiration.....	13
II.9.1.1. L'évapotranspiration potentielle (E.T.P).....	13
II.9.1.2. L'évapotranspiration réelle (E.T.R).....	13
II.10. La réserve facilement utilisable (R.F.U.)	14
II.11. Bilan hydrique	14
II.12. Conclusion	14

III-GEOLOGIE

III.1. Introduction	16
III.2. Cadre géologique d'El-Oued.....	16
III.2.2. Cadre stratigraphique.....	16
III.2.2.1.Crétacé (le secondaire)	16
III.2.2.1.1. Le Barrémien	16
III.2.2.1.2. L' Aptien	16
III.2.2.1.3. L' Albien.....	16
III.2.2.1.4. Le Vraconien	19
III.2.2.1.5. LE Cénomaniens.....	19
III.2.2.1.6. Le Turonien	19
III.2.2.1.7. Sénonien.....	19
III.2.2.1.7.1. Sénonien lagunaire	19
III.2.2.1.7.2. Sénonien carbonaté	19
III.2.2.2. Le Tertiaire	20
III.2.2.2.1. L' Eocène	20
III.2.2.2.2. LE Mio-Pliocène	20
III.2.2.3. Quaternaire	20
III.3. Tectonique et paléogéographie de la région	22
III.4. Interprétation des coupes géologiques	22
III.4.1. Coupe N°1.....	22
III.4.2. Coupe N°2	22
III.5. Conclusion.....	24

IV- GEOPHYSIQUE

IV . 1. Introduction	25
IV . 2. But de l'étude géophysique.....	25
IV . 3. Aspects théoriques de la méthode	25
IV.3.1. Le traîné électrique.....	29
IV.3.2. Les sondages électriques verticaux	29
IV.4. Présentation et analyse des résultats (SEV).....	29
IV.4.1. Sondage électrique vertical 15 et forage P56.....	30
IV.4.2. Sondage électrique vertical 131 et le forage P51	30
IV.4.3. Sondage électrique vertical 76 et le forage P43	31
IV.4.4. Sondage électrique vertical 104 et le forage P44	32

IV.4.5. Le forage P46 et le sondage électrique 30.....	33
IV.4.6. Conclusion.....	33
IV.5. Interprétation des coupes géoélectriques.....	34
IV.5.1. Introduction.....	34
IV.5.2. Coupe I à IX	35 à 44
IV-6 Interprétation de la carte du substratum.....	48
IV-7 Conclusion.....	48
 V- HYDROGEOLOGIE	
V.1. But de l'Etude hydrogéologique de la région d'El-oued.....	50
V.2. Identification des systèmes aquifères d'El-oued.....	50
V.2.1. Présentation des nappes aquifères de la région d'El-Oued.....	50
V.2.1.1. Nappe libre.....	50
V.2.1.2. Nappes du Complexe Terminal	51
A- Nappe des sables	51
B – la nappe des calcaires.....	52
V.2.1.3 - Nappe du Continental Intercalaire (CT)	52
V.2.2. Lithostratigraphie des nappes aquifères d'El-Oued	55
V.2.2.1 La nappe phréatique	55
V.2.2.2 Les nappes du complexe terminal	55
A-la nappe des sables	55
B -La nappe des calcaires	55
V.2.2.3. La nappe du continental intercalaire.....	57
V-3 Piezométrie de la nappe phréatique d'El-Oued.....	57
V-3-1 Inventaire des points d'Eau	57
V-3-2 Piezométrie de la nappe phréatique mars-avril 2001	57
V-3-3 Variations du niveau piezométrique 2001-1993.....	58
V-3-4 piezométrie de la nappe phréatique septembre 2001	61
V-3-5 Variations du niveau piezométrique entre mars-avril 2001 et septembre 2001	61
V-3-6 Piezométrie de la nappe phréatique avril 2002	64

V-3-7 Variations des niveau piezométrique entre avril 2002 et mars-avril 2001	66
V-3-8 Variations du niveau piezometrique entre avril 2002 et mars-avril 1993	68
V-4-Paramètres hydrodynamiques.....	70
V-4-1 Introduction.....	70
V-4-2 Coordonnées des sites des essais.....	70
V-4-3 Essai de pompage à El-Oued.....	71
V-4-4 Essai de pompage à Folia.....	72
V-4-5 Essai de pompage à Kouinine.....	74
V-4-6 Essai de pompage à Mih Ouanasa.....	75
V-4-7 Essai de pompage à Nakhla.....	77
V-4-8 Essai de pompage à Ourmes.....	78
V-4-9 Conclusion	80
VI- HYDROCHIMIE	
VI-1 But de l'étude hydro chimique	81
VI-2 Interprétation des analyses des éléments majeurs (mai 2000).....	81
VI-2-1 détermination des faciès chimique des eaux	81
a)Digramme de PIPER	81
b)Détermination des faciès chimique des eaux	82
c)Répartition des faciès chimiques	82
VI-2-2 origine des chimisme des eaux.....	83
a) le couple SO_4-Cl	83
b)le couple $Na-Cl$	83
c) le couple $Ca-Na$	84
d) le couple $Ca-SO_4$	84
e) le couple $Na-SO_4$	84
VI-2-3 Aptitude des eaux à l'irrigation	85
VI -3 Conductivités de la nappe phréatique d'El-Oued.....	86
VI -3-1 Conductivité de la nappe en mars-avril 2001.....	86
VI -3-2 Conductivité de la nappe en sebtembre 2001.....	86
VI -3-3 Conductivité de la nappe en avril 2002	89

VI -3-4 Variations de conductivité entre mars-avril 1993 et avril 2002	92
VI.4.Evolution des nitrates dans la nappe phréatique d'el-oued.....	95
VI -4-1 Répartition du taux des nitrates en mars-avril 2001	95
VI -4-2 Répartition du taux des nitrates en septembre 2001	95
VI -4-3 Répartition du taux des nitrates en avril 2002	95
VI -4-4 Variations du taux des nitrates entre mars-avril 1993 et avril 2002.....	98
VI -5 Distribution des PH de l'eau de la Nappe phréatique d'El-Oued....	98
VI.5.1 Distribution de pH de l'eau en mars-avril 2001	98
VI.5.2 Distribution de pH de l'eau en septembre 2001	101
VI.5.2 Distribution de pH en avril 2002.....	101
VI.6 conclusion.....	101
VII. Vulnérabilité de la nappe phréatique à la pollution	
VII.1 Introduction	104
VII.2 Présentation de la méthode GOD (Foster et Hirata 1991).....	104
VII.3 Interprétation de carte de vulnérabilité de la nappe phréatique d'El-Oued	104
VII.4 conclusion.....	107
Conclusion générale	108

Liste des tableaux**Chapitre II : HYDROCLIMATOLOGIE**

Tableau II-1 : températures moyennes mensuelles interannuelles (1967-2004).....	6
Tableau II-2 précipitations moyennes mensuelles interannuelles (1967-2004).....	7
Tableau II.3 humidités moyenne mensuelle interannuelle (1967-2004).....	11
Tableau II.4. Évaporation moyenne mensuelle interannuelle (1967-2004).....	12
Tableau II.5 : Bilan Hydrique de la station de El-Oued (1967 - 2004).....	15

Chapitre IV : GEOPHYSIQUE

Tableau IV-1 les coordonnées des forages et des SEV utilisé comme références dans L'interprétation des résultats des mesures géophysiques.....	29
Tableau IV-2 Résistivités des formations existantes dans la nappe phréatique d'El-Oued...	33
Tableau IV-3 Coordonnées des coupes géoélectriques effectuées dans la nappe phréatique..	35

Chapitre V : HYDROGEOLOGIE

Tableau V-1 Coordonnées UTM des sites des essais pompages.....	70
Tableau V-2 : tableau récapitulatif des paramètres hydrodynamiques.....	80

Chapitre VI : HYDROCHIMIE

Tableau VI-2: répartition des faciès chimiques dans la nappe phréatique d'El-Oued.....	77
--	----

Liste des figures

Chapitre I : SITUATION GEOGRAPHIQUE

Figure I-1 : Carte de situation de la wilaya d'El-Oued.....	3
Figure I-2 : carte situation des communes de la wilaya d'El-Oued.....	4
Figure I-3 : Extrait de la carte topographique de la région d'El-Oued.....	5

Chapitre II : HYDROCLIMATOLOGIE

Figure II-1 courbe des températures moyennes mensuelles interannuelles (1967-2004).....	6
Figure II.2 courbe des températures moyennes annuelles (1967-2004).....	7
Figure II.3 courbe de précipitations moyennes mensuelles interannuelles (1967-2004).....	8
Figure II.4 courbe des précipitations moyennes annuelles (1967-2004).....	8
Figure II.5 courbe pluvio-thermique de la station d'El-Oued (1967-2004).....	9
Figure II.6 diagramme d'Emberger de la station d'El-Oued (1967-2004).....	10
Figure II.7 courbe de l'humidité moyenne mensuelle interannuelle (1967-2004).....	11
Figure II.8. Courbe d'évaporations moyennes mensuelles interannuelles (1967-2004).....	12

Chapitre III : GEOLOGIE

Figure III-1 : Extrait de la carte géologique d'El-OUED (CORNET-1964).....	17
Figure III-2 : colonne stratigraphique de Forage2	18
Figure III-3 : colonne stratigraphique de Forage3	21
Figure III-4 : coupe lithologique n° 01	23
Figure III-5 : coupe lithologique n° 02.....	23

Chapitre IV : GEOPHYSIQUE

Figure IV-01 : Carte de positionnement des sondages électriques verticaux dans la région d'El-Oued (ENAGEO.1993).....	26
Figure IV-2 : quadripôle de Schlumberger.....	27
Figure iv-3 :profil I	36
Figure iv-4 :profil II.....	38
Figure iv-5 :profil III.....	40
Figure iv-6 :profil IV.....	41
Figure iv-7 :profil V.....	42

Figure iv-8 :profil VI.....	43
Figure IV-9 :PROFIL VII.....	45
Figure IV-10 :PROFIL VIII.....	46
Figure IV-11 : PROFIL IX.....	47
Figure IV-12: Carte de substratum Argileux (ENAGEO 1993).....	49
Chapitre V : HYDROGEOLOGIE	
Figure V-1-Coupe Hydrogéologique de complexe terminal (CORNET 1964).....	53
Figure V-2-Coupe Hydrogéologique de Continental Intercalaire.....	54
Figure V-3 Tableau récapitulatif des systèmes Aquifères d'El-Oued.....	56
FigureV-4 Carte piezometrique de la nappe phréatique mars-avril 2001.....	59
Figure V-5 Carte des variations du niveau piezometrique entre mars-avril 2001 et mars-avril 1993.....	60
Figure V-6 Carte piezometrique de la nappe phréatique septembre 2001.....	62
Figure V-7 carte des variations du niveau piezométrique entre september 2001, et mars-avril 2001.....	63
FigureV-8 carte piezometrique de la nappe phréatique avril 2002.....	65
Figure V-9 carte de variations du niveau piezométrique entre avril 2002 et mars-avril 2001.....	67
FigureV-10 carte de variations du niveau piezometrique entre avril 2002 et mars – avril 1993.....	69
Figure V-11: Essai de pompage longue durée à El-Oued interprété par la méthode de Cooper & Jacob	72
Figure V-12: Essai de pompage longue durée à Foulia interprété par la méthode de Cooper &-Jacob.....	73
Figure V-13: Essai de pompage longue durée à Kouinine interprété par la méthode de Cooper & Jacob.....	75
Figure V-14: Essai de pompage longue durée à Mih Ouansa interprété par la méthode de Cooper & Jacob.....	76
Figure V-15: Essai de pompage longue durée à Nakhla interprété par la méthode de Cooper & Jacob.....	78
Figure V-16: Essai de pompage longue durée à Ourmes interprété par la méthode de Cooper & Jacob.....	79

Chapitre VI : HYDROCHIMIE

Figure VI-1 diagramme de PIPER des eaux de la nappe phréatique d'El-Oued.....	84
Figure VI-2 : Le couple $SO_4 - Cl$	85
Figure VI-3 : Le couple $Na - Cl$	85
Figure VI-4 : Le couple $Ca - Na$	85
Figure VI-5 : Le couple $Ca - SO_4$	86
Figure VI-6 : Le couple $Na - SO_4$	86
Figure VI-7: Le diagramme de RICHARD des eaux de la nappe phréatique d'El-Oued.....	88
Figure VI-8 Carte de la conductivité électrique en mars-avril 2001.....	90
Figure VI-9 Carte de la conductivité électrique en septembre 2001.....	91
Figure VI-10 Carte de la conductivité électrique en avril 2002.....	94
Figure VI-11 Carte des variations de la conductivité électrique entre mars-avril 1993 et avril 2002.....	96
Figure VI-12 Carte du taux des nitrates en mars-avril 2001.....	98
Figure VI-13 Carte du taux des nitrates en septembre 2001.....	99
Figure VI-14 Carte du taux des nitrates en avril 2002.....	100
Figure VI-15 Carte des variations des nitrates entre mars-avril 1993 et avril 2002.....	102
Figure VI-16 carte du pH de l'eau en mars-avril 2001.....	103
Figure VI-17 carte du pH de l'eau en septembre 2001.....	105
Figure VI-18 carte du pH de l'eau en avril 2002.....	106

Chapitre VII : Vulnérabilité de la nappe phréatique à la pollution

Figure VII-1 Indices de classification de la vulnérabilité selon la méthode GOD.....	108
Figure VII-2 Carte de vulnérabilité de la nappe phréatique d'El-Oued selon la méthode GOD.....	109

Introduction

Depuis l'indépendance l'accroissement démographique, et le développement agricole et industriel dans cette région ont entraîné une augmentation considérable de la demande en eau, induisant la multiplication des forages destinés à mobiliser les ressources en eau des nappes profondes. La majorité du volume extrait et des fuites d'eau provenant des forages abandonnés se reinfiltre dans la nappe phréatique, à cause de l'absence de systèmes de drainage, pour la collecte et l'évacuation des eaux usées

En conséquence, le niveau de la nappe phréatique s'est élevé continuellement au cours des dernières années, ce qui pose de graves problèmes écologiques dans les zones urbaines et agricoles.

Par ailleurs, les eaux usées rejetées directement dans la nappe phréatique contribuent non seulement à la remontée de celle-ci, mais constitue également un facteur grave de pollution chimique et bactériologique.

Devant cette situation et dans le but de traiter définitivement le phénomène de la remontée des eaux, le secteur chargé de l'hydraulique a procédé à l'élaboration de plusieurs études préliminaires destinées, d'une part à mieux cerner ce problème afin de permettre l'élaboration d'un cahier des charges pour le lancement de l'étude d'un schéma générale d'évacuation des eaux usées en dehors de la vallée, et d'autre part définir un programme d'actions à court, moyen et long termes pour améliorer la situation .

Le présent travail est une contribution à la compréhension du problème de la remontée des eaux, en nous basant sur les travaux réalisés ces cinq dernières années.

Le mémoire présente les chapitre suivants :

- Présentation de la région d'El-Oued, situation géographique, étude des facteurs climatiques, définition de contexte géologique, et la lithologie de nappe phréatique.
- Identification de l'aquifère d'El-Oued, et analyse de l'évolution de niveau piézométrique entre la période allant de 1993 à 2002.
- Détermination de l'origine des éléments chimiques existant dans les eaux de la nappe.
- vulnérabilité de la nappe phréatique à la pollution, et recommandations pour améliorer la situation actuelle.

I.1. Situation géographique d'El-Oued (Figure I-1)

La wilaya d'El-Oued est située au Nord-Est de Sahara septentrional, elle est administrativement limitée par les wilayas suivantes :

- Biskra, Khenchela et Tebessa au Nord.
- Djelfa au Nord-Ouest.
- Ouargla au Sud et Sud-Ouest.
- La Tunisie à l'Est .

Géographiquement, elle est limitée par les coordonnées suivantes :

- $X_1 = 5^{\circ} 30'$ et $X_2 = 7^{\circ}$
- $Y_1 = 35^{\circ} 30'$ et $Y_2 = 37^{\circ}$

I.2. Aperçu sur la wilaya d'El-Oued

La wilaya d'El-Oued occupe une superficie de 44586 km², avec une population de 626884 habitants, donnant ainsi une densité de 14 habitants au kilomètre carré. Cette population est répartie à travers 30 communes regroupées dans 12 dairas. (**Figure I-2**).

L'activité agricole dans la région d'El-Oued se caractérise par l'exploitation des palmiers dattiers et l'élevage des moutons, des chèvres et des chameaux. On y cultive également le tabac, les cacahuètes et des cultures maraîchères. Ces cultures se font dans des jardins aménagés dans le creux des dunes et sont appelés "ghout" ou encore "sahane" qui veut dire "assiette" en arabe.

Dans le domaine de l'industrie, la wilaya d'El-Oued regroupe plusieurs activités économiques parmi lesquelles nous citons : les textiles, la cosmétique, l'industrie agro-alimentaire, la production de sel de table à partir des chotts et des sabkhats et la fabrication des matériaux de constructions, etc...

I.3. Relief et topographie d'El-Oued (Figure I-3)

Le relief d'El-Oued est caractérisé par l'existence de trois principales formes :

- une région sableuse ayant un double aspect ; l'Erg et le Sahara à l'Ouest.
- Une forme de plateau rocheux qui se prolonge vers le Sud avec une alternance de dunes et de crêtes rocheuses.
- Une zone de dépression caractérisée par la présence d'une multitude de Chotts qui se prolongent vers l'Est.

Du point de vue topographique la wilaya d'El-Oued se caractérise par une variation de cote progressive; l'altitude diminue du Sud vers le Nord et de l'Ouest vers l'Est pour atteindre des valeurs négatives au niveau des chotts (75 m à El-Oued et – 6m à Meghaier).

I.4 Conclusion :

La wilaya d'El-Oued est située au Nord-Est de Sahara septentrional, elle occupe une superficie de 44586 km², avec une population de 626884 habitants. Le relief d'El-Oued est caractérisé par l'existence de trois principales formes: une région sableuse, Une forme de plateau rocheux, et une zone de dépression. Du point de vue topographique l'altitude diminue du Sud vers le Nord, et de l'Ouest vers l'Est pour atteindre des valeurs négatives au niveau des chotts.

Chapitre I : situation géographique

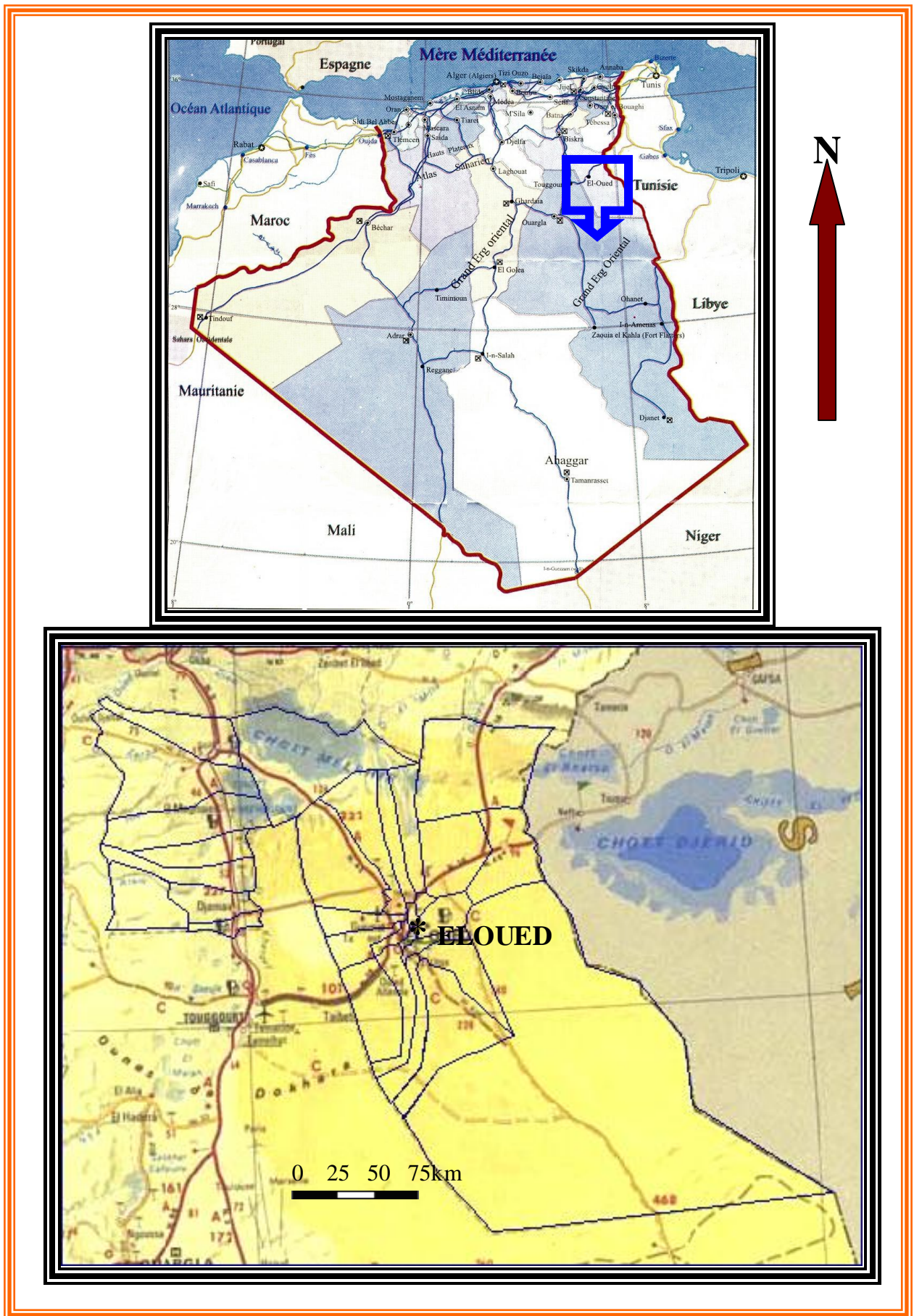
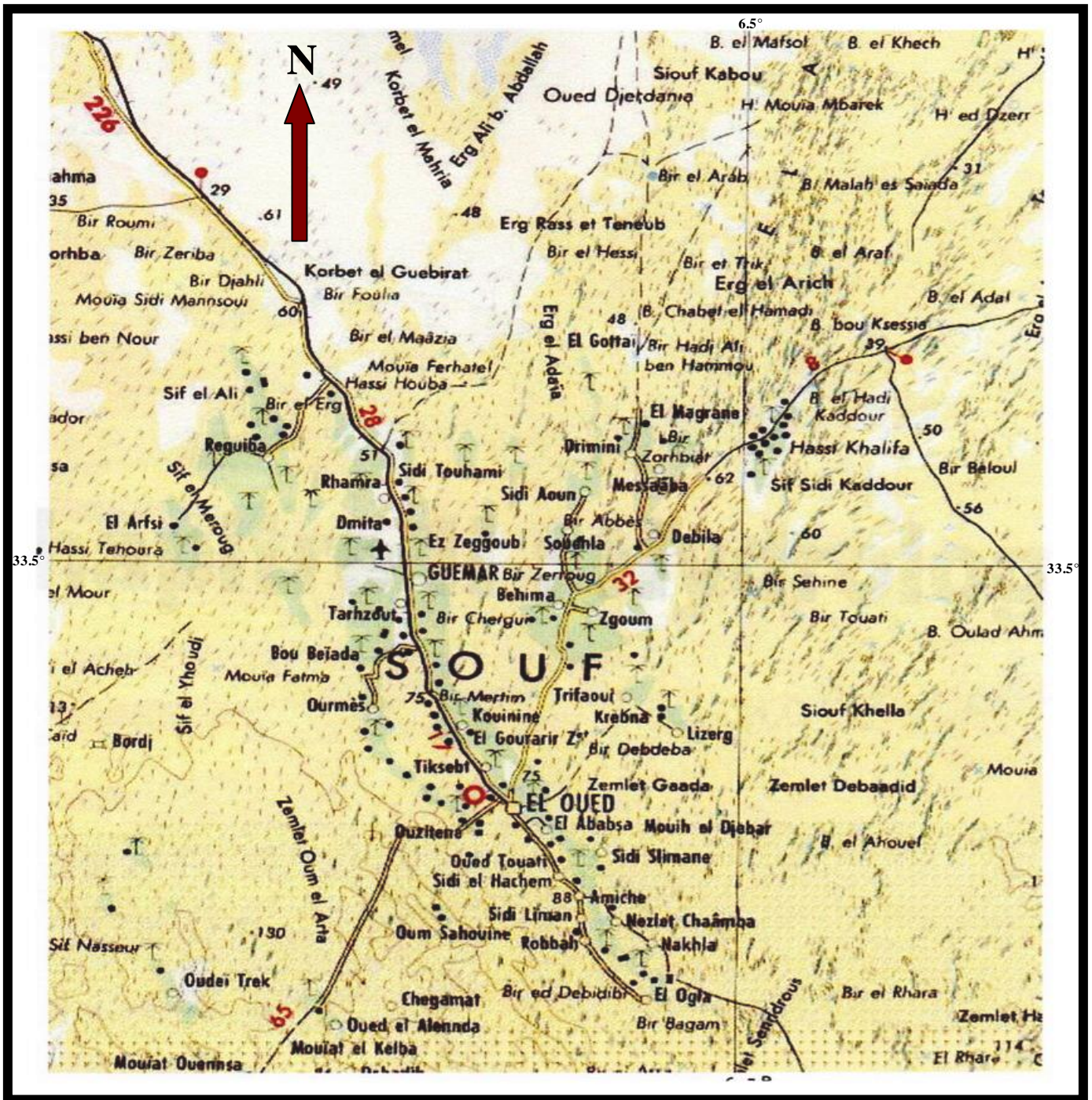


Figure I-1 : Carte de situation de la wilaya d'El-Oued



ECHELLE : 1/200000

Figure I-3 : Extrait de la carte topographique de la région d'El-Oued.

II.1. Introduction

La connaissance des caractéristiques climatiques est nécessaire pour toute étude hydrogéologique, En effet, elle permet d'une part d'évaluer l'alimentation des nappes souterraines et d'autre part d'avoir une idée sur les phénomènes météorologiques qui caractérisent la région d'El-Oued.

La présente étude est basée sur les données disponibles à la station d'El-Oued de 1967 à 2004.

II.2. Température

La température peut atteindre 46°C en été et entre 5°C et 21°C en hiver. Dans les oasis règne un microclimat non aride créé par la densité de la palmeraie dans les ghouts.

II.2.1. Températures moyennes mensuelles interannuelles

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Temp moyenne mensuelle
T°C	28,4	22,2	15,5	11,1	10,4	12,9	15,9	19,9	25,4	30,4	32,7	32,8	21,45

Tableau II-1 : Températures moyennes mensuelles interannuelles (1967-2004)

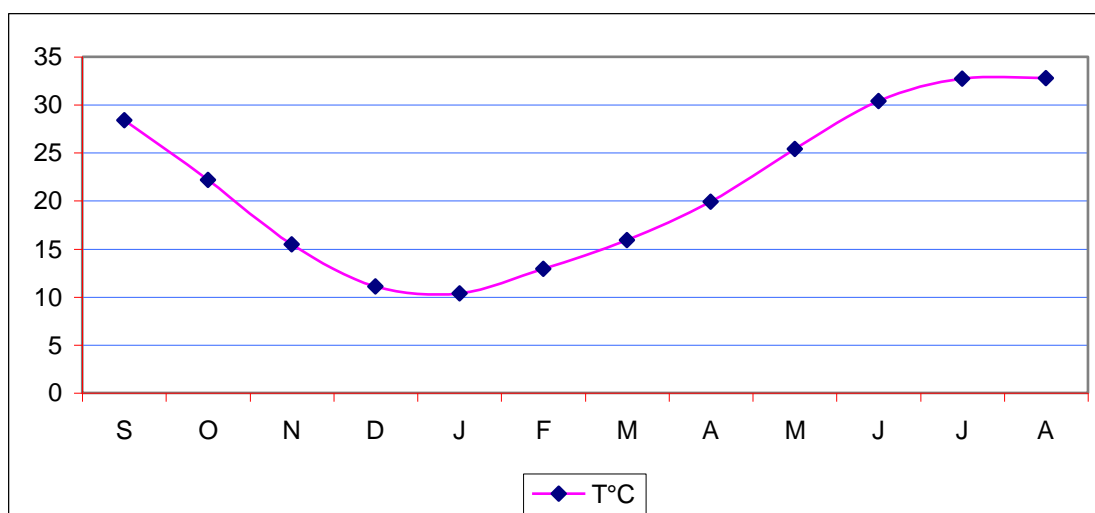


Figure II-1 Courbe des températures moyennes mensuelles interannuelles (1967-2004)

Selon le tableau (II-1) et comme le montre le graphe (II-1) le maximum des moyennes mensuelles est enregistré au mois d'août (32.8°C), Tandis que le minimum est observé au mois de janvier (10.4°C). Deux périodes climatiques se distinguent:

- une période froide qui dure de novembre à mars où la température varie entre 10.38°C à 15.85°C.
- une période chaude qui va du mois d'avril au mois d'octobre avec des températures variant de 19.9°C à 32.8°C.

II.2.2. Températures moyennes annuelles

Selon le graphique (Figure II-2), les années 1999 et 2001 sont les années les plus chaudes durant la période (1967-2004) ; 1976 est l'année la plus froide.

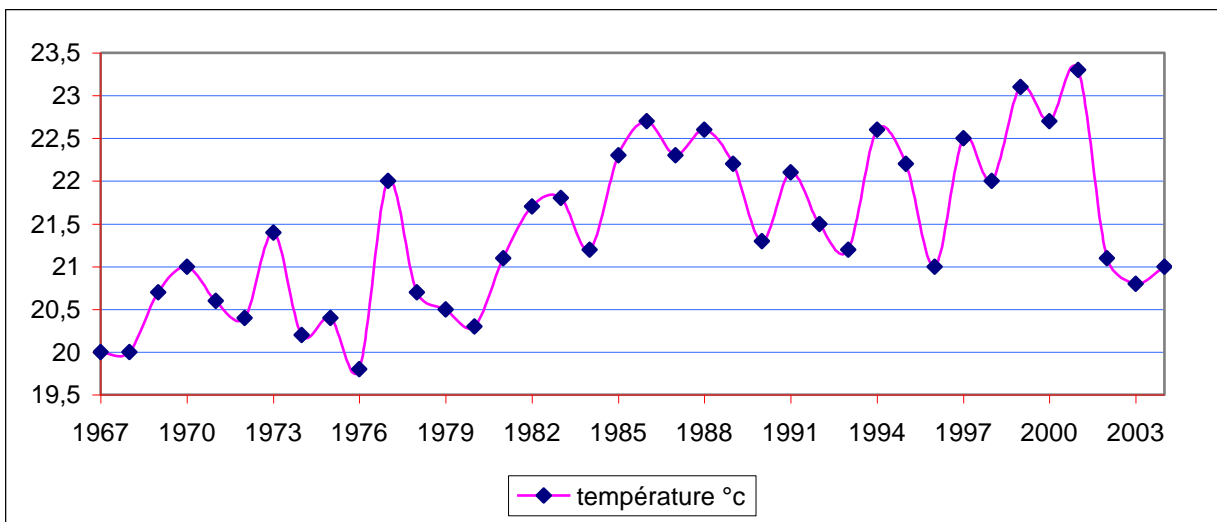


Figure II.2 Courbe des températures moyennes annuelles (1967-2004)

II.3. Les précipitations

Les précipitations dans la wilaya d'El-Oued sont caractérisées par des irrégularités dans l'espace et dans le temps, elles dépassent rarement 150 mm par an.

II.3.1. Précipitations moyennes mensuelles interannuelles

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Σp annuelle (mm)
P (mm)	6,28	7,96	6,94	11,84	7,84	8,96	5,57	5,57	5,04	5,18	0,32	0,79	72.27

Tableau II-2 Précipitations moyennes mensuelles interannuelles (1967-2004)

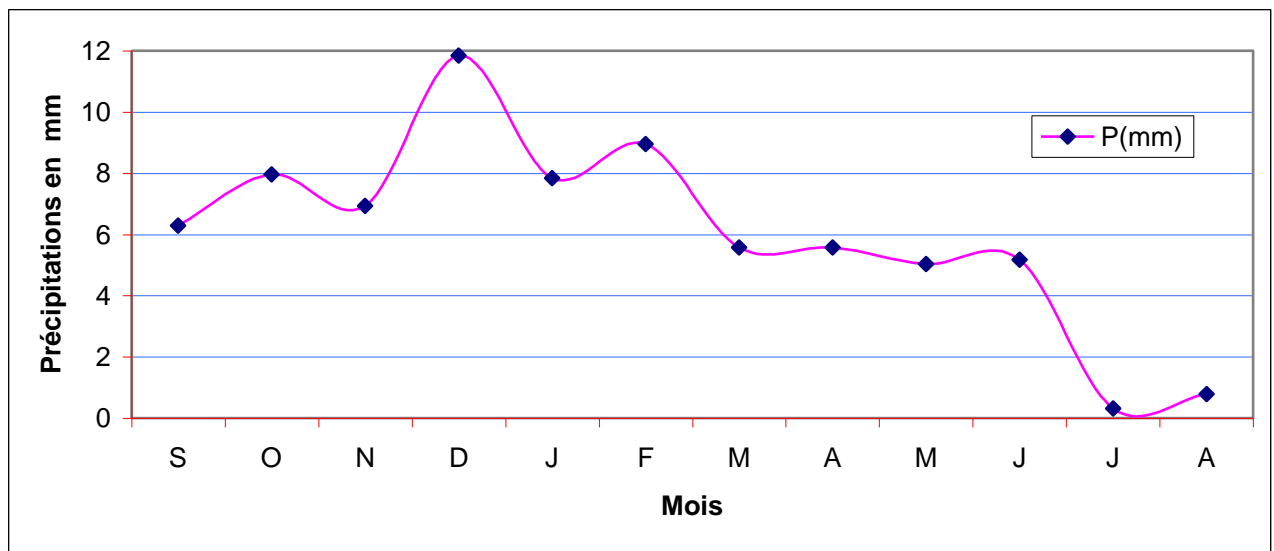


Figure II.3 Courbe de précipitations moyennes mensuelles interannuelles (1967-2004)

La courbe obtenue du tableau (II-2) montre que le maximum des moyennes mensuelles interannuelles est enregistré au mois de septembre 11.84 mm, tandis que le minimum est enregistré au mois de juillet 0.32 mm.

II.3.2. Précipitations moyennes annuelles

D'après la courbe (FigureII-4) la moyenne pluriannuelle est égale à 72,27mm. L'année 1990 est la plus pluvieuse (205mm), et l'année 1983 est l'année la plus sèche (13mm).

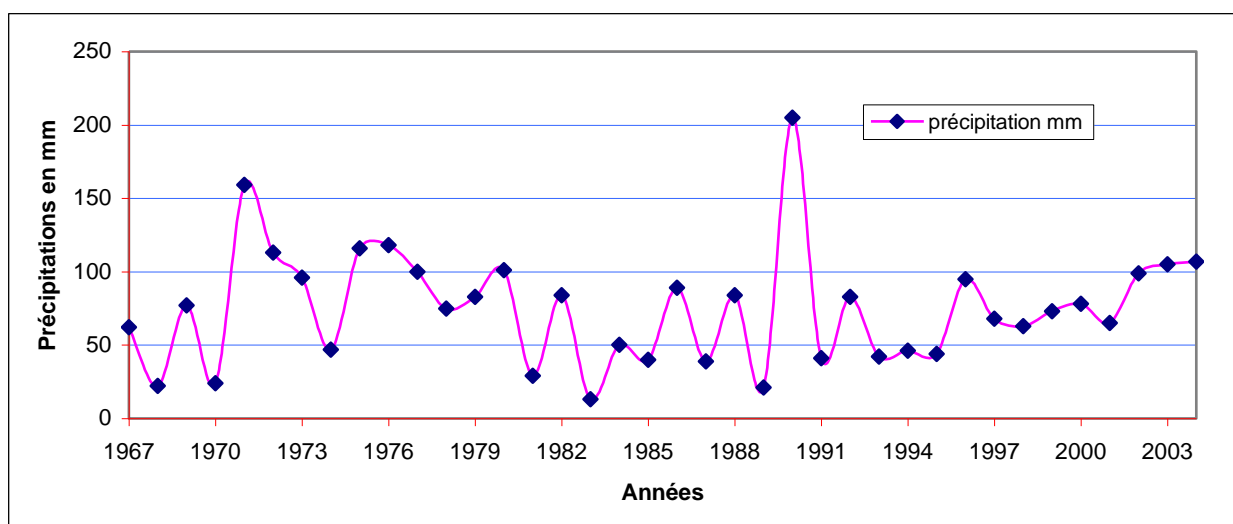


Figure II.4 Courbe des précipitations moyennes annuelles (1967-2004)

II.4. Rythme climatique

Les données des précipitations et des températures nous permettent de tracer la courbe pluvio-thermique (voir Figure II-5). À la station d'El-Oued pour la période (1967-2004).

Selon la courbe, la région d'étude est caractérisée par une saison sèche qui dure pendant toute l'année.

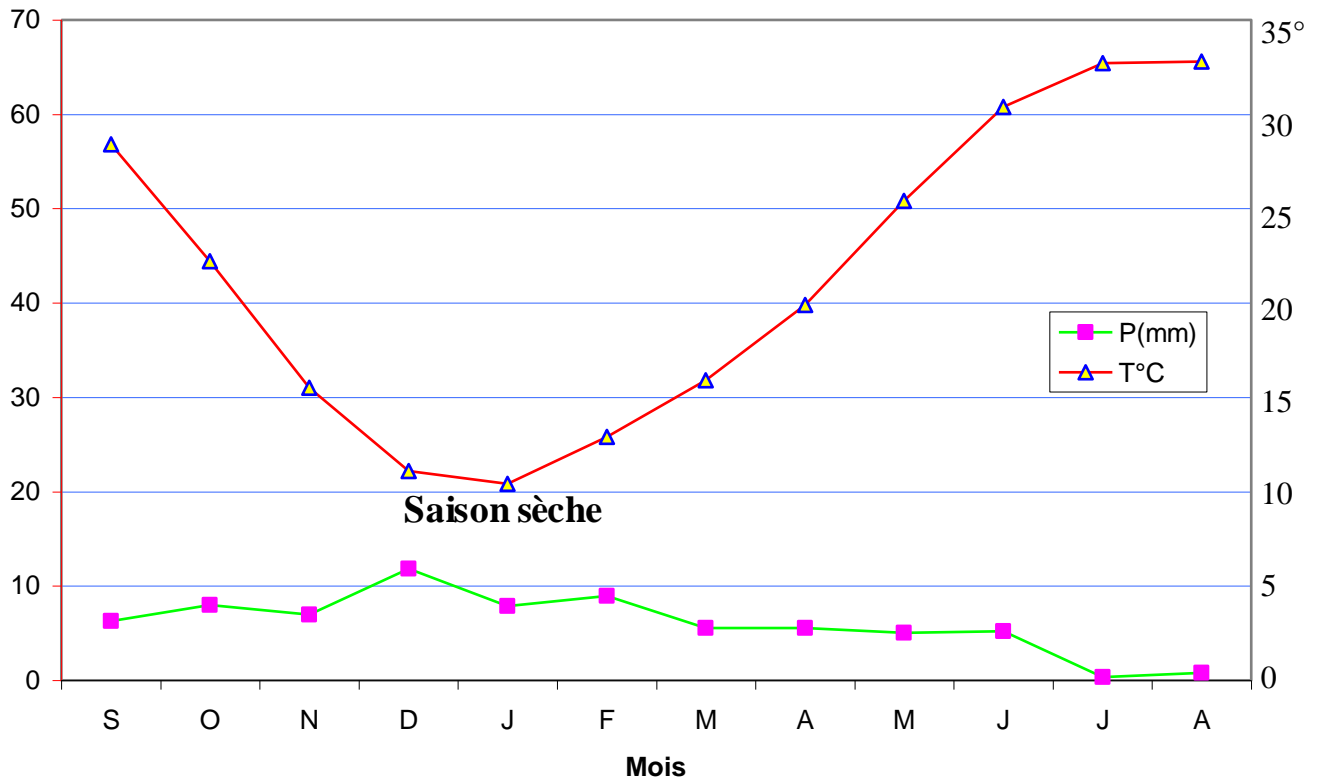


Figure II.5 Courbe pluvio-thermique de la station d'El-Oued (1967-2004)

II.5. Indice d'aridité

Cet indice permet d'identifier le type de climat dans la région d'étude à l'aide de la formule de Martone.

avec :

$$I = P / 10 + T$$

I : indice d'aridité

P : précipitation en mm

T : température en °C

On a $T = 21,45^{\circ}\text{C}$ et $P = 72,27$

classification de l'indice

$20 < I < 30$, le climat est tempéré

$10 < I < 20$ le climat est semi-aride

$7,5 < I < 10$ le climat est steppique

$5 < I < 7,5$ le climat est désertique

$I < 5$ le climat est hyper aride

Donc $I = 2,29$, on a un climat hyper aride

II.6. Diagramme d'Emberger

Le facteur d'Emberger est déterminé par la relation suivante : $Q = 3.43 \frac{P}{M - m}$

Où :

Q : facteur des précipitations d'Emberger

P : précipitations annuelles

M : la température du mois le plus chaud

m : la température minimale du mois le plus froid

D'après les données de la période de 35 ans on a :

P = 72,27 mm

M = 313,08 °K

m = 277,98 °K

Donc Q = 7,06 mm/°C

Selon la position sur le Diagramme d'Emberger, la région d'étude est caractérisée par un climat saharien avec un hiver doux. Voir Figure II.6

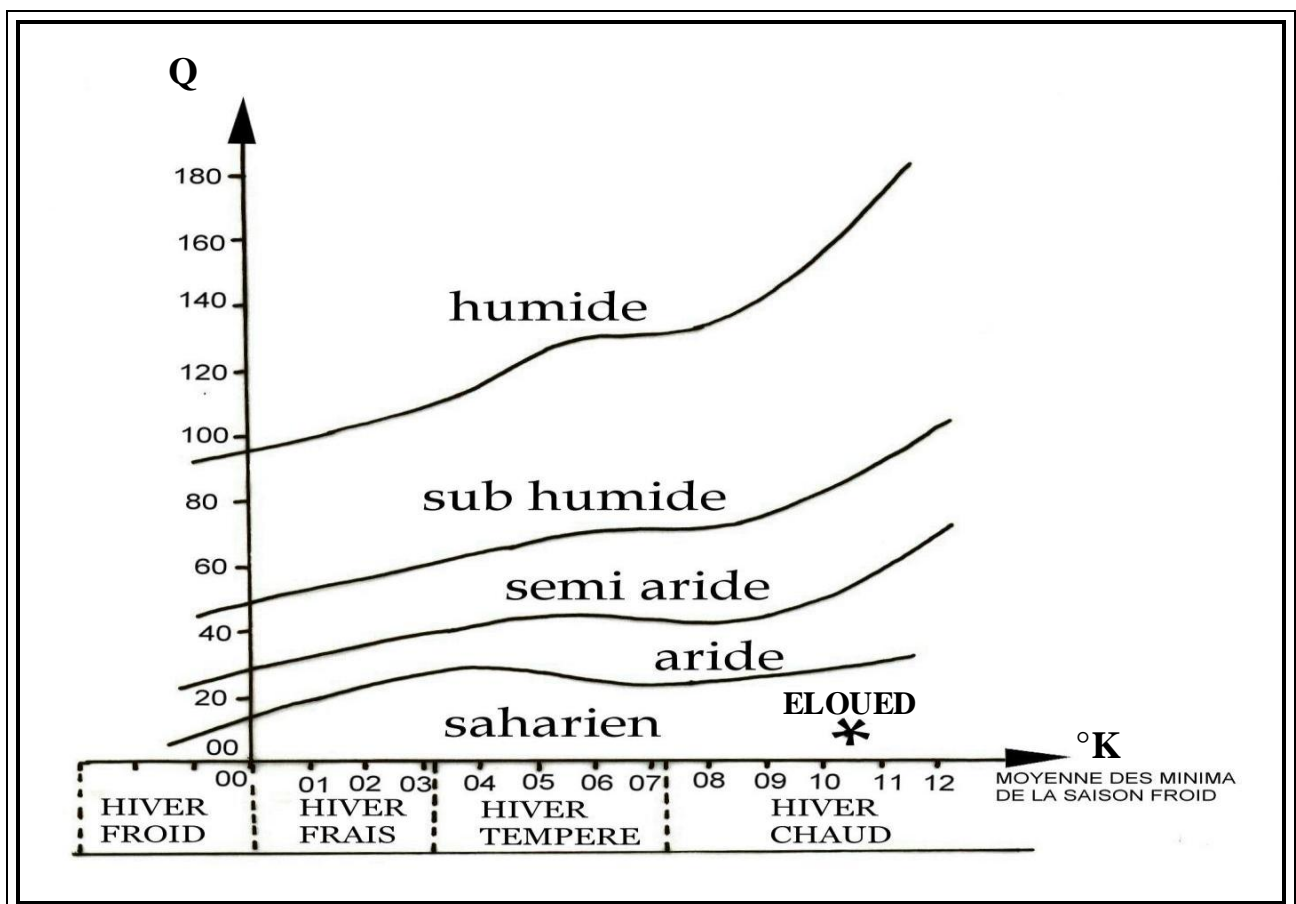


Figure.II.6 diagramme d'Emberger de la station d'El-Oued (1967-2004)

II.7.L'humidité

Les valeurs des moyennes mensuelles de l'humidité sont représentées dans le tableau (II.3). Nous observons que la moyenne la plus forte est celle du mois de Décembre et est de l'ordre de 66,84 % et la plus faible est celle du mois de Juillet avec 32,32 %.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Humidité (%)	65,6	57,4	51	44	39,7	35,9	32,3	34,9	45,1	54,2	61,1	66,8

Tableau II.3 Humidités moyennes mensuelles interannuelles (1967-2004)

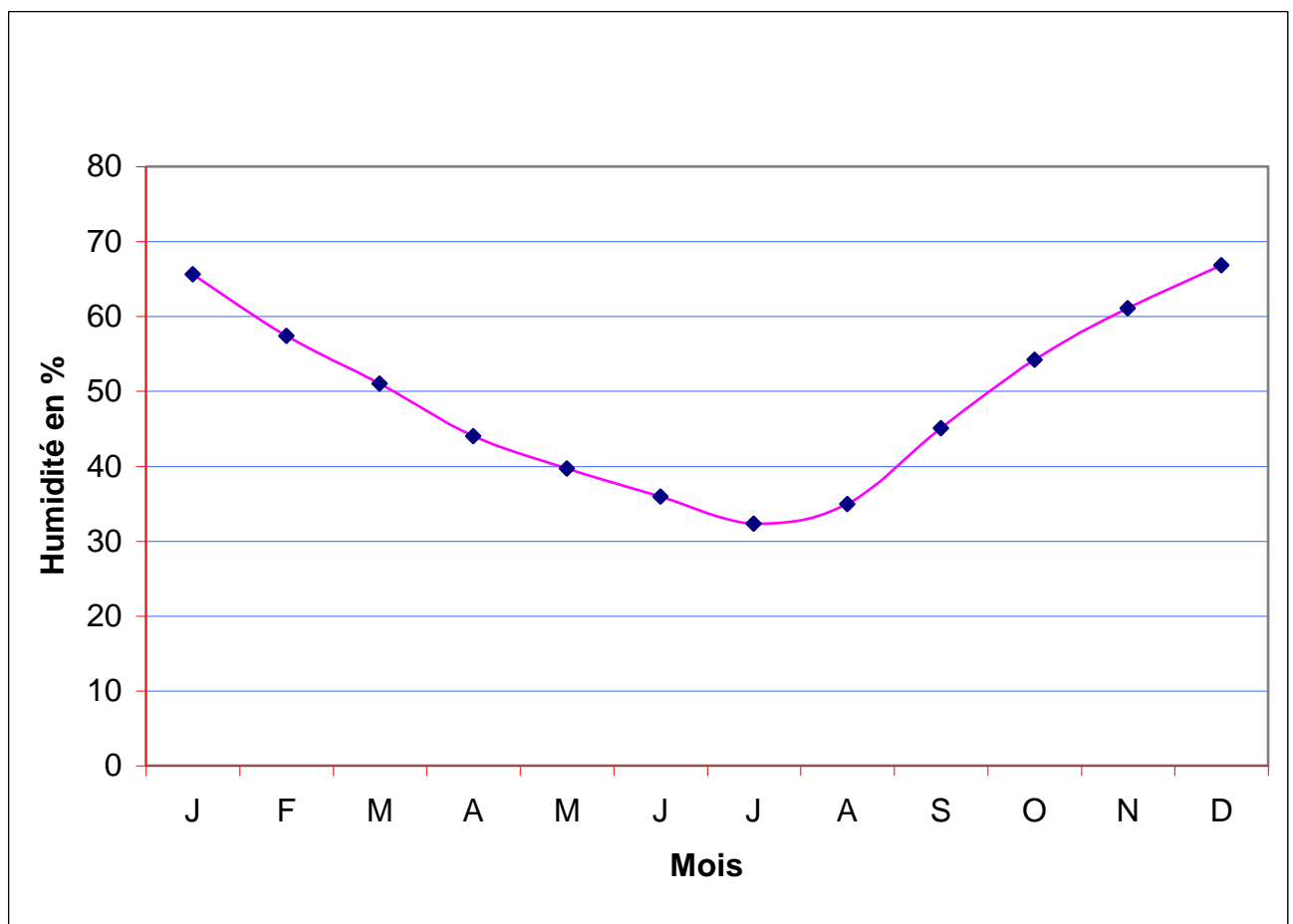


Figure II.7 Courbe de l'humidité moyenne mensuelle interannuelle (1967-2004)

II.8. Le vent

Les vents de direction Est et Nord-Est prédominent, puis à un degré moindre ceux de direction Ouest et Sud-Ouest, caractérisés par le Sirocco. Généralement c'est au printemps que

les vents sont les plus forts (période de pollinisation des palmiers), ils sont chargés de sables éoliens donnant au ciel une teinte jaune et peuvent durer jusqu'à trois jours consécutifs avec une vitesse allant de 40 à 50 Km/h.

II.9. Evaporation

D'après les données représentées dans le tableau (II.6), nous avons établi la courbe des moyennes mensuelles d'évaporation (Figure II.9). On peut tirer les informations suivantes :

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Evaporation moyenne en mm	4,2	5,68	8,25	11,01	13,63	15,76	16,88	15,6	11,37	9,2	5,49	4,33

Tableau II.4. Évaporations moyennes mensuelles interannuelles (1967-2004)

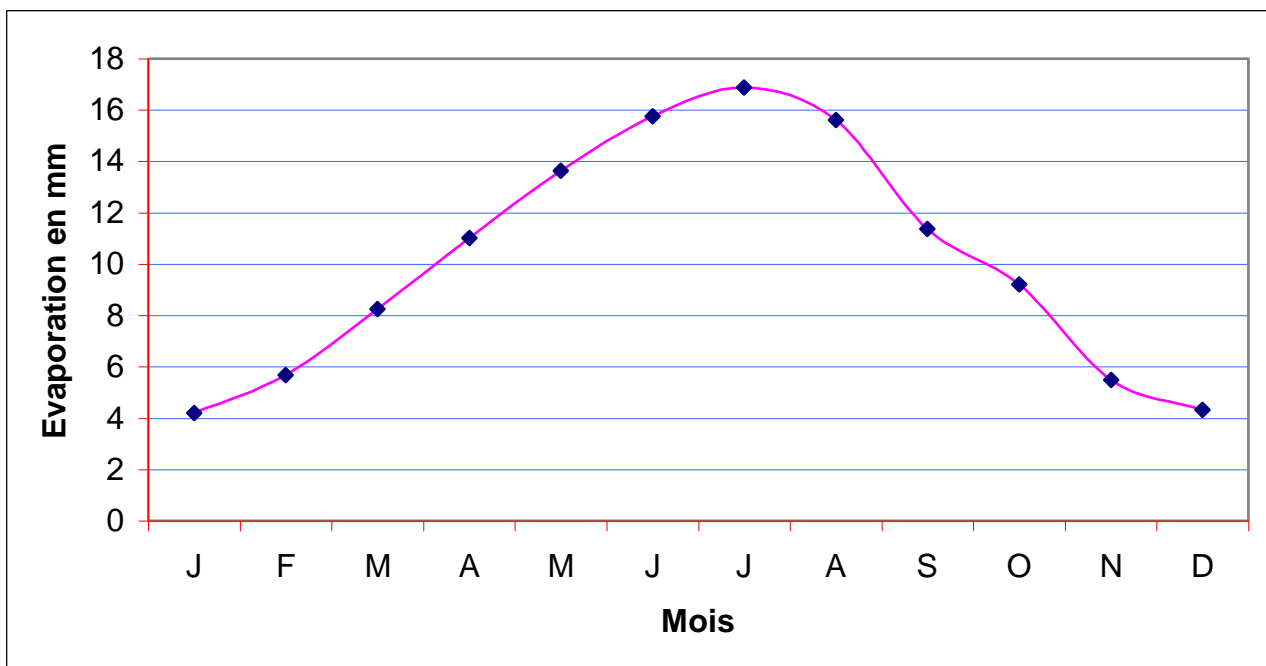


Figure II.8. Courbe d'évaporations moyennes mensuelles interannuelles (1967-2004)

La moyenne la plus forte pour la période d'étude est au mois de Juillet d'une valeur de 16,88 mm et la plus faible valeur est au mois de janvier avec une valeur de 4,2 mm.

II.9. 1. Evapotranspiration

L'évapotranspiration résulte de deux phénomènes : l'un physique (évaporation) et l'autre biologique (Transpiration). Elle est en fonction de plusieurs facteurs tels que : climat, humidité, température, l'insolation et aussi la végétation.

II.9. 1.1. L'évapotranspiration potentielle (ETP)

L'ETP représente la quantité d'eau qui serait évaporée et transpirée si les réserves en eau étaient suffisantes pour compenser les pertes maximales.

La région d'étude est une zone aride, nous avons utilisé la méthode de Thorntwaite pour calculer l'évapotranspiration potentielle selon les formules suivantes :

Pour calculer l'ETP, on utilise :

$$\mathbf{E.T.P=16(10T / I)^a}$$

$$\mathbf{a= (1,6 \times I/100) + 0,5}$$

D'où :

$$I= \Sigma i \quad \text{avec } i= (t / 5)^{1,514}$$

T : Température moyenne du mois considéré en °C

I : indice thermique annuel

i : indice thermique mensuel

a: exposant

Les valeurs de l'ETP sont à ajuster en utilisant le coefficient de correction "K" qui dépend de latitude, notre station se trouve à une latitude 33° 30' N.

$$\mathbf{E.T.P_c = ETP \times K}$$

II.9. 1.2. L'évapotranspiration réelle (E.T.R)

L'évapotranspiration peut être évaluée la formule empirique de Thorntwaite, en nous basons sur les conditions suivantes :

- si les précipitations du mois sont supérieures à l'E.T.P. ($P > ETP$) alors $ETP = ETR$. Dans ces conditions, l'excédant ($E \times D$) des précipitations sont emmagasinées dans le sol pour alimenter les réserves jusqu'à la saturation du sol. Le surplus après saturation constitue donc l'excédant qui alimente la nappe profonde et l'écoulement de surface.

- Si les précipitations du mois sont inférieures à l'E.T.P. ($P < ETP$), les réserves en eau du sol du mois précédant est assez forte pour compenser le manque de précipitations du mois considéré et dans ce cas, le niveau de réserve de la RFU (Réserve Facilement Utilisable) baisse donc : $E.T.R = P + RFU$. Ces réserves disponibles sont insuffisantes pour satisfaire l'E.T.R. alors $ETR = P$ et dans ce cas, il y a un déficit Agricole

II.10. La réserve facilement utilisable (R.F.U.)

Pour calculer la RFU, on utilise la formule suivante : J. Richard 1979)

$$R.F.U = 1/3 \cdot Da \cdot He \cdot P \quad \text{D'où :}$$

Da: densité apparente du sol

He : humidité équivalente en %

P : profondeur de la terre parcourue par la ravine en (mm)

Pour la région d'étude la RFU est de l'ordre de 100 mm.

II.11. Bilan hydrique

Le bilan hydrique de la station d'El-Oued dans la période (1967-2004) d'après la méthode de Thorntwaite est déficitaire ; la quantité d'eau précipitée sera vite évaporée parce que évapotranspiration potentiel l'ETP est plus importante que les précipitations, le ruissellement et la réserve facilement utilisable est nulle pendant les douze mois. La déficit (DA) agricole est présent pendant toute l'année, elle atteindra son maximum au mois de juillet (219,55mm).

II.11. Conclusion

Le climat de la région d'El-Oued est de type Saharien, caractérisé par un été chaud, sec et un hiver doux ; la température moyenne mensuelle interannuelle est de l'ordre de 21,45°C, le maximum de la température est atteint au mois de août (32,8°C) et son minimum est observé au mois de janvier (10,34°C). Les précipitations moyennes interannuelles sont de l'ordre de 72,27 mm. La valeur maximale des précipitations est observée au mois de décembre 11,84 mm et la valeur minimale est observée au mois de juillet 0,32 mm. Les vents ont une direction Est et Nord-Est avec une vitesse moyenne de l'ordre de 45 km/h. L'humidité relative varie entre 32,9% et 66,8%.

Le bilan hydrique est déficitaire à cause des faibles précipitations et une forte évapotranspiration.

**Tableau II.5 : Bilan Hydrique de la station de El-Oued (1967 - 2004)
D'après la méthode de Thorntwaite**

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec.	Jan.	Fev.	Mars.	Avr.	Mai	Juin	Jui.	Août	Total
T°C	28,42	22,15	15,48	11,09	10,38	12,86	15,85	19,94	25,38	30,4	32,68	32,82	
P (mm)	6,28	7,96	6,94	11,82	7,84	8,96	5,57	5,57	5,04	5,18	0,32	0,79	72,27
I	13,88	9,52	5,53	3,34	3,02	4,17	5,73	8,11	11,69	15,27	17,15	17,26	114,77
K	1,03	0,98	0,89	0,88	0,90	0,87	1,03	1,08	1,18	1,18	1,20	1,14	
ETPn-c (mm)	132,33	74,03	32,12	14,777	16,66	20,85	33,94	57,95	101,66	154,81	183,23	185,06	
Dp (P-ETPc)	-130,01	-64,58	-26,07	-1,17	-3,55	-9,17	-29,38	-56,77	-114,91	-177,49	-219,55	-210,17	
ETR	6,28	7,96	6,94	11,82	7,84	8,96	5,57	5,57	5,04	5,18	0,32	0,79	72,27
RFU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
EX (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ETPc (mm)	136,29	72,54	33,01	12,99	11,39	18,13	34,95	59,34	119,95	182,67	219,87	210,96	1112,09
Da (mm)	130,01	64,58	26,07	1,17	3,55	9,17	29,38	53,77	114,91	177,49	219,55	210,17	1039,82

Formule de vérification:

$$P = ETR + EX = 72,27 = 72,27 + 0$$

$$ETP = ETR + Da = 1112,09 = 72,27 + 1039,82$$

III.1. Introduction

La géologie de Sahara algérien est caractérisée par quatre grands ensembles :

- le bouclier du Hoggar et de la dorsale.
- La couverture paléozoïque du socle Rguiba.
- Le domaine de plate forme Saharienne.
- Les formations récentes (Erg Hamada).

La région d'El-Oued appartient au domaine de la plate forme Saharienne ; elle est située dans le bas-Sahara oriental.

Dans le cadre des étude de reconnaissance géologique du Sud de l'Algérie, plusieurs auteurs ont étudié la région parmi eux nous citons:

- N.GOUSKOV en 1948.
- CORNET 1964, BEL et CUCHE 1968.
- G.BUSSON en 1970 « étude en détail du mésozoïque saharien ».
- G.FABRE en 1976 « étude géologique du Sahara algérien ».
- Parmi les études récentes, il y a celles réalisées par SONATRACH et ENAGEO.

III.2. Cadre géologique d'El-Oued

- La carte géologique d'El-Oued montre que seul les terrains d'âge quaternaire sont visibles à l'affleurement. Ils sont recouverts par de considérables épaisseurs de dépôts quaternaires (dune et cordon d'Erg). (Voir figure III-1).
- La succession des terrains et leur description lithologique ont été rendus possibles grâce au logs de forage d'eau.

III.2.2. Cadre stratigraphique

III.2.2.1. Crétacé (le secondaire) (Figure III-2)

III.2.2.1.1. Le Barrémien : cet étage est capté par tous les forages du continental intercalaire réalisés dans cette région. Il présente une alternance de grés avec passages d'argile et parfois des intercalations de calcaires dolomitiques. Nous rencontrons également des sables avec présence de silex. L'épaisseur moyenne de cet étage est de l'ordre de 200 m à 230 m.

III.2.2.1.2. L'Aptien : de même que le barrémien, ce dernier est constitué principalement par des formations dolomitiques, marneuses et marno-calcaires. D'après les coupes géologiques des forages réalisés dans la région, l'Aptien est le seul étage dont, l'épaisseur ne dépasse pas 30 m.

III.2.2.1.3. L'Albien : cet étage est constitué par une alternance de marnes, de grés de sables et surtout par des calcaires avec passages de silex et d'argile.

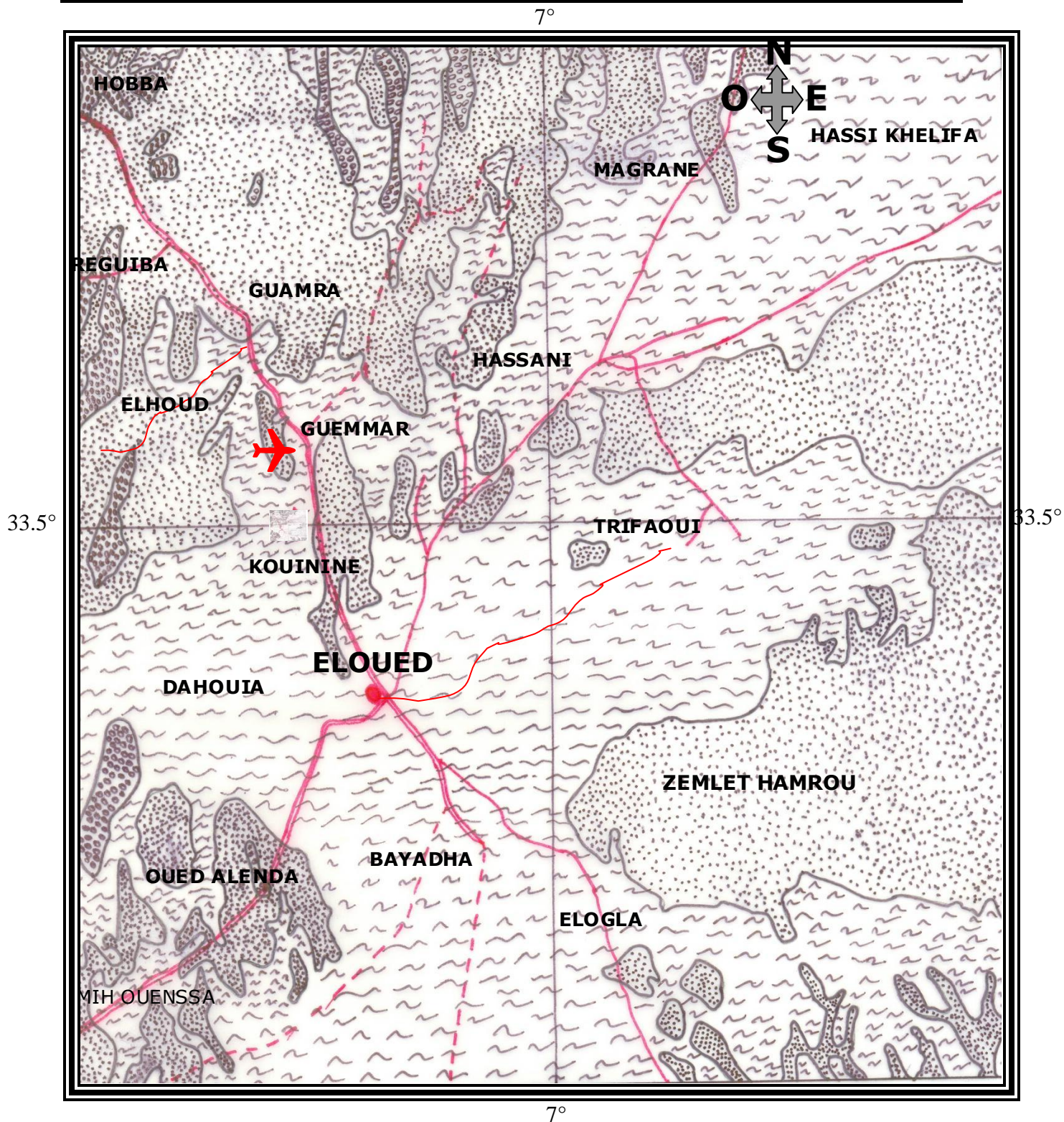
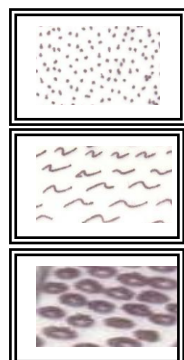


Figure III-1 : Extrait de la carte géologique d'El-OUED (CORNET-1964) ECHELLE : 1/200000

Légende :



Quaternaire continental (alluvions, terrasses)

Dunes récentes

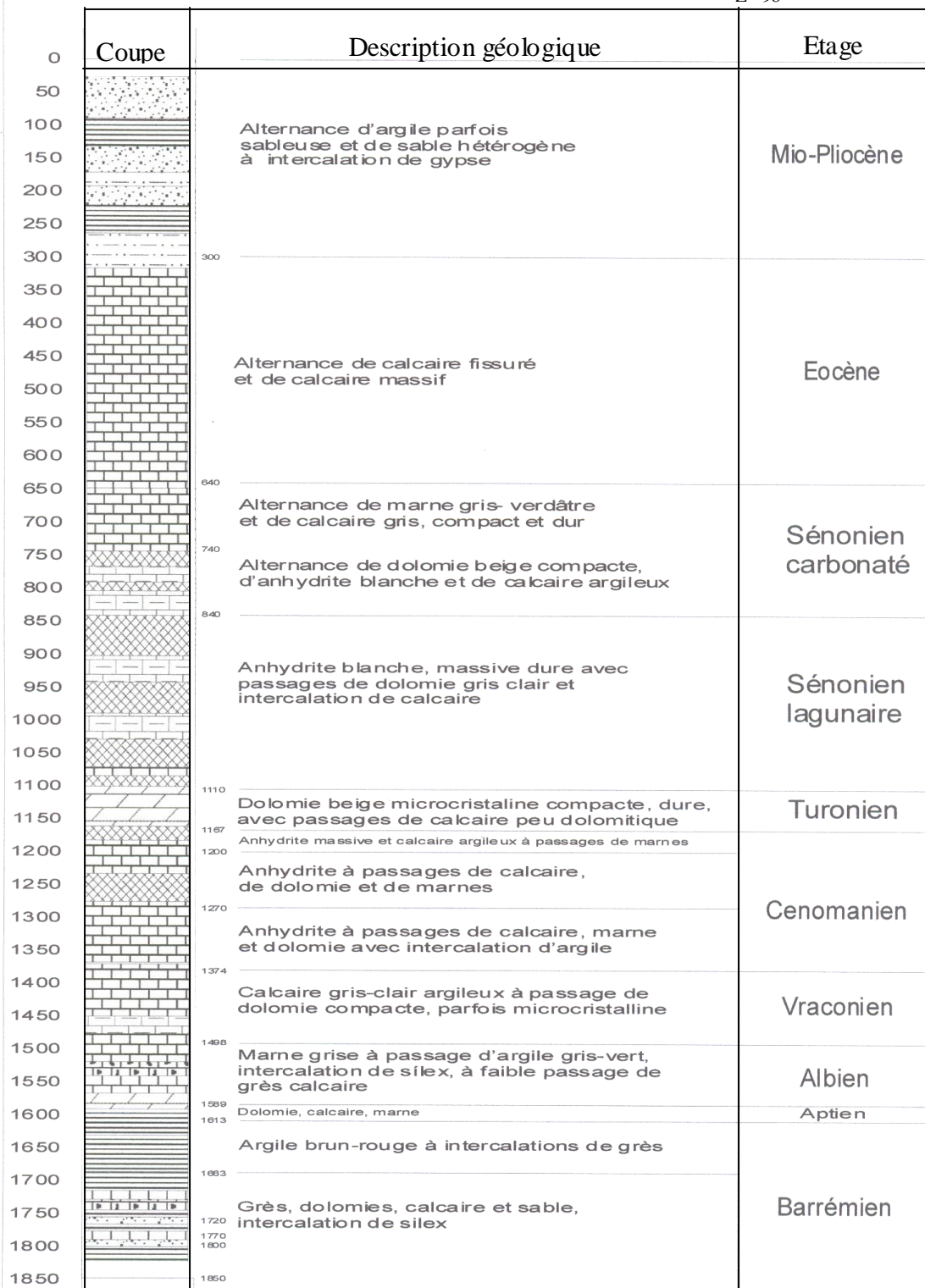
Alluvions actuelles (marécage, chotts, sebkhas)

Figure III-2 : Colonne stratigraphique de F2

X=885300

Y= 314000

Z= 98



La limite inférieure est constituée par le toit de la barre aptienne, alors que sa limite supérieure par l'apparition des faciès argilo-carbonatés. D'après les coupes de sondages des forages albiens. L'épaisseur de cet étage est de 200 m.

III.2.2.1.4. Le Vraconien : c'est une zone de transition entre l'Albien sableux et le Cénomaniens argilo-carbonaté. Cet étage est constitué principalement d'une alternance irrégulière de niveaux argilo-dolomitiques. On rencontre aussi des sables avec passages des grès à ciment calcaires.

Cet étage constitue la couverture de l'albien par des niveaux argileux. L'épaisseur de cet étage dans toute la zone d'étude varie entre 250 m et 300 m.

III.2.2.1.5. LE Cénomaniens : tous les forages réalisés dans cette région ont montré que cet étage est constitué par une alternance de dolomies, de calcaires dolomitiques, de marnes dolomitiques, d'argiles et de d'Anhydrites. Cet étage joue le rôle d'un écran imperméable. La limite inférieure de cet étage est caractérisée par l'apparition d'évaporites et de dolomies qui le distingue nettement. La limite supérieure caractérisée par l'apparition d'évaporites et de calcaires correspond à la base du Turonien.

III.2.2.1.6. Le Turonien : cet étage représente la base du complexe terminal. Il est généralement carbonaté et constitué par des calcaires dolomitiques et des dolomies microcristallines compactes avec des intercalations de calcaires et parfois de marnes.

Les forages de la région montrent clairement que son épaisseur varie d'un endroit à un autre, elle dépasse parfois 650 m.

III.2.2.1.7. Sénonien: la plupart des études géologiques effectuées à travers le Sahara algérien montrent que le Sénonien est formé de deux ensembles très différents de point de vue faciès : l'un correspond au sénonien lagunaire, situé à la base, et le sénonien carbonaté situé à la partie supérieure.

III.2.2.1.7.1. Sénonien lagunaire : Le sénonien lagunaire est caractérisé par un faciès évaporitique avec des argiles ou ces dernières sont aisément différenciables de celles du Turonien.

Il est constitué également d'anhydrite, de calcaires dolomitiques, d'argiles et surtout de bancs de sel massif dont l'épaisseur avoisine les 150 mètres. La limite supérieure de cette formation coïncide avec le Turonien de la dernière intercalation anhydritique.

III.2.2.1.7.2. Sénonien carbonaté : ce second sous étage est constitué par des dolomies, des calcaires dolomitiques, avec des intercalation marno-argileuses et en grande partie par des calcaires fissurés et de dolomies vacuolaires. Son épaisseur dépasse parfois 300 mètres.

Il faut mentionner par ailleurs l'existence d'une continuité lithologique entre le Sénonien carbonaté et l'Eocène qui présentent tous les deux des calcaires de même nature avec la présence de nummulites.

III.2.2.2. Le Tertiaire : (Figure III-3)

III.2.2.2.1. L'Eocène : cet étage est formé par des sables et des argiles parfois. Nous rencontrons du gypse et des graviers. Dans la région d'El-Oued cet étage est carbonaté à sa partie inférieure, alors que sa partie supérieure est marquée par des argiles de types lagunaires.

L'épaisseur de cet étage varie entre 150 m et 200 m.

III.2.2.2.2. LE Mio-Pliocène : ce dernier repose en discordance indifféremment sur le primaire, d'une part et sur le Crétacé inférieur, le Turonien, le Cénomaniens et l'Eocène d'autres part. Il appartient à l'ensemble appelé communément complexe terminal (CT).

La plupart des coupes de sondages captant cet horizon, montre que le Mio-Pliocène est constitué par un empilement de niveaux alternativement sableux, sablo-argileux avec des intercalations gypseuses, marneuses et des passages de grés.

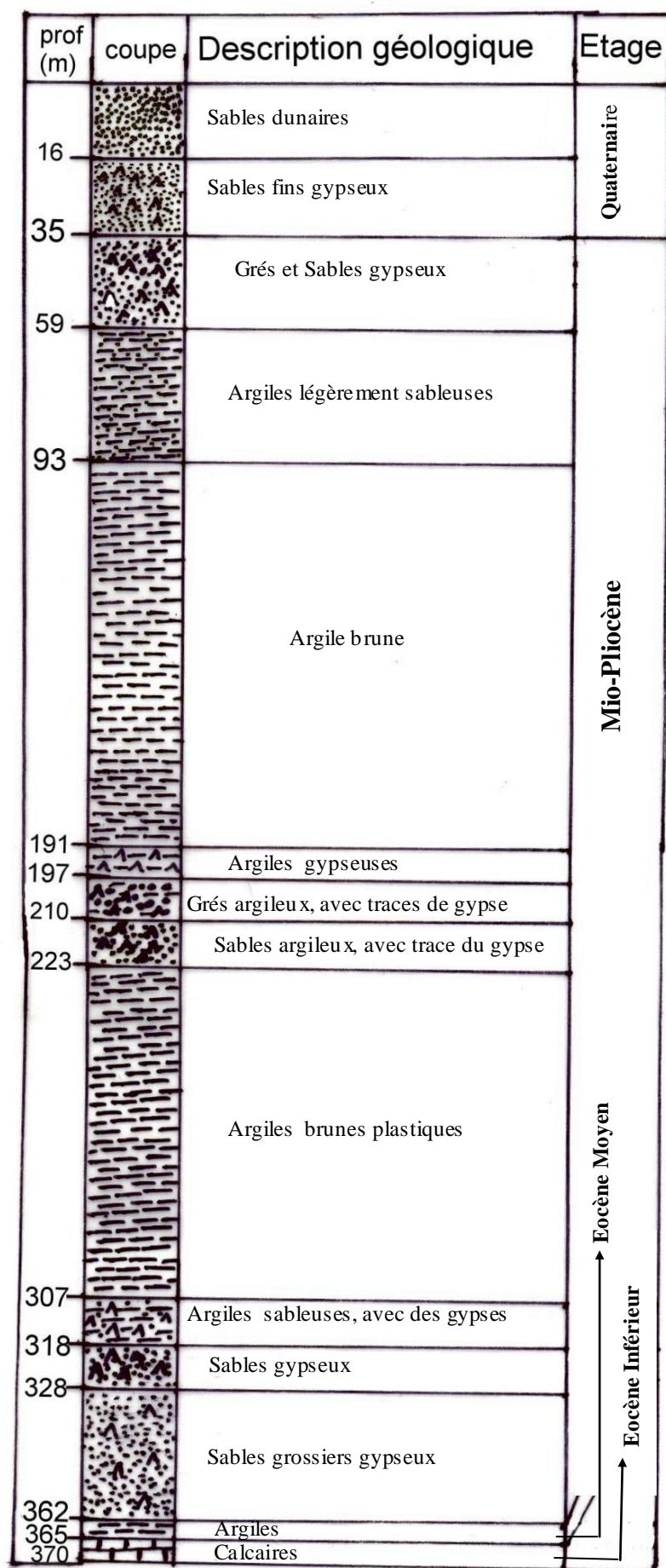
Sur toute l'étendue du Sahara oriental, Bel et Demargne séparent cet horizon en quatre niveaux :

- niveau argileux : il présente une faible épaisseur, son existence n'affecte que la partie centrale de Sahara oriental.
- Niveau grés-sableux : c'est le plus puissant par apport aux autres, son épaisseur reste presque régulière sur toute l'étendue du Sahara. C'est en fait à ce niveau que se trouve le principal horizon aquifère- appelé aussi complexe terminal (CT).
- Niveau argilo-sableux : il ne présente pas un grand intérêt du point de vue hydrogéologique ; ses limites demeurent toujours confondues
- Niveau sableux : ce niveau constitué le deuxième horizon aquifère du complexe terminal. Donc du point de vue hydrogéologique les deux niveaux sableux (b et d) présentent un grand intérêt. Ils correspondent à la nappe des sables du complexe terminal.

III.2.3. Quaternaire :

Le quaternaire est formé par des dépôts sableux de type éolien donnant naissance à des dunes, qui forment à leur tour l'extrémité ouest du grand Erg oriental. Au nord ce sont les chotts qui disparaissent peu à peu sous les sables dunaires. C'est au niveau de cet horizon que l'on rencontre la nappe phréatique. Les colonnes stratigraphiques de certains forages montrent que l'épaisseur moyenne de cette nappe est de l'ordre de 60 mètres.

Figure III-3 : Colonne stratigraphique de F03.



X= 887.000
 Y= 334.900
 Z= 65

Eocène Moyen
 ↑
 Eocène Inférieur

III.3. Tectonique et paléogéographie de la région

Le bassin sédimentaire comporte à la base des formations marines paléozoïques riches en eau. Elles sont surmontées en discordance par des formations secondaires et tertiaires dont l'épaisseur dépasse parfois 2000 mètres. La série sédimentaire lagunaire recouvre un vaste synclinal dont le fond présente un grand rayon de courbure.

Les couches sédimentaires semblent s'épaissir du Nord vers le centre dans cette dépression. S'il faut retracer l'événement paléogéographique de l'Oued Souf il faut mentionner qu'au cours de la genèse de l'immense dépression au début de quaternaire et sous les effets de la sédimentation, le centre de cette dépression se déplace en fonction du temps vers le Nord donnant naissance à une nouvelle dépression qui correspond à nos jours à la zone des chotts et qui s'est produite à la fin du Quaternaire.

III.4. Interprétation des coupes géologiques

L'objectif de ces coupes géologiques est d'établir une corrélation lithologique du sous-sol, d'identifier l'extension géographique, l'épaisseur approximative des couches ainsi que l'épaisseur utile de la nappe phréatique dans la région d'El-Oued. Ces coupes sont vérifiées ensuite par les sondages électriques verticaux (voir coupes géo électrique de chap IV)

III.4.1. Coupe N°1 :(Figure III-4)

Cette coupe est orientée Nord-Est, Sud-Ouest. Elle va de Hassi Khelifa vers Ourmes. Nous remarquons l'absence de la formation quaternaire (sables) au niveaux du forage (H_{12}^{52}) et l'affleurement de Mio-Pliocène. Ceci est dû à l'effet de l'érosion éolienne. Le Mio-pliocène est constitué de formations ayant des lithologies différentes (argiles, argiles sableuses, sables grossier, et grés) leur épaisseur est considérable (plus que 200 m) et presque constante dans toutes la zone traversée par la coupe. A la base de ce dernier on rencontre une mince couche d'argile et de marne d'âge Eocène moyen, qui surmonte le calcaire d'âge Eocène inférieur et qui est localisé à 300 m au Sud-Ouest et 400 m au Nord-Est.

III.4.2. Coupe N°2 :(Figure III-5)

La coupe N°2 est orientée Nord-Ouest vers Sud-Est et va de Hassi Houba jusqu'à Z'goum est différente des autres surtout sur le plan de la stratification. Cette dernière est entrecroisée, ayant une forme en « biseaux » résultant des évènements paléogéographiques. Ces formes sont bien visibles dans les quatre premiers forages. Quant aux formations quaternaires, nous constatons que leur épaisseur est plus importante au Nord-Ouest qu'au Sud-Est (voir H_{11}^{583} et H_{12}^{63}).

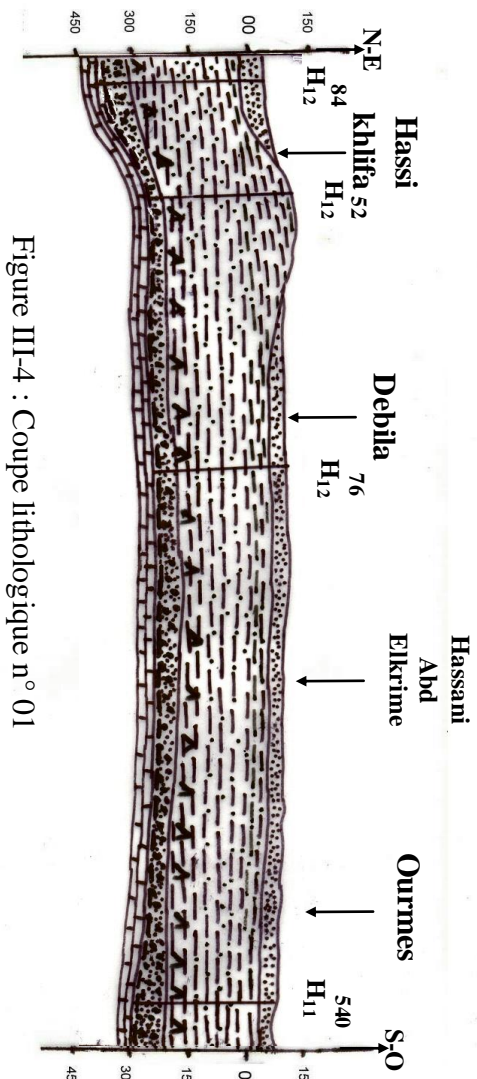


Figure III-4 : Coupe lithologique n° 01

- Légende :
- 1- Sables (Quaternaire)
 - 2- Argiles avec sables, et gypses (MP)
 - 3- Sables grossiers et grès (Mio-Pliocène)
 - 4- A argiles (Eocène Moyen)
 - 5- Calcaires (Eocène inférieure)

Echelle des longueurs :
0 1 2 3 4km

Echelle des hauteurs : 1/20000

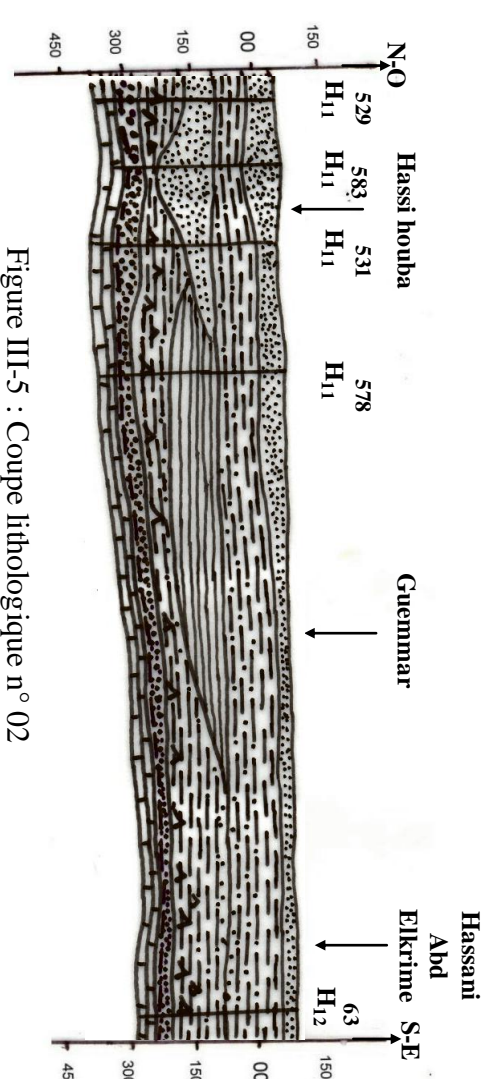


Figure III-5 : Coupe lithologique n° 02

- Légende :
- 1- Sables (Quaternaire)
 - 2- Argiles avec grès, sables et gypses (MP)
 - 3- Marnes (Mio-Pliocène)
 - 4- Sables grossiers et grès (Mio-Pliocène)
 - 5- Argiles (Eocène Moyen)
 - 6- Calcaires (Eocène Inférieur)

Echelle des longueurs :
0 1 2 3 4km

Echelle des hauteurs : 1/20000

III.5. Conclusion

La géologie d'El-Oued est masquée par une épaisse couche de terrains quaternaires. Leur description a été effectuée grâce à l'interprétation des logs stratigraphiques des forages d'eau. Elle est représentée par des terrains allant du Crétacé au Quaternaire.

La lithologie des formations est détritique et évaporitique pour le Quaternaire, détritique, évaporitique et carbonatée pour le Tertiaire et le Crétacé inférieur.

Le pendage des couches témoigne d'une sédimentation lagunaire marquée par la présence des évaporites.

IV . 1. Introduction

La géophysique est un outil complémentaire indispensable à une étude hydrogéologique, elle complète les données d'un forage quand la zone d'étude est vaste et complexe. Les irrégularités sont généralement détectées de même que pour la puissance, l'allure et la structure de la formation étudiée.

Deux campagnes de géophysiques ont été exécutées dans la région d'El-Oued par l'entreprise (ENAGEO), la méthode utilisée est le sondage électrique vertical basé sur la mesure de la résistivité des roches, le nombre total des sondages électriques verticaux est 362 SEV (126 SEV pour explorer la lithologie de la nappe phréatique) avec des AB = 500m (voir figureIV-1). Ces études couvrent la région d'El-Oued (d'Oued Alenda Sud –Ouest à Hassi Khalifa Nord –Est et Robah Sud –Est à Hassi Hoba Nord –Ouest)

IV . 2. But de l'étude géophysique

L'étude géophysique a pour objectifs :

- la compréhension de la lithologie des formations investiguées par SEV.
- avoir une idée sur la profondeur du substratum argileux de la nappe phréatique.
- établir une carte de substratum argileux de la région d'El-Oued.

IV . 3. Aspect théorique de la méthode

La méthode électrique repose sur la mesure d'un paramètre physique : la résistivité électrique d'une roche. La résistivité électrique est un paramètre complexe qui dépend de nombreux facteurs dont les plus importants sont la nature et la quantité de la solution contenue dans la formation.

De nombreuses expériences faites pour trouver une relation entre la résistivité des roches, leur porosité, et la résistivité d'eau d'imbibition ont abouti à diverses formules plus ou moins empiriques dont la plus connue est celle d' Archie (1942)

$$\rho_r = a \cdot \rho_w \cdot \Phi^{-m} \cdot S_w^{-2}$$

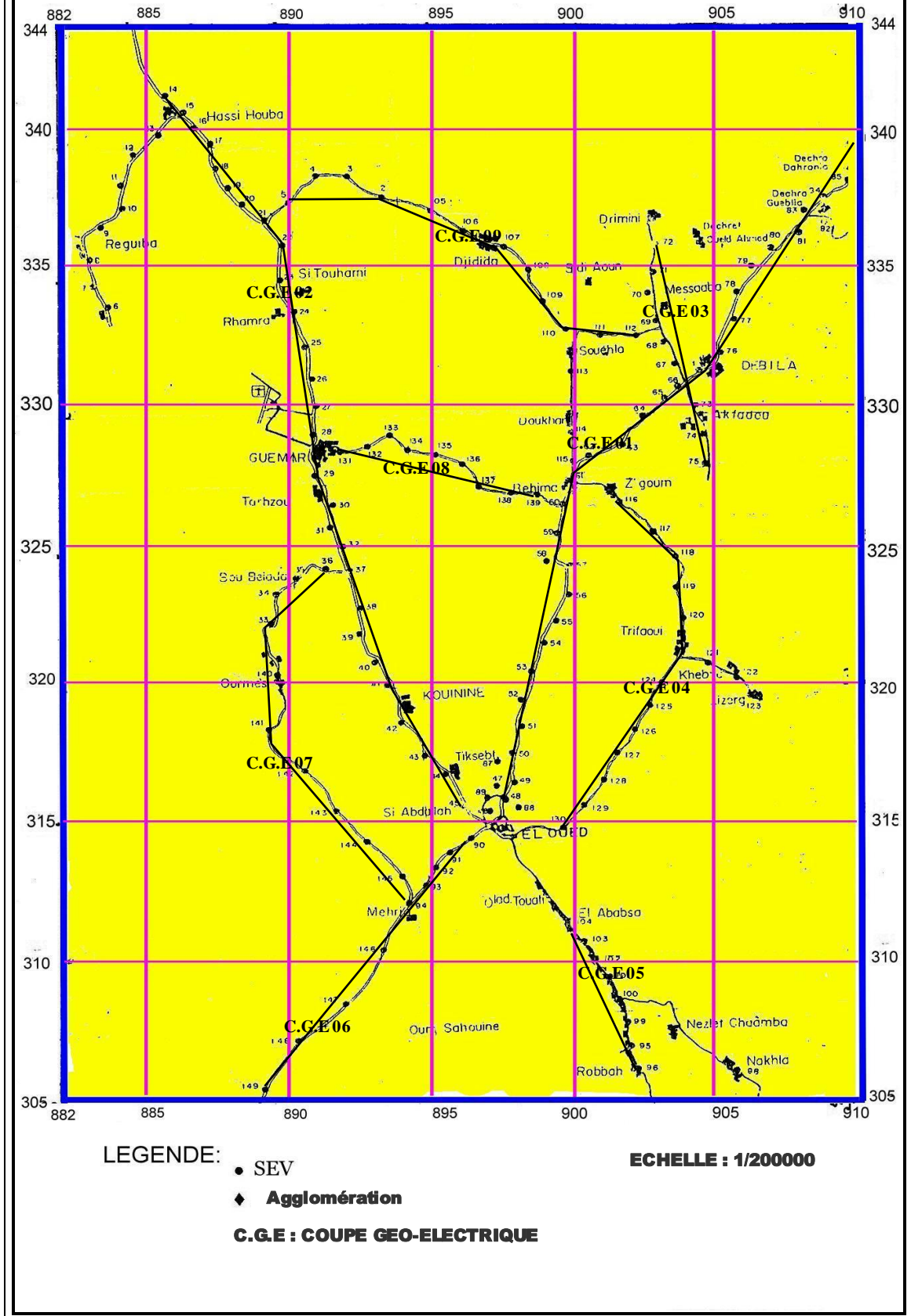
Où : ρ_r = résistivité électrique de la roche (en ohm.m)

ρ_w = résistivité électrique de l'eau d'imbibition (en ohm.m).

Φ = porosité de la roche en (%).

S_w = degré de saturation en eau des pores (en %)

**Figure IV-01 : Carte de positionnement des sondages électriques verticaux
Dans la région d'El-Oued (ENAGEO.1993)**



M = facteur de cimentation, sensiblement constant pour une roche donnée. Il dépend de la forme des pores, des liaisons entre pores et varie

Expérimentalement entre 1,3 pour les sables lâches (sans cohésion) et 2,6 pour les roches très cimentées (calcaires, dolomies).

a = facteur qui caractérise la lithologie et varie entre 0,6 – 2 ($a < 1$ pour les roches à porosité inter-granulaire, à porosité de fracture).

En cas de saturation complète, ρ_r est surtout fonction de la porosité ; par conséquent plus une roche est saturée et poreuse, plus elle contient d'eau et plus sa conductivité augmente .Le paramètre résistivité se trouve ainsi directement lié à la teneur en eau que renferme la roche.

La loi d'Archie, pour une roche saturée, exprime la relation entre la résistivité de la roche, sa porosité, et la résistivité du liquide imbibant les pores .

$$\rho_r = a \cdot \rho_w \cdot \phi^{-m} \quad (\text{Pour } S_w = 1).$$

Cette loi n'est rigoureusement applicable que pour les roches à porosité inter granulaire et saturée en eau. En présence d'argile on utilise la formule suivante :

$$\rho_r = (\phi + \phi_{\text{argile}})^{-2} \rho_w$$

Où ϕ_{argile} : Porosité avec un pourcentage d'argile.

A noter que d'autres facteurs interviennent dans la résistivité d'une roche dont il faudra souvent tenir compte, il s'agit de la température, la répartition géométrique des pores, et leurs modes de communications. La mesure de la résistivité électrique s'effectue généralement à l'aide du quadripôle de Schlumberger.

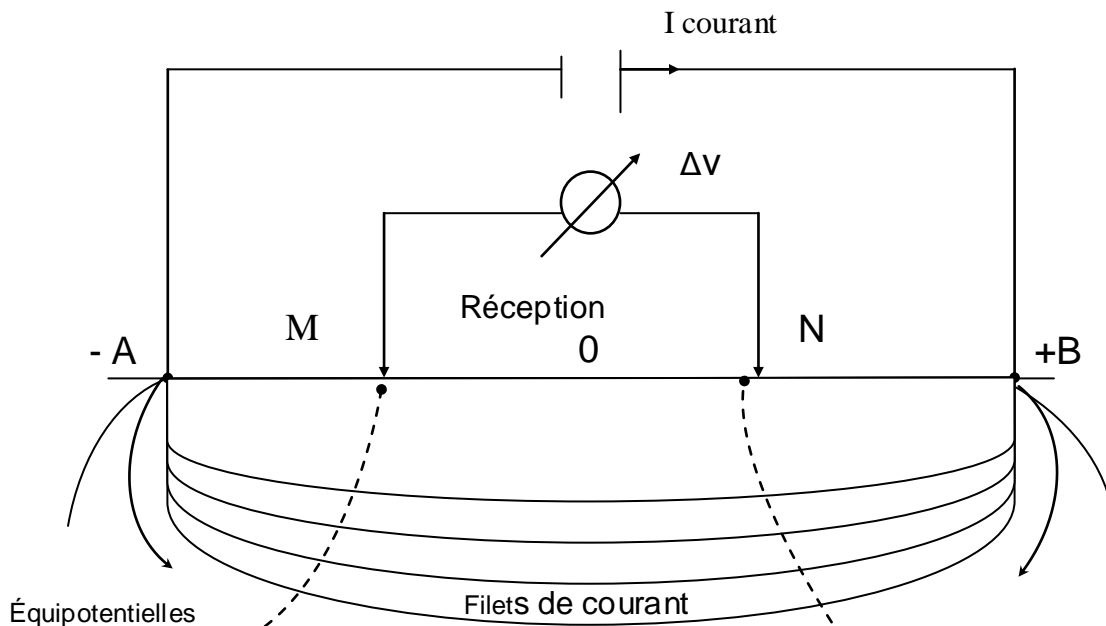


Figure IV-2 : quadripôle de schlumberger

Chapitre IV : géophysique

Il consiste à envoyer dans le sol un courant électrique d'intensité I , crée par un générateur (piles ou accumulateur) à l'aide de deux électrodes A et B, les électrodes de réception M et N permettent de mesurer la différence de potentiel ΔV provoquée par le passage du courant. Nous obtenons la résistivité apparente grâce à la formule suivante :

$$\rho_r = K \Delta V / I$$

Déduit de la loi d'Ohm

Ou : K = est coefficient qui ne dépend que de la géométrie du dispositif, pour le dispositif de Schlumberger

$$K = 2 AM.BN / MN \text{ (quadripôle symétrique).}$$

ΔV et I sont mesurés respectivement à l'aide d'un voltmètre et d'un ampèremètre. La profondeur d'investigation d'un tel dispositif est fonction de l'écartement des électrodes d'émission A et B, ainsi que des épaisseurs et des résistivités des formations sont approximativement et empiriquement de l'ordre de (1/4. 1/10) de AB.

Lorsque les filets de courant circulent entièrement dans un même niveau homogène, la résistivité mesurée correspond à la résistivité vraie de terrain, c'est le cas notamment des mesures test ou paramétriques effectuées sur des formations sub-affleurantes, d'épaisseurs et d'extensions suffisamment importantes par rapport à l'écartement de la ligne d'émission. Généralement les filets de courant traversent plusieurs horizons différents, dans ce cas, la résistivité est fonction des résistivités des différents couches et des leur épaisseur. Les résistivités mesurées sont dites résistivités apparentes, et c'est à partir de ces valeurs que nous essayons de déterminer les résistivités vraies " ρ_i " et les épaisseurs " h_i " caractérisant chaque niveau.

La présence d'une structure dans le sol se manifeste par une anomalie de la résistivité apparente ρ_a dépendant de nombreux paramètres (dimensions et profondeur de la structure, dimensions du dispositif, contraste électrique entre la structure et le milieu environnement). Afin de déduire des informations concernant les causes des anomalies observées sur le terrain, il est nécessaire de connaître la relation qui existe entre une structure et son anomalie. Pour cela deux techniques sont employées, le traîné et le sondage électrique. En effet ces deux méthodes sont complémentaires.

IV.3.1. Le traîné électrique

Dans la technique du traîné le dispositif AMNB est déplacé à travers champs. Selon des profils plus au moins parallèles, tout en gardant constant l'espacement AB. La mesure ainsi obtenue correspond au centre O.

Il y va de soi que les horizons géologiques explorés de cette manière correspondent à une profondeur à peu près constante. Ainsi le volume du sous-sol étudié reste à peu près identique. Les résultats de la résistivité apparente sont reportés sur des cartes et permettent de déduire les niveaux de même résistivité électrique et de délimiter leurs extensions. Ces cartes constituent un document qui complète l'interprétation géologique et permettent de faire un choix sur les emplacements éventuels de sondages électriques.

IV.3.2. Les sondages électriques verticaux

Dans la méthode du sondage électrique on recueille des informations géologiques à la verticale d'un point donné, en poussant l'investigation toujours plus profondément. Pour cela, on effectue une série de mesures en agrandissement à chaque fois la longueur de la ligne d'émission AB, tout en gardant fixe le centre O du dispositif.

En reportant, sur un graphe bi-logarithmique, les valeurs des résistivités apparentes mesurées en fonction de la longueur de ligne AB, on obtient une courbe du sondage électrique dont l'interprétation va servir pour déterminer graphiquement les résistivités ρ_i et les épaisseurs h_i des différents niveaux lithologiques.

IV.4. Présentation et analyse des résultats (SEV):

Pour une meilleure corrélation entre la résistivité et la lithologie des formations, parmi les 126 forages effectués dans la zone d'étude nous avons choisi les forages P56, P51, P43, P46 et P44 qui se localisent respectivement à l'emplacement des SEV 15, 131, 76, 30 et 104.

forage	x	y	SEV	x	y	commune
P56	876.000	341.500	15	876.150	341.300	HASSI-HOUBA
P51	881.800	329.000	131	882.000	327.750	GUEMMAR
P43	895.000	332.000	76	895.300	330.900	HASSI-A/KRIM
P44	890.000	310.800	104	889.650	311.400	BAYADA
P46	881.000	327.100	30	880.400	326.400	TAGHZOUTE

Tableau IV-1 les coordonnées des forages et des SEV utilisé comme références dans l'interprétation des résultats des mesures géophysiques

IV.4.1.Sondage électrique vertical 15 et forage P56

La colonne stratigraphique du forage 15 montre les formations suivantes :

	Profondeur en m	Lithologie
Mio-pliocène	0 - 2	Sable fin
	2 - 24	Alternance de grés à grains fins à moyens et sable fin
	24 - 30	Argiles sableuses
	30 - 50	Grés siliceux fins rosâtres et blanchâtres avec présence de passage de sable fin et d'argile
	50 - 52	sable argileux rougeâtre

Le diagramme du SEV 15 fait apparaître un premier horizon très résistant dont la résistance transversale ($RT= h_1 \rho_1= 16100 \Omega m^2$) suivi d'un niveau moins conducteur ($RT= h_2 \rho_2= 120 \Omega m^2$) suivit d'un terrain plus conducteur que le précédent dont la résistance transversale ($RT= h_3 \rho_3= 493 \Omega m^2$), suivi d'un substratum conducteur de résistivité ($\rho_4= 9 \Omega m$)

La comparaison et le recouplement des résultats des forages nous permettent alors d'attribuer les valeurs aux formations suivantes :

Mio - Pliocène	Sable700 $\Omega . m$
	Sable Argileux.....29 $\Omega . m$
	Argile sableuse..... 15 $\Omega . m$
	Argile.....9 $\Omega . m$

IV.4.2.Sondage électrique vertical 131et le forage P51

La colonne stratigraphique du forage 15 montre les formations suivantes :

	Profondeur en m	Lithologie
Mio-pliocène	0 - 9	Sable fin
	9 - 13	Sable fin avec la présence de gypse
	13 - 17	Gypse et sable
	17 - 28	Sable fin avec la présence de gypse
	28 - 37	Sable grossier avec la présence de graviers
	37 - 41	Sable fin
	41 - 44	Sable moyen avec la présence de graviers
	44 - 50	Sable fin
	50 - 57	Argile sableuse blanchâtre

La courbe des résistivités du SEV 131 fait apparaître 2 terrains. Le 1^{er} terrain est résistant avec une résistance transversale. $RT = \rho_1 h_1 = 9400 \Omega \cdot m^2$. Le 2^{ème} terrain correspond au substratum très conducteur de résistivité ($\rho_3 = 3 \Omega \cdot m$).

Après ces résultats nous déduisons :

Mio - Pliocène	Sable200 $\Omega \cdot m$
	Argile.....3 $\Omega \cdot m$

REMARQUE :

Le forage mécanique a bien différencié les formations par contre le sondage électrique prend l'épaisseur allant de 0 à 50 m comme étant un seul terrain résistant.

IV.4.3. Sondage électrique vertical 76 et le forage P43

La colonne stratigraphique du forage 76 montre les formations suivantes :

	Profondeur en m	Lithologie
Mio-pliocène	0 - 16	Sables éoliens très fins de couleur marron
	16 - 55	Grés faiblement consolidés avec la présence de graviers et galets gréseux et des argiles
	55 - 57	Argiles rougeâtres

Le diagramme du SEV n°76 montre les résistivités suivantes :

- un terrain très résistant de $RT = \rho_1 h_1 = 5100 \Omega \cdot m^2$
- un deuxième terrain peu conducteur de $RT = \rho_2 h_2 = 3200 \Omega \cdot m^2$

Le substratum conducteur a une résistivité $\rho = 7 \Omega \cdot m$.

Après la comparaison des deux sondages on obtient les résultats suivants :

Mio – Pliocène	Sable300 $\Omega \cdot m$
	Sable Argileux.....80 $\Omega \cdot m$
	Argile 7 $\Omega \cdot m$

Donc il y'a une bonne corrélation entre le sondage mécanique P43 et le SEV 76.

IV.4.4.Sondage électrique vertical 104 et le forage P44

Le forage P44 découvre les formations suivantes :

	Profondeur en m	Lithologie
Mio-pliocène	0 - 2	Sables fins
	2 – 24	Alternance de grés à grains fins à moyens et sables fins
	24 - 30	Argiles sableuses
	30 - 45	Grés siliceux fins rosâtres et blanchâtres avec présence d'argiles
	45 – 48	sable argileux rougeâtre
	48 – 67	Argiles

Le sondage électrique 104 montre:

- un premier terrain résistant ou la résistivité transversale est
- $RT = \rho_1 h_1 = 1300 \Omega \cdot m^2$;
- le second peu résistant et de résistivité transversale $RT = \rho_2 h_2 = 2340 \Omega \cdot m^2$).
- Le substratum conducteur de résistivité égale à $15 \Omega \cdot m$.

La comparaison et le recouplement des résultats des sondages nous permettent d'attribuer les résistivités suivantes aux différentes formations:

Mio – Pliocène	Sables100 Ω .m
	Sables Argileux.....60 Ω. m
	Argiles sableuses..... 15 Ω. m

IV.4.5. Le forage P46 et le sondage électrique 30

Le sondage électrique 30 montre la présence de 4 terrains

- Le 1er Terrain très résistant de résistivité transversale ($RT = \rho_1 h_1 = 2500 \Omega.m^2$).
- le 2ème Terrain peu conducteur de résistivité transversale ($RT = \rho_2 h_2 = 136 \Omega.m^2$)
- le 3ème Terrain peu résistant de résistivité transversale ($Rt = \rho_3 h_3 = 1330 \Omega.m^2$)
- et en dernier, le substratum très conducteur de résistivité ($\rho_4 = 7 \Omega.m$).

La comparaison et le recouplement des résultats des sondages nous permettent alors d’attribuer des résistivités suivantes aux différents horizons :

Mio – Pliocène	Sables fins.....125 Ω .m
	Sables Argileux.....70 Ω. m
	Argiles sableuses..... 17 Ω. m
	Argiles.....7 Ω. m

IV.4.6. Conclusion

Après la comparaison entre les sondages électriques et mécaniques nous avons emprunté l’échelle des résistivités suivantes :

Formation	Résistivité
Sables	> 100 Ω. m
Argiles	< 10 Ω. m
Sables argileux	20 à 100 Ω. m
Argiles sableuses	10 à 20 Ω. m

Tableau IV-2 résistivités des formations existantes dans la nappe phréatique d’El-Oued

IV.5. Interprétation des coupes géoélectriques

IV.5.1. Introduction

L'interprétation de ces sondages électriques nous a permis d'établir 09 coupes géoélectriques représentées par les profils suivants :

- ↳ *Profil I* : d'orientation Sud-Ouest, Nord-Est (SEV 48 - SEV 86).
- ↳ *Profil II* : d'orientation Sud-Est, Nord-Ouest (SEV 45 - SEV 14).
- ↳ *Profil III* : orienté du Nord au Sud (PqI 72 à Pqf 75).
- ↳ *Profil IV* : orienté du Sud au Nord (PqI 130 à Pqf 116).
- ↳ *Profil V* : orienté du Sud au Nord (PqI 104 à Pqf 96).
- ↳ *Profil VI* : orienté du Sud-Ouest au Nord-Est (PqI 149 à Pqf 90).
- ↳ *Profil VII* : orienté du Sud au Nord (PqI 94 à Pqf 36).
- ↳ *Profil VIII* : orienté du Ouest à l'Est (PqI 131 à Pqf 139)
- ↳ *Profil IX* : orienté de Nord-Ouest à Sud-Est (PqI 5 à Pqf 112).

La distance $AB = 500$ m avec un dispositif Schlumberger.

Le tableau suivant résume les travaux de terrain.

N° (PRF)	Orientation	Longueurs en Km	Nombre de S.E.V	Coordonnées		
				N°Pq	X	Y
I	Sw- NE	32	29	PqI	888.150	315.80
				pqf	900.00	339.10
II	SE-NW	32	28	PqI	886.00	315.70
				pqf	875.50	341.90
III	N-S	11	9	PqI	893.10	326.20
				pqf	895.00	327.20
IV	NW-SW	16.5	12	PqI	891.80	326.65
				pqf	889.65	314.5
V	NW-SE	7	8	PqI	892.40	305.55
				pqf	889.85	311.10
VI	NE-SW	12.5	9	PqI	886.65	314.25
				pqf	878.90	305.10
VII	SW-NE	18	10	PqI	881.15	324.40
				pqf	884.00	313.00
VIII	N-E	11	9	PqI	882.00	328.70
				pqf	889.00	326.90
IX	W-E	15.5	12	PqI	879.60	337.80
				pqf	892.40	332.80

Avec : PqI - piquet initial du profil et Pqf - piquet final du profil. :

Tableau IV-3. Coordonnées des coupes géoélectriques effectués dans la nappe phréatique

IV.5.2. Coupe I : (Figure IV-3)

Cette coupe orientée Sud-Ouest- Nord-Est débute du SEV 48 situé à la sortie Nord d'El-Oued et va jusqu'au SEV 86 à Hassi-Khelifa en passant par Bhima et Debila .

Cette coupe montre la succession des terrains suivants:

- Une couche superficielle résistante d'épaisseur allant de 5 à 15 mètres, caractérisée par une résistivité élevée (750 ohms.mètre). Cette formation correspond à des sables non consolidés (sables dunaires).
- Une deuxième couche moins résistante (résistivité comprise entre 13 et 70 ohms.mètre) d'épaisseur variable de 5 à 30 mètres. Cette variation de résistivité montre que cette

formation n'est pas homogène et passe latéralement de sables argileux à des argiles sableuses. Dans la partie centrale de la coupe, entre les sondages 52 et 64, cette formation disparaît complètement au profit d'un autre terrain plus conducteur, avec l'apparition de lentilles d'argiles localisées entre les sondages 61 et 86.

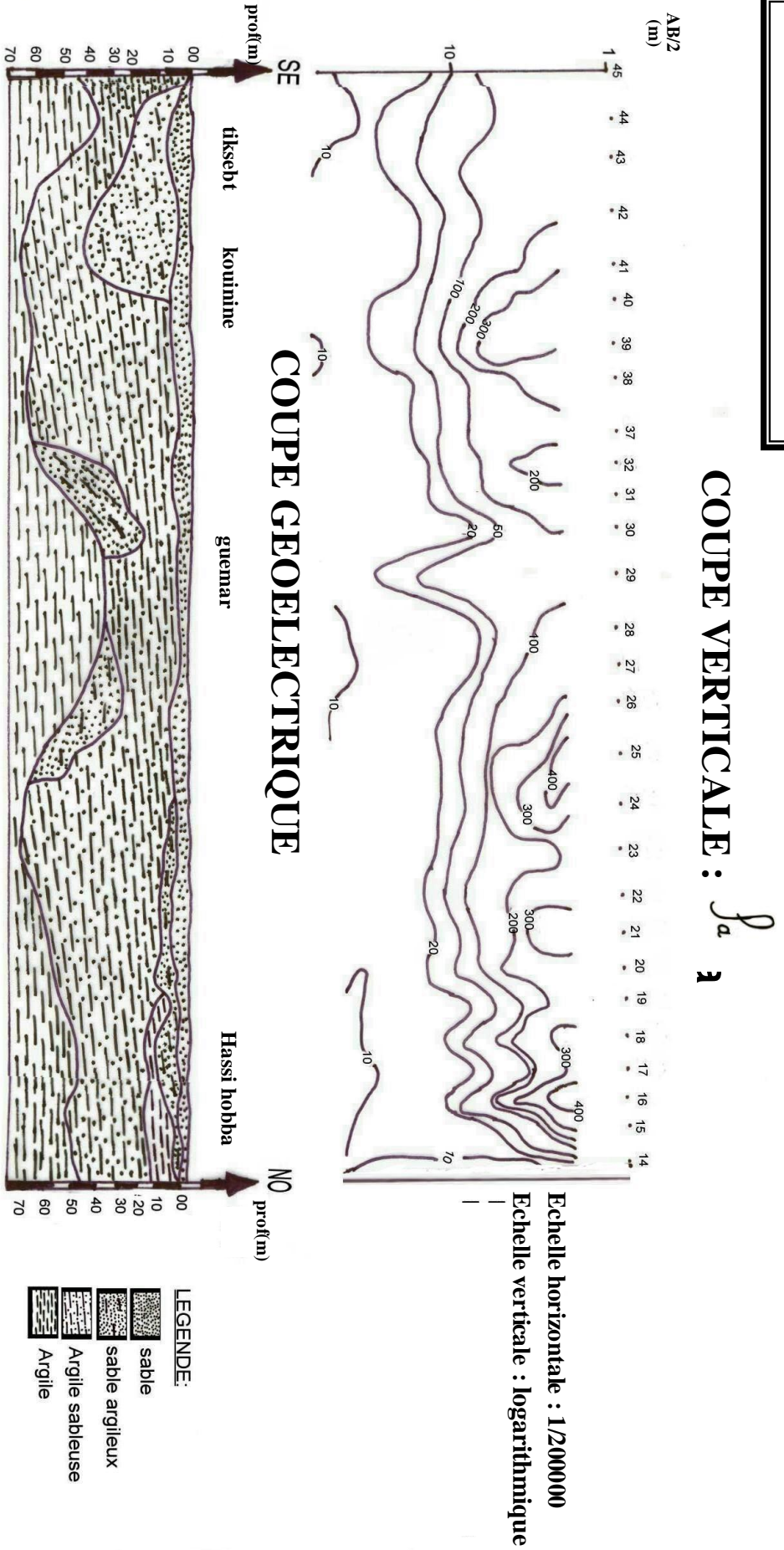
- Une troisième couche généralement plus conductrice que la précédente avec une épaisseur plus importante atteignant la quarantaine de mètres. Cette formation est caractérisée par des résistivités plus au moins identiques et correspond à des argiles sableuses.
- En fin la quatrième couche franchement conductrice et de résistivité ne dépassant pas les 10 ohms-mètre, il s'agit d'argile.

IV.5.3. Coupe II: (Figure. IV-4)

Cette dernière orientée Sud-Est, Nord-Ouest débute à partir du SEV 45 à la sortie Nord Ouest de la ville d'El Oued et va jusqu'au SEV 14 à Hassi-Houba en passant par Kouinine, Guemar et Sidi Touhami. Le long de cette coupe nous remarquons la même succession de Terrain à savoir :

- Un Terrain superficiel très résistant d'épaisseur variable 5 à 10 mètres correspondant à la couverture des sables dunaires.
- Un deuxième terrain moins résistant et de faible épaisseur s'étend du SEV 24 à Rhamra au SEV 14 à Hassi-Houba. Ce terrain peut être attribué à des sables argileux. Dans la partie Nord Ouest du profil apparaît une lentille argileuse de faible épaisseur sous cette formation. Dans la partie de Sud Est entre Kouinine et Tiksebt, les sables dunaires surplombent une lentille de sable argileux d'épaisseur pouvant atteindre 40 mètres.
- Un troisième terrain de résistivité sensiblement constante et d'épaisseur importante de l'ordre de 70 mètres par endroits, il correspond à des argiles sableuses. Nous notons aussi l'intercalation de deux lentilles de sables et de sables légèrement argileux à l'intérieur de cette formation argilo- sableuse : une entre les sondages 30 et 32 et l'autre entre les sondages 25 et 27.
- Le quatrième terrain est très conducteur de résistivité excédent rarement les 10 ohms – mètre. Les résistivités de ce substratum semblent constantes et montrent l'homogénéité du terrain et correspondent à des argiles.

FIGURE IV-4 : PROFIL : II



IV.5.3. Coupe III : (Figure IV-5)

D'orientation Nord-Sud cette coupe passe par les sondages implantés le long de l'axe Drimini–Akfadou (SEV72 jusqu'au SEV75). Elle met en évidence, les terrains suivants :

- Un premier terrain très résistant et de faible épaisseur n'excédant pas 8 mètres.
- Un deuxième terrain d'épaisseur de l'ordre de 15 mètres, moins résistant que le premier, il s'agit de sables argileux.
- Un troisième terrain plus conducteur affichant des résistivités de l'ordre de 15 ohms-mètre et une épaisseur très importante atteignant par endroits 70 mètres.
- Le substratum est très conducteur et de résistivité inférieure à 10 ohms-mètres.

IV.5.4 Coupe IV : (Figure IV-6)

Cette coupe est interprétée selon les sondages réalisés le long de la route qui relie Zgoum à El-Oued en passant par Trifaoui (SEV 130 jusqu'au SEV116)

Elle montre la présence de trois terrains :

- Un terrain résistant qui correspond aux sables dunaires d'épaisseur pouvant atteindre 17 mètres.
- Un deuxième terrain conducteur de résistivité comprise entre 10 et 20 ohms-mètres et d'épaisseur pouvant atteindre 75 mètres; ce terrain correspond à une formation argilo-sableuse.
- Le substratum argileux est très conducteur et de résistivité inférieure à 10 ohms.m.

IV.5.5 Coupe V : (Figure IV-7)

Cette coupe, orientée Nord Sud, relie les sondages situés le long de la route EL-Lababsa-Robbah (relie SEV104 à SEV 96).

Celle-ci montre à l'instar de la coupe IV la présence des mêmes formations. Cependant nous remarquons l'affleurement du deuxième terrain entre SEV99 et SEV 103 à la suite de la disparition du premier terrain (sable).

IV.5.6 Coupe VI : (Figure IV-8)

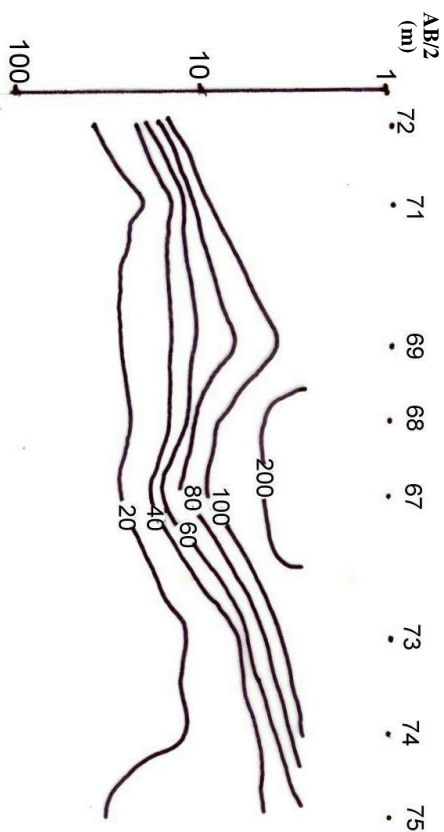
Cette coupe, orientée Nord Est- Sud Ouest relie les sondages 90 à 149 d'El-Oued vers Oued El-Alenda.

Elle met en évidence la succession des terrains suivants :

- Un terrain superficiel sableux très résistant ayant une épaisseur variable (inférieure à 10 m). La valeur maximale est enregistrée au sondage 149 (plus que 850 ohm.m).

FIGURE IV-5 : PROFIL : III

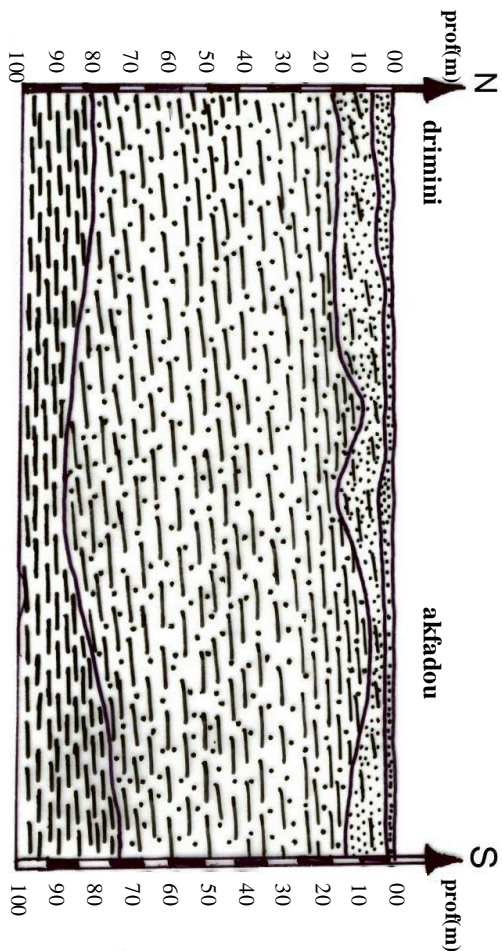
COUPE VERTICALE : J_a a







Echelle horizontale : 1/100000

Echelle verticale : logarithmique

COUPE GEOELECTRIQUE



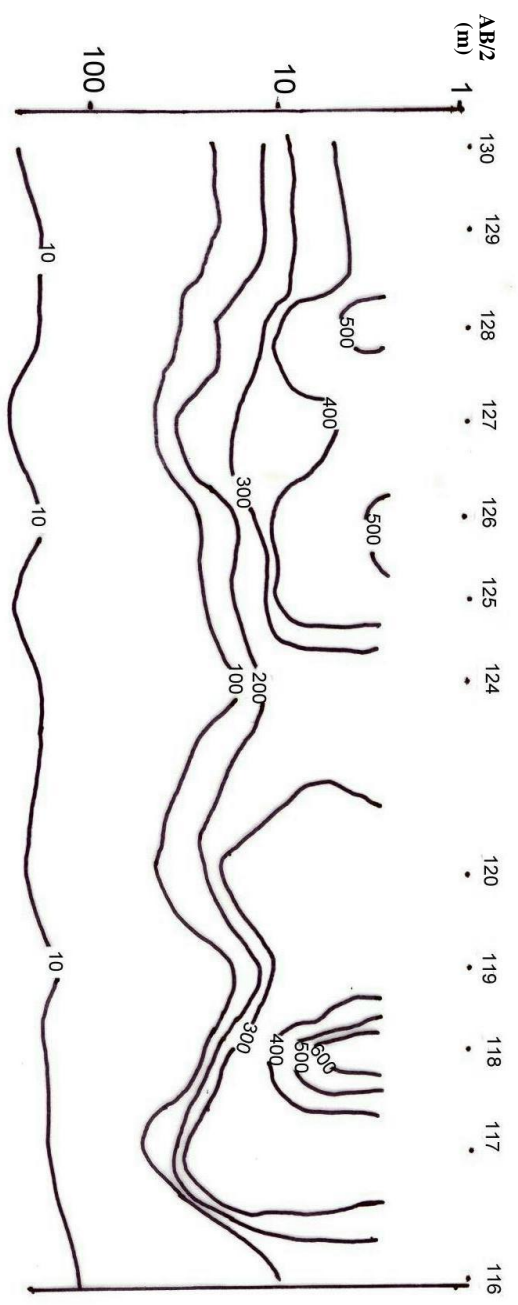
- LEGENDE:
-  sable
 -  sable argileux
 -  Argile sableuse
 -  Argile

Echelle horizontale : 1/100000

Echelle verticale : 1/2000

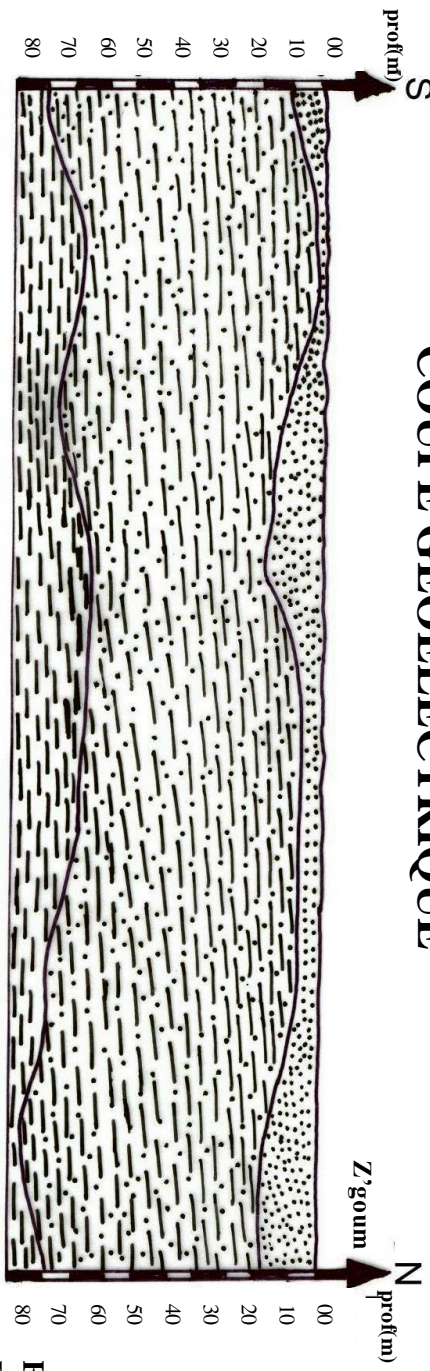
FIGURE IV-6 : PROFIL : IV




COUPE VERTICALE : ρ_a a



Echelle horizontale : 1/100000
 Echelle verticale : logarithmique

COUPE GEOELECTRIQUE

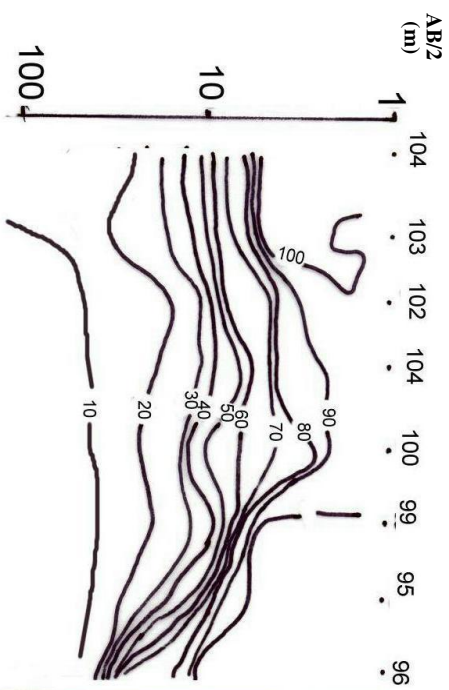


LEGENDE:
 sable
 Argile sableuse
 Argile

Echelle horizontale : 1/100000
 Echelle verticale : 1/2500

FIGURE IV-7 : PROFIL : V

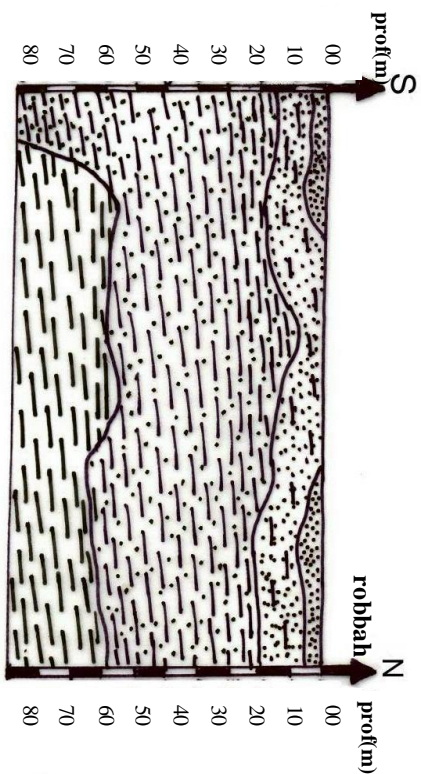
COUPE VERTICALE : ρ_a







Echelle horizontale : 1/100000

Echelle verticale : logarithmique

COUPE GEOELECTRIQUE



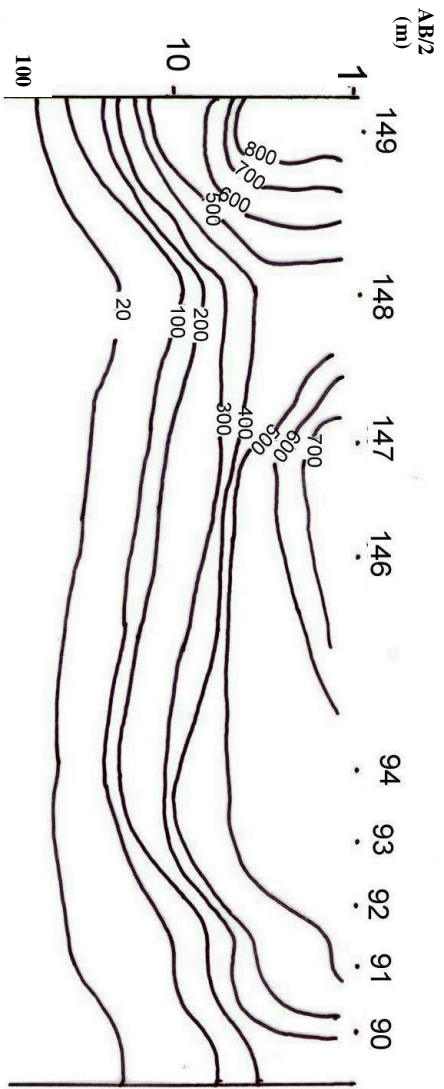
- LEGENDE:
-  sable
 -  sable argileux
 -  Argille sableuse
 -  Argille

Echelle horizontale : 1/100000

Echelle verticale : 1/2000

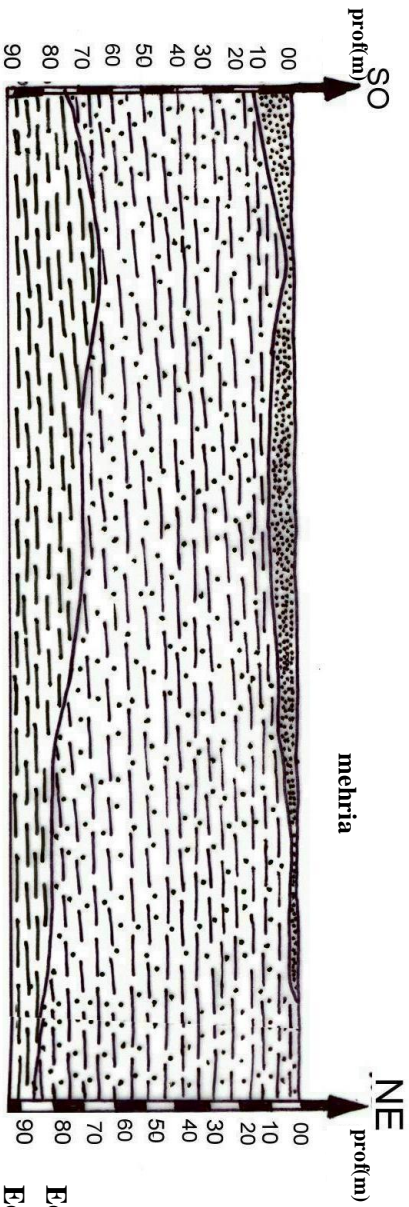
FIGURE IV-8 : PROFIL : VI

COUPE VERTICALE : J_a



Echelle horizontale : 1/120000
 Echelle verticale : logarithmique

COUPE GEOELECTRIQUE



LEGENDE:
 sable
 Argille sableuse
 Argille
 Echelle horizontale : 1/120000
 Echelle verticale : 1/2000

- Un deuxième terrain conducteur constitué probablement par des argiles sableuses très épaisses (environ 60 mètres).
- Le substratum argileux est très conducteur.

IV.5.7 Coupe VII : (Figure IV-9)

Cette coupe allant de Bou-Baaida au Nord à Oum Sahini au Sud en passant par Ourmes (relie SEV 94 à SEV 36). met en évidence 3 terrains :

- Un premier terrain de résistivité variant de 750 ohm.m jusqu'à 20 Ohms.m, avec une épaisseur variant de 10 m à 20 m, correspondant aux sables plus au moins humides.
- Un deuxième terrain conducteur présentant des valeurs de résistivité comprises entre 10 et 20 ohms-mètre et correspondant aux sables argileux, son épaisseur est de l'ordre de 50 mètres.
- En fin le substratum argileux dont la résistivité ne dépasse pas les 10 ohms-mètres.

IV.5.8. COUPE VIII : (Figure IV-10)

D'orientation Est-Ouest cette coupe passe par le sondage situé sur l'axe Guemar-Bhima (relie le SEV131 à SEV 139)

A l'instar de la coupe précédente, elle montre la présence des mêmes terrains avec cependant deux particularités :

- Son épaisseur n'est pas aussi importante que celle de la coupe VII.
- La remontée du substratum argileux et la disparition du 2^{ème} terrain au niveau du sondage 131.

IV.5.9. Coupe IX : (figure IV-11)

Cette coupe reliant les sondages 5 à 112 a mis en évidence 03 terrains :

- Un premier terrain résistant de faible épaisseur correspond aux sables plus au moins humides.
- Un deuxième terrain conducteur de résistivité comprise entre 10 et 26 ohms-mètres et d'épaisseur variable. Les faibles valeurs sont visibles aux extrémités du profil.
- Et un substratum argileux conducteur.

FIGURE IV-9 : PROFIL : VII

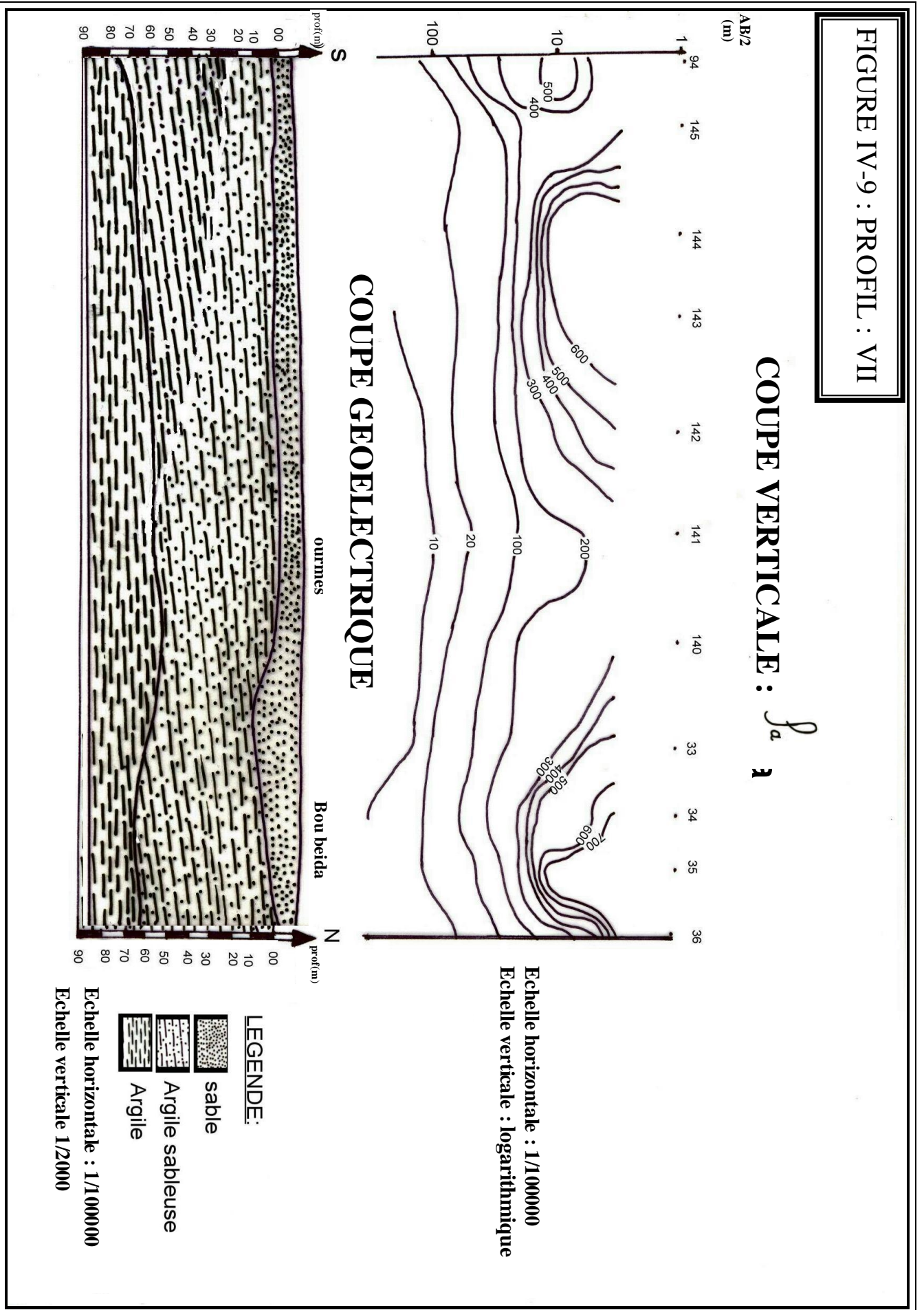


FIGURE IV-10 : PROFIL : VIII

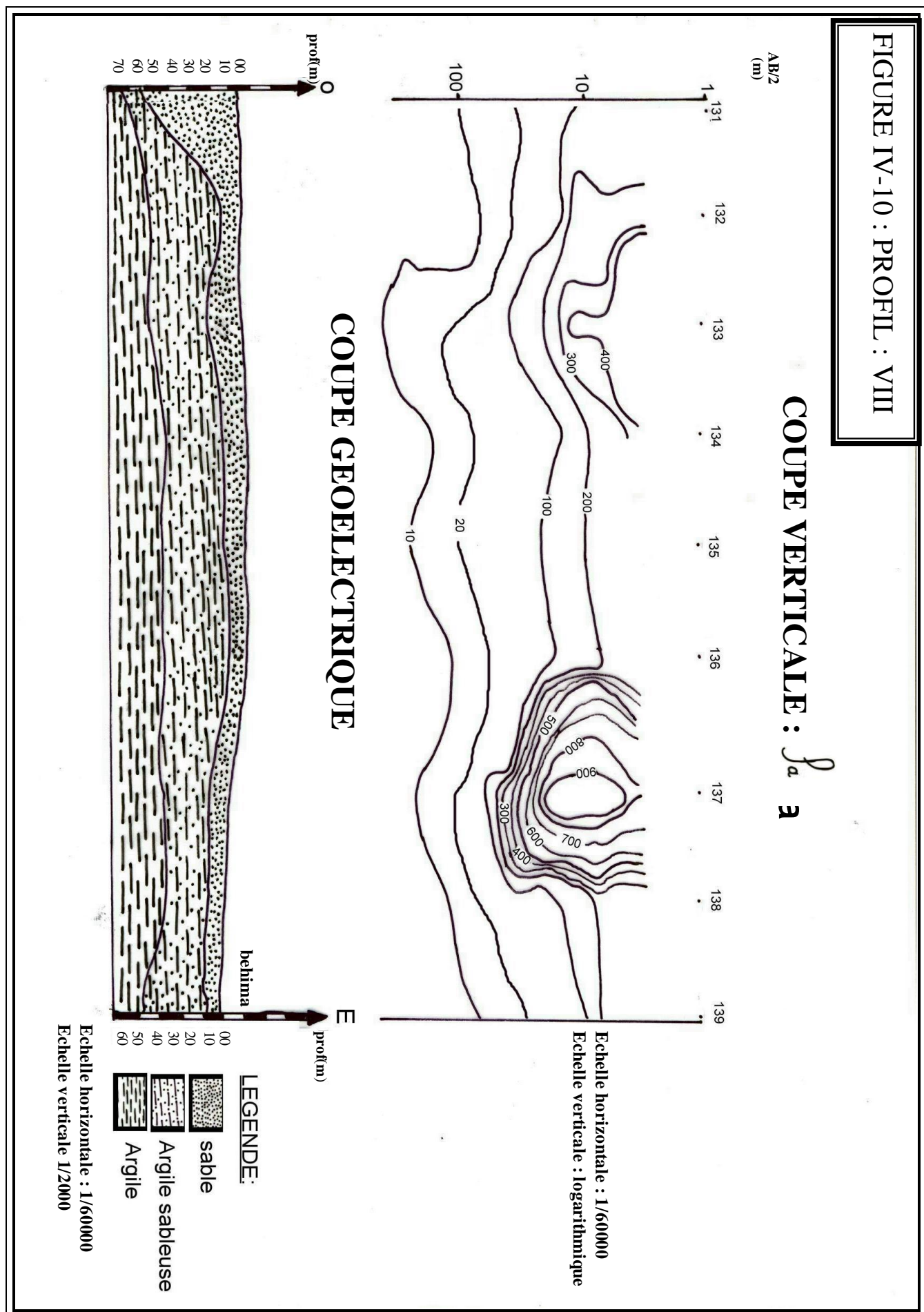
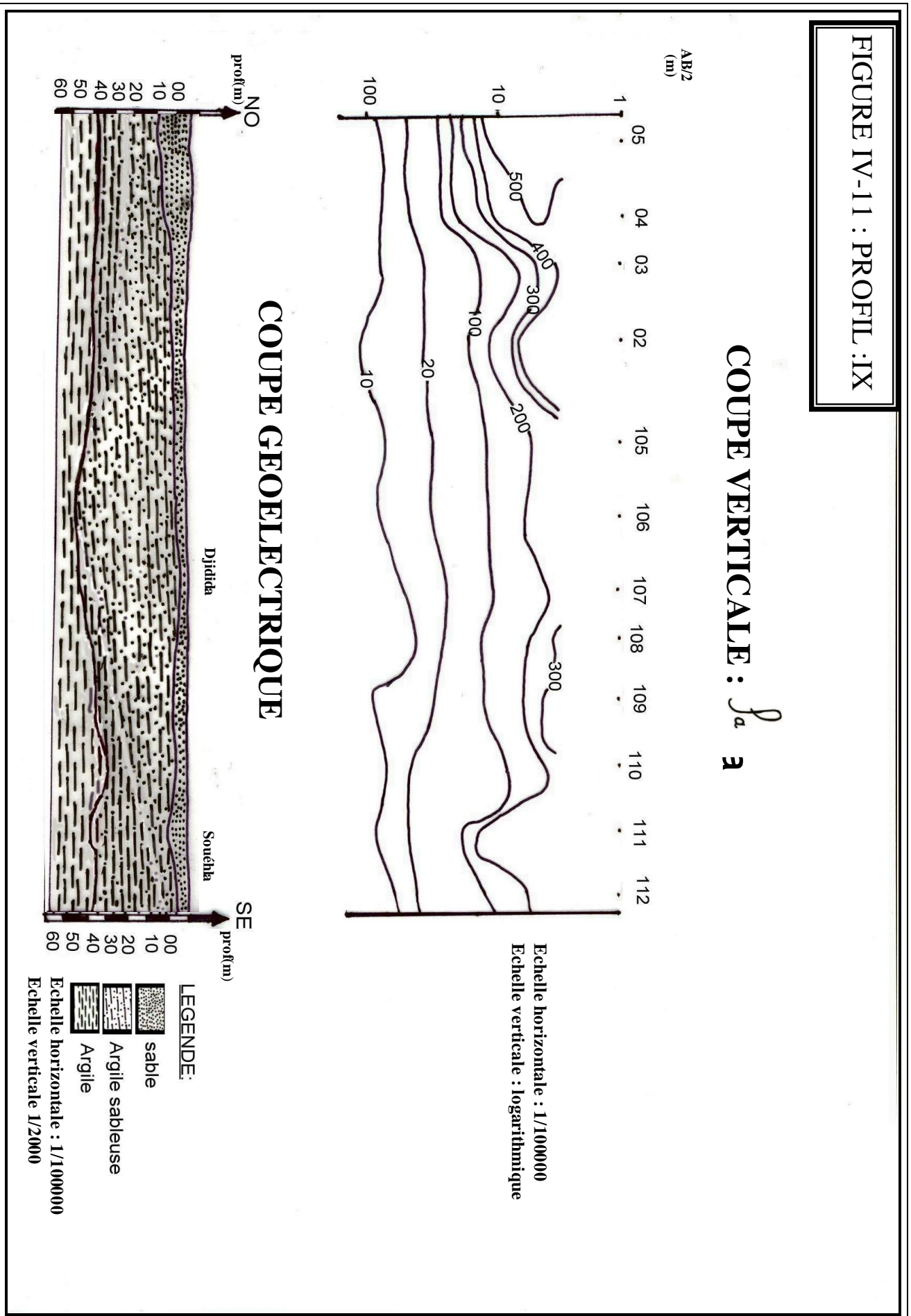


FIGURE IV-11 : PROFIL : IX



REMARQUE : Il est important de noter que le principal objectif attendu par l'E.N.A.GEO en l'occurrence les limites latérales de la nappe libre, n'a pas été atteint étant donné que cette dernière s'étend au-delà de la frontière avec la Tunisie.

IV-6 Interprétation de la carte du substratum (Figure IV-12)

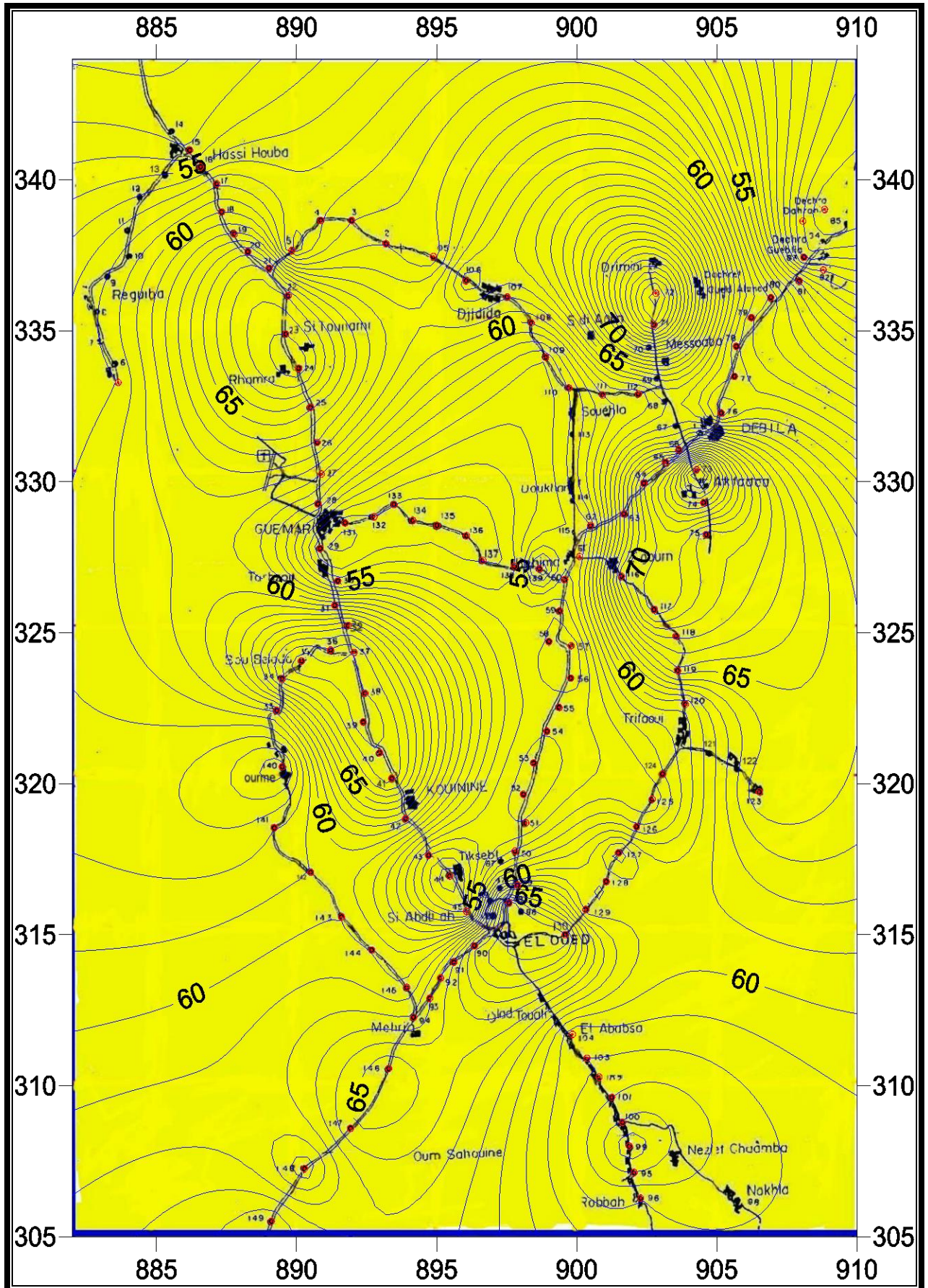
D'après la carte de substratum argileux de la nappe phréatique d'El-Oued, établie grâce aux données récoltées par ENAGEO en 1993 à la suite de la première campagne des mesures géophysiques, on observe que :

- La morphologie de substratum argileux est presque régulière dans toute la zone d'étude, leur profondeur dans le plupart des cas est comprise entre 55 m et 65 m.
- Il existe cinq (5) dépressions visibles dans la carte du substratum. Elles se localisent à : El-oued, Akfadou, Drimini, Si Touhami, et entre Kouinine et Guemmar. La plus grande profondeur se trouve à Drimini au niveau de SEV73 (83 m).
- Il existe un grand bombement visible sur la carte, il se localise à l'extrémité Nord-Est où nous enregistrons les plus faibles profondeurs de substratum, au niveau de SEV83 et SEV84, avec des valeurs de 46 m.
- Les limites latérales de la nappe phréatique s'étendent au-delà de la zone d'El-Oued.

IV-7 Conclusion

L'étude géophysique de la région d'El-Oued, montre que le réservoir de la nappe phréatique est constituée de formations détritiques représentées par les sables, les sables argileux et argiles sableuses, alors que le substratum est constitué par des argiles.

La morphologie de substratum est presque régulière dans toute la zone d'étude à l'exception d'un bombement et de quelques dépressions. D'une manière générale la profondeur de substratum est comprise entre 55 et 65 mètres.



Echelle : 1/200000

Légende ● SEV
 ~ Courbe isobathe

Figure IV-12: Carte de substratum Argileux (ENAGEO 1993)

V.1. But de l'Etude hydrogéologique de la région d'El-oued

L'étude hydrogéologique de la région d'El-Oued a pour but :

- L'identification des systèmes aquifères (structures et géométrie)
- La compréhension de l'hydrodynamisme de la nappe phréatique (évolution piézométrique, sens d'écoulement et gradient hydraulique).
- La détermination des paramètres hydrodynamiques.

V.2. Identification des systèmes aquifères d'El-oued

Dans le Sahara septentrional, les nappes aquifères les plus sollicitées sont la nappe du continental intercalaire (CI) et celle du complexe terminal (CT).

L'étude géologique du Sahara septentrional montre que la dorsale du M'Zab orientée Nord-Sud divise la plate forme en deux bassin hydrologiques :

- Le bassin du Grand Erg Occidental (280 000 Km²) drainé vers le sud.
- Le bassin du Grand Erg Oriental (100 000 Km²) drainé vers le Nord.

Au niveau du bassin oriental, le continental intercalaire et le complexe terminal sont séparés par la transgression cénomanienne, alors qu'au niveau du bassin occidental nous observons l'existence d'une relation directe entre les deux aquifères.

Le continental intercalaire s'étend sur une superficie de 600 000 Km² environ, il est limité à l'Ouest par la ligne de direction nord-sud, allant de Bechar au Touat, à l'Est, il s'étale jusqu'en Libye. Au Sud, il est limité par les affleurements du Primaire et le socle, et au Nord par l'accident Sud Atlasique.

V.2.1. Présentation des nappes aquifères de la région d'El-Oued

D'après les études hydrogéologiques, nous observons l'existence de trois types de nappes :

- une nappe libre superficielle ;
- nappes captives de Complexe Terminal;
- nappe captive de Continental Intercalaire.

V.2.1.1. Nappe libre

La nappe libre est découverte dans toutes les oasis d'El-Oued et correspond essentiellement à la partie supérieure des formations continentales déposées à la fin du Quaternaire. Son épaisseur varie entre 40 et 100 mètres environ.

Vu son importance, cette nappe représente la source principale en eau des palmeraies. Elle est surtout exploitée par des puits traditionnels (environ 10000 puits).

Les principales sources d'alimentation de cette nappe sont les pluies torrentielles, viennent s'ajouter depuis quelques années, les eaux d'irrigation provenant des nappes profondes (Complexe Terminal et Continental Intercalaire) et enfin les eaux de rejets vu l'inexistence un réseau d'assainissement et d'exutoire naturel.

V.2.1.2. Nappes du Complexe Terminal

On regroupe sous le nom de “ Complexe Terminal ” l'ensemble des formations les plus récentes allant du Sénonien supérieur (carbonaté) au Mio-Pliocène (figureV.1). Cette dénomination semble être préférable à celle de “ Continental Terminal ” d'abord parce qu'un certain nombre de formations calcaires ne sont pas, à proprement parler, d'origine continentale. Ensuite parce que le terme “ complexe ” représente bien le fait que plusieurs aquifères, en plus ou moins étroite relation, sont regroupés au sein d'un même réservoir. Ces aquifères sont, dans la partie centrale du bassin :

- le Sénonien et l'Eocène carbonatés (Eocène inférieur),
- le Miopliocène sableux (Continental Terminal au sens strict).

Les sables du Miopliocène recouvrent en discordance presque tout le domaine, sauf sur les bordures, où ils s'interrompent. Le réservoir n'est plus alors représenté que par les calcaires sénoniens, relayés à leur tour vers l'extérieur par les dolomies turoniennes. Celles-ci, qui sont fissurées sur leurs zones d'affleurement, participent alors au réservoir, tandis qu'en profondeur elles perdent leur fissuration et (ou) renferment de l'eau salée lorsqu'elles sont aquifères.

D'après CORNET 1964, nous rappelons l'existence de 03 nappes de complexe terminal dans la région d'El-Oued dont les deux premières correspondent respectivement aux nappes des sables d'âge Mio-Pliocène, alors que la dernière est d'âge Eocène Inférieur et Sénonien carbonaté, il s'agit de la nappe des calcaires.

A- Nappes des sables

Au sein de ces niveaux sableux, viennent s'engendrer deux nappes semi captives, dont la première correspond à la formation supérieure du Complexe Terminal appelée communément réservoir du « Sub-Souf ». Cette nappe constituée de sables et sables argileux, faisant partie du Complexe Terminal, plonge progressivement vers le Nord du Sahara en direction de la fosse Sud aurésienne, dans la région d'étude elle se trouve à une profondeur comprise entre 200 m à 400 m.

La deuxième nappe de sables d'âge Miocène supérieur (Pontien), constituée de sables grossiers et de graviers, se trouve au dessus des bancs supérieurs de la nappe des calcaires en contact avec les argiles et les marnes d'âge Eocène moyen. La profondeur de cette nappe varie entre 250 et 700 mètres cependant elle n'est pas présente dans toute la région d'El-Oued (El-Ogla et Amiche). Elle se développe du Sud-Est vers Nord-Ouest, Les deux nappes constituent une nappe captive multicouches, appelée nappes des sables.

L'écoulement des eaux dans ces deux dernières se fait du Sud-Ouest vers le Nord-Est, autrement dit vers la zone des chotts (Melghir et Merouane)

Dans la zone à forte exploitation au niveau de la ville d'El-Oued, l'extraction des eaux se fait par pompage. Par contre dans les régions où l'exploitation est moindre (Taleb Laarbi et Douar El Maa), la nappe est jaillissante. C'est le cas de la nappe du Pontien. Les forages captant cette nappe donnent un débit variant de 10 l/s à 30 l/s

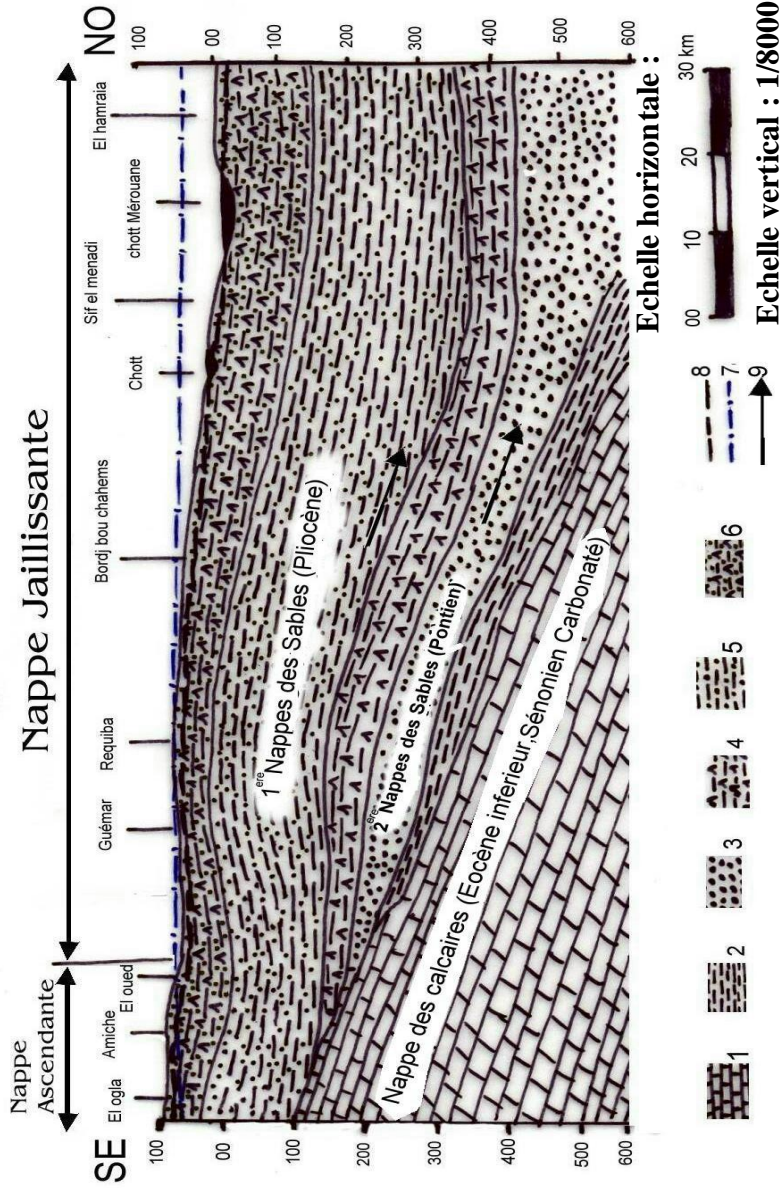
B – la nappe des calcaires

La nappe des calcaires est constituée de deux formations d'âge différents est sont représentées par les formations calcaires de l'Eocène Inférieure et du Sénonien carbonaté ; sa profondeur varie entre 500 et 800 mètres. Cette nappe a un contact direct avec la première nappe des sables à El-Ogla et Amiche et la deuxième nappe des sables à El-Oued. Elle plonge vers le Nord-Ouest et se cache sous un toit imperméable constitué d'argiles et de marnes d'âge Eocène Moyen. Sur le reste de la zone d'étude. le sens d'écoulement est orienté du Sud-Est vers le Nord-Ouest. Les débits des forages captant cette nappe sont de l'ordre de 30 l/s avec un résidu sec variant entre 2 g/l et 3 g/l.

V.2.1.3 - Nappe du Continent Intercalaire (CT).

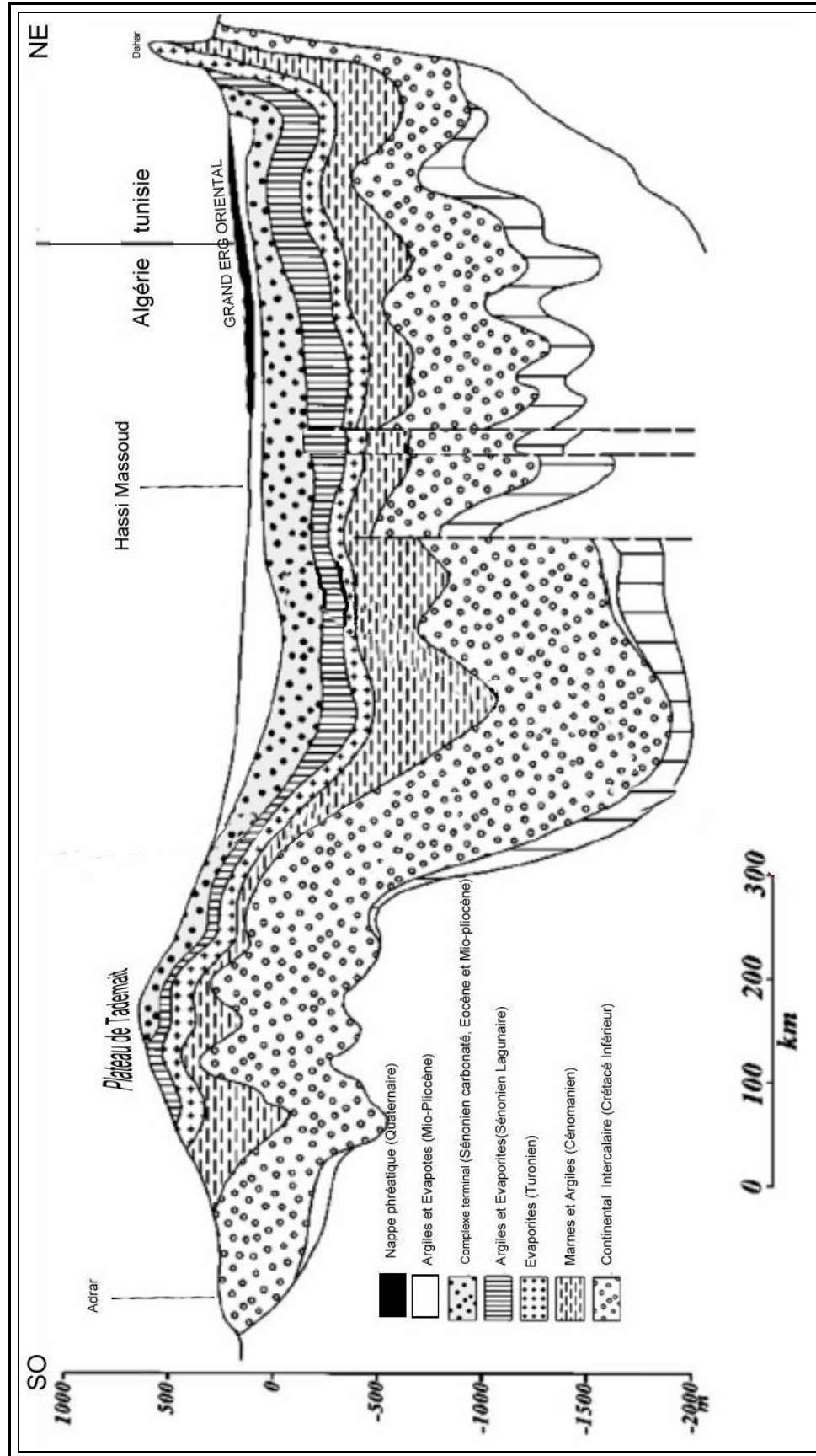
On appelle " Continental Intercalaire " au sens large l'ensemble des dépôts sédimentaires du long épisode continental intercalé entre les deux cycles marins du Paléozoïque et du Crétacé supérieur (figure V.2). A cette définition stratigraphique, qui présente l'inconvénient d'englober des épisodes lagunaires, voir franchement marins, nous préférons emprunter la définition hydrogéologique plus classique d'un continental intercalaire au sens strict réduit aux seuls dépôts détritiques (argilo gréseux) véritablement continentaux constituant un réservoir plus ou moins homogène rempli d'eau douce. Ces dépôts, d'âge Crétacé inférieur, recouvrent en discordance des terrains d'âges variés allant du toit du Primaire à l'Ouest (le mur du Continental Intercalaire correspondant ici avec la discordance hercynienne) au toit du Néocomien à l'Est. Le toit du réservoir correspond à la base du Cénomaniens argileux à l'Ouest, de l'Albien argileux à l'Est.

Figure V-1-Coupe Hydrogéologique de complexe terminal (CORNET 1964)



1- Calcaires de l'Eocène Inférieur et du Sénonien carbonaté. 2- Argiles et marnes de l'Eocène moyen 3- Sables grossiers et graviers du Pontien 4-Argiles et gypse dominants du Mio-Pliocène 5-Argiles et sables dominants du Pliocène 6-Argiles, sables et Gypse quaternaires 7- Niveau Hydrostatique de la nappe du Pontien 8-Niveau Piezométrique de la Nappe libre 9- sens d'écoulement des nappes des sables.

Figure V-2-Coupe Hydrogéologique de continental intercalaire (SONATRACH 1972)



Le Continental Intercalaire constitue le réservoir profond du Sahara septentrional. Il s'étend sur plus de 600 000 km² sur les seuls territoires algérien et tunisien, depuis l'accident Sud atlasique au Nord jusqu'aux affleurements du Tidikelt et du rebord méridional du Tinhert au Sud. Limité à l'Ouest selon un axe Béchar - Reggane, sa prolongation vers l'Est en Libye sous la Hamada al Hamra jusqu'au Graben de Hon couvre encore quelques 250 000 km² supplémentaires.

L'intérêt majeur de ce système aquifère est qu'il renferme de grandes quantités d'eaux qui ont été stockées au cours des périodes pluvieuses du quaternaire et qui peuvent maintenant être exploitées. Il reçoit encore de nos jours une alimentation naturelle par les eaux météoriques et présente donc un fonctionnement hydraulique caractérisé par une alimentation, un écoulement, et une série d'exutoire.

La profondeur de la nappe du continental intercalaire dans la région d'El-Oued est variée entre 1600 et 2000 m. L'épaisseur utile totale du réservoir (c'est-à-dire l'épaisseur des dépôts perméables aquifère) peut atteindre 900 mètres, avec un débit jaillissant variant de 150 l/s à 200 l/s. Le résidu sec de ses eaux est de l'ordre de 2 à 3 g/l. La température de l'eau avoisine les 60°C.

V.2.2. Lithostratigraphie des nappes aquifères d'El-Oued (Figure V.3)

V.2.2.1 La nappe phréatique

La nappe phréatique est constituée à sa partie supérieure par des sables dunaires et sables argileux d'âge quaternaire. Le substratum est constitué par des formations argilo-évaporitiques d'âge Mio-Pliocène formant ainsi le toit imperméable de la nappe du complexe Terminal.

V.2.2.2 Les nappes du complexe terminal

A-la nappe des sables

La nappe des sables est constituée, comme son appellation, par des sables et des grès, d'âge Mio-Pliocène. Elle est subdivisée en deux nappes semi captives, séparées par une couche semi-perméable d'argiles gypseuses. Le substratum est constitué d'argiles lagunaires et de marnes d'âge Eocène moyen correspondant au toit de la 3^{ème} nappe du complexe Terminal (nappe des calcaires).

B -La nappe des calcaires :

La nappe des calcaires est constituée de calcaires à silex au niveau supérieur d'âge Eocène inférieur et de calcaires gypseux au niveau inférieur d'âge sénonien carbonaté. Sa limite supérieure rencontre l'Eocène moyen qui est formé par des argiles lagunaires et des marnes, tandis que sa limite inférieure rentre en contact avec le Sénonien lagunaire, constitué d'évaporites et d'argiles.

COUPE	NATURE HYDROGEOLOGIQUE	NATURE LITHOLOGIQUE	ETAGE	ERE
	Nappe Phréatique	Sables		Quaternaire
	niveau imperméable	Argiles		
	1 ^{ere} nappe des sables	Sables	Pliocene	Tertiaire
	Semi -perméable	Argiles gypseuses		
	2 ^{eme} nappe des sables	sables grossiers, graviers	Pontien	
	niveau imperméable	Argiles lagunaires, Marnes	Moyen	
	nappes des calcaires (perméables)	calcaire fissuré	Inferieur	Eocène
	semi -perméable	Evaporites, Argiles	Sénonien carbonaté	Secondaire
	niveau imperméable	argiles, marne	Sénonien lagunaire	
	Nappe de Continental Intercalaire	Sables et Grés	Cenomanien	
			Albien	

Figure V-3 Tableau récapitulatif des systèmes aquifères d'El-Oued

V.2.2.3. La nappe du continental intercalaire

La nappe du continental intercalaire représente le plus important aquifère dans le Sahara septentrional. Elle est constituée par des sables et des grès d'âge Crétacé inférieur. Cette nappe est confinée entre un toit, constituée par une épaisse couche d'argiles et de marnes d'âge Céno-manien; alors que le mur est constitué d'argiles, lui conférant caractère captif.

V-3 Piezométrie de la nappe phréatique d'El-Oued

V-3-1 Inventaire des points d'eau.

Le réseau de l'ANRH, mis en place en 1993, était composé originellement de 152 points : 112 puits (H) et 40 piézomètres répartis dans la région d'El-Oued dans une zone de 80 km Nord-Sud et sur 40 km Est-Ouest. En septembre 2001, 104 points demeurent opérationnels dont 83 des 112 puits et 21 des 40 piézomètres. Ce réseau donne une vue générale des caractéristiques de la nappe phréatique, mais ne permet pas de mettre en évidence le phénomène de la remontée de la nappe phréatique de par le manque de points de mesures dans les zones affectées, en particulier au niveau des agglomérations.

Pour y remédier, 107 nouveaux points (G) ont été implantés sur recommandation du bureau d'étude suisse en septembre 2001 : 69 dans le couloir Oglâ-Kouinine, 9 dans les environs de Z'goum, 7 dans la zone du rejet et 22 répartis dans les autres agglomérations principales, en des lieux qui avaient subi une montée de la nappe. Ce sont essentiellement des puits améliorés, implantés dans des lieux publics, principalement des écoles et lycées, plus rarement en puits privés et pour ces derniers, seulement lorsque la densité des puits « publics » était insuffisante.

V-3-2 Piézométrie de la nappe phréatique en mars-avril 2001 (figure V-4)

La partie haute de la nappe est située au Sud avec une cote de près de 90 m au piézomètre P39, implanté sur la route de Touggourt au Sud-Ouest de Mih Ouensa. Une zone basse au Nord-Ouest, avec une cote d'une trentaine de mètres au puit H1 à Foulia et -6m au piézomètre P36 à la limite Nord-Ouest sur la route de Biskra. La pente de la nappe est faible au Sud d'El-Oued (un peu moins de 0.9%) par contre elle est plus prononcée au Nord avec 1.8 % au puits H1. Elle augmente encore au-delà de H1 pour atteindre un maximum de 2.9% au piézomètres P38 et P36.

La carte des niveaux piézométriques présente :

- des anomalies hautes correspondant à la palmeraie Mehri situé près du P17, ainsi que près du rejet (H90) au Nord de l'hôpital d'El-Oued, aux alentours de Z'goum et du couloir de

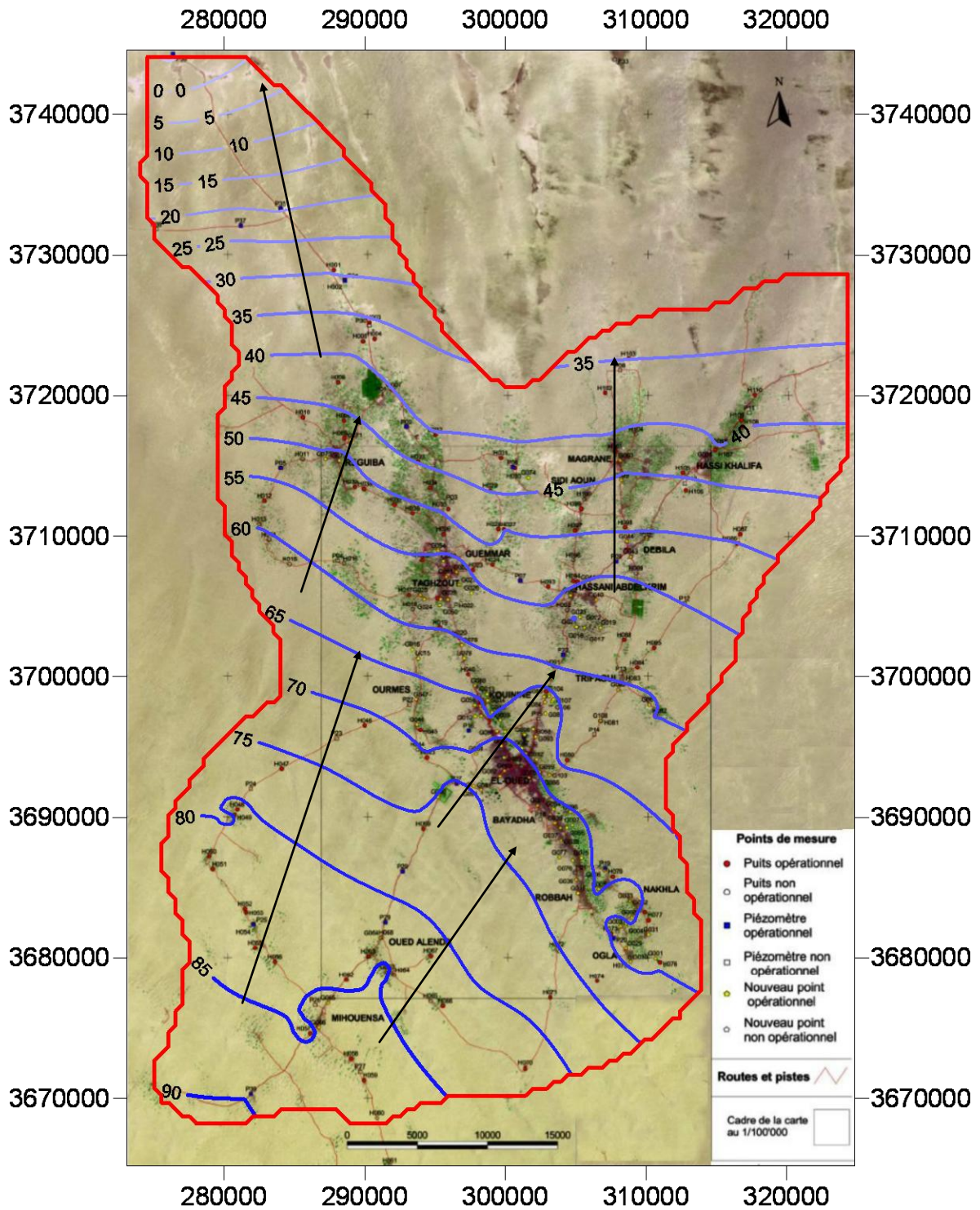
Kouinine-Robbah. Ces zones hautes correspondent à un surplus d'eau.

- des anomalies basses au niveau des cultures de surface du triangle Reguiba-Hassi Khalifa-Taghzout qui correspondent à un déficit en eau.

V-3-3 Variations du niveau piézométrique entre 2001-1993 (Figure V-5)

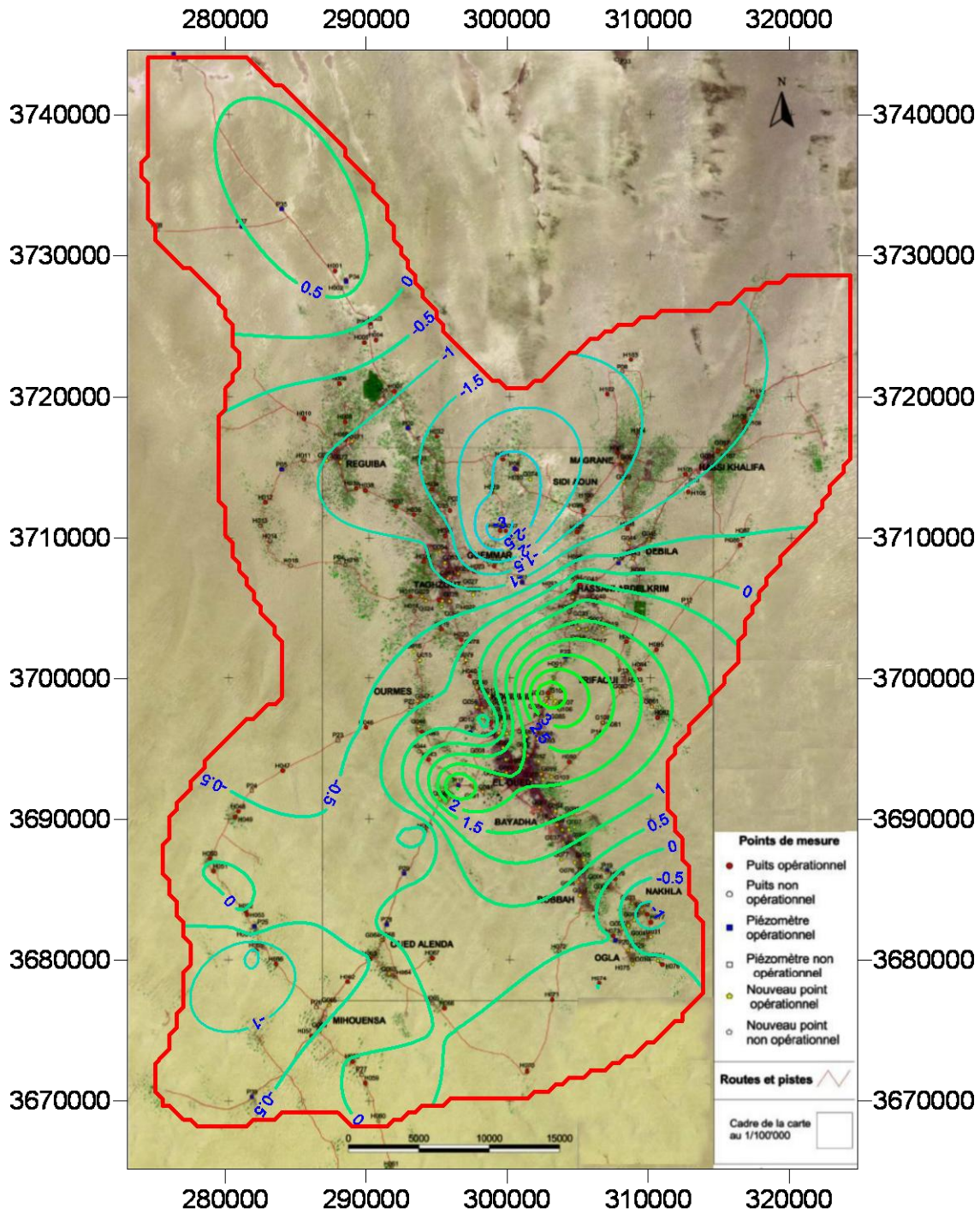
la carte a été établie en prenant les valeurs des deux campagnes piézométriques de mars-avril 1993 et de mars-avril 2001. Nous observons une stabilité d'ensemble des niveaux sur les deux tiers sud de la surface étudiée, avec des variations comprises entre +/- 0,5m, à l'exception de deux points en forte montée et d'un point en baisse importante.

- Les deux points de forte montée sont le P17 et le H90 :
 - Le P17 est situé près de la palmeraie Mehri. La montée du niveau est supérieure à 3 m peut être expliquée par une irrigation de la palmeraie à partir de forages du complexe terminal et l'alimentation de la nappe phréatique par infiltration. Cette montée met en danger les ghouts voisins. Elle devrait être contrôlée par une irrigation à partir des puits dans la nappe phréatique (à condition que la qualité de l'eau le permette).
 - Le H90 avec une montée de près de 4 m, est situé près du rejet des eaux usées et de drainage de la ville d'El-Oued, au Nord de la ville. Cette montée s'explique par l'infiltration de la majeure partie des eaux rejetées.
- Tout au Nord-Ouest, deux puits, H1 et H2, situés à Foulia, se singularisent par une montée de 1,2 m et 0,7 m respectivement, due à l'apport d'eau du complexe terminal pour l'irrigation des plantations.
- Le puit H78 en baisse modérée (1,32m) est situé à Nakhla, dans une zone de cultures en surface, irriguée à partir de puits dans la nappe phréatique. Ces puisages associés à une modération de la consommation d'eau en provenance des nappes profondes (CT et CI) sont à l'origine de cette baisse.



Légende : — Courbe hydroisohypse (m).
 — Limite perméable fictive de la zone d'étude.
 → Sens d'écoulement.

Figure V-4 Carte piézométrique de la nappe phréatique en mars-avril 2001



Légende : ——— Courbe des différences piézométriques (m).
 ——— Limite perméable fictive de la zone d'étude.

Figure V-5 Carte des variations du niveau piézométrique entre mars-avril 2001 et mars-avril 1993

Dans la partie Nord de la région, on observe un large couloir de 10 à 15 km orienté Est-Ouest, objet d'une baisse généralisée atteignant les 5,44 m au puit H28 près de Ez Zeggoub au Nord-Est de Tarhzout, qui est mais généralement de l'ordre de 1 à 2 mètres. Cette baisse est due à une intense agriculture de surface irriguée à partir des puits implantés dans la nappe phréatique.

V-3-4 Piézométrie de la nappe phréatique en septembre 2001

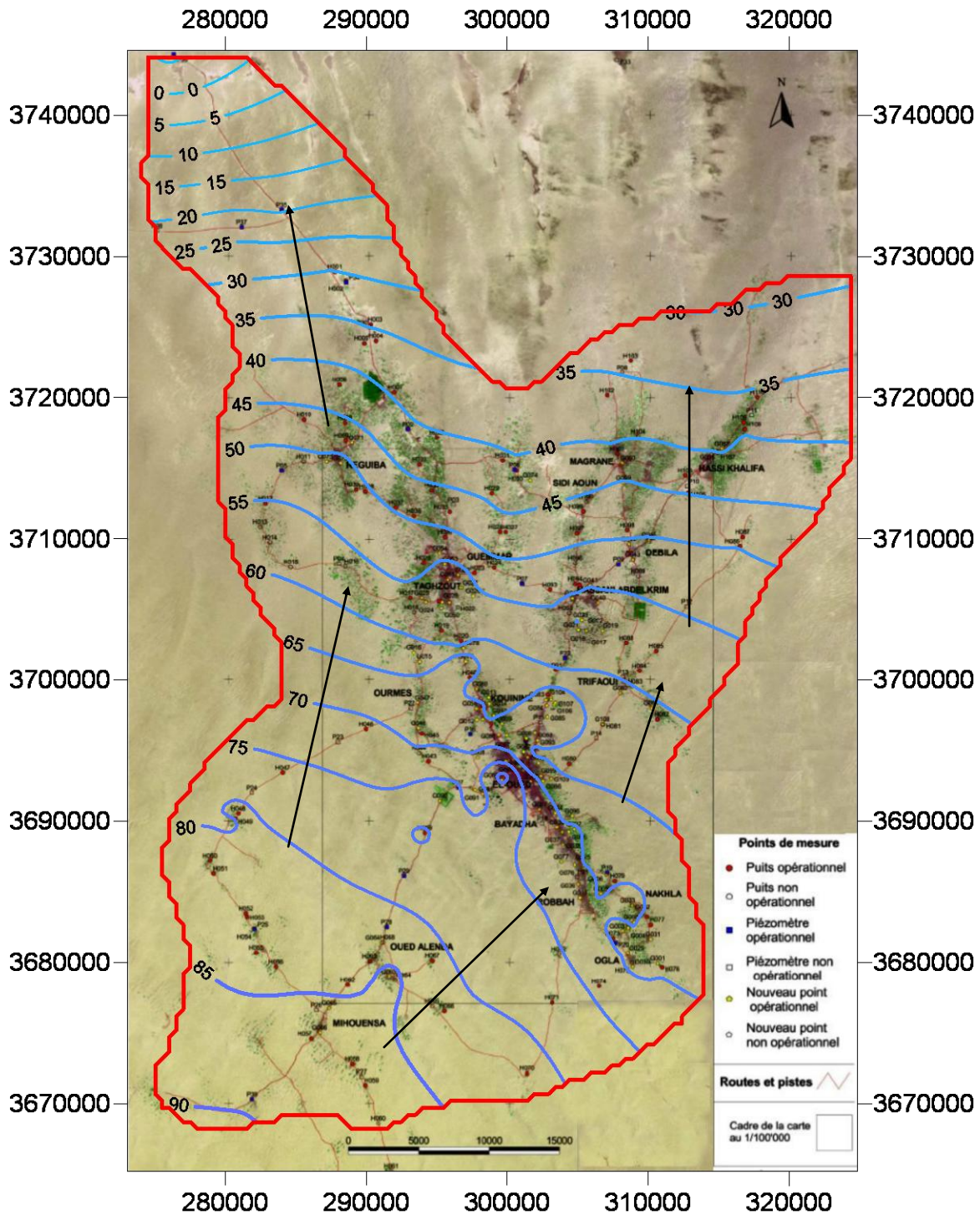
La carte piézométrique est établie après l'extension du réseau de mesure, en septembre 2001 (107 nouveaux points). Des détails apparaissent et les zones urbaines se distinguent des zones agricoles irriguées à partir de la nappe phréatique. On constate, du Sud vers le Nord :

- Une avancée haute de la nappe phréatique dans la région de Mih Ouensa, Oued El Alenda qui est relayée vers le Nord-Est au niveau d'El-Oued et du rejet des eaux de drainage et d'assainissement de cette ville.
- Une zone s'étendant d'El-Ogla à Bayada dans laquelle le niveau de la nappe phréatique est moins monté qu'à El Oued et qui paraît déprimée par rapport à cette dernière.
- Des points hauts dans les zones urbaines de Guemmar et de Trifaoui, plus bas à l'extérieur dans les zones agricoles.
- une partie Nord plus régulière à Reguiba, Magrane, Hassi Khelifa où la densité des points est relativement faible.

V-3-5 Variations du niveau piézométrique entre septembre 2001 et mars-avril 2001

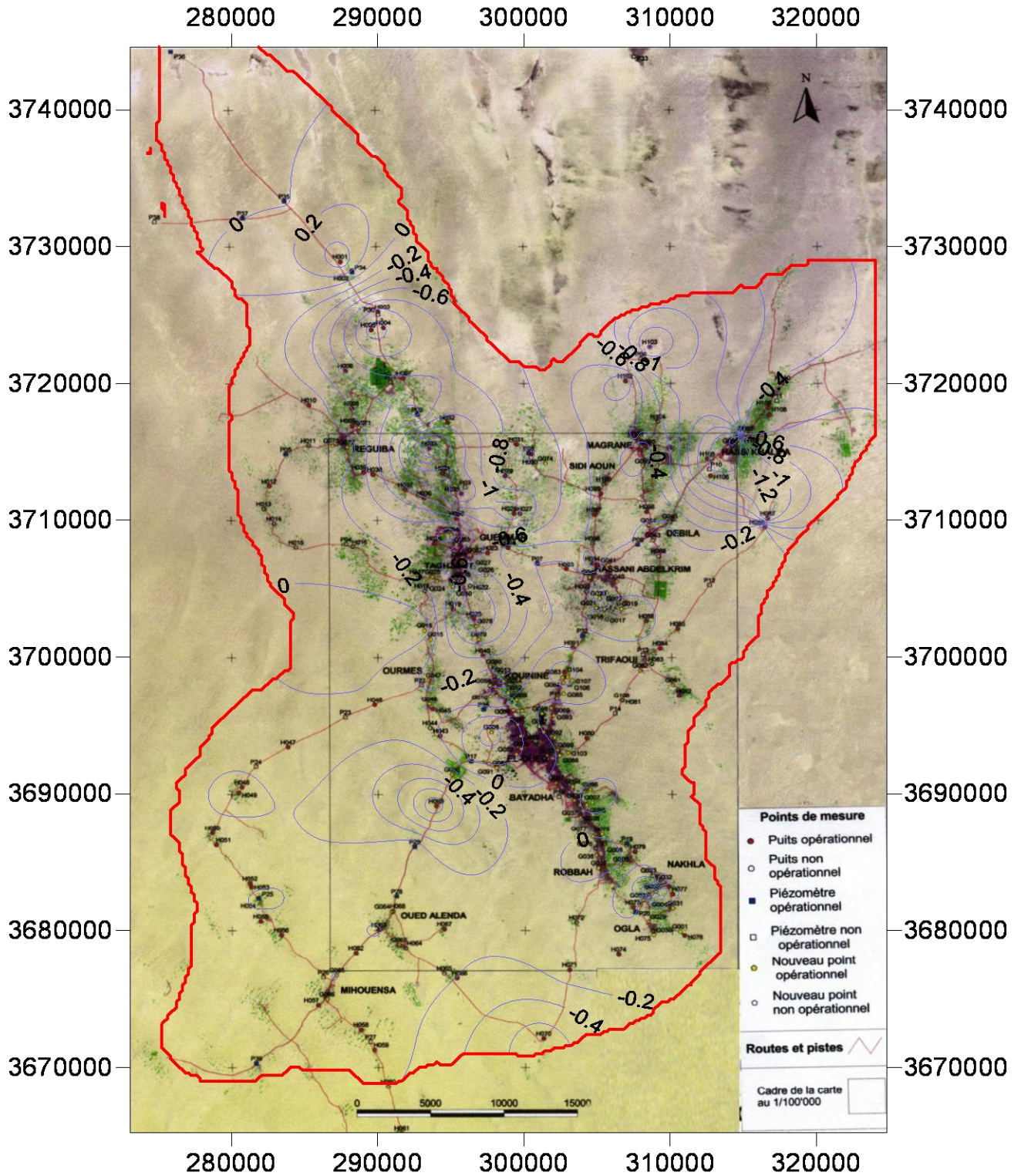
La carte piézométrique établie met en évidence les mouvements saisonniers de la nappe phréatique entre mars-avril 2001 et septembre 2001. ou l'on observe (figure V-7) :

- Une remontée de la nappe phréatique
 - au niveau des plantations irriguées à partir de la nappe du complexe terminal, il s'agit du Domaine Daouia, et de la plantation de Foulia.
 - Du rejet de la ville d'El-Oued.
 - Des agglomérations d'Ouzitene, d'Ez Zeggoub et de Guemmar.
- Une baisse de la nappe phréatique dans les zones agricoles.



Légende : — Courbe hydroisohypse (m).
 — Limite fictive de zone d'étude.
 → Sens d'écoulement.

Figure V-6 Carte piézométrique de la nappe phréatique en septembre 2001



Légende : — Courbe des différences piezométriques (m).

— Limite fictive de zone d'étude.

FigureV-7 Carte des variations du niveau piézométrique entre septembre 2001, et mars-avril 2001.

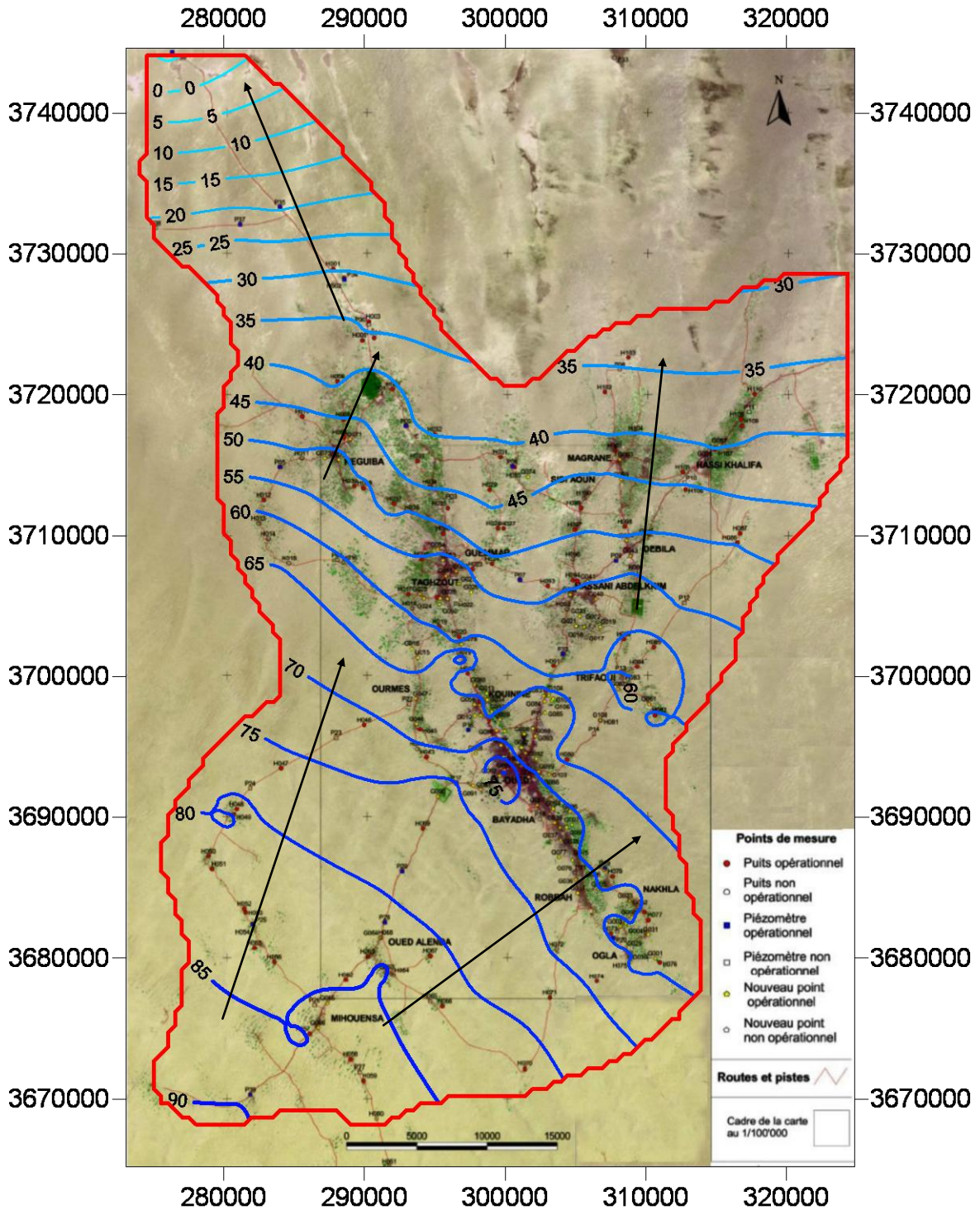
V-3-6 Piézométrie de la nappe phréatique en avril 2002

Des mesures sur 117 points du réseau de surveillance ont servi à la réalisation de la carte dont les courbes ont été déterminées par krigeage linéaire (figure V-8).

La carte piézométrique, met en évidence des anomalies localisées, à faibles rayons de courbure dont on sait par ailleurs, d'après les cartes de variations des niveaux piézométriques notamment, qu'elles peuvent correspondre à des interventions humaines récentes telles que l'AEP et l'irrigation à partir des nappes profondes pour les anomalies hautes et l'irrigation à partir de pompages dans la nappe phréatique pour les anomalies basses.

➤ Des anomalies hautes sont constatées (HPO et BG, 2003):

- Au niveau de 12 chefs-lieux de communes. les anomalies sont de : El-Oued, Bayadha, Oued Alenda Sud et Oued Alenda Nord, Nakhla, Robbah, Kouinine, Guemmar, Trifaoui, Magrane, Reguiba, Debila, Hassi Abdelkrim et Zgoum.
 - Les chefs-lieux de commune d'Ourmes, Sidi Aoun, Hassi Khalifa, Taghzout, Mihounsa et El-Ogla ne présente pas des anomalies positives, probablement à cause d'une forte activité agricole dans les agglomérations et/ou à une restriction dans la dotation en eau à partir des forages profonds.
 - Au niveau des zones agricoles irriguées par des forages au complexe terminal, les anomalies hautes sont de :
 - 5 mètres au domaine Daouia près d'El-Oued
 - 3 mètres à Foulia
 - Au niveau de la zone industrielle de Kouinine, l'anomalie est de l'ordre de 11 mètres
 - Au niveau du rejet de la ville d'El-Oued, l'anomalie est de 7 mètres environ.
 - L'anomalie haute entre Debila, Hassi Abdelkrim et Trifaoui où la plantation d'Akfadou est irriguée par des forages du complexe terminal
 - L'anomalie au niveau d'Arfsi Nord est due à une irrigation de certaines plantations par le forage AEP
- des anomalies basses ont été constatées :
- Au niveau des zones agricoles. Les anomalies sont de l'ordre de
 - 3 mètres aux environs de Ogla-Aguila
 - 3 mètres entre Guemmar, Djedida Nord, Ghour Debaa et Dmitha



Légende : — Courbe hydroisohypse (m).
 — Limite fictive de zone d'étude.
 → Sens d'écoulement.

Figure V-8 Carte piezométrique de la nappe phréatique en avril 2002

- Au niveau du village d'Oued Turk, l'anomalie est de 2 mètres. A noter que ce village est approvisionné par des forages implantés dans la nappe phréatique pour l'AEP.

Toutes les anomalies sont le résultat d'un mauvais transfert hydraulique de la nappe phréatique, à cause de sa faible pente.

V-3-7 Variations du niveau piézométrique entre avril 2002 et mars-avril 2001

Les 118 points du réseau de surveillance, qui ont fait l'objet de campagnes de mesures piézométriques en mars-avril 2001 et en avril 2002, ont permis l'établissement de la carte des différences du niveau piézométrique (figure V-9).

Nous observons :

- une montée du niveau de la nappe phréatique (HPO-BG, 2003) :
 - au niveau des centres urbains de :
 - 0,6 mètres à Reguiba
 - 0,5 mètres à Robbah
 - 0,4 mètres à El-Oued
 - 0,3 mètres à Nakhla
 - 0,3 mètres à Kouinine
 - 0,1 mètres à Hassi Khalifa
 - 0,2 mètres à Magrane
 - 0,1 mètres à Oued Alenda Sud
 - 1 mètre au niveau du rejet de la ville d'El-Oued
 - 0,6 mètres au niveau de la plantation de Foulia irriguée à partir du CT.
- Un rabattement de la nappe phréatique:
 - Au niveau des zones agricoles au Nord d'El-Oued avec une descente de 2,4 mètres au Nord-Est de Guemmar et de 2,2 mètres à l'Est de Zgoum.
 - Au Sud du domaine Daouia de 0,2 mètres et 0,16 mètres au Nord de celui-ci.
 - Dans la zone agricole aux alentours de Nakhla, Nakhla Garbia, Hai Nasr et Hai Badr de 0,3 mètres.

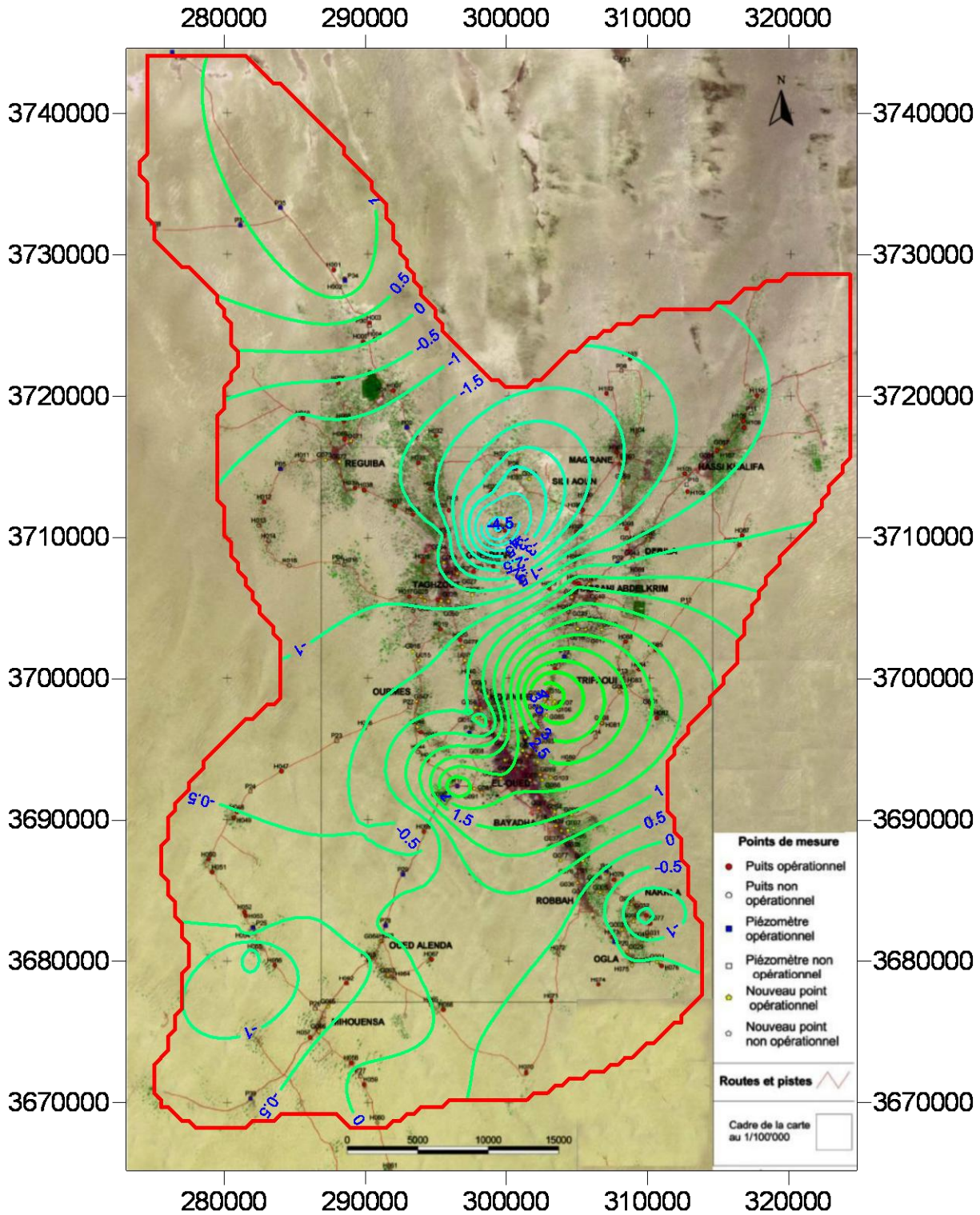
V-3-8 Variations du niveau piézométrique entre avril 2002 et mars-avril 1993.

Des mesures sur 55 points du réseau de surveillance, pour lesquels des mesures du niveau piézométrique ont été réalisées en avril 2002 et en mars 1993, ont servi à la réalisation de cette carte (Figure V-10).

Nous observons :

- Une montée du niveau de la nappe phréatique (HPO-BG,2003):
 - Au niveau de la plantation irriguée par des forages au CT de Foulia de 1,4 mètres et du domaine Daouia, de 3 mètres.
 - Prés du rejet de la ville d'El-Oued de 4,5 mètres au H90 à 1 km au Nord-Ouest (la montée est beaucoup plus importante au rejet même, d'après la cote piézométrique régionale).
- Un rabattement dans la quasi-totalité du reste de la zone d'étude, atteignant 5,8 mètres au Nord-Est de Guemar, 2,1 mètres dans la région de Reguiba, 1,9 mètres dans la région de Hassi Khaliha ,1,7 mètres au Nord de Nakhla et 1,7 mètres dans la région de Oued Turk.

Le manque de points communs de mesure dans les centres urbains entre 1993 et 2002 biaise la carte et donne une fausse répartition de la baisse généralisée ce qui peut faire croire faussement en une maîtrise du phénomène de la remontée dans les villes. Par contre, la baisse de la nappe phréatique est bien réelle et importante au niveau des zones agricoles.



Légende : _____ Courbe des différences piézométriques (m).
 _____ Limite fictive de zone d'étude.

Figure V-10 Carte des variations du niveau piézométrique entre avril 2002, et mars –avril 1993

V-4-Paramètres hydrodynamiques

V-4-1 Introduction

Des essais de pompage par paliers et de longue durée ont été réalisés sur 6 sites répartis dans la zone d'étude de la vallée du Souf à Mih Ouensa, Nakhla, Ourmes, El-Oued, Kouinine et Foulia, du 24/02/2003 au 07/04/2003 (HPO-BG, 2003).

Chaque site d'essais est constitué d'un puits de pompage et trois piézomètres d'observation, situés à 5, 15, 45 mètres du puits de pompage. Les puits de pompage sont des puits existants avec des caractéristiques différentes, alors que tous les piézomètres réalisés pour ces essais de pompage sont identiques. Les rejets des eaux de pompage sont situés plus loin des sites des essais de pompage.

Les essais de pompage ont comporté, pour chaque site :

- Un essai par paliers enchaînés et composé de trois paliers de 6 heures chacun à débit constant mais différents, séparés par un intervalle d'au moins 12 heures.
- L'essai de longue durée a constitué en un pompage à débit constant de 72 heures suivi de 24 heures de remontée. L'interprétation est réalisée grâce à l'utilisation du logiciel Aquitest (WHI, release 2.5)

V-4-2 Coordonnées UTM des sites des essais par pompage

Les coordonnées UTM des sites des essais de pompage sont définies dans le tableau (V-1) et la carte de situation des sites des essais de pompage (en annexe).

site	X	Y	Z (m)
El-Oued	303415	3700685	59,51
Foulia	288292	3728108	31,42
Kouinine	299433	3700173	61,05
Mih Ouenasa	285729	3674357	87,39
Nakhla	309854	3685801	66,09
Ourmes	293505	3694899	70,72

Tableau V-1 Coordonnées UTM des sites des essais pompages

V-4-3 Essai de pompage à El-Oued

V-4-3-1 Introduction

Quatre essais de pompage, trois de 6 heures avec 12 heures de remontée minimum entre les essais et un de 72 heures suivi de 24 heures de remontée ont été effectués entre le 03/03/2003 et le 10/03/2003 sur un puits amélioré, non exploité, dans la commune d'El-Oued, sur la route en direction de Hassani Abdelkrim (coordonnées UTM Clarke 1880 X = 303415, Y = 3700685).

Trois piézomètres ont été mis en place à des distances de 5 mètres, 10 mètres et 15 mètres du centre du puits de pompage.

Cet aquifère est séparé par des niveaux moins perméables, constitué du sable fin, plus ou moins induré, comprenant une forte proportion de gypse.

V-4-3-2 Détermination de débit spécifique

Les mesures du rabattement du niveau piézométrique dans le puits de pompage des trois essais de 6 heures suivis de 12 heures de remontée sont représentés sur le même graphe, temps/rabattement. Les débits sont de 4 l/s, 8 l/s et 13 l/s.

Le débit spécifique est déterminé à partir de la droite débits - rabattement à un temps de 21600 secondes. Le rabattement à 4 l/s est de 1,71 m, celui à 8 l/s est de 3,64 m, et celui à 13 l/s est de 5,8 m.

Le débit spécifique est de $2,15 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. (HPO-BG, 2003)

V-4-3-3 Interprétation de l'essai de longue durée

Interprétation de l'essai de longue durée, (72 h, 17 min et 30 s) à débit constant de 15,4 l/s suivi de 24 h de remontée après l'arrêt de la pompe. Le rabattement a été mesuré dans le puits de pompage ainsi que dans les trois piézomètres.

Les mesures dans le puits de pompage ainsi que dans les 3 piézomètres sont représentées sur le même graphe, temps/rabattement.

Méthode : COOPER - JACOB I - Aquifère non confiné

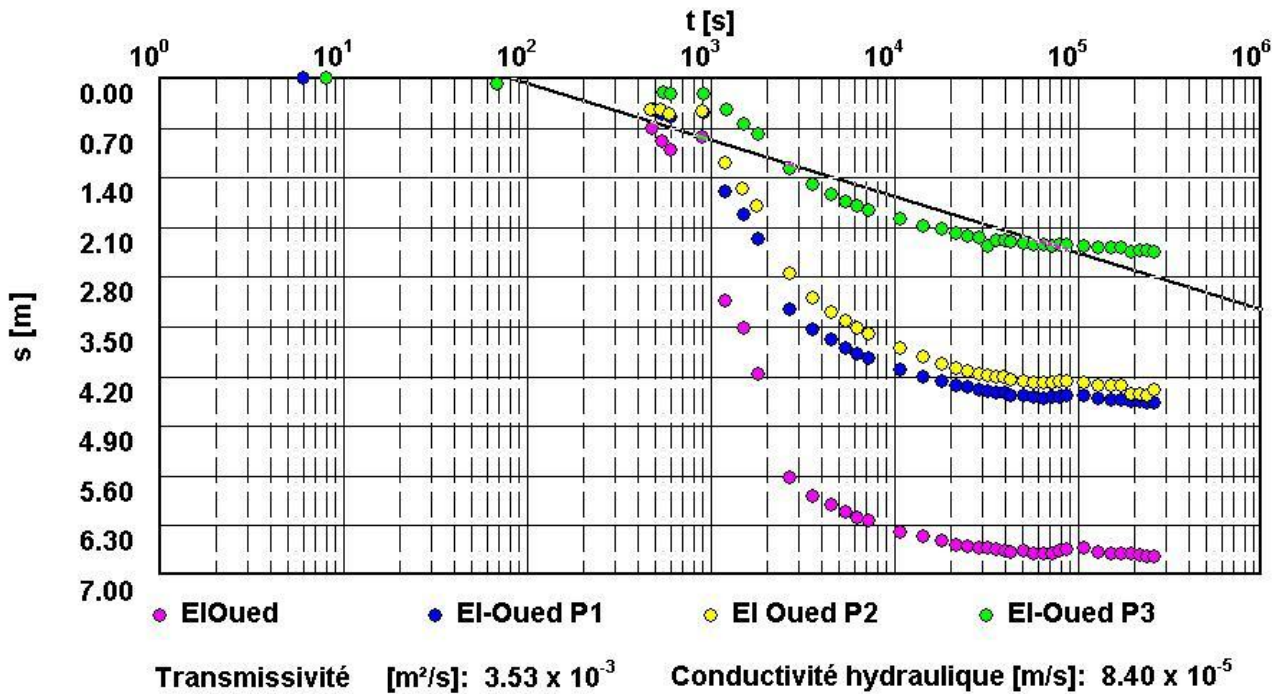


Figure V-11: Essai de pompage longue durée à El-Oued interprété par la méthode de Cooper & Jacob

La transmissivité T déterminée par la méthode de Cooper-jacob est de : $T = 3,53 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$
 La perméabilité $K = 8,4 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ pour une épaisseur effective de 42 m

V-4-4 Essai de pompage à Foulia

V-4-4-1 Introduction

Quatre essais de pompage, 3 de 6 heures avec 12 heures de remontée minimum entre les essais et un de 72 heures suivi de 24 heures de remontée ont été effectués entre le 02/04/2003 et le 09/04/2003 sur un piézomètre exploité du réseau de surveillance ANRH, au-delà de la localité de Foulia, en direction de Biskra (coordonnées UTM Clarke 1880 X = 288292, Y = 3728108).

Trois piézomètres ont été mis en place à des distances de 5 mètre, 10 mètre et 15 mètre du centre du puits de pompage.

Cette aquifère est séparé par des niveaux moins perméables, constitué du sable limoneux gypseux peu argileux et du sable fin, plus ou moins induré, comprenant une forte proportion de gypse.

V-4-4-2 Détermination de débit spécifique

Les mesures dans le puits de pompage des trois essais de 6 heures suivis de 12 heures de remontée sont représentés sur le même graphe (voir annexe), temps/rabattement. Les débits sont de 4,2 l/s, 5,1 l/s et 6,2 l/s.

Le débit spécifique est déterminé à partir de la droite débits - rabattement à un temps de 10800 secondes. Le rabattement à 4,2 l/s est de 0,93 m, celui à 5,1 l/s est de 1,85 m, et celui à 6,2 l/s est de 0,98 m.

Le débit spécifique est de $2,89 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. (HPO-BG, 2003)

V-4-4-3 Interprétation de l'essai de longue durée

Interprétation de l'essai de longue durée, (72 h, 9 min et 2 s) à débit constant de 4,8 l/s suivi de 24 h de remontée après l'arrêt de la pompe. Le rabattement a été mesuré dans le puits de pompage ainsi que dans les trois piézomètres.

Les mesures dans le puits de pompage ainsi que dans les 3 piézomètres sont représentées sur le même graphe, temps/rabattement.

Méthode : COOPER - JACOB I - Aquifère non confiné

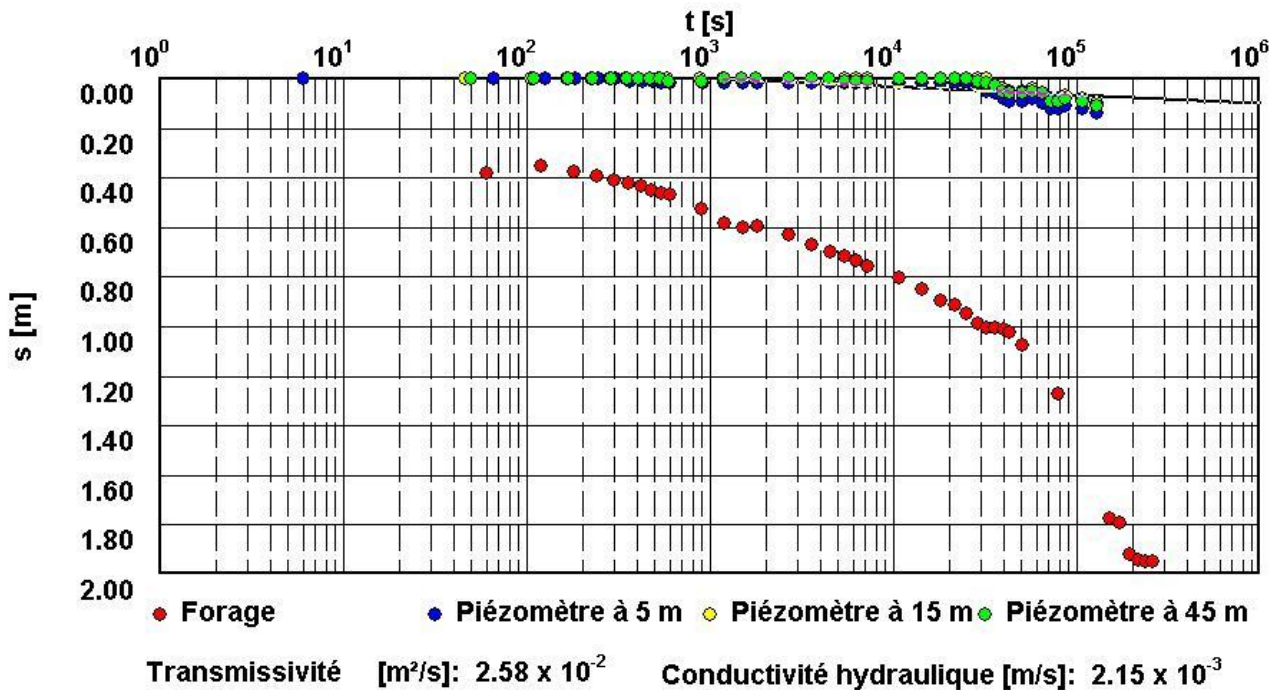


Figure V-12: Essai de pompage longue durée à Foulia
interprété par la méthode de Cooper & Jacob

La transmissivité T déterminée par la méthode de Cooper & Jacob est de : $T = 2,58 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$

La perméabilité $K = 2,15 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ pour une épaisseur effective de 12 m

V-4-5 Essai de pompage à Kouinine

V-4-5-1 Introduction

Quatre essais de pompage, 3 de 6 heures avec 12 heures de remontée minimum entre les essais et un de 72 heures suivi de 24 heures de remontée ont été effectués entre le 10/03/2003 et le 17/03/2003 sur un puits amélioré, non exploité, dans un périmètre agricole abandonné de la commune de Kouinine (coordonnées UTM Clarke 1880 X = 299433, Y = 3700173).

Trois piézomètres ont été mis en place à des distances de 5 mètre, 10 mètre et 15 mètre du centre du puits de pompage.

V-4-5-2 Détermination de débit spécifique

Les mesures dans le puits de pompage des trois essais de 6 heures suivis de 12 heures de remontée sont représentés sur le même graphe (voir annexe), temps/rabattement. Les débits sont de 4 l/s, 8,2 l/s et 13 l/s.

Le débit spécifique est déterminé à partir de la droite débits - rabattement à un temps de 21600 secondes. Le rabattement à 4 l/s est de 6,53 m, celui à 8,2 l/s est de 12,81 m, et celui à 13 l/s est de 21 m.

Le débit spécifique est de $6,29 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. (HPO-BG, 2003)

V-4-5-3 Interprétation de l'essai de longue durée

Interprétation de l'essai de longue durée, (72 h, 21 min et 30 s) à débit constant de 10,9 l/s suivi de 24 h de remontée après l'arrêt de la pompe. Le rabattement a été mesuré dans le puits de pompage ainsi que dans les trois piézomètres.

Les mesures dans le puits de pompage ainsi que dans les 3 piézomètres sont représentées sur le même graphe, temps/rabattement.

Méthode : COOPER - JACOB I - Aquifère non confiné

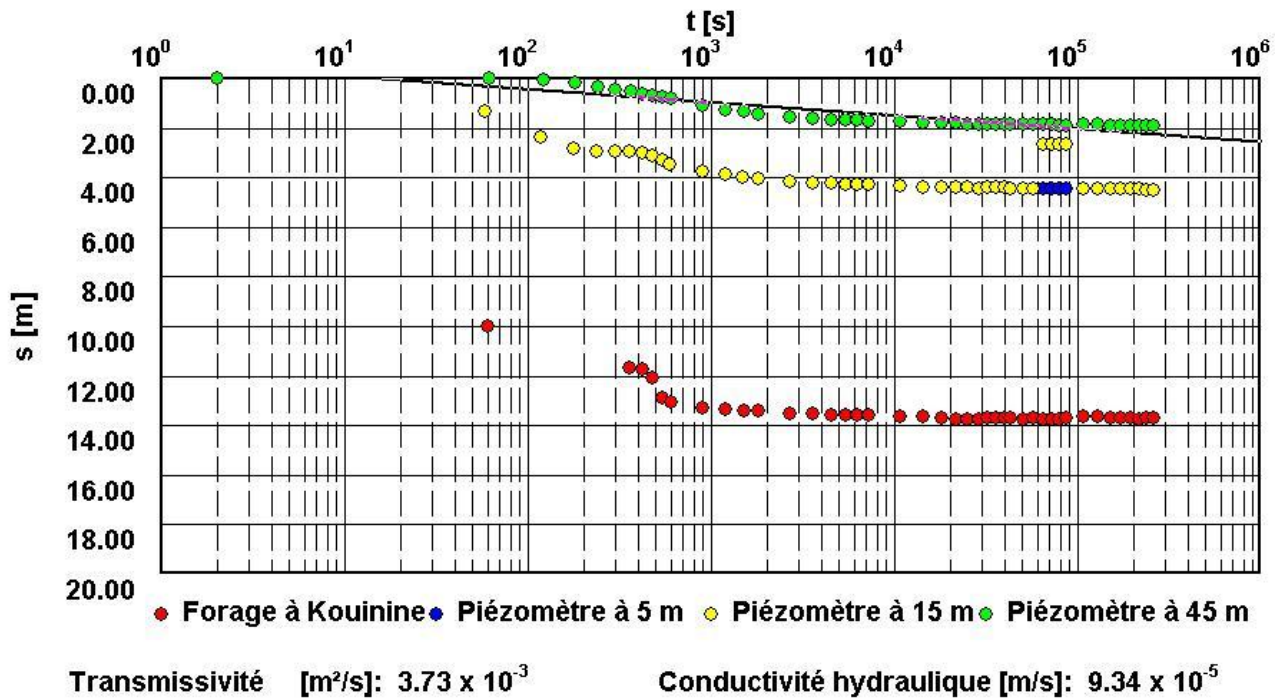


Figure V-13: Essai de pompage longue durée à Kouinine interprété par la méthode de Cooper & Jacob

La transmissivité T déterminée par la méthode de Jacob & Cooper est de : $T = 3,73 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$

La perméabilité $K = 9,34 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ avec une épaisseur effective de 40 m.

V-4-6 Essai de pompage à Mih Ouansa

V-4-6-1 Introduction

Quatre essais de pompage, 3 de 6 heures avec 12 heures de remontée minimum entre les essais et un de 72 heures suivi de 24 heures de remontée ont été effectués entre le 27/03/2003 et le 01/04/2003 sur un puits amélioré, non exploité, dans un périmètre agricole exploité de la commune de Mih Ouansa (coordonnées UTM Clarke 1880 X = 285729, Y = 3674357).

Trois piézomètres ont été mis en place à des distances de 5 mètre, 10 mètre et 15 mètre du centre du puits de pompage.

Cet aquifère est séparé par des niveaux moins perméables, constitué par du sable limoneux gypseux peu argileux.

V-4-6-2 Détermination de débit spécifique

Les mesures dans le puits de pompage des trois essais de 6 heures suivis de 12 heures de remontée sont représentés sur le même graphe (voir annexe), temps/rabattement. Les débits sont de 3 l/s, 4,2 l/s et 4,9 l/s.

Le débit spécifique est déterminé à partir de la droite débits - rabattement à un temps de 21600 secondes. Le rabattement à 3 l/s est de 9,52 m, celui à 4,2 l/s est de 12,59 m, et celui à 4,9 l/s est de 15,5 m.

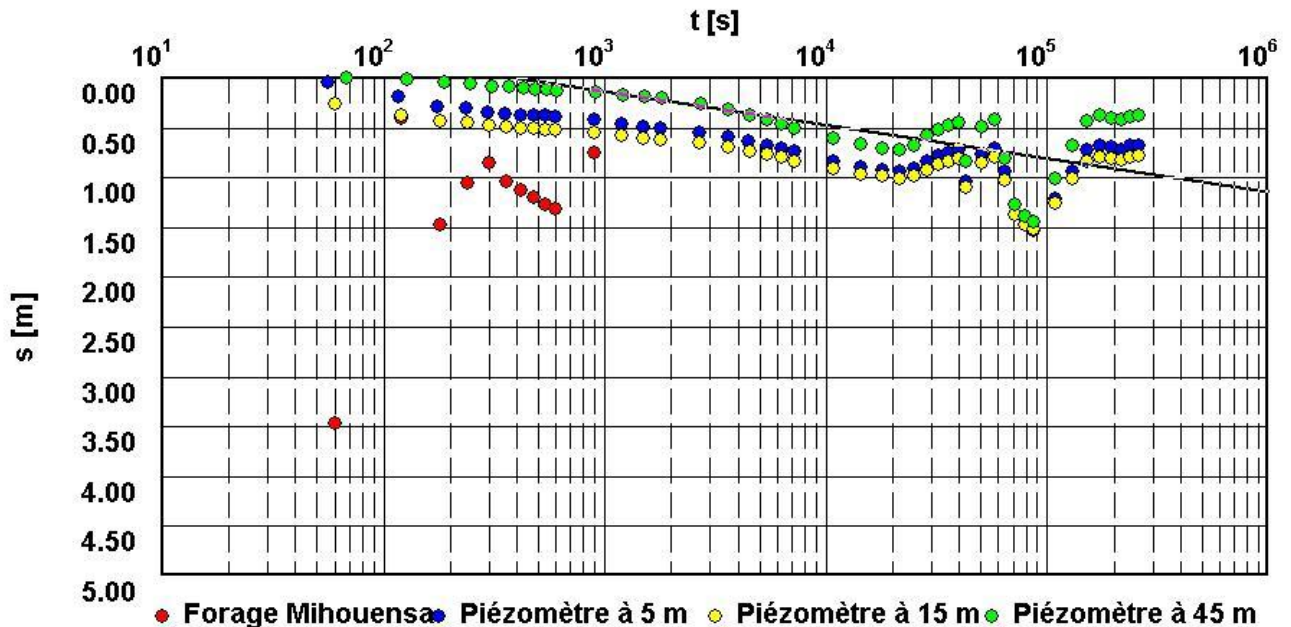
Le débit spécifique est de $3,7 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$.

V-4-6-3 Interprétation de l'essai de longue durée

Interprétation de l'essai de longue durée, (72 h, 15 min et 30 s) à débit constant de 4,7 l/s suivi de 24 h de remontée après l'arrêt de la pompe. Le rabattement a été mesuré dans le puits de pompage ainsi que dans les trois piézomètres.

Les mesures dans le puits de pompage ainsi que dans les 3 piézomètres sont représentées sur le même graphe, temps/rabattement.

Méthode : COOPER - JACOB I - Aquifère non confiné



Transmissivité $[\text{m}^2/\text{s}]$: $2,57 \times 10^{-3}$ Conductivité hydraulique $[\text{m}/\text{s}]$: $3,67 \times 10^{-4}$

Figure V-14: Essai de pompage longue durée à Mih Ouansa interprété par la méthode de Cooper & Jacob

La transmissivité T déterminée par la méthode de Jacob & Cooper est de : $T = 2,57 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$
La perméabilité $K = 3,67 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ avec une épaisseur effective de 7 m.

V-4-7 Essai de pompage à Nakhla

V-4-7-1 Introduction

Quatre essais de pompage, 3 de 6 heures avec 12 heures de remontée minimum entre les essais et un de 72 heures suivi de 24 heures de remontée ont été effectués entre le 25/02/2003 et le 03/03/2003 sur un puits amélioré, dans un périmètre agricole pas encore exploité de la commune de Nakhla (coordonnées UTM Clarke 1880 X = 309854, Y = 3685801).

Trois piézomètres ont été mis en place à des distances de 5 mètres, 10 mètres et 15 mètres du centre du puits de pompage.

V-4-7-2 Détermination de débit spécifique

Les mesures dans le puits de pompage des trois essais de 6 heures suivis de 12 heures de remontée sont représentés sur le même graphe (voir annexe), temps/rabattement. Les débits sont de 4 l/s, 8 l/s et 11,6 l/s.

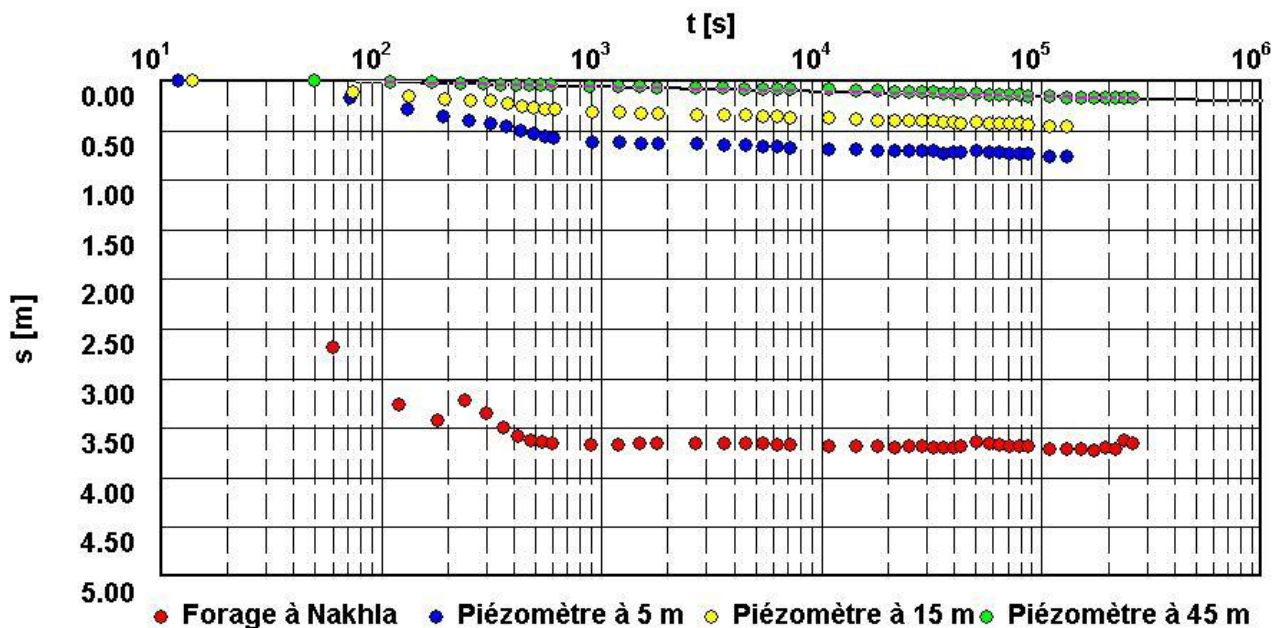
Le débit spécifique est déterminé à partir de la droite débits - rabattement à un temps de 21600 secondes. Le rabattement à 4 l/s est de 2,36 m, celui à 8 l/s est de 5,5 m, et celui à 11,6 l/s est de 8 m. Le débit spécifique est de $1,83 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$. (HPO-BG, 2003)

V-4-7-3 Interprétation de l'essai de longue durée

Interprétation de essai de logue durée, (72 h et 30 s) à débit constant de 14,4 l/s suivi de 24 h de remontée après l'arrêt de la pompe. Le rabattement a été mesuré dans le puits de pompage ainsi que dans les trois piézomètres.

Les mesures dans le puits de pompage ainsi que dans les 3 piézomètres sont représentées sur le même graphe, temps/rabattement.

Méthode : COOPER - JACOB I - Aquifère non confiné



Transmissivité [m²/s]: 5.43×10^{-2}

Conductivité hydraulique [m/s]: 6.79×10^{-3}

Figure V-15: Essai de pompage longue durée à Nakhla interprété par la méthode de Cooper & Jacob

La transmissivité T déterminée par la méthode de Jacob & Cooper est de : $T = 5,43 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$

La perméabilité $K = 6,7 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ avec une épaisseur effective de 8 m.

V-4-8 Essai de pompage à Ourmes

V-4-8-1 Introduction

Quatre essais de pompage, 3 de 6 heures avec 12 heures de remontée minimum entre les essais et un de 72 heures suivi de 24 heures de remontée ont été effectués entre le 17/32/2003 et le 24/03/2003 sur un puits amélioré exploité, dans la commune de Ourmes (coordonnées UTM Clarke 1880 X = 293505, Y = 3694899).

Trois piézomètres ont été mis en place à des distances de 5 mètre, 10 mètre et 15 mètre du centre du puits de pompage.

V-4-8-2 Détermination de débit spécifique

Les mesures dans le puits de pompage des trois essais de 6 heures suivis de 12 heures de remontée sont représentés sur le même graphe (voir annexe), temps/rabattement. Les débits sont de 4,2 l/s, 7,9 l/s et 11,8 l/s.

Le débit spécifique est déterminé à partir de la droite débits - rabattement à un temps de 21600 secondes. Le rabattement à 4,2 l/s est de 4,48 m, celui à 7,9 l/s est de 8,68 m, et celui à 11,8 l/s est de 13,27 m.

Le débit spécifique est de $8,63 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. (HPO-BG, 2003)

V-4-8-3 Interprétation de l'essai de longue durée

Interprétation de l'essai de longue durée, (72 h, 05 min et 30 s) à débit constant de 13,3 l/s suivi de 24 h de remontée après l'arrêt de la pompe. Le rabattement a été mesuré dans le puits de pompage ainsi que dans les trois piézomètres.

Les mesures dans le puits de pompage ainsi que dans les 3 piézomètres sont représentées sur le même graphe, temps/rabattement.

Méthode : **COOPER - JACOB I - Aquifère non confiné**

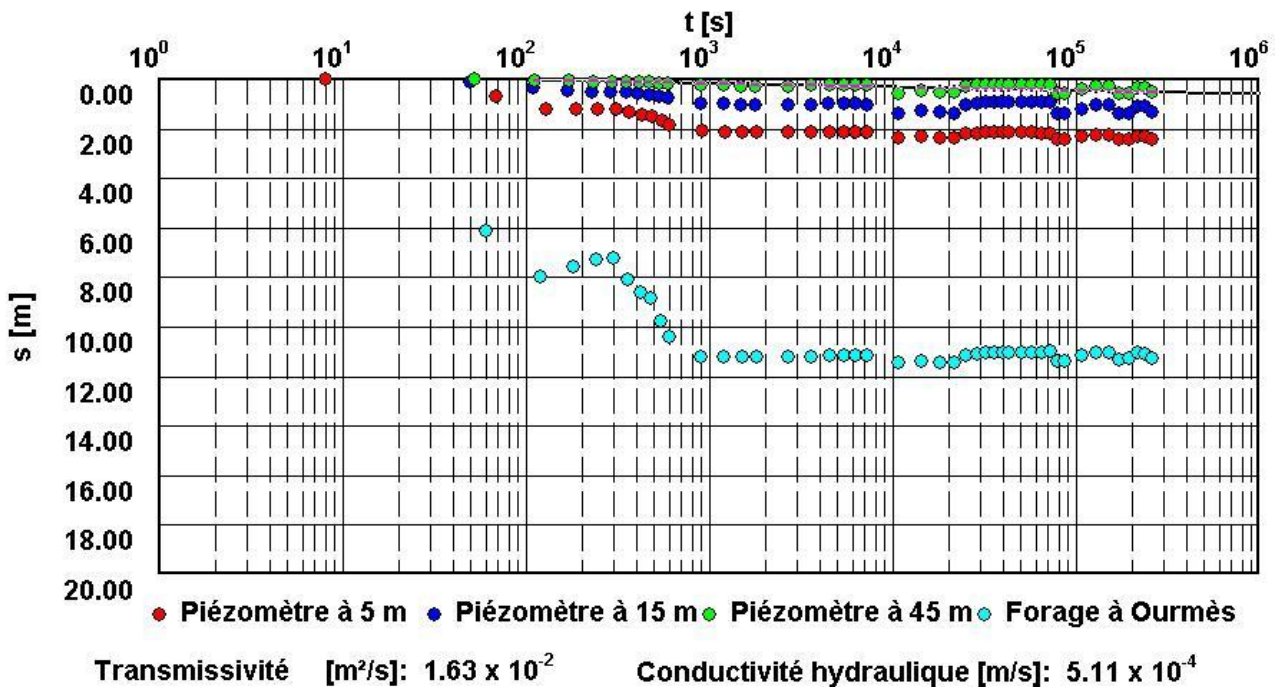


Figure V-16: Essai de pompage longue durée à Ourmes interprété par la méthode de Cooper & Jacob

La transmissivité T déterminée par la méthode de Jacob & Cooper est de : $T = 1,63 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$

La perméabilité $K = 5,1 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ avec une épaisseur effective de 32 m.

V-4-9 Conclusion

Les cartes des variations de niveau piézométriques de la nappe phréatique entre les périodes allant de : mars-avril 1993 jusqu'au avril 2002 montrent que :

Le phénomène de la remontée de la nappe phréatique amorcé dans les années 1975-1980 et ayant eu comme conséquence l'ennoïement de près d'un millier de ghouts, la mort de 100000 palmiers et la menace de 200000 autres. L'eau stagnante en ville menaçant la santé de la population et les fondations des habitants.

Les remontées de la nappe sont observées autour des centres Urbains d'El-Oued, Nakhla, Guemmar, Z'gom, Oued Alenda et Oued Turk, pré des exploitations agricoles irriguées par des nappes profondes et au niveau du rejet de la ville d'El-Oued. Les baisses de niveau sont produites par une forte activité agricole, avec l'irrigation à partir de la nappe phréatique.

Si les essais par palier ont permis de déterminer les débits spécifiques, interprétation réalisée par le HPO et Bonnard et Gardell en Mai 2003, Ces valeurs montrent que la réalisation techniques des forages a été bien menée. Nous avons repris les essais de longue durée de 72 heures et les résultats de l'interprétation de la descente et de la remontée sont presque équivalents avec une faible marge d'erreur sur les transmissivités. Nous avons jugés utile de ne représenter que les graphes de la descente. Les valeurs de la perméabilité ont été déduites grâce aux valeurs de l'épaisseur effective de l'aquifère au niveau de chaque site et correspondent bien à la lithologie de la nappe.

Le débit spécifique est élevé à Nakhla, il est moyen à El-Oued et Foulia, alors qu'il est faible à Kouinine, Ourmes et Mih Ouensa,

Le tableau ci-dessous récapitule les résultats de l'interprétation des essais par pompage

site	Débit spécifique Q/s en m ² /s	Transmissivité T en m ² /s	Perméabilité K en m/s	Epaisseur effective en m
El-Oued	$2,15 \times 10^{-3}$	$3,53 \times 10^{-3}$	$8,4 \times 10^{-5}$	42
Foulia	$1,89 \times 10^{-3}$	$2,58 \times 10^{-2}$	$2,15 \times 10^{-3}$	12
Kouinine	$6,29 \times 10^{-4}$	$3,73 \times 10^{-3}$	$9,34 \times 10^{-5}$	40
Mih Ouensa	$3,7 \times 10^{-4}$	$2,57 \times 10^{-3}$	$3,67 \times 10^{-4}$	7
Nakhla	$1,83 \times 10^{-4}$	$5,43 \times 10^{-2}$	$6,7 \times 10^{-3}$	8
Ourmes	$8,63 \times 10^{-4}$	$1,63 \times 10^{-2}$	$5,1 \times 10^{-4}$	32

Tableau V-2 : tableau récapitulatif des paramètres hydrodynamiques

Coefficient de porosité efficace (n_e):

Le coefficient de porosité efficace de la nappe libre est estimé à 10 % dans la zone d'étude (d'après la DHW d'El Oued).

VI-1 But de l'étude hydro chimique :

L'étude hydrochimique a pour buts de :

- Déterminer les faciès chimiques des eaux de la nappe phréatique d'El-Oued.
- Déterminer l'origine des éléments majeurs présent dans l'eau.
- Avoir une idée sur l'aptitude de l'eau à l'irrigation.

VI-2 Interprétation des analyses des éléments majeurs (mai 2000)

VI-2-1 Détermination des faciès chimique des eaux

a) Digramme de PIPER :

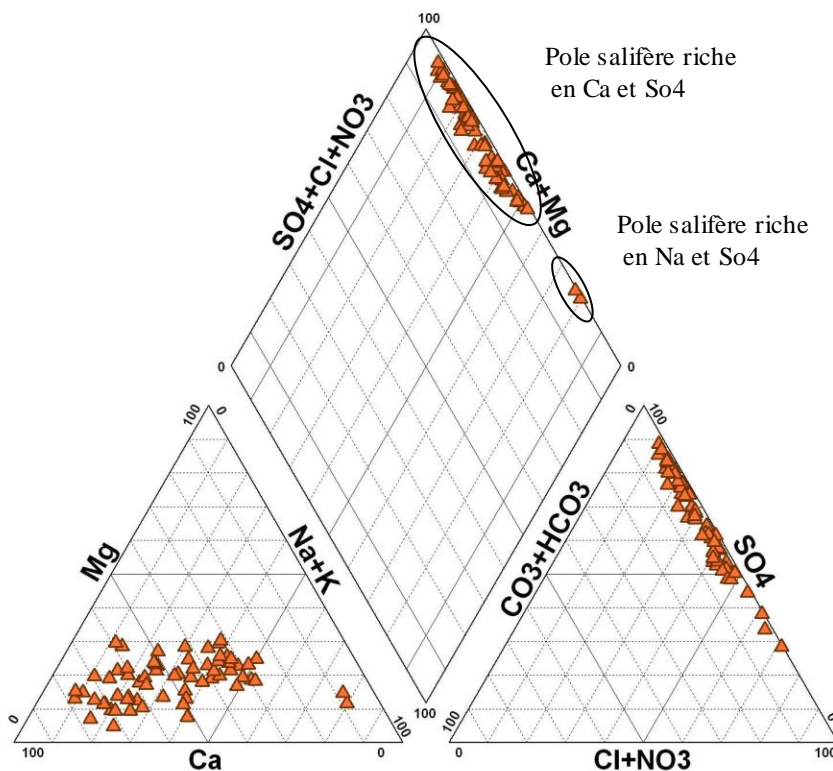


Figure VI-1 Diagramme de PIPER des eaux de la nappe phréatique d'El-Oued

La représentation des concentrations des éléments chimiques des différents points d'eau sur le diagramme de PIPER (figure VI-1) montre que la majorité des échantillons se trouvent dans le pôle caractérisé par un faciès sulfaté calcique ou sulfaté sodique. Cela est du

Chapitre VI: hydrochimie

sûrement a la dissolution des évaporites.

b) Détermination des faciès chimique des eaux :

D'après les données chimiques établies sur les 65 puits de la campagne Mai 2000, représentées dans le tableau (VI-1) en annexe, on distingue les faciès chimiques suivant :

- Faciès sulfaté calcique
- Faciès sulfaté sodique
- Faciès chloruré sodique
- Faciès chloruré calcique
- Faciès sulfaté magnésien

c) Répartition des faciès chimiques :

Le tableau ci-dessous récapitule les lieux d'observations des différents faciès chimiques :

Nombres d'échantillons	faciès chimique	point d'échantillonnage
41	Sulfate – calcique	H11- H12-H13-H14-H20-H31-H36- H37-P7-H15-H41-H46-H47-H48- H49-H81-H78-P15-P10-P22-P30- P32-H50-H51-H70-H71-P19-H84- H86-H88-H89-H92-H10-H110- H98-H97-H95-H104-H107-H109- H110
18	Sulfaté – sodique	H1-H2-H4-H7-H22-H26-H28-H29 H39-P1-P2-P4-P6-P8-P9-P35-P38
3	Chlorure – sodique	H9-P36-P37
2	Chlorure – calcique	H25-H93
1	Sulfaté- magnésium	P21

Tableau VI-2: Répartitions des faciès chimiques dans la nappe phréatique d'El-Oued

VI-2-2 Origine du chimisme des eaux

Les sels dissous dans les eaux souterraines proviennent des minéraux contenus dans les roches encaissantes du réservoir des formations traversées, et le mélange avec les eaux provenant des autres nappes profondes (complexe terminal et nappe continentale intercalaire). On détermine ici l'origine des éléments chimiques des eaux de la nappe phréatique d'El-Oued. A partir de la bonne corrélation qui existe entre eux (méthode des rapports), pour cela on a utilisé seulement les données de la campagne du mai 2000.

a) le couple $\text{SO}_4\text{-Cl}$

L'importance des faciès chloruré et sulfaté nous conduit à vérifier la relation entre ces deux éléments.

Le graphe montre une tendance à l'alignement des points, indiquant probablement une origine commune cependant quelques points présentent un excès de sulfates. D'autres un excès des chlorures. L'importance de l'excès de l'un ou l'autre détermine la dominance du faciès de l'un sur l'autre.

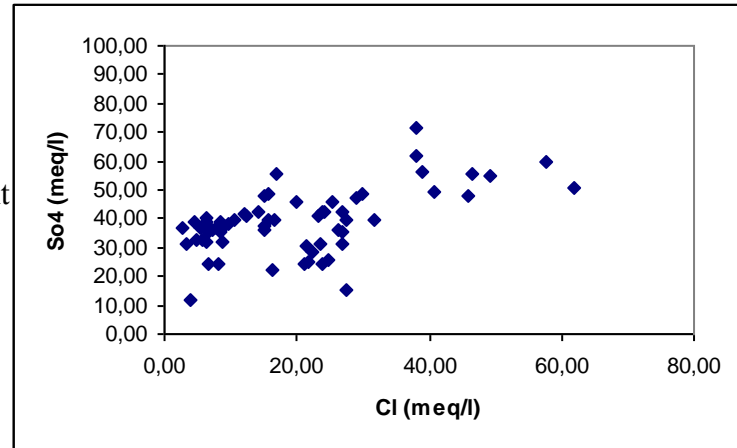


Figure VI-2 : Le couple $\text{SO}_4\text{-Cl}$

b) le couple Na-Cl

Le graphe montre un alignement des points ce qui implique la même origine des deux éléments chimiques probablement la dissolution de la halite. Cependant quelques points présentent un excès de sodium, d'autres un excès des chlorures.

Cette relation confirme par l'existence du faciès chloruré sodique.

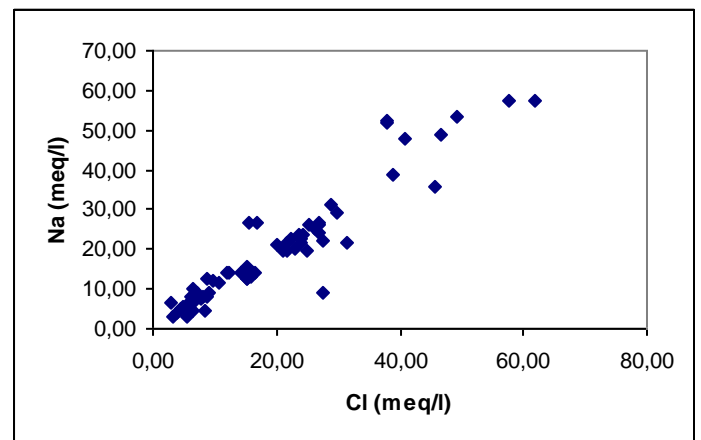


Figure VI-3 : Le couple Na-Cl

c) le couple Ca-Na

Le graphe mise en évidence trois tendances :

- Le calcium évolue indépendamment du sodium (origine autre que les évaporites).
- Evolution simultanée du sodium et calcium (dissolution des évaporites).
- Diminution du calcium alors que le sodium reste en évolution (échange de base entre sodium et calcium).

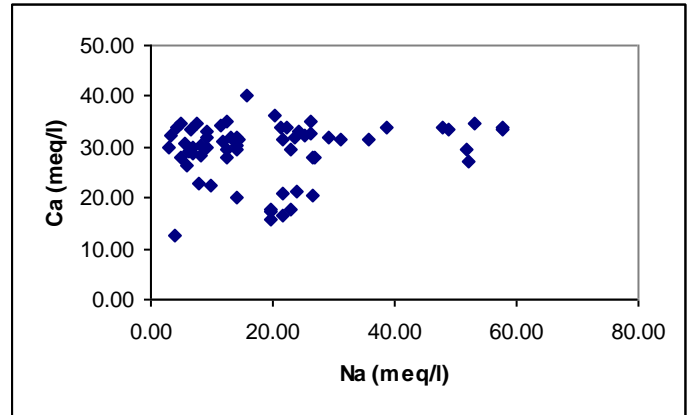


Figure VI-4 : Le couple Ca -Na

d) le couple Ca-So₄

L'évolution du calcium se fait avec les sulfates jusqu'à une valeur des sulfates (de 50 meq/l) ou le calcium diminue systématiquement alors que les sulfates reste en évolution. Ces derniers continuent à évoluer avec un autre élément (supposé être le sodium).

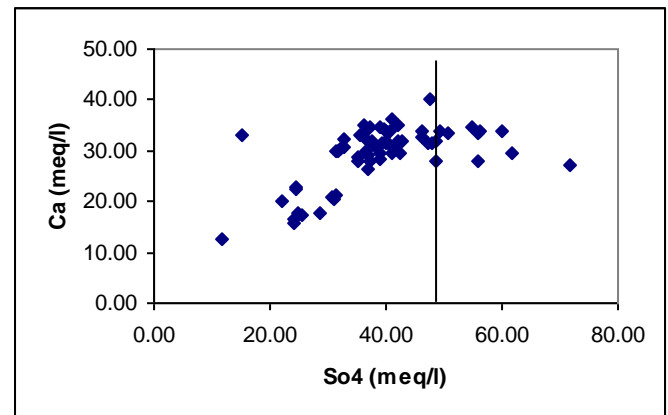


Figure VI-5 : Le couple Ca-So₄

e) le couple Na-so₄

Le graphe montre une tendance à alignement des points, cependant quelques uns montrent un excès en sulfates ou en sodium. Ce qui est important ici c'est que pendant que le calcium diminue comme indiqué précédemment, le sodium reste en évolution avec les sulfates et remplace le calcium (échange de base).

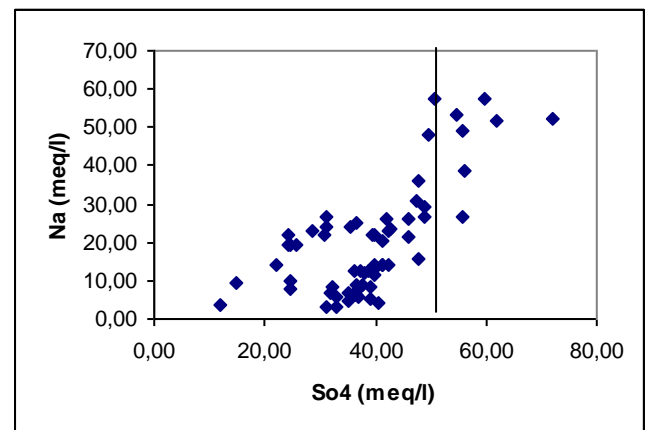


Figure VI-6 : Le couple Na-So₄

VI-2-3 Aptitude des eaux à l'irrigation :

L'utilisation des eaux pour l'irrigation requiert des qualités spécifiques. Pour aborder ce problème, on a utilisé les méthodes de RICHARD (1954). Cette méthode combine la conductivité et le SAR.

Le SAR est définie par la formule :

$$SAR = \frac{Na^+}{(Mg^{++} + Ca^{++})^{1/2}}$$

Le Na^+ , Mg^{++} et Ca^{++} sont exprimés en mg / l, et la conductivité électrique de l'eau par le micro-siémens/cm.

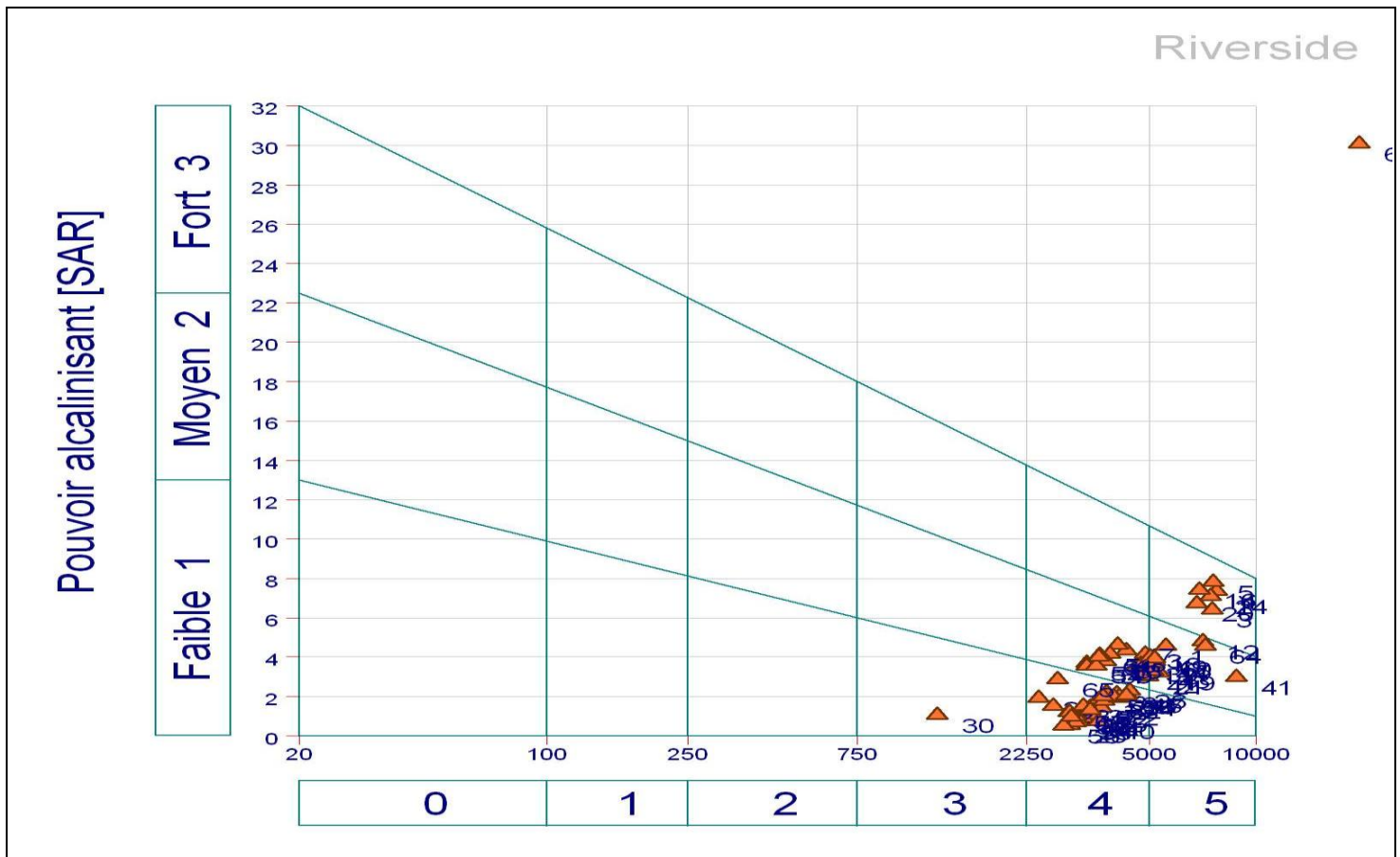


Figure VI-7: Le diagramme de RICHARD des eaux de la nappe phréatique d'El-Oued

Le diagramme de RICHARD (Figure VI-2), montre que l'eau de la nappe phréatique d'El-Oued est très salée, et ils est de mauvaise qualité pour l'irrigation.

VI -3 Conductivités électrique de la nappe phréatique d'El-Oued

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. On mesure la résistance opposée au passage du courant entre les deux électrodes plongées dans le liquide à analyser. Cette conductibilité s'exprime en micro-siémens/cm. Elle est proportionnelle, pour une solution donnée, à la concentration en équivalents gramme de sel dans la solution multipliée par le degré de dissociation ionique de ce sel. Elle constitue une bonne appréciation des matières en solution. En effet, dans les eaux naturelles qui constituent des solutions peu concentrées en sels minéraux, pratiquement tous les éléments dissous sont ionisés et contribuent donc à la conductibilité d'une eau. Ainsi, lorsque l'on connaît la composition chimique d'une eau, on peut calculer sa conductivité et réciproquement. Généralement en multipliant la conductivité mesurée en microSiemens/cm par un coefficient compris entre 0,46 et 1 (suivant les différents sels en présence) on obtient la teneur total en sels en milligrammes/litre.

Pratiquement, la mesure de la conductivité permet de reconnaître l'aptitude de l'eau à l'irrigation. Plus la conductivité est basse, plus l'eau est apte à l'irrigation dans la région considérée.

VI -3-1 Conductivité de la nappe en mars-avril 2001(Figure VI- 8)

D'après la carte de conductivité de mars-avril 2001, nous observons que :

- Les valeurs augmentent du Sud vers le Nord. Elles atteignent un maximum de 38000 micro Siemens/cm tout au Nord-Ouest, aux points le plus bas de la nappe. une zone de forte conductivité correspond au rejet d'El-Oued (H90). D'autres points de forte conductivité se trouvent dans le prolongement Nord du couloir Ogla-Kouinine.
- Des valeurs basses de la conductivité sont situées au Sud d'El-Oued, dans la région d'Ogla, à Oued el Alenda et au Nord-Est de Trifaoui.

VI -3-2 Conductivité de la nappe en septembre 2001(Figure VI- 9)

D'après la carte de conductivité de septembre 2001, nous observons que, les valeurs de la conductivité sont comprises entre 1910 microS/cm au H71 à Mouih el Ghozala au Sud et 117900 microS/cm au G96 au Sud-Est d'El-Oued, dans les zone des ghouts inondés.

D'une manière générale, les valeurs augmentent du Sud vers le Nord. Elles atteignent 40000 microS/cm tout au Nord-Ouest, au point le plus bas de la nappe de la zone d'étude.

- Des zones de très forte conductivité correspondent :

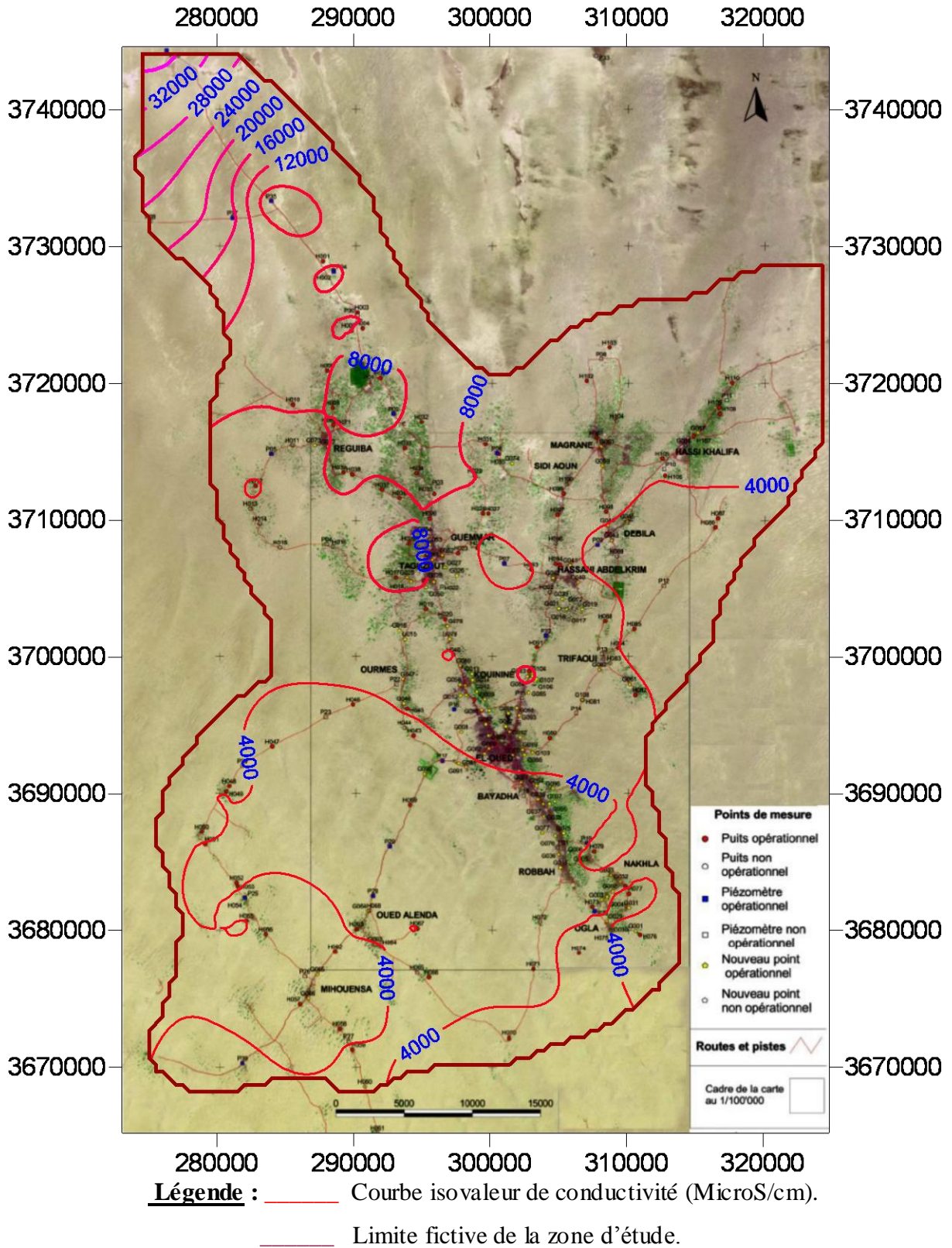


Figure VI-8 Carte de conductivité électrique en mars-avril 2001

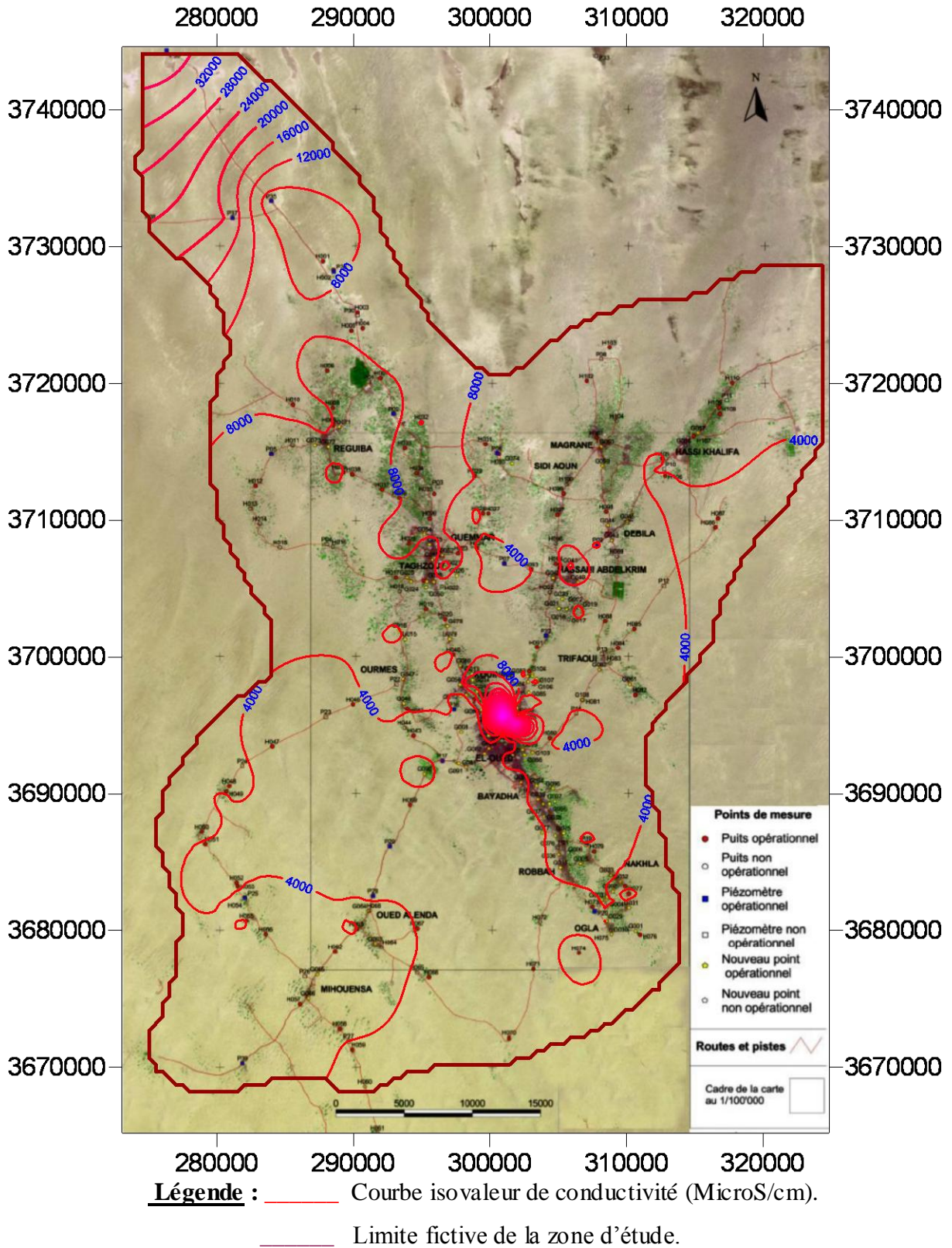


Figure VI-9 Carte de conductivité électrique en septembre 2001

- A des zones basses de certaines agglomérations touchées par la remontée de la nappe phréatique : Z'goum, Guemmar, Kouinine, El-Oued, Mih Ouensa, et Oued Alenda, dans lesquelles de l'eau est stagnante ou se trouve à une très faible profondeur. Ce qui conduit à une augmentation de la conductivité par évaporation et concentration de la salinité.
- Dans l'axe partant d'El-Oued en direction des chotts du Nord et passant à l'Est de Kouinine et de Guemmar.
- Des valeurs faibles de la conductivité sont situées :
 - Au Sud d'El-Oued dans la région d'Ogla, à l'Ouest d'El-Oued ainsi qu'au Nord-Est de Trifaoui. toutes ces régions sont des zones de culture traditionnelle dans les ghouts. Sans cultures intensives ni irrigation importante à partir de la nappe phréatique.
 - Une autre zone de relative basse conductivité se trouve aux environs de Foulia où le recours à la nappe du CT pour l'irrigation fait baisser localement la conductivité par infiltration d'eaux de faible conductivité.
 - De basses conductivités sont également retrouvées dans les zones urbanisées entre El Ogla et Tarhzout en passant par El-Oued et Kouinine. Du à l'apport des eaux d'irrigation et des eaux domestiques.

VI -3-3 Conductivité de la nappe en avril 2002 (Figure VI- 10)

Des mesures effectuées sur 197 points du réseau de surveillance ont servi à la réalisation des cartes de conductivité d'avril 2002. La méthode d'interpolation utilisée est le krigeage linéaire.

Trois grandes zones sont définies :

Zone 1 tout au Nord de la zone d'étude.

Zone 2 s'ouvrant en V vers le Nord depuis El-Oued.

Zone 3 au Sud de la zone 2.

La zone 1 a une conductivité très élevée. à cause des sels entraînés de Sud vers le Nord par l'écoulement général de la nappe qui se charge de plus en plus de sels au cours de son déplacement, ainsi que la forte évaporation au niveau des chotts. Le recours aux nappes profondes est nécessaire pour l'irrigation afin d'obtenir une conductivité acceptable. C'est le cas des plantations de Foulia irriguées par des forages du complexe terminal.

Chapitre VI: hydrochimie

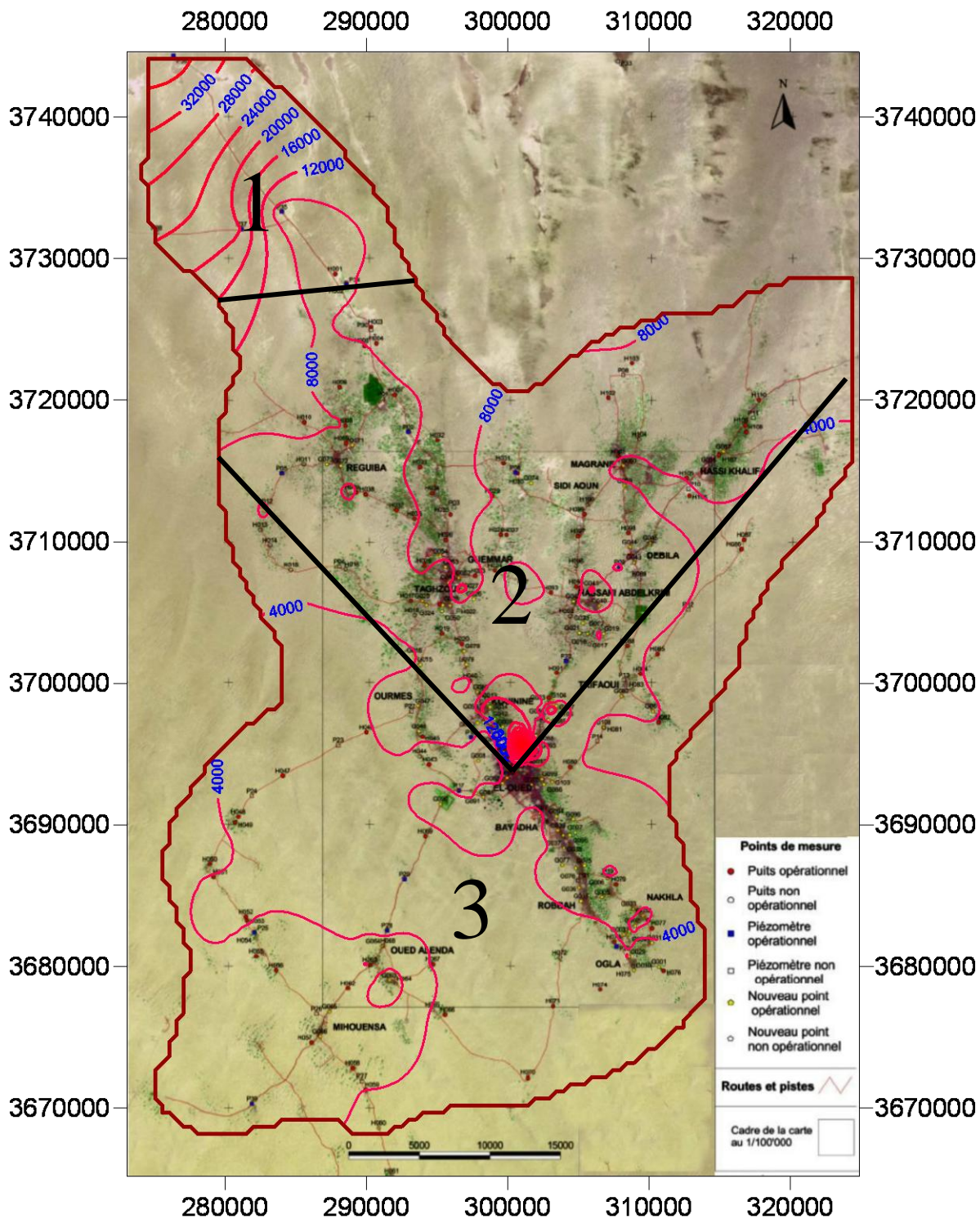
Un système de drainage et/ou une irrigation partielle à partir de la nappe phréatique, dont la conductivité par dilution est localement plus faible, est nécessaire pour éviter une remontée importante de la nappe phréatique.

La zone **2**, comprise entre Foulia au Nord et El-Oued au Sud :

La conductivité est, dans la majeure partie de la zone, relativement élevée :

- des conductivités de 24000 et 53000 microS/cm. En septembre lorsque l'évaporation est maximum, la conductivité est de plus de 100000 microS/cm. L'apport d'eau fait baisser la conductivité.
- Dans les zones des ghouts ennoyés ou humides dans lesquels la conductivité augmente par évaporation
 - Autour de Z'goum avec des conductivité de 9600 et 13500 microS/cm
 - Dans la zone de ghouts humides à l'Est de Guemmar avec des conductivités de 11600 et 15900 microS/cm.
 - A Est de Kouinine, dans les Ghouts inondés ou la conductivité est de 17300 microS/cm.
- L'activité agricole où l'irrigation est intense, la nappe phréatique n'a plus la possibilité de transporter les sels, concentrés par évaporation.
 - Une zone au Nord de Guemmar ou les conductivités varient entre 9100 et 11000 microS/cm.
 - Au Nord-Ouest de Reguiba une plantation avec une conductivité de 9300 microS/cm.
 - Au Sud-Est de Reguiba dans une plantation avec une conductivité de 9000 microS/cm.
- Certaines zones ont une conductivité faible, probablement à cause d'un apport de l'eau des forages destinés à l'AEP.
 - Zone d'Arfsi avec une conductivité de 3900 microS/cm.
 - Zone entre Hassi Khalifa, Magrane et Debila avec des conductivités comprises entre 2040 et 5100 microS/cm.

La zone **3**, au Sud de la zone **2**, est une zone de culture traditionnelle dans laquelle la conductivité est relativement faible, comprise généralement entre 1800 et 4500 microS/cm, à l'exception de :



Légende : _____ Courbe isovaleur de conductivité (MicroS/cm).
 _____ Limite fictive de la zone d'étude.

Figure VI- 10 Carte de conductivité électrique en avril 2002

- La zone de Ghouts inondés entre El-Oued et Khobna avec des conductivités comprises entre 5000 et 8000 microS/cm.
- Ghouts inondés au Sud-Ouest d'El-Oued avec une conductivité de 7100 microS/cm
- Ghouts humides à Oued Alenda avec une conductivité de 10500 microS/cm.
- Zones de cultures irriguées entre Mih Ouensa et Oued Alenda avec des conductivités comprises entre 6200 et 7200 microS/cm.
- Zones de cultures irriguées au Sud de Nakhla avec une conductivité de 7100 microS/cm.
- Zones de cultures irriguées au Nord de Oued Turk avec des conductivités de 5600 microS/cm.
- Zones de cultures irriguées autour d'Ourmes avec des conductivités de 5600 et 6200 microS/cm.

VI -3-4 Variations de conductivité entre mars-avril 1993 et avril 2002 (Figure VI-11)

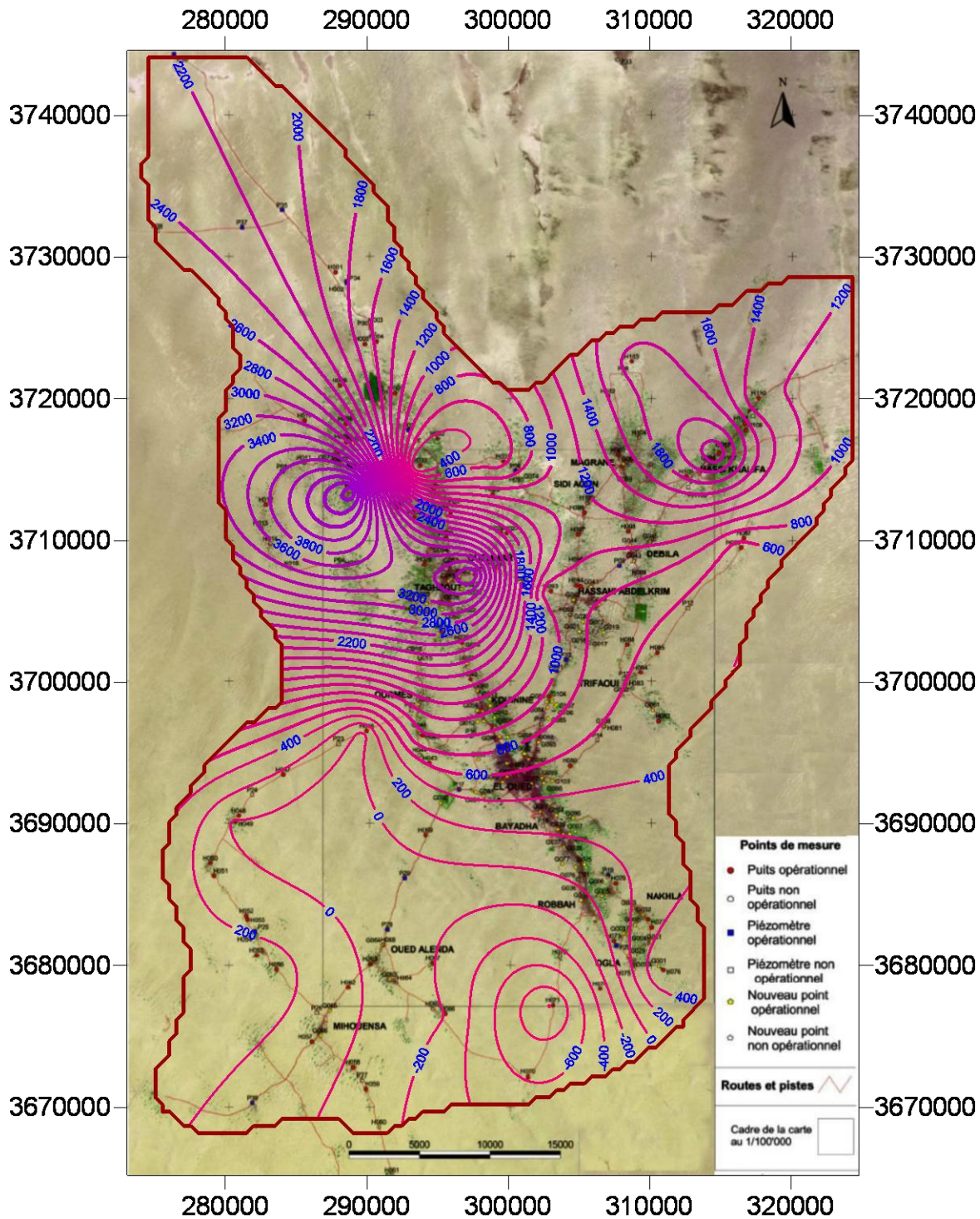
Des mesures effectuées sur 20 points du réseau de surveillance, pour lesquels des mesures de la conductivité ont été réalisées en mars-avril 1993 et avril 2002, ont servi à la réalisation de cette carte des différences de la conductivité entre mars-avril 1993 et avril 2002.

La méthode d'interpolation utilisée est le krigeage linéaire.

D'après la carte nous constatons :

- Un accroissement de la conductivité de la nappe phréatique :
 - Au Sud d'Ogla (H76) dans un puit récemment abandonné, avec une augmentation de 600 microS/cm.
 - Dans toute la région au Nord d'El-Oued avec des augmentations allant jusqu'à 4700 microS/cm au Sud de Reguiba.
- Un abaissement de la conductivité de la nappe phréatique a été constaté au niveau du puits H71 de 1000 microS/cm.
- Une relative stabilité de la nappe phréatique a été constatée au niveau des zones agricoles traditionnelles.
- Les variations de la conductivité au niveau des Ghouts inondés ainsi que vers Mih Ouensa ne sont pas observables, car aucune mesure de la conductivité n'y avait été réalisée en mars 1993.

L'augmentation de la conductivité liée à l'activité agricole est bien mise en évidence par la carte



Légende : _____ Courbe de déférence de conductivité (MicroS/cm).
 _____ Limite fictive de la zone d'étude.

Figure VI- 11 Carte des variations de conductivité électrique entre avril 2002, et mars-avril 1993

des différences de conductivité 1993-2002. Elle est particulièrement préoccupante car à moyen terme elle risque de limiter l'exploitation de la nappe phréatique. Le recours aux nappes profondes pour diluer la salinité sera alors nécessaire.

VI.4. Evolutions des nitrates dans la nappe phréatique d'el-oued

VI -4-1 Répartition du taux des nitrates en mars-avril 2001 (Figure VI- 12)

Cette carte met en évidence les fortes variations dans la répartition spatiale des teneurs en nitrates. Les plus fortes valeurs ne semblent pas dépendre de la densité de la population mais plutôt de l'activité agricole ou de la proximité immédiate (une vingtaine de mètres) de W.C .publics (école, mosquée, etc).

Ainsi , dans la région Sud, la valeur la plus élevée, 229 mg/l, a été mesurée au puit H 56, situé à une vingtaine de mètres de la Mosquée d'Oudei trek, 209 mg/l ont été relevés au H58 dans la cour d'une école à Sahbane, 211 mg/l au H67, dans la cour d'une école près d'Oued Alenda, alors qu'ailleurs les valeurs sont relativement faibles, de l'ordre de 30 mg/l à 60 mg/l.

Au Nord par contre, les fortes valeurs semblent plutôt liées à l'activité agricole ainsi les 202 mg/l mesurés au H39 à Khobna et les 179 mg/l mesurés dans la région de Sidi Aoun.

VI -4-2 Répartition du taux des nitrates en septembre 2001 (Figure VI-13)

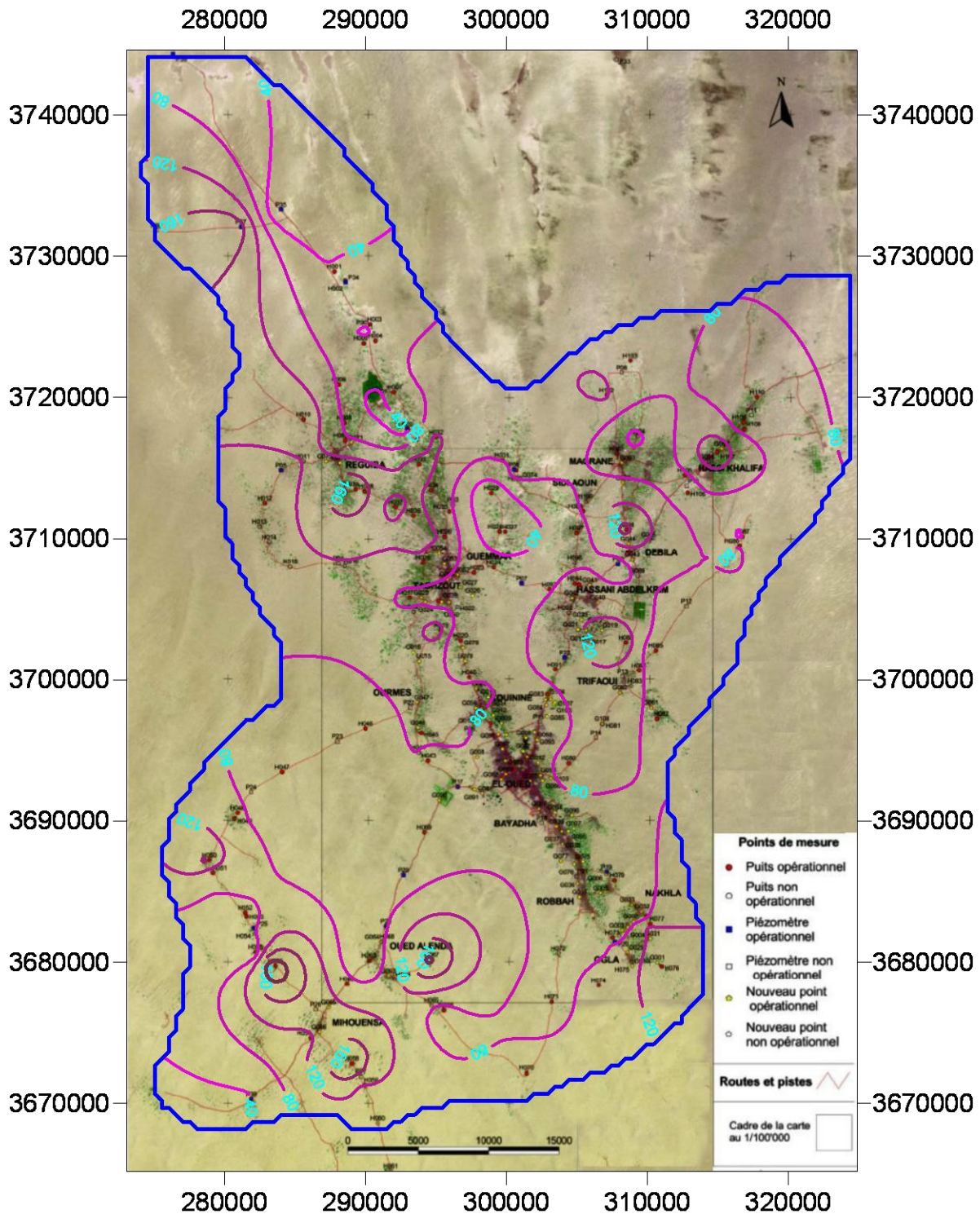
La densification du réseau de surveillance a permis de mettre en évidence un taux de nitrates généralement élevé au niveau des centres urbains ainsi que dans les zones agricoles actives, avec de très fortes variations d'un point à l'autre, sans qu'une tendance générale ne se dégage vraiment : un puits en ville peut présenter une valeur de l'ordre de 250 mg/l et le puit voisin de 40 mg/l ou même inférieur à 5 mg/l (comme c'est le cas entre Bayada et Kouinine).

Toutefois, on a noté généralement que :

- Les valeurs les plus élevées sont relevées à côté de latrines, dans les cours d'école ou près de mosquées, ainsi que dans des plantations de la zone Nord.
- Les valeurs faibles ont été mesurées dans des zones isolées sur des points non exploités.

VI -4-3 Répartition du taux des nitrates en avril 2002 (Figure VI-14)

Des mesures sur 169 points du réseau de surveillance ont servi à la réalisation de la carte des nitrates en avril 2002.



Légende : ——— Courbe isovaleur de concentration de nitrate (mg/l).
 ——— Limite fictive de la zone d'étude.

Figure VI- 12 Carte du taux des nitrates en mars-avril 2001

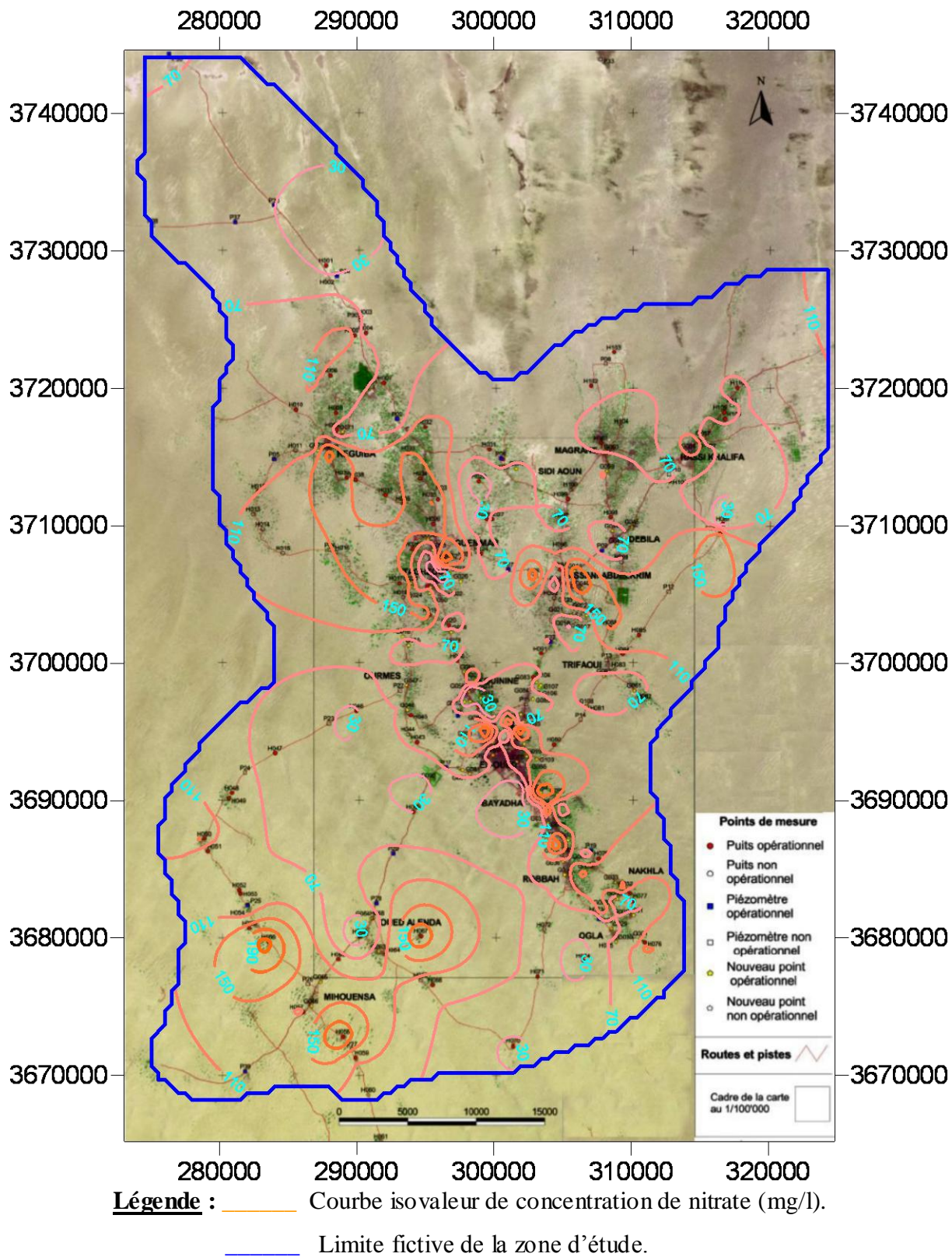


Figure VI-13 Carte du taux des nitrates en septembre 2001

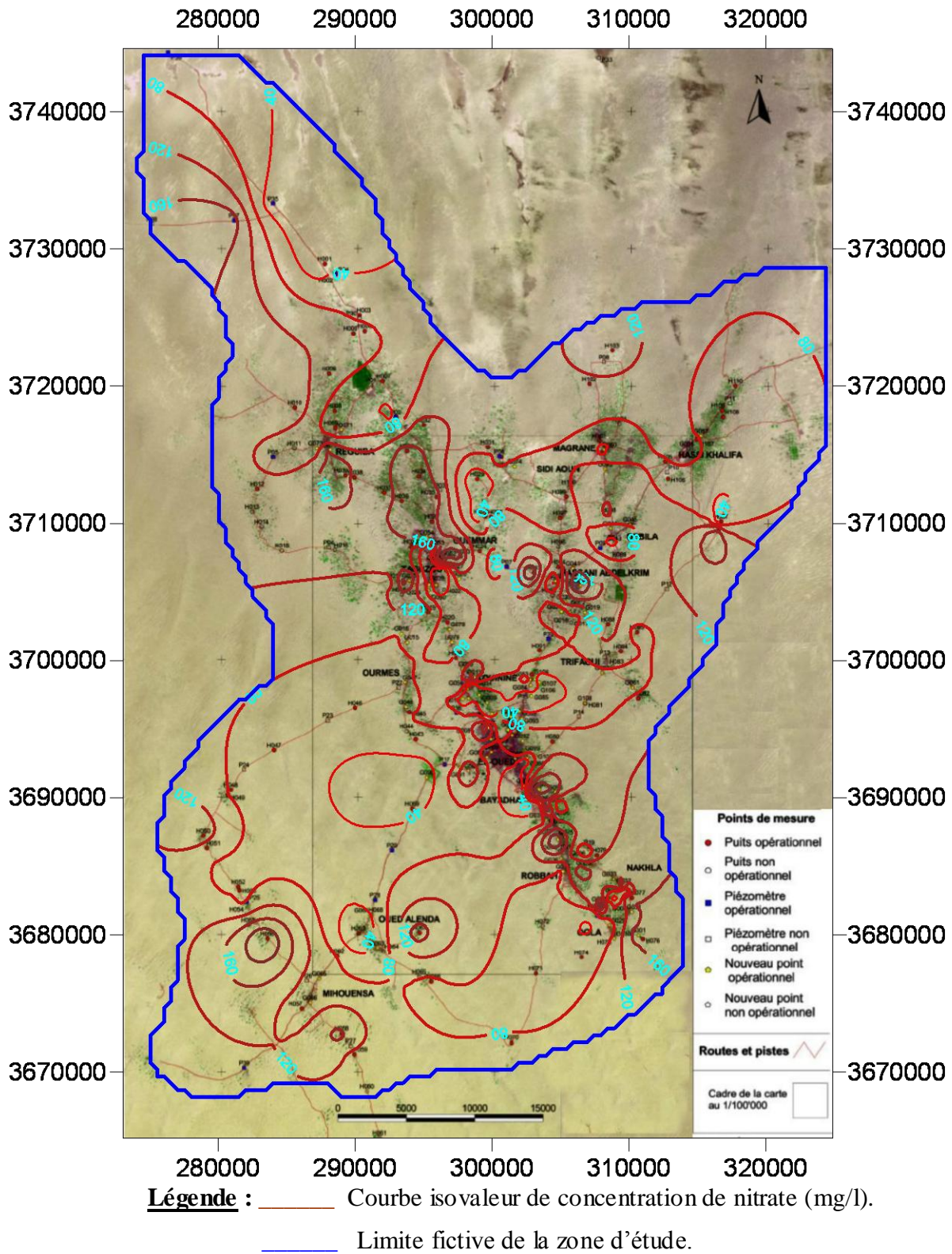


Figure VI- 14 Carte du taux des nitrates en avril 2002

La méthode d'interpolation utilisée pour réaliser cette carte est le Krigeage linéaire.

Les nitrates apportés pour les plantations agricoles ainsi que par les fosses septiques se sont déplacés sur toute la zone d'étude. Dans la plus grande partie de la zone, le taux de nitrates est au-dessus du taux acceptable pour l'eau de boisson (45 mg/l selon l'OMS).

Les seuls endroits où le taux de nitrates est inférieur à 45 mg/l sont :

- Les plantations irriguées par des forages au CT au doumaïne Daouia, à Foulia et à Hobba par dilution des nitrates par l'eau des nappes profondes.
- Dans les Ghouts ennoyés recouverts de roseaux.
- Dans les zones anaérobies où l'oxygène nécessaire à certaines réactions chimiques n'est plus apporté par l'oxygène mais par les nitrates.

VI-4-4 Variations des nitrates entre mars-avril 1993 et avril 2002 (Figure VI-15)

Des mesures sur 20 points du réseau de surveillance, pour lesquels des mesures de nitrates ont été réalisées en avril 2002 et en mars-avril 1993, ont servi à la réalisation de cette carte des différences du taux de nitrates.

La méthode d'interpolation utilisée est le Krigeage linéaire.

D'après la carte nous remarquons que :

- Aucune baisse de plus de 20 mg/l n'a été relevée sur les 20 puits pour lesquels des mesures de nitrates ont été effectuées en mars-avril 1993 et avril 2002.
- Le taux de nitrates a augmenté dans toutes les zones agricoles actives, avec des augmentations allant jusqu'à près de 160 mg/l à l'Ouest de Hassi Abdelkrim et à Oued Turk.

L'eau de la nappe phréatique n'est chimiquement pas potable dans la zone d'étude. Pour la consommation humaine, l'eau devrait provenir des nappes profondes. Vouloir ramener le taux de nitrates à un niveau acceptable pour la consommation humaine est difficilement réalisable dans une région agricole telle que la vallée d'El-Oued.

VI -5 Distribution des PH de l'eau de la Nappe phréatique d'El-Oued

VI.5.1 Distribution de pH de l'eau en mars-avril 2001 (Figure VI-16)

Les valeurs du pH sont généralement très voisines de 7 et un peu supérieures. Une seule valeur de 6,5 a été mesurée tout au Nord, au P36, près du chott, où l'eau avait par ailleurs une conductivité très élevée.

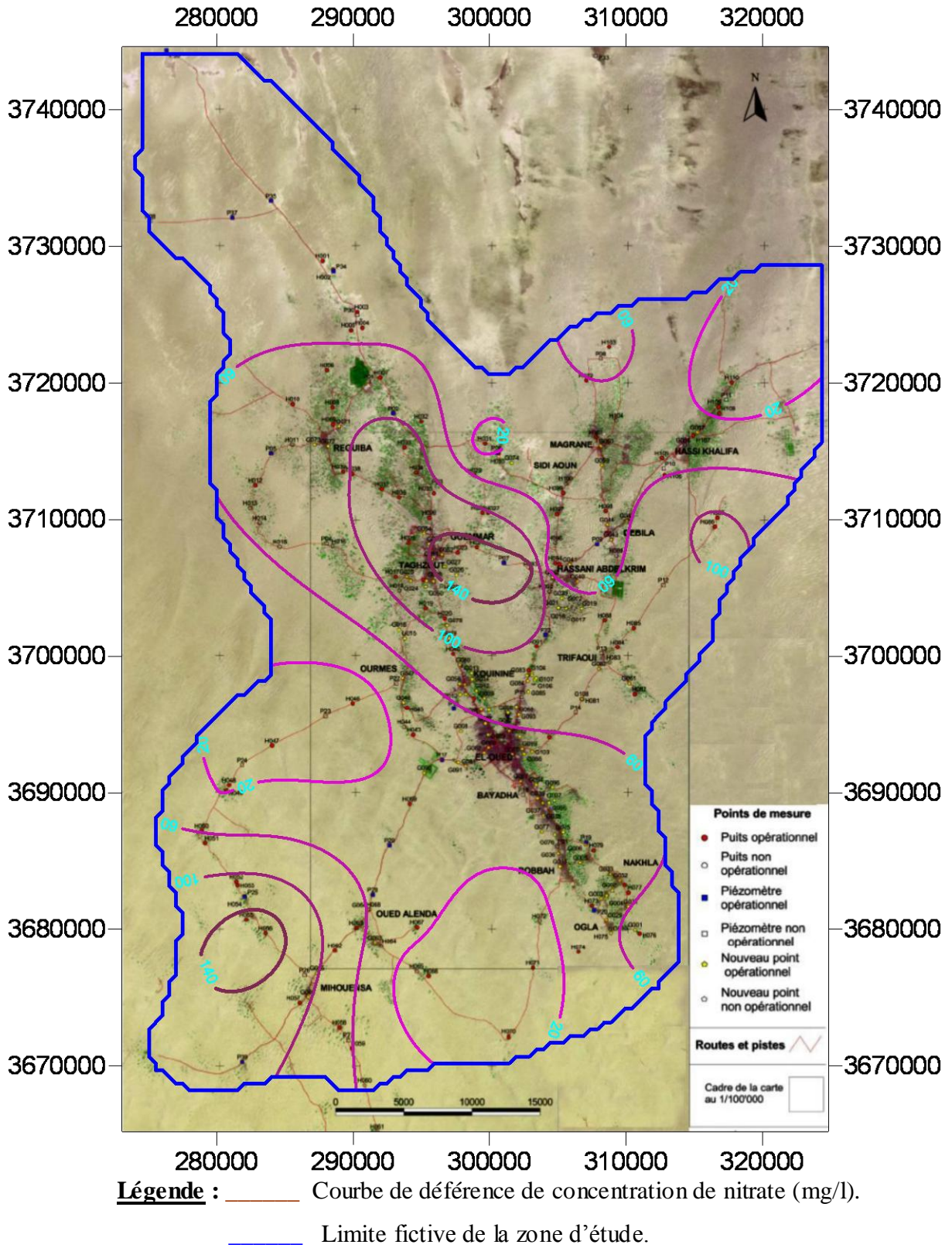
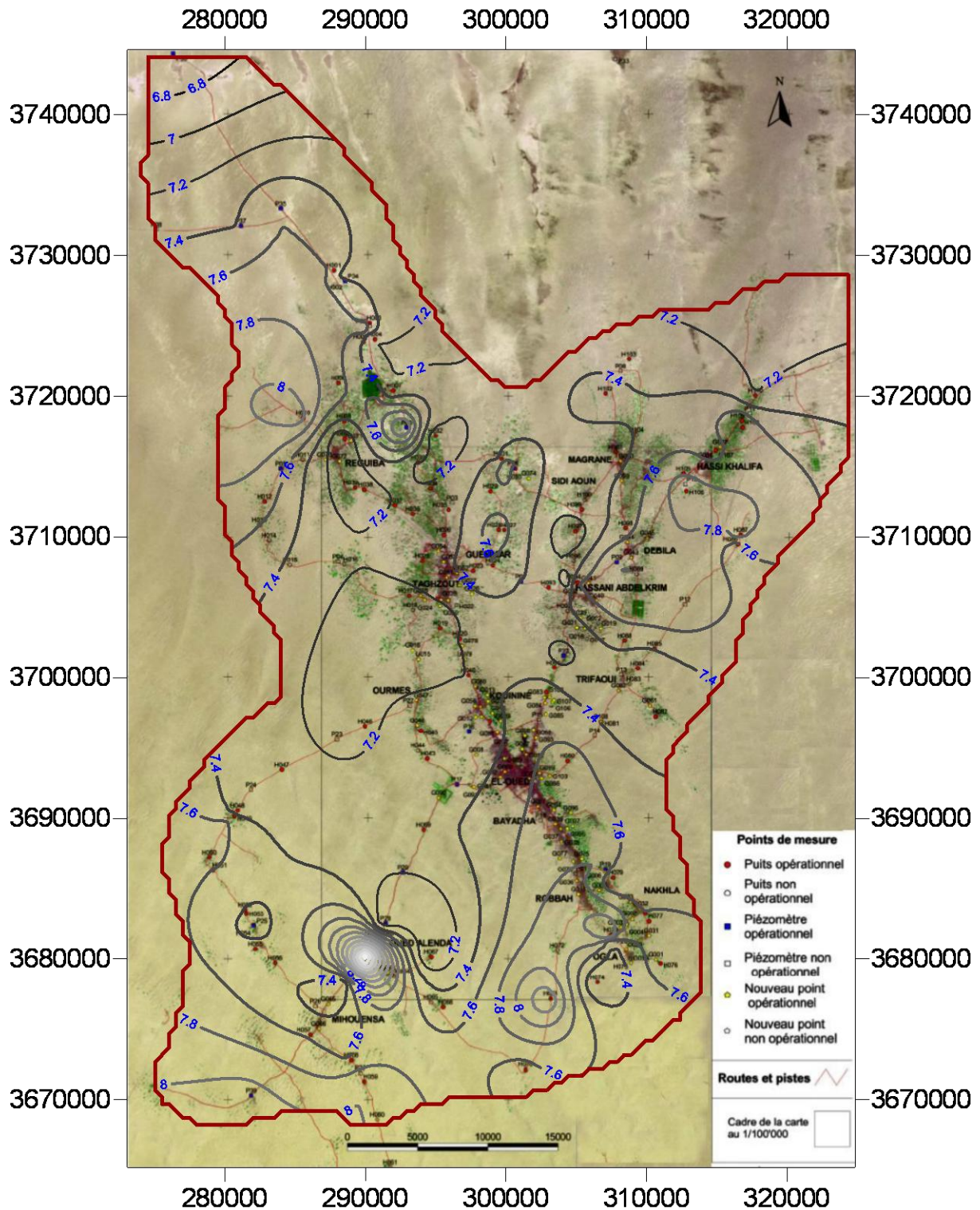


Figure VI-15 Variations du taux des nitrates entre avril 2002 et mars-avril 1993



Légende : _____ Courbe isovaleur de PH .
 _____ Limite fictive de la zone d'étude.

Figure VI-16 Carte du pH de l'eau en mars-avril 2001

Chapitre VI: hydrochimie

Deux points présentent un pH élevé, 9,6 au H63, à Oued el Alenda et 9,9 au piézomètre P10 près de Magrane. Ils sont situés dans des zones où la chaux est exploitée pour des fours à chaux artisanaux. Il est possible que la chaux produite augmente localement le pH de la nappe.

VI.5.2 Distribution de pH de l'eau en septembre 2001 (figure VI-17)

Les valeurs du pH sont généralement très voisines de 7 ou légèrement supérieures. Des valeurs élevées, entre 7,5 et 8,5 ont été mesurées dans des puits destinés à la consommation humaine, principalement dans la région sud, mais aussi dans des endroits isolés de la région nord. Ces valeurs anormalement élevées du pH sont dues à un traitement des puits à la chaux.

VI.5.2 Distribution de pH en avril 2002 (Figure VI- 18)

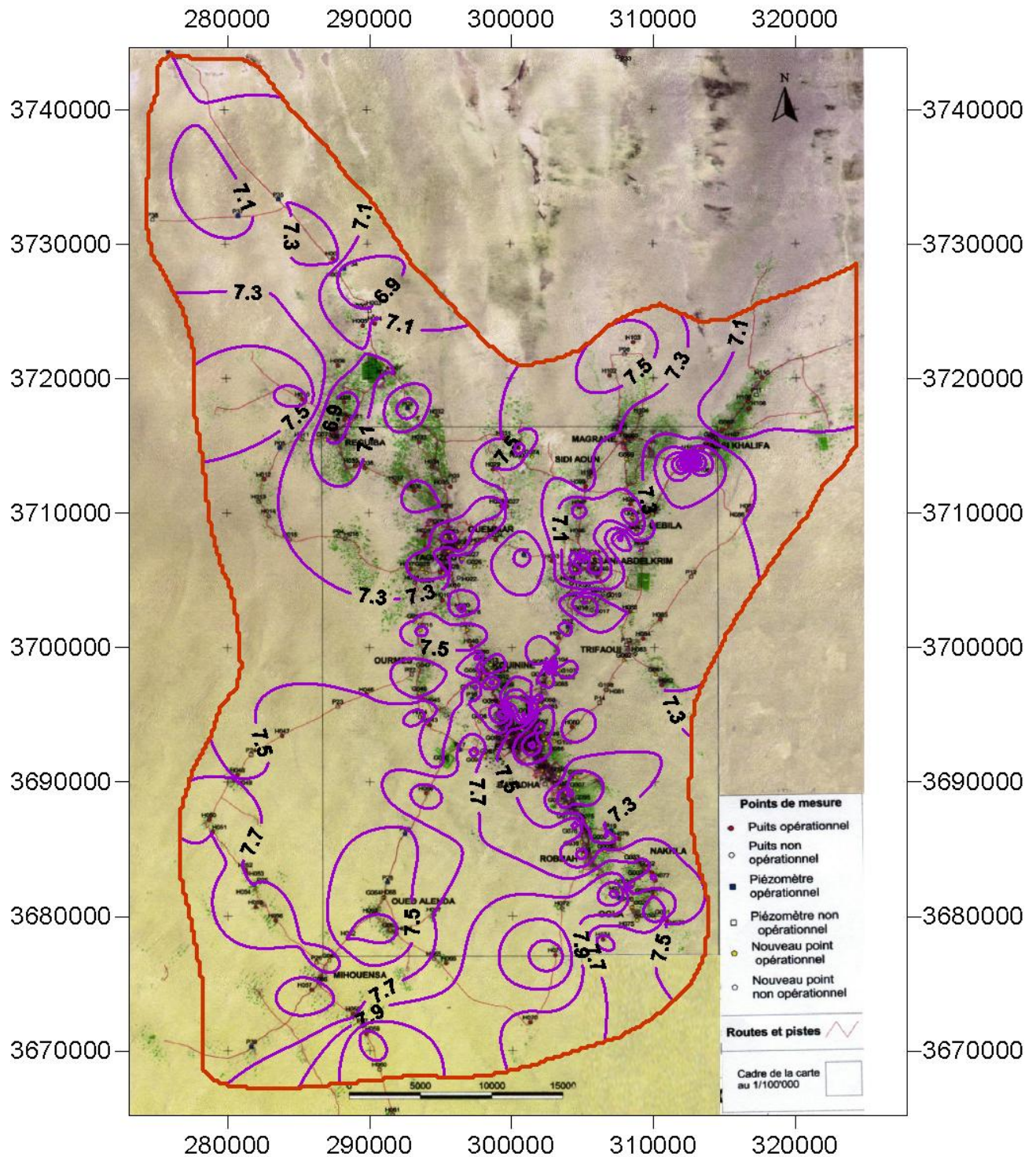
Des mesures sur 196 points du réseau de surveillance ont servi à la réalisation de ces cartes points par points de la valeur du pH en avril 2002.

La valeur des pH est généralement comprise entre 7 et 7.7.

Des valeurs élevées entre 7,5 et 8,5 ont été mesurées dans des puits traités à la chaux, destinés à la consommation humaine, principalement dans la région sud, mais aussi dans des endroits isolés de la région nord.

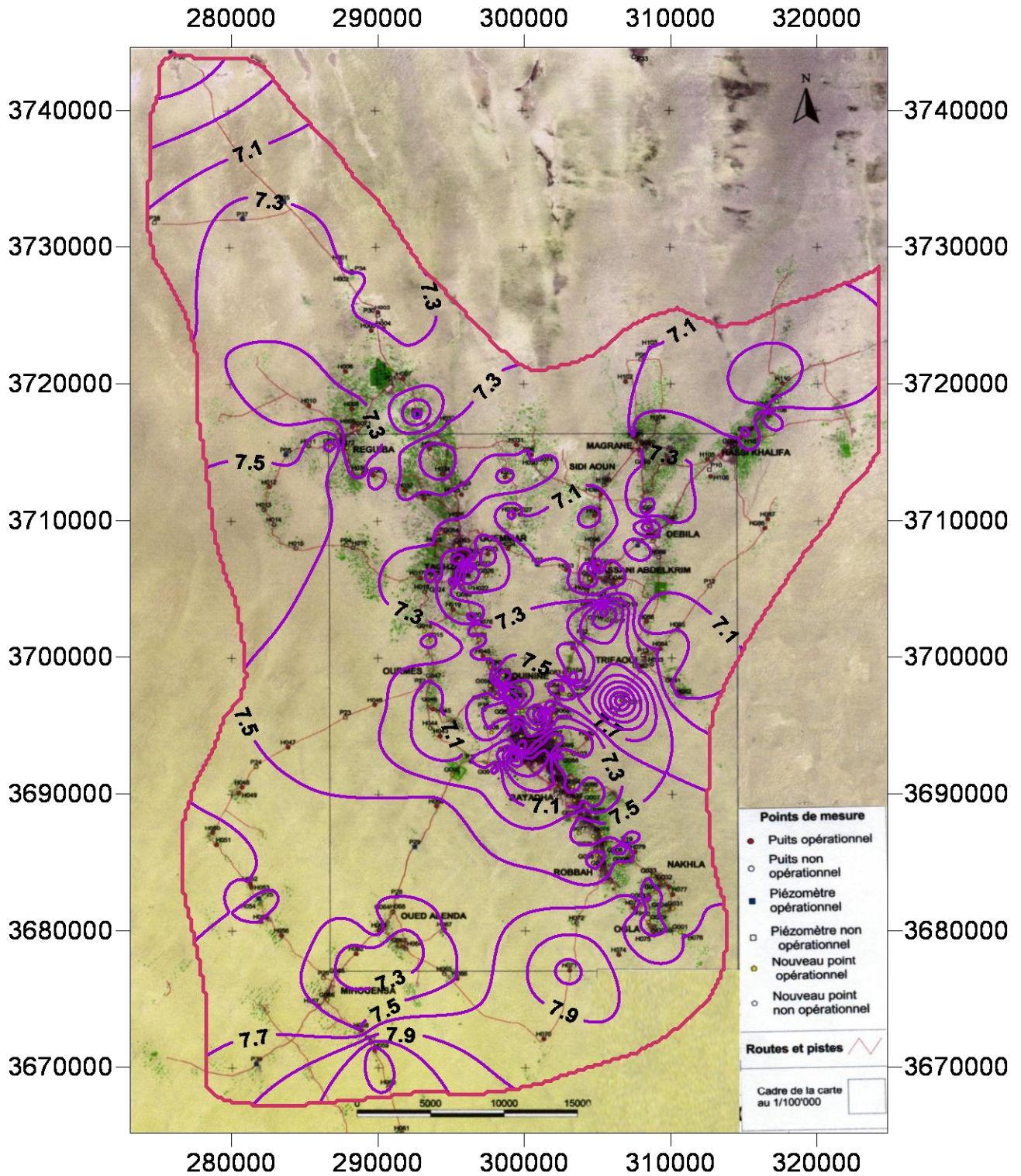
VI.6 Conclusion :

Les eaux de la nappe phréatique d'El-Oued ayant dans la plus part des cas un faciès sulfaté calcique ou sulfaté sodique à cause de leur salinité élevée ils sont défavorables à l'irrigation. L'origine des éléments chimiques présents dans l'eau sont les évaporites, les échanges de base, et les mélanges avec les eaux des nappes profondes (CT et CI). Les cartes de conductivités montrent que les conductivités élevées par évaporation des eaux et concentration des sels qu'elles contenaient, dans les zones d'eau libre que sont les chotts et les ghouts inondés ou humides, et aussi sous les zones agricoles actives et denses. Les taux de nitrate sont au-dessus des normes OMS pour l'eau de boisson à cause des rejets des eaux usées, et des activités agricoles, les valeurs élevées sont mesurées à côté des écoles, mosquées, et des zones de plantations, les valeurs faibles sont mesurées dans les zones isolées non exploitées.



Légende : — Courbe isovaleur de PH.
 — Limite fictive de la zone d'étude.

Figure VI-17 Carte du pH de l'eau en septembre 2001



Légende : _____ Courbe isovaleur de PH .
 _____ Limite fictive de la zone d'étude.

Figure VI- 18 Carte du pH de l'eau en avril 2002

VII.1 Introduction : Les cartes de vulnérabilité aux pollutions constituent une base d'information essentielle pour la gestion des ressources en eau, pour l'évaluation des risques de pollution des nappes et la mise en place de mesures destinées à la prévention des pollutions accidentelles, il existe plusieurs méthodes pour l'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines. Nous avons choisie la méthode de GOD.

VII.2 Présentation de la méthode GOD (Foster et Hirata 1991)

Ce système a été développé par Foster et Hirata, il est illustré dans la Figure (VI.19), Il présente la vulnérabilité de l'aquifère face à la percolation verticale de polluants à travers la zone non saturée et ne traite pas de la migration latérale des polluants dans la zone saturée.

Cette méthode est basée sur l'identification de trois critères :

- Type de nappe (Groundwater occurrence) .
- Type d'aquifère en termes de facteurs lithologiques (Overall aquifer class) .
- Profondeur de la nappe (Depth to ground water table).

Le but de cette méthode est de réaliser une estimation rapide de la vulnérabilité d'un aquifère. L'indice de vulnérabilité est obtenu selon l'équation suivante : $I = C_G * C_O * C_D$ où C_G = cote du type d'aquifère, C_O = cote de la lithologie, C_D = cote de la profondeur à la nappe.

La vulnérabilité augmente avec l'indice et la classification, elle se fait en cinq classes allant de 0 à 1.

VII.3 Interprétation de carte de vulnérabilité de la nappe phréatique d'El-Oued

La nappe phréatique d'El-Oued est constitué dans la grande partie des sables, la profondeur de surface piezométrique varie entre 1 m et 18 m.

L'examen de la carte de vulnérabilité Figure (VI-20), montre que la nappe phréatique d'El-Oued à une vulnérabilité forte a modéré. Ce sont les zones urbaines, les zones des chotts, et les zones agricoles irriguées à partir des nappes profondes qui présentant un vulnérabilité forte à cause de la faible profondeur de la zone non saturée. Le reste de la zone d'étude présente une vulnérabilité modérée.

Chapitre VII: Vulnérabilité de la nappe phréatique a la pollution

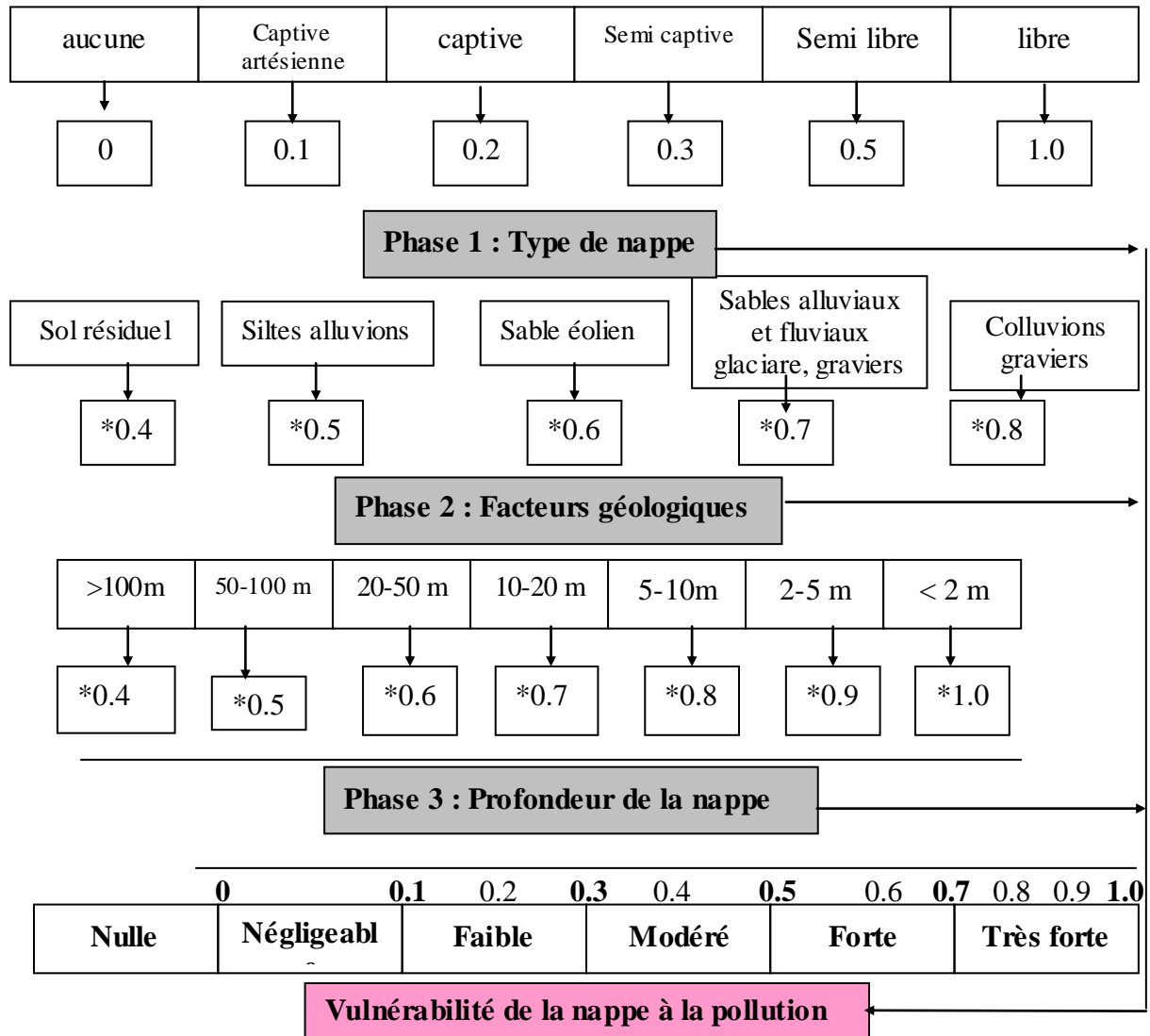
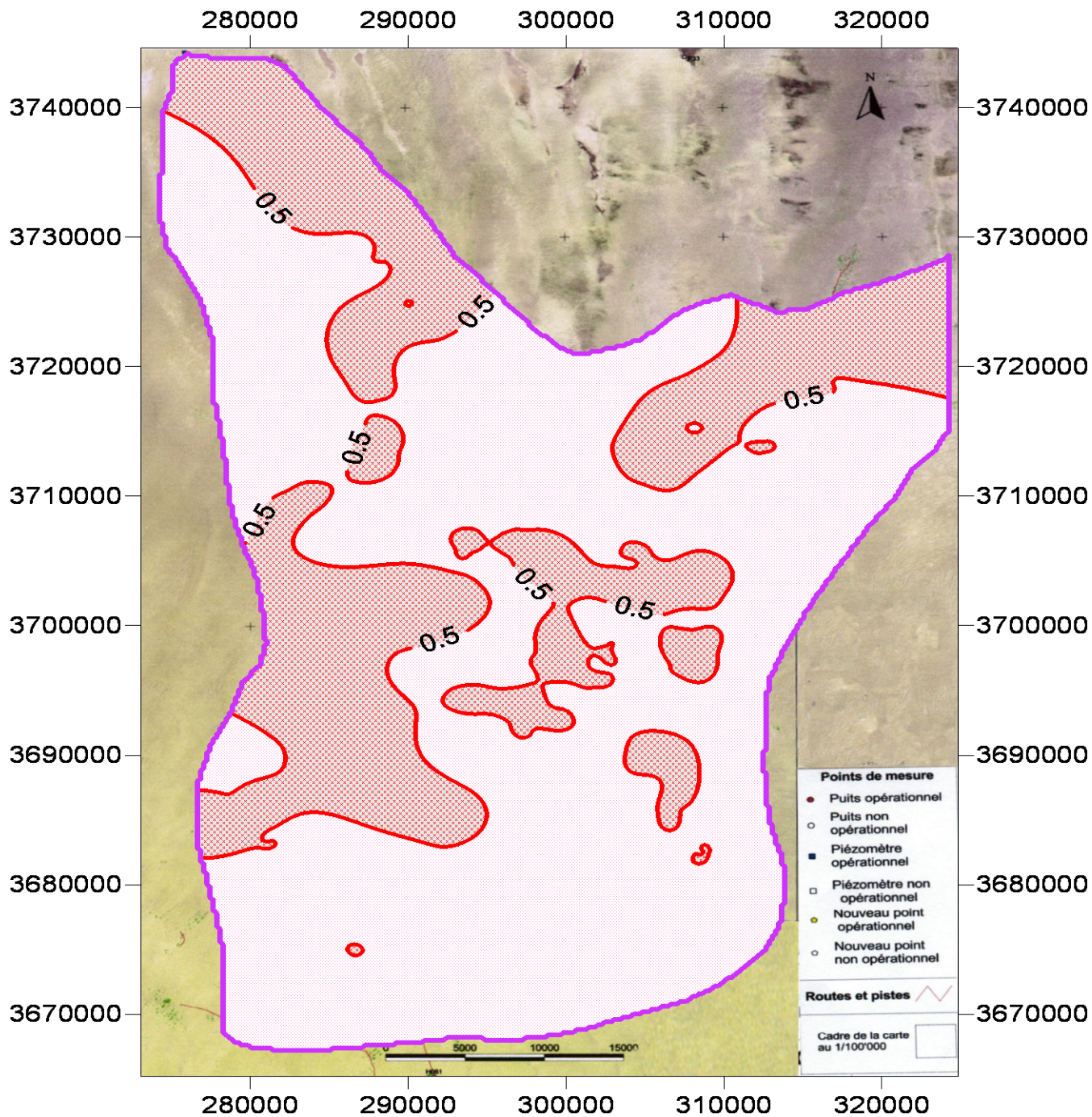


Figure VII.1 Indices de classification de la vulnérabilité selon la méthode GOD



Légende :




-  Vulnérabilité Forte
-  Vulnérabilité modéré
-  limite fictive de la zone d'étude

Figure VII -2 Carte de vulnérabilité de la nappe phréatique d'El-Oued selon la méthode GOD

VII.4 Conclusion :

L'examen de la carte de vulnérabilité (méthode de GOD) montre que la nappe phréatique d'El-Oued à une vulnérabilité forte a modérée. Ce sont les zones urbaines, les zones des chotts, et les zones agricoles irriguées à partir des nappes profondes qui présentent une vulnérabilité forte.

Conclusion générale

La wilaya d'El-Oued est située au Nord-Est de Sahara septentrional, elle occupe une superficie de 44586 km², avec une population de 626884 habitants. Le relief d'El-Oued est caractérisé par trois principales formes: une région sableuse, une forme de plateau rocheux, et une zone de dépression. Du point de vue topographique l'altitude diminue du Sud vers le Nord, et de l'Ouest vers l'Est pour atteindre des valeurs négatives au niveau des chotts.

Le climat de la région d'El-Oued est de type saharien, caractérisé par un été chaud, sec et un hiver doux, la température moyenne mensuelle est de l'ordre de 21,45°C. Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 72,27 mm. Le bilan hydrique est déficitaire à cause des faibles précipitations et une forte évapotranspiration.

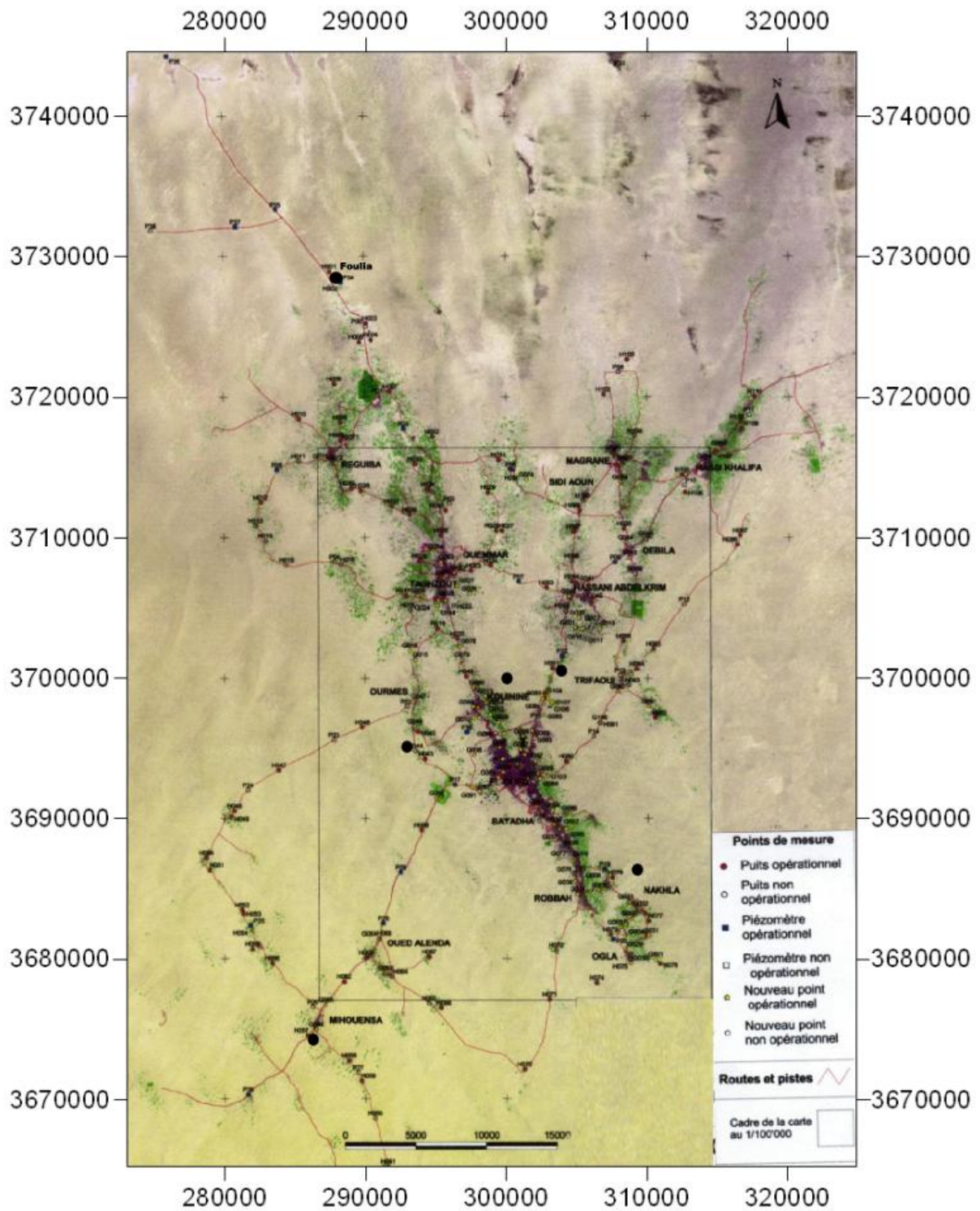
La géologie d'El-Oued est masquée par une épaisse couche de terrains quaternaires. Leur description a été effectuée grâce à l'interprétation des logs stratigraphiques des forages d'eau, elle est représentée par des terrains allant de Crétacé au Quaternaire. La lithologie des formations est détritique et évaporitique pour le Quaternaire, détritiques, évaporitique et carbonatée pour le Tertiaire et le Crétacé inférieur.

L'étude géophysique de la région d'El-Oued, montre que le réservoir de la nappe libre est constituée de formations détritiques représentées par : les sables, les sables argileux, et argiles sableuses, alors que le substratum est constitué par des argiles. La morphologie de substratum est presque régulière dans toute la zone d'étude à l'exception d'un bombement et de quelques dépressions. D'une manière générale la profondeur de substratum est comprise entre 55 et 103 mètres.

Le système aquifère d'El-Oued est constitué de trois nappes : nappe libre (phréatique), et deux nappes captives (nappe de complexe terminal et nappe de continentale intercalaire). L'examen des cartes piezométrique des période allant de mars-avril 1993 à avril 2002, montre que Les montées de la nappe sont observées autour des centres urbains d'El-Oued, Nakhla, Guemmar, Z'gom, Oued Alenda et Oued Turk, près des exploitations agricoles irriguées par les nappes profondes et au niveau du rejet de la ville d'El-Oued. La baisse de niveau sont produites par une forte activité agricole, avec irrigation à partir de la nappe phréatique. Les essais de pompage dans la région montre que la variation des paramètres hydrodynamiques est très importante d'un site d'essai à l'autre ; la perméabilité est comprise entre $1,13 \times 10^{-5}$ et $8,72 \times 10^{-4}$ m/s, la transmissivité varie de $1,5 \times 10^{-3}$ à $8,3 \times 10^{-3}$ m²/s, et la porosité efficace varie entre 6% et 29%.

Les eaux de la nappe phréatique d'El-Oued ayant dans la plus part des cas un faciès sulfaté calcique ou sulfaté sodique, à cause de leur salinité élevée. Elles sont défavorables à l'irrigation. L'origine des éléments chimiques présents dans l'eau provient des évaporites, les mélanges avec les eaux des nappes profondes (CT et CI). La carte de conductivité montre que les valeurs élevées sont dues à une évaporation des eaux provoquant une concentration des sels dans les zones d'eau libre que sont les chotts et les ghouts inondés ou humides, mais également dans les zones agricoles actives et denses. Le taux de nitrate est au-dessus des normes de l'OMS pour l'eau de boisson à cause des rejets des eaux usées et les activités agricoles, les valeurs élevées sont mesurées au niveau des écoles, mosquées et des zones de plantations. Les valeurs faibles sont mesurées dans les zones isolées non exploitées.

L'examen de la carte de vulnérabilité (méthode de GOD) montre que la nappe libre d'El-Oued à une vulnérabilité forte à modérée. Ce sont les zones urbaines, les zones des chotts et les zones agricoles irriguées à partir des nappes profondes qui présentent une vulnérabilité forte.



● Stations d'essais de pompage

Carte de situation des sites des essais de pompage

N° P et H	Cations	Anions	Facies chimiques
H1	r%Na+K >r%Ca >r% Mg	r% So4 >r Cl> r% Hco3	Sulfate sodique
H2	r%Na+K >r%Ca >r% Mg	r% So4 >r Cl> r% Hco3	Sulfate sodique
H4	r%Na+K >r%Ca >r% Mg	r% So4 >r Cl> r% Hco3	Sulfate sodique
H7	r%Na+K >r%Ca >r% Mg	r% So4 >r Cl> r% Hco3	Sulfate sodique
H9	r%Na+K >r%Ca >r% Mg	r% Cl> % So4 > Hco3	Chlorure sodique
H11	r% Ca>r%Na+K >L% Mg	r% So4 >r Cl> r% Hco3	Sulfate calcique
H12	r% Ca>%Mg>r%Na+K	r% So4 >r Cl> r% Hco3	Sulfate calcique
H13	r% Ca>r%Na+K >L% Mg	r% So4 >r Cl> r% Hco3	Sulfate calcique
H14	r% Ca>r%Na+K >L% Mg	r% So4 >r Cl> r% Hco3	Sulfate calcique
H20	r% Ca>r%Na+K >L% Mg	r% So4 >r Cl> r% Hco3	Sulfate calcique
H22	r%Na+K >r%Ca >r% Mg	r% Cl> % So4 > Hco3	Sulfate sodique
H25	r% Ca>r%Na >L% M	r% So4 >r Cl> r% Hco3	Chlorure calcique
H26	r%Na+K >r%Ca >r% Mg	r% So4 >r Cl> r% Hco3	Sulfate sodique
H28	r%Na+K >r%Ca >r% Mg	r% So4 >r Cl> r% Hco3	Sulfate sodique
H29	r%Na+K >r%Ca >r% Mg	r% So4 >r Cl> r% Hco3	Sulfate sodique
H31	r% Ca>r%Na+K >r% Mg	r% So4 >r Cl> r% Hco3	Sulfate calcique
H36	r% Ca>r%Na+K >r% Mg	r% So4 >r Cl> r% Hco3	Sulfate calcique
H37	r% Ca>r%Na+K >r% Mg	r% So4 >r Cl> r% Hco3	Sulfate calcique
H39	r%Na+K >r%Ca >r% Mg	r% So4 >r Cl> r% Hco3	Sulfate sodique
H41	r% Ca>r%Na+K >r% Mg	r% So4 >r Cl> r% Hco3	Sulfate calcique
H46	r% Ca>r%Na+K >r% Mg	r% So4 >r Cl> r% Hco3	Sulfate calcique
H47	r% Ca>r% Mg > r%Na+K	r% So4 >r Cl> r% Hco3	Sulfate calcique
H48	r% Ca>r% Mg > r%Na+K	r% So4 >r Cl> r% Hco3	Sulfate calcique
H49	r% Ca>r% Mg > r%Na+K	r% So4 >r Cl> r% Hco3	Sulfate calcique
H50	r% Ca>r%Na+K >r% Mg	r% So4 >r Cl> r% Hco3	Sulfate calcique
H51	r% Ca>r%Na+K >r% Mg	r% So4 >r Cl> r% Hco3	Sulfate calcique
H70	r% Ca>r%Na+K >r% Mg	r% So4 >r Cl> r% Hco3	Sulfate calcique
H71	r% Ca>r%Na+K >r% Mg	r% So4 >r Cl> r% Hco3	Sulfate calcique
H78	r% Ca>r%Na+K >r% Mg	r% So4 >r Cl> r% Hco3	Sulfate calcique
H81	r% Ca>r% Mg > r%Na+K	r% So4 >r Cl> r% Hco3	Sulfate calcique
H84	r% Ca>r%Na+K >r% Mg	r% So4 >r Cl> r% Hco3	Sulfate calcique

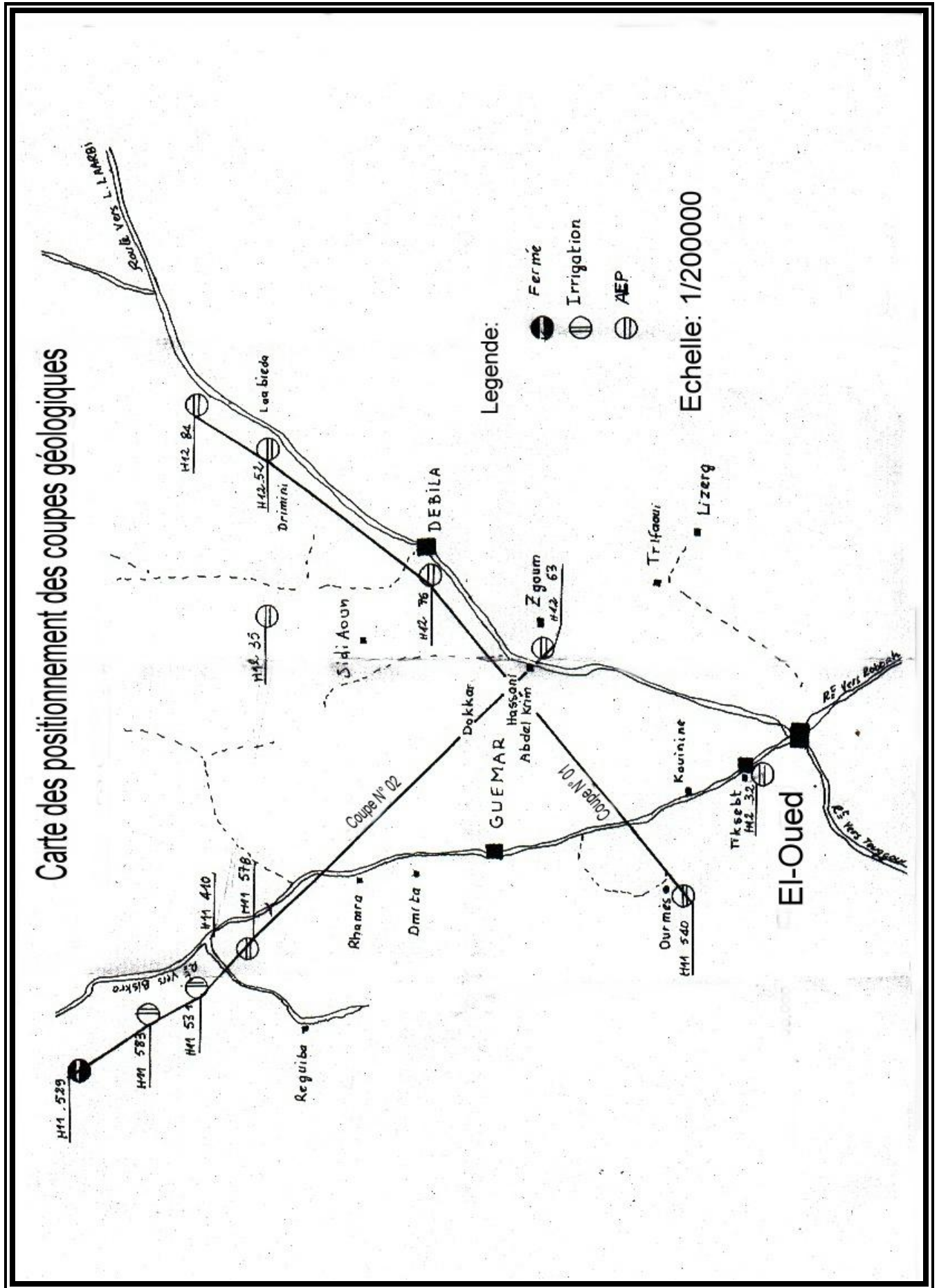
**Etude hydrogéologique et hydrochimique de
la nappe Aquifère libre d'El-Oued Souf.**

Annexe

N° P et H	Cations	Anions	Facies chimiques
H86	r% Ca>r% Mg > r%Na+K	r% So4 >%r Cl> r% Hco3	Sulfate calcique
H88	r% Ca>r% Mg > r%Na+K	r% So4 >%r Cl> r% Hco3	Sulfate calcique
H89	r% Ca>r% Mg > r%Na+K	r% So4 >%r Cl> r% Hco3	Sulfate calcique
H92	r% Ca>r%Na+K >r% Mg	r% So4 >%r Cl> r% Hco3	Sulfate calcique
H93	r% Ca>r%Na+K >r% Mg	r% Cl> r % So4 >r% Hco3	Chlorure calcique
H95	r% Ca>r%Na+K >r% Mg	r% So4 >%r Cl> r% Hco3	Sulfate calcique
H97	r% Ca>r%Na+K >r% Mg	r% So4 >%r Cl> r% Hco3	Sulfate calcique
H98	r% Ca>r% Mg > r%Na+K	r% So4 >%r Cl> r% Hco3	Sulfate calcique
H100	r% Ca>r%Na+K >r% Mg	r% So4 >%r Cl> r% Hco3	Sulfate calcique
H101	r% Ca>r%Na+K >r% Mg	r% So4 >%r Cl> r% Hco3	Sulfate calcique
H104	r% Ca>r%Na+K >r% Mg	r% So4 >%r Cl> r% Hco3	Sulfate calcique
H107	r% Ca>r%Na+K >r% Mg	r% So4 >%r Cl> r% Hco3	Sulfate calcique
H109	r% Ca>r%Na+K >r% Mg	r% So4 >%r Cl> r% Hco3	Sulfate calcique
H110	r% Ca>r%Na+K >r% Mg	r% So4 >%r Cl> r% Hco3	Sulfate calcique
P1	r%Na+K >r%Ca >r% Mg	r% So4 >%r Cl> r% Hco3	Sulfate sodique
P2	r%Na+K >r%Ca >r% Mg	r% So4 >%r Cl> r% Hco3	Sulfate sodique
P4	r%Na+K >r%Ca >r% Mg	r% So4 >%r Cl> r% Hco3	Sulfate sodique
P5	r%Na+K >r%Ca >r% Mg	r% So4 >%r Cl> r% Hco3	Sulfate sodique
P6	r%Na+K >r%Ca >r% Mg	r% So4 >%r Cl> r% Hco3	Sulfate sodique
P7	r% Ca>r% Mg > r%Na+K	r% So4 >%r Cl> r% Hco3	Sulfate calcique
P8	r%Na+K >r%Ca >r% Mg	r% So4 >%r Cl> r% Hco3	Sulfate sodique
P9	r%Na+K >r%Ca >r% Mg	r% So4 >%r Cl> r% Hco3	Sulfate sodique
P10	r% Ca>r%Na+K >r% Mg	r% So4 >%r Cl> r% Hco3	Sulfate calcique
P15	r% Ca>r% Mg > r%Na+K	r% So4 >%r Cl> r% Hco3	Sulfate calcique
P19	r% Ca>r% Mg > r%Na+K	r% So4 >%r Cl> r% Hco3	Sulfate calcique
P22	r% Ca>r%Na+K >r% Mg	r% So4 >%r Cl> r% Hco3	Sulfate calcique
P30	r% Ca>r%Na+K >r% Mg	r% So4 >%r Cl> r% Hco3	Sulfate calcique
P32	r% Ca>r%Na+K >r% Mg	r% So4 >%r Cl> r% Hco3	Sulfate calcique
P35	r %Na+K > r% Mg> r%Ca	r% So4 >%r Cl> r% Hco3	Sulfate sodique
P36	r %Na+K > r% Mg> r%Ca	r% Cl> % So4 > Hco3	Chlorure sodique
P37	r %Na+K > r% Mg> r%Ca	r% Cl> % So4 > Hco3	Chlorure sodique

N° P et H	Cations	Anions	Faciès chimiques
P38	r%Na+K >r%Ca >r% Mg	r% So4 >r Cl> r% Hco3	Sulfate sodique
P21	r% Mg> r%Ca> r%Na+K	r% So4 >r Cl> r% Hco3	Sulfate magnésium
H15	r% Ca>r%Na+K >r% Mg	r% So4 >r Cl> r% Hco3	Sulfate calcique

**Tableau VI-1:Les faciès chimiques des eaux de la nappe phréatique
d'El-Oued (mai2000)**



Bibliographie

Bachira.T et Souria.Z (1992) : Etude de la remontée des eaux de la nappe phréatique de Tolga. Mémoire d'ingénieur, université de Biskra.

Benhamida M.S et Benzequir (1993): Etude hydrogéologique de la région d'El-Oued contribution au problème de la remontée des eaux de la nappe phréatique.

Benhamida M.S (1994): Etude de la remontée des eaux de la nappe phréatique du souf : campagne piézométrique basses eaux.

Benhamida M.S : Rapport d'étude de synthèse piézométrique des années 2000/1993 de la nappe phréatique du souf.

Bousbia.B.A et Madi.F (2002) : Approche hydrodynamique et hydrochimique de la nappe libre de l'El-Oued Souf et définition du problème de la remontée des eaux. Mémoire d'ingénieur université d'Annaba.

Castany.G : Hydrogéologie principe et méthode. Edition Dunod 236 p.

Cornet.A (1964) : Introduction à l'hydrogéologie saharienne.

Debièche.T.H (2002): Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote, et métaux lourdes) sous l'effet de la pollution saline, agricole, et industrielle. Application à la basse plaine de sybouse (N.E.Algérie). Thèse doctorat, université Franche comité (France).

Guendouz.A (1985): contribution à l'étude hydrochimique et isotopique des nappes profondes de sahara septentrional. Thèse doctorat 3^{ème} cycle, université Orsay (France).

HPO – Bonnard et Gardell (2001) : Rapport de la première campagne des mesures hydrogéologiques dans la nappe phréatique du souf .

HPO – Bonnard et Gardell (2001) : Rapport de la deuxième campagne des mesures hydrogéologiques dans la nappe phréatique du souf .

HPO – Bonnard et Gardell (2002) : Rapport de la troisième campagne des mesures hydrogéologiques dans la nappe phréatique du souf .

HPO – Bonnard et Gardell (2003) : Rapport sur les essais de pompages dans la nappe phréatique du souf.

Medjber.M.R et Maameri.A (1999) : Rapport de synthèse sur la remontée des eaux de la nappe phréatique dans la région du souf .

Michelle Detay : Le forage d'eau (édition : Masson 379p)

Nezli.I(2004) : Mécanisme d'acquisition de la salinité et de la fluoruration des eaux de la nappe phréatique de la basse vallée de l'Oued Mya (Ouergla). Mémoire de magistère, université de Annaba.

ENAGEO (1993): Rapport d'étude géophysique dans la vallée du souf

Tobiya.S et Chaattarik : Etude de la remontée des eaux de la nappe phréatique d'El-Oued.

Mémoire d'ingénieur, université de Constantine.