



Département de géologie

MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de

MAGISTER

Option : Hydrogéologie, Environnemental et modélisation

THEME

**Etude hydrogéologique et problèmes de vulnérabilité des nappes
aquifères dans la région d'Oum El-Bouaghi**

Par : Zair Nadjat

DIRECTEUR DU MEMOIRE : Chaab Salah
C-O encadreur : Madkour Massaoud

M.C. Univ. Badji Mokhtar- Annaba
M.C. Univ. Badji Mokhtar- Annaba

DEVANT LE JURY :

Président :

Djabri.Larbi

Pr. Univ. Badji Mokhtar-Annaba

Examineurs

Nafaa Kablouti

M.C.Univ.Badji Mokhtar-Annaba

Saaidia Bachir

M. C. Univ. Badji Mokhtar-Annaba

Remerciements

Je remercie mon Dieu qui m'a donné la force et la sagesse pour achever ce modeste travail.

J'adresse tous mes respects et mes remerciements à ceux qui m'ont aidé de près ou de loin pour l'élaboration de cette étude et particulièrement à :

- Mon encadreur ^{Monsieur} CHAAB SALAH qui n'as pas hésité à me faire confiance et d'avoir partagé son énorme expérience, je tiens également à le remercier pour ses conseils et son soutien.*
- Toute ma gratitude va également à ^{Monsieur} CHABOUR NABIL ,chef de département de géologie de l'université de Constantine pour ses conseils et ses encouragements.*
- Je voudrais également exprimer mes vifs remerciements aux membres du jury pour l'honneur qu'ils me font en acceptant de participer au jury, en l'occurrence :*

^{Monsieur} DJABRI.LARBI professeur à l'université Badji Mokhtar Annaba.

^{Monsieur} NAFAA.KABLOUTI maitre de conférences à l'université Badji Mokhtar Annaba

^{Monsieur} SAAIDIA.BACHIR maitre de conférences à l'université Badji Mokhtar Annaba.

Je tiens aussi à remercier tous les gens de la D.H.W d'Oum El Bouaghi pour leur aide et surtout ^{Monsieur} GHEDIRI ABDELALI ^{Monsieur} MADKOUR MASSOUD maitre de conférence à l'université Badji Mokhtar Annaba.

Si par mégarde, j'ai oublié quelqu'un, qu'il me pardonne et qu'il soit remercié pour tout.

Zair Nadjet

Résumé

L'eau est une matière première de grande importance pour la survie des êtres humains et de leur environnement. L'accroissement démographique dans la région d'étude nécessite un besoin d'eau de plus en plus croissant. Ce travail consiste une description de la géométrie et de la structure des nappes, réalisée grâce à l'étude géophysique, qui montre que la nappe libre superficielle est constituée de conglomérats, calcaires lacustres, argiles et marnes. Le substratum est constitué de marnes.

Les mesures de conductivités montrent des valeurs élevées et témoignent de l'influence des chotts.

L'examen des cartes piézométriques montre que l'allure générale des courbes ne varie qu'assez peu d'une compagne à l'autre.

L'étude hydrochimique définit plusieurs faciès, les plus répandus sont les faciès chloruré sodique et chloruré calcique, provenant des évaporites. Le taux de nitrates sont au dessus des normes de l'OMS pour l'eau de boisson à cause à l'activité agricole.

L'examen de la carte de vulnérabilité (méthode de GOD) montre que la nappe libre de la région de Souk Naamane, Bir Chouhada et Ouled Zouai à une vulnérabilité modérée.

Après Les conditions naturelles citées précédemment, nous avons étudié les différentes fonctions socio- économiques tributaires contact de l'utilisation de cette ressource importante.

En suite on a procédé à l'évaluation des ressources en eau de surface et souterraine définies, mobilisées et exploitées et la manière de leur distribution actuelle au niveau de l'alimentation en eau potable et l'utilisation agricole.

En dernier nous donnant une estimation perspective des besoins en eau des différents secteurs a court, moyen et long terme.

Mais le problème qui se pose est que le volume mobilisé actuellement au niveau des communes de la région de Souk Naamane, Bir Chouhada et Ouled Zouai n'arrive plus à satisfaire même les besoins en eau pour l'A.E.P à court terme.

Mots clés : aquifère, vulnérabilité et hydrogeologie.

Summary

The water is very important for the human being and its environment.

The demographic growth in the region is constantly increasing what have an influence on water need. In this work we make a description of the geometry and the structure of hydrogeological system using geophysical methods system, which shows that the superficial aquifer layer is constituted of conglomerate, lakeside limestone, clay and marl. The substratum is represented by the conductive marls.

The measures of electrical conductivities are the high and are an indicator of the influence of chotts.

The interpretation of piézométric maps shows that the general appearance of curves varies only enough little partner to the other one.

The hydrochemical analysis defines several facies; the most important is chlorinated sodic and chlorinated calcic resulting evaporates. The rates of nitrate are over the WHO standards for the drinking water because of agricultural activities.

Maps of vulnerability established using GOD method shows that the aquifer of the Souk Naamane, Bir Chouhada and Ouled Zouai regions have moderated vulnerability moderated.

We have made a classification of the social and economical domains that depend on water needs.

We also assessed the amounts of groundwater and surface water and the way how they are used actually.

We gave a prediction of water needs in short, medium and long terms.

The problem is that the mobilized amounts of water are sufficient actually for the drinking water needs of the Souk Naamane, Bir Chouhada et Ouled Zouai regions.

Key words: aquifer, vulnerability, hydrogeological

الملخص

يعد الماء مادة أولية ذات أهمية كبيرة لحياة الإنسان و محيطه، إن الارتفاع السكاني الذي مس المنطقة المدروسة أدى إلى الاحتياج الكبير له.

يحتوي هذا العمل على وصف هندسي و تكويني للطبقة المائية الحرة و التي تتحقق بفضل الدراسة الجيوفيزيائية التي تبين أن هذه الأخيرة تتكون من التربة الغضارية، الطين و الصخور التكلسية. القياسات الناقلة للكهرباء أظهرت أنها جد عالية و هذا راجع إلى تأثير المسبحات و الشطوط.

إن فحص الخرائط البيزومترية بينت أن اتجاه المنحنيات لا يتغير.

بالإضافة على الدراسة الهيدروكيميائية أوضحت عدة سحنات كيميائية و الأكثر انتشارا هي سحنة الكلورير و صوديوم و الكلورير و كالسيوم ذات المصدر التبخيري، و كذلك تركيز التربة يفوق التراكيز النظامية للمنظمة العالمية للصحة و هذا فيما يخص مياه الشرب بسبب النشاطات الزراعية المكثفة في المنطقة.

إن فحص خريطة حساسية الطبقة الحرة للتلوث حسب طريقة (GOD) أبرزت أن هذه الأخيرة تتكون من ثلاث مناطق الأولى عالية الحساسية و الثانية ضعيفة الحساسية و هذا بنسبة قليلة، أما متوسطة الحساسية فهي تظهر بنسبة عالية.

بعد دراسة كل هذه المقومات الطبيعية السابقة الذكر تطرقنا إلى مختلف العوامل الاجتماعية و الاقتصادية التي تدخل بصفة مباشرة في استعمال هذا المورد الهام.

ينقسم حجم الموارد المائية السطحية و الجوفية المعروفة المستغلة و كيفية تقسيمها الحالي على مستوى التزويد بالمياه الصالحة للشرب و الاستعمال الزراعي.

و بغرض الدراسة النموذجية لتسيير هذه الموارد المائية تطرقنا إلى وجهة مستقبلية على المدى القريب، المتوسط و البعيد. لكن المشكل المطروح يكمن في الحجم المجند حاليا في هذه المنطقة لا يلبي حتى احتياجات المياه الصالحة للشرب على المدى القريب.

الكلمات المفتاحية: جيب مائي ، التأثير للتلوث و هيدروجيولوجيا.

Table de matière	Page
Introduction générale	01
1. Géographie	
1.1. Situation géographique	02
1.2. Le réseau hydrographique	04
1.3. Le climat	05
1.4. La végétation	05
1.5. Aperçus Socio-économique	05
2. Géologie	
2.1. Introduction	06
2.2. La disposition de la chaîne Alpine	06
2.2.1. Domaine interne	06
2.2.2. Le sillon des flysch	06
2.2.3. Le domaine externe	06
• Les séries telliennes	07
• Les séries de l'avant pays allochtones	07
• Les avant pays autochtones plissés	07
2.3. Analyse stratigraphiques	07
• L'ensemble des terrains ou les formations sédimentaires	10
• L'ensemble de la nappe néritique constantinoise	10
• L'ensemble allochtone Sud-Sétifien	12
• L'ensemble des séries Aurésien parautochtones et autochtones	12
2.4. Description structurale et tectonique	16
2.4.1. Principales phases tectonique	18
a) La phase Atlasique	18
b) La phase Alpine	18
2.4.2. Tectonique	18
• Tectonique cassante	19
• Tectonique Souple	18
2.5. Formations aquifères	19
• Les formations de recouvrement	19
• L'ensemble de réservoir des dépôts carbonatés	19
Conclusion	23
CHAPITRE II : Géophysique	
II. Géophysique	24
1. Introduction	24
2. L'étude structurale par prospection de la haute plaine de Bir Chouhada et Souk Naamane	27
2.1. Les sondages électriques d'étalonnage	28
2.2. Utilisation et exploitation des données de forages récents	
2.3. Présentation et interprétation des résultats de la prospection électrique en exploitant les données de forages récents	29
2.4. Présentation et interprétation des coupes géoélectriques	30
2.5. Interprétation de la carte de la conductance totale	33
3. Etude Géophysique de Chott Saboune, Chott Gadaine et la plaine d'El Madher	35
3.1. Carte des résistivités ligne AB=1000 m	35
3.2. Carte des résistivités ligne AB=3000 m	37
3.3. Carte tectonique schématique	39

4. Résultats obtenus de point de vue hydrogéologique	41
4.1. Nappe des calcaires du crétacé inférieur	41
4.2. Nappe des calcaires lacustres du Mio-Pliocène	41
Conclusion	42

CHAPITRE III: Hydroclimatologie

III. Hydroclimatologie	43
Introduction	43
1. Cadre d'étude	44
2. Etude des paramètres hydroclimatologique	44
2.1. Les précipitations	44
• La répartition moyenne mensuelle des précipitations	45
2.2. Les températures	46
2.3. Autres paramètres	47
2.3.1. Indice de MARTONNE ou indice d'aridité	47
2.3.2. Climagramme de L. EMBERGER	47
3. Relation Température-Pluies	50
3.1. Diagramme Ombro-thermique de GAUSSEN et BAGNOULS	50
3.2. Méthode d'EUVERT (humidité du sol)	51
3.3. Calcul l'évapotranspiration et le déficit d'écoulement	51
a) Méthode de Turc	51
b) Formule de Coutagne	53
c) Méthode de VERDEIL	53
d) Méthode de THORNTHWAITE	53
3.4. L'évapotranspiration réelle ou ETR	55
3.5. Calcul de ruissellement(R) et l'infiltration (I)	56
3.6. Essai du bilan hydrologique	57
Conclusion	58

CHAPITRE IV : Hydrogéologie

Introduction	59
1. Les formations aquifères	59
1.1. L'aquifère Karstique carbonaté du Crétacé inférieur	59
1.2. L'aquifère du Mio-Plio-Quaternaire	59
2. Bilan et Statistique	60
➤ Salinité	62
➤ Régime de pompage	63
➤ Evaluation des prélèvements	64
3. Inventaire des points d'eaux	64
3.1. La piézométrie	66
3.2. Le gradient hydraulique	69
4. Détermination des paramètres hydrodynamiques	69
4.1. Interprétation des essais de pompages dans la plaine d'Ouled Zouai	72
• Forage OZ1	71
• La descente du forage OZ1	71
• La remontée du forage OZ1	72
• La descente du puits N°42	72
• La remontée du puits N° 42	73
4.2. Interprétation des essais de pompage dans la plaine de Bir Chouhada	74
• Forage 736	75
• La descente du forage 736	76

• La remontée du forage 736	76
• Forage E8 Bir Ch	77
• La descente du forage E8 Bir Ch	77
• La remontée du forage E8 Bir Ch	77
4.3. Interprétation des essais de pompage effectués dans la plaine de Souk Naamane	78
• Forage 186	78
• La descente du forage 186	78
• La remontée du forage 186	79
• Puits 533	79
• La descente du puits 533	80
• La remontée du puits 533	80
Conclusion	82
CHAPITRE V. Hydrochimie&Vulnérabilité à la pollution	
V. Hydrochimie&Vulnérabilité à la pollution	
Partie I	83
Introduction	
1. Minéralisation et caractérisation des faciès chimiques des eaux(2009)	83
2. Classification des eaux	86
3. Origine des éléments chimiques	95
3.1. Le couple (Na^+ et Cl^-)	95
3.2. Les éléments Ca^{2+} , HCO_3^- et SO_4^{2-}	97
3.3. Paramètre de pollution	98
• Les nitrates (NO_3^-)	98
• Les nitrites (NO_2^-)	101
• L'ammonium (NH_4^+)	101
4. Détermination de la qualité d'eau pour l'irrigation	101
Partie II	
Introduction	106
1. Application de la méthode GOD (Foster 1987)	106
1.1. Présentation de la méthode	109
1.2. Interprétation la carte de vulnérabilité à la pollution de la nappe Mio-Plio-Quaternaire de la région de Souk Naamane, Bir Chouhada et Ouled Zouai	109
• Les terrains à forte vulnérabilité	109
• Les terrains à faible vulnérabilité	109
• Les terrains à modérée vulnérabilité	109
Conclusion	110

CHAPITRE VI : Essai de gestion des ressources en eau

VI .Essai de gestion des ressources en eau	
Introduction	111
1. Répartitioon spatiale de la population dans la région de Bir Chouhada Souk Naamane et Ouled Zouai	111
1.1. Evolution de la population	112
1.2. Les activités agricoles	114
1.3. Les activités industrielles et de transformation	114
2. Répartition spatial des infrastructures Hydrauliques	114

• Forages	114
• Puits	114
• Les réservoirs et capacité de stockage	114
3. Mobilisation des ressources en eau	114
3.1. Approvisionnement en eau	118
3.2. Alimentation en eau agricole	122
4. Le réseau d'assainissement	122
4.1. Estimation du débit d'eaux usées domestique	122
5. Evaluation de la demande socio-économique	123
5.1. Les besoins en eau potable	123
5.2. Déficit d'alimentation en eau potable	124
5.3. Les besoins en eau d'irrigation	126
5.4. Bilan des besoins globaux	127
Conclusion générale	129
Bibliographie	
Annexe	

Liste des figures

• Fig N°1 : Situation globale de la zone d'étude	02
• Fig N°2 : Limite administrative de la région d'étude	03
• Fig N°3 : Situation de la région étudiée et assemblage des cartes Topographiques au 1/50000ième	04
• Fig N°4 : Extrait de la carte géologique de Ain Yagout N° 146	08
• Fig N°5 : Extrait de la coupe géologique interprétative de (Ain Yaghout N°146) (SONATRACH, 1977)	09
• Fig N°6 : Esquisse hydrogéologique et coupe interprétative à travers les Massifs du Djebel Guelaat Ouled Selam	11
• Fig N°7 : La série des lacs	14
• Fig N°8: Schéma structural (feuille de Ain Yagout au 1/50000eme)	18
• Fig N°9 : Log litho stratigraphique synthétique	22
• Fig N°10 : Carte de situation des sondages électriques dans la région d'étude Souk Naamane, Bir Chouhada et Ouled Zoua	26
• Fig N°11 : Corrélation entre les données géoélectriques et lithologiques Coupe géoélectrique K	31
• Fig N°12 : Corrélation entre les données géoélectriques et lithologiques Coupe géoélectrique E	31
• Fig N°13 : Corrélation entre les données géoélectriques et lithologiques Coupe géoélectrique L	32
• Fig N°14 : Corrélation entre les données géoélectriques et lithologiques Coupe géoélectrique F	32
• Fig N°15 : Carte de conductance totale	34
• Fig N°16 : Carte de résistivité AB=1000 m	36
• Fig N°17 : Carte de résistivité AB=3000 m	38
• Fig N°18 : Carte tectonique schématique	40
• Fig N°19 : Répartition des bassins versants	43
• Fig N°20 : Variations mensuelles des précipitations 1984-2001 de la station Bir Chouhada	45

• Fig N°21 : Variations mensuelles des températures 1984-2001 de la station Ain Skhouna	46
• Fig N°22 : Climagramme d'Emberger(Q)	49
• Fig N°23 : Diagramme Ombrothermique de H.Gaussen et F.Begaouls	50
• FigN°24: Abaque pour le calcul du déficit d'écoulement en Algérie(P.Verdeil)	54
• Fig N°25 : Coupe Hydrogéologiques Synthétiques	60
• Fig N°26 : Représentation en pourcentage de la nature des points d'eau dans la zone d'étude	61
• FigN°27: Répartition par localité des points d'eau en porcentage	61
• FigN°28 : Représentation en pourcentage des points d'eau en fonction de leur usage	62
• FigN°29 : Répartition des points d'eau en fonction de la conductivité en pourcentage	63
• Fig N°30 : La Carte d'inventaire des points d'eaux	65
• Fig N°31 : Carte piézométrique de la nappe Moi-Plio-Quaternaire de la région d'étude (basses eaux Octobre 2008)	67
• Fig N°32 : Carte piézométrique de la nappe Moi-Plio-Quaternaire de la région d'étude (Haute eau Mai 2009)	68
• Fig N°33 : Carte des points d'eaux ayant servis aux essais de pompage	71
• FigN°34 : Interprétation de la descente au forage OZ1	72
• FigN°35: Interprétation de la remontée au forage OZ1	73
• FigN°36: Interprétation de la descente du puits N°42	74
• FigN°37 : Interprétation de la remontée du puits N°42	75
• FigN°38 : Interprétation de la descente du puits N°736	76
• FigN°39 : Interprétation de la remontée du puits N°736	76
• FigN°40 : Interprétation de la descente au forage E8 Bir Ch	77
• FigN°41 : Interprétation de la remontée au forage E8 Bir Ch	78
• FigN°42 : Interprétation de la descente au forage N°186	79
• FigN°43 : Interprétation de la remontée au forage N°186	79
• FigN°44 : Interprétation de la descente du puits N° 533	80
• FigN°45 : Interprétation de la remontée du puits N° 533	81
• FigN°46 : Carte de variation du résidu sec des eaux de la nappe Mio-Plio-Quaternaire de la région d'étude	84
• FigN°47: L'origine de la salinité en fonction des rapports caractéristiques	85
• FigN°48 : Diagramme de Piper des eaux prélevées dans la région de	87

Bir Chouhada

- FigN°49 : Représentation des eaux prélevées dans la zone de Souk Naamane selon le diagramme de Piper 88
- Fig N° 50 : Représentation des eaux prélevées dans la zone de Souk Naamane selon le diagramme de Piper 88
- FigN°51 : Représentation des eaux prélevées dans la zone de Ouled Zouai selon le diagramme de Piper 89
- FigN°52 : Représentation des eaux prélevées dans la zone de Bir Chouhadaselon le diagramme de Scholler-Berkaloff 90
- FigN°53 : Représentation des eaux prélevées dans la zone de Souk Naamane selon le diagramme de Scholler-Berkaloff 91
- Fig N° 54 : Représentation des eaux prélevées dans la zone de Souk Naamane selon le diagramme de Scholler-Berkaloff 91
- FigN°55 : Représentation des eaux prélevées dans la zone d'Ouled Zouai selon le diagramme de Scholler-Berkaloff 92
- FigN°56 : Carte de la répartition des faciès chimiques 93
- FigN°57 : Répartition des faciès chimiques en pourcentage dans la zone d'étude 94
- FigN°58 : Diagramme sur la répartition des faciès chimiques par l'utilisation le rapport ($\text{Na}^+/\text{Ca}^{+2}$) et ($\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$) 95
- FigN°59 : Courbe de Corrélation des ions Na^+ avec les ions Cl^- 96
- FigN°60 : Les différents états des éléments chimiques dans l'eau 96
- FigN°61 : Représentation graphique des ions de calcium en fonction des ions de bicarbonate pour déterminer l'origine du calcium 97
- FigN°62 : Les différentes origines de calcium 98
- FigN°63: Carte de variation de teneur en nitrates des eaux de la nappe Moi-Pio- Quaternaire de la région d'étude 100
- FigN°64 : Classification des eaux d'irrigation (méthode de SAR) dans la zone de Bir Chouhada 102

• FigN°65 : Classification des eaux d'irrigation (méthode de SAR) dans la zone de Souk Naamane	103
• Fig N°66 : Classification des eaux d'irrigation (méthode de SAR) dans la zone de Souk Naamane	103
• FigN°67 : Classification des eaux d'irrigation (méthode de SAR) dans la zone d'Ouled Zouai	104
• FigN°68: Système empirique GOD pour une estimation rapide de la vulnérabilité d'un aquifère (d'après Foster, 1987)	107
• FigN°69 : Carte de vulnérabilité de la nappe libre de la région d'étude	108
• FigN°70 : Les eaux de surfaces potentialités reconnue, ressources mobilisé et exploités dans la région de Bir chouhada, Souk Naamane et Ouled Zouai	116
• FigN°71 : Les eaux souterraines : potentialité reconnue –ressources mobilisées et exploitées dans la région de Bir chouhada, Souk Naamane et Ouled Zouai	116
• FigN°72 : Potentialités Total reconnue dans la région	117
• FigN°73 : Ressources mobilisées dans la région	117
• FigN°74 : Ressources en eaux exploitées dans la région	117
• FigN°75 : Dotation moyenne adoptées dans les différents horizons Population (hab)	125
• FigN°76 : L'accroissement démographique de la population dans La région	125
• FigN°77 : Besoin en eau potable dans la région	125
• FigN°78 : Bilan des besoins globaux dans la région	127
• FigN°79: Bilan potentialités reconnues- ressources mobilisées- besoins globaux	128

Liste des tableaux

• Tableau N°1 : Caractéristiques des forages utilisés pour les sondages étalent	26
• Tableau N°2 : Etalonnage au voisinage du forage Tinsilt N°3	26
• Tableau N°3 : Etalonnage au voisinage du forage Bir Chouhada N°1	26
• Tableau N°4 : Etalonnage au voisinage des forages Tinsilt N° 5,6 et7	27
• Tableau N°5 : Caractéristiques des nouveaux forages	27

• Tableau N°6 : Étalonnages à partir des forages nouveaux	28
• Tableau N°7 : Précipitations moyennes mensuelles (1984-2001)	45
• Tableau N°8 : Températures moyennes mensuelles (1984-2001)	45
• Tableau N°9 : Humidité du Sol	50
• Tableau N°10 : Indice mensuel (i)	52
• Tableau N°11 : Tableau N° Bilan Hydrique (C.W.Thornthwaite) (1984-2001)	55
• Tableau N°12 : Les différentes valeurs de l'évapotranspiration ETR et le Ruissellement	56
• Tableau N°13 : Usage des points d'eau inventoriés	61
• Tableau N°14 : Ecart de conductivité et de salinité enregistrée	61
• Tableau N°15 : Répartition des points d'eau en fonction de la conductivité	62
• Tableau N°16 : Statistiques sur les pompages dans la région de Bir Chouhada- Souk Naamane et Ouled Zouai	63
• Tableau N°17 : Evaluation des prélèvements	63
• Tableau N°18 : Détermination de quelque valeur du Gradient Hydraulique	68
• Tableau N°19 : Caractéristiques des forages et puits ayant servis aux Essais de pompage	69
• Tableau N°20 : Résultats des essais de pompage effectués dans la région d'étude	80
• Tableau N°21 : Répartition spatiale de la population dans la région Bir Chouhada Souk Naamane et Ouled Zouai	112
• Tableau N°22 : Répartition spatiale de la population dans la région de Bir Chouhada Souk Naamane et Ouled Zouai	112
• Tableau N°23 : Evolution de la population communale à moyen et longs Thermes dans La région de Bir chouhada, Souk Naamane et Ouled Zouai	113
• Tableau N°24 : Evolution de la population à moyen et longs thermes dans La région de Bir Chouhada , Souk Naamane et Ouled Zouai	113
• Tableau N°25: Répartition par commune les ressources en eau dans la région de Bir Chouhada,Souk Naamane et Ouled Zouai	115
• Tableau N°26 : Les origines des ressources pour l'A.E.P des	119

agglomérations dans La Région de Bir Chouhada, Souk Naamane et Ouled Zouai

- Tableau N°27 : Caractéristique des réseaux des agglomérations (Population>1000 hab) dans la région de Bir Chouhada, Souk Naamane et Ouled Zouai 120
- Tableau N°28 : Alimentation en eau potable dans les agglomérations (Pop> 1000 habitants) 121
- Tableau N°29 : Situation actuelle de l'alimentation en eau agricole dans la région de Bir Chouhada, Souk Naamane et Ouled Zouai 122
- Tableau N°30: Dotations moyennes journalières adoptées 123
- Tableau N°31 : Bilan prévisionnel des besoins en A.E.P par rapport à des dotations préconisées 124
- Tableau N°32 : Déficit en A.E.P des agglomérations aux différents horizons 124
- Tableau N°33 : Besoin en eau pour l'irrigation par Commune 126
- Tableau N°34 : Surfaces mobilisées pour aux différents horizons 126
- Tableau N°35 : Les besoins en eau d'irrigation aux différents horizons 127
- Tableau N°36 : Les besoins en eau globaux dans la région 127

L'accroissement démographique dans la partie sud-est de la wilaya d'Ome El Bouaghi. Nécessite un besoin en eau de plus en plus croissant. La sécheresse et les risques de pollution de la nappe phréatique près des chotts, nécessite un requiert une attention particulière. Ce présent travail s'oriente vers l'étude hydrogéologique, la vulnérabilité des nappes et d'un essai de gestion des ressources en eau de la région de Souk Naamane, Bir Chouhada et Ouled Zouai. Les ressources du secteur sont représentées par les nappes, libre, pour les besoins en irrigation et en eau potable, et profonde des massifs carbonatés qui se trouve au centre du secteur et dans la partie Nord-Ouest et qui sont exploitées pour les besoins en eaux d'irrigation et potable.

Dans cette étude nous nous sommes intéressés aux points suivants :

L'étude des ressources en eaux souterraines dans la région de Souk Naamane, Bir Chouhada et Ouled Zouai qui souffrent non seulement du manque d'eau, mais aussi de sa salinité.

Produire la carte de vulnérabilité des eaux souterraines en milieu urbain.

L'évaluation des ressources exploitables en eaux destinées aux l'usages domestique et agricole. Et poser les grands axes d'une gestion durable et rationnelle de ces ressources.

Le travail est structuré dans ce qui suit :

La première partie est consacrée à l'étude des contextes géographique et géologique de la région d'étude en présentant les caractéristiques géologiques, géophysiques et hydroclimatologique.

La deuxième partie traite de l'hydrogéologique de la nappe du Mio-Plio-Quaternaire de Souk Naamane, Bir Chouhada et Ouled Zouai, en définissant les paramètres hydrodynamiques et interprétant sa piézométrie.

La troisième partie concerne l'étude hydrochimique des eaux de la nappe et la vulnérabilité à la pollution sur toute la zone d'étude.

La quatrième partie est réservée à l'évaluation des ressources en eaux exploitables pour les usages domestique et agricole.

Conclusion générale qui met l'accent sur les résultats obtenus.

1- La géographie

1-1- Situation géographique:

La région d'étude englobe les communes de Bir Chouhada, Souk Naamane et Ouled Zouai dans la wilaya d'Oum El Bouaghi, située à l'Est de l'Algérie. Ces communes sont situées à l'extrémité sud-est de la wilaya.

La zone d'étude a une superficie de 530 Km². Les grandes agglomérations dans la Wilaya d'Oum El Bouaghi sont administratives par :

- **Bir Chouhada** (ex Levasseur) avec **5147** habitants, (récents. de 1998).
- **Souk Naamane** (ex Rouget de l'Isle) avec **15307** habitants (récents. de 1998).
- **Hai Chekir Khelifa** qui compte **1509** habitants (récents. de 1998).

Les coordonnées Lambert limitant la zone d'étude sont :

$$X = 816 \rightarrow 852 \text{ km}, \quad Y = \rightarrow 284 \quad 303 \text{ km}.$$

Le secteur d'étude est limité administrativement par les wilayas de Mila au Nord et de Batna au Sud.



Figure N°1 : Situation globale de la zone d'étude

Du point de vue géomorphologique la région fait partie de la frange nord-ouest du bassin des chotts constantinois. Elle est circonscrite dans une dépression caractérisée par la présence de deux chotts (Chott Tinsilt et Sebkha Ezzemoul).

- Au Nord par une ligne passant par M'Chira et les djebels Faham, Gualaât Ouled Sellem (1387m), Guerouaou (1540m) ainsi que la bordure septentrionale du chott Tinsilt et Sebkhet Ezzemoul.
- A l'Ouest par les Djebels Rherour, El Hammam et Azraouat (1002m) ;
- Au sud par la limite des wilayas de Batna et d'Oum El Bouaghi,
- A l'Est par la bordure orientale de la Sebkhat Ezzemoul et son prolongement jusqu'au djebel Hanmout Kebir.

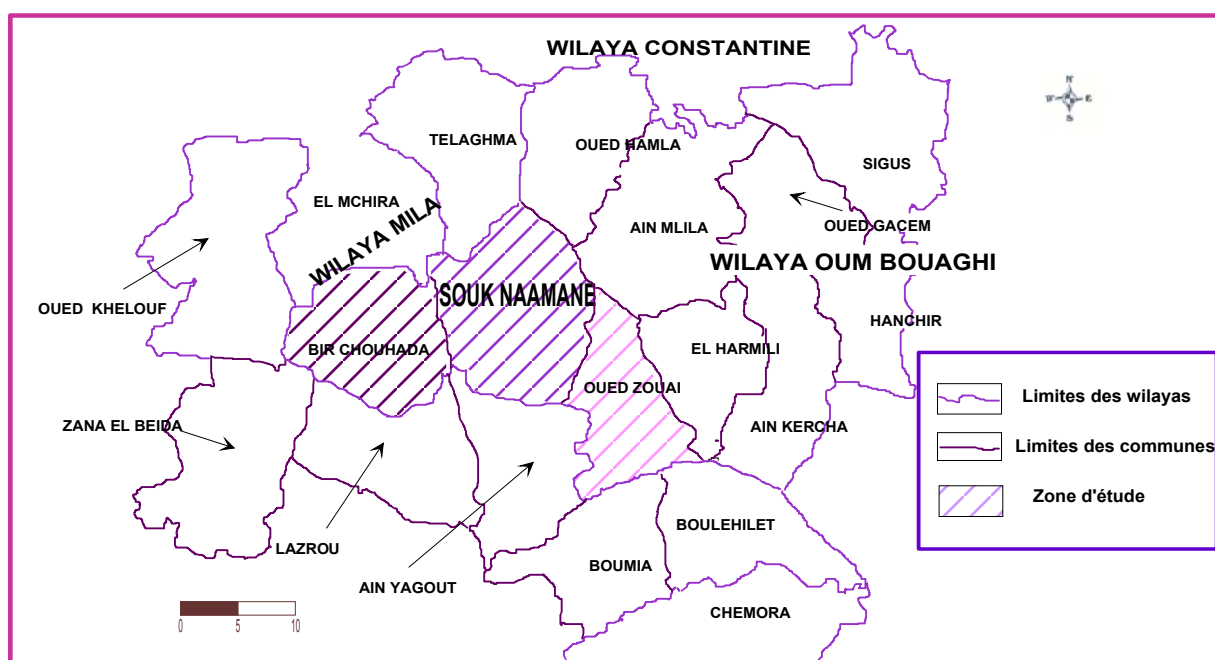


Figure N°2 : Limite administrative de la région d'étude

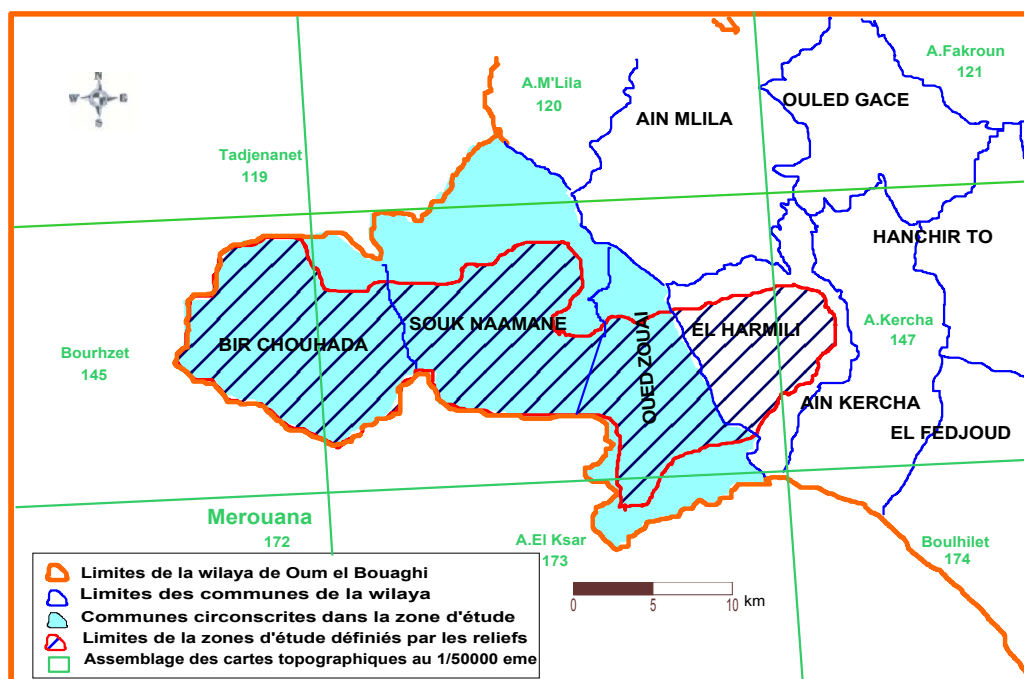


Figure N° 3 : Situation de la région étudiée et assemblage des cartes topographiques au 1/50000ème

Les grands massifs se trouvent en plein centre de la zone d'étude sont : Djebel Guedmane (1134m), Djebel Tizourit (1036m), Djebel Amsid (952 m) et Djebel Hamouda (Djebel Snobra) avec 1161m d'altitude. Les hautes plaines occupent la majorité de la zone d'étude, elles sont essentiellement les plaines de Souk Naamane à l'Est de Djebel Guedmane, la haute plaine de Bir Chouhada à l'Ouest de ce dernier et la plaine de Ouled Zouai au Sud Ouest de Sebkhett Ezzemoul et Chott Tinsilt. L'altitude de ses hautes plaines varie entre 809 et 891 m pour Bir Chouhada et de 794 à 830 m pour Souk Naamane et de 792 à 836 m pour Ouled Zouai.

Les plus basses altitudes correspondent aux chotts Tinsilt et Ezzemoul.

1-2-Le réseau hydrographique:

Le réseau hydrographique est peu dense, avec quelque cours d'eau temporaires. Ils sont tous endoréiques et convergent vers Sebkhett Ezzemoul et chott Tinsilt à l'Est de la région, comme : Oued Ben Zerhaib, Oued Bou Salem.

En général, le réseau hydrographique est représenté par des chaabets temporaires, tellesque Chaabet El kela, Chaabet Bettoum au Sud de Sebkhett Ezzemoul

et Oued Zerhaib. L'alimentation de ses chaabets est assurée par les ruissellements qui se créent dans les massifs au Nord- Est et au centre de la zone d'étude. Pour la relation Oueds –nappes, l'alimentation des nappes par les Oueds en période de basses eaux est inexistante au vu de l'assèchement de ses derniers en été.

1-3-le climat:

Le climat de la région est semi aride avec des précipitations moyennes annuelles de l'ordre de 282 ,5 mm sous forme de pluies violentes. L'hiver est caractérisé par des chutes de neige et de brusques gelées, par contre l'été se caractérise par un climat chaud avec une température moyenne annuelle de l'ordre de 15,20 ° c.

1-4-La végétation:

La majeure partie des terres de la plaine est exploitée par les habitants qui y pratiquent la céréaliculture. Autour des habitations et de quelques fermes, nous avons quelques petits jardins, irrigués à partir de puits de faible profondeur, ou sont cultivés des légumes et du tabac. Par ailleurs, dans certaines zones, comme la partie est de Souk Naamane se développent parfois des plantes halophiles qui servent de lieu de pâturage aux troupeaux.

1.5. Aperçu Socio-économique:

Bir Chouhada, Souk Naamane et Ouled Zouai sont des agglomérations les plus importantes. Les mechtas sont réparties près des oueds et les puits qui sont utilisés pour les besoins usages domestiques et agricoles.

Les principales activités dans la région sont l'agriculture des céréales et l'élevage.

2. Géologie**2.1-Introduction:**

L'étude géologique (stratigraphique et structurale) est la base de toute étude hydrogéologique, car elle donne des renseignements sur les formations lithologiques susceptibles de constituer les réservoirs en eaux souterrains.

L'aperçu géologique peut être synthétisé à partir de l'analyse des documents suivants:

- Carte géologique d'Ain Yagout et sa notice explicative
- Rapport de l'étude géophysique effectuée par la Compagnie Générale de Géophysique (CGG) 1969-1970.
- Rapport de l'étude géophysique effectuée en 1960-1961
- Logs stratigraphiques des sondages mécaniques.

2.2- La disposition de la chaîne Alpine

La chaîne alpine d'Algérie s'articule sur le rift et constitue la chaîne tello africaine. Elle représente le segment occidental des maghribides. Elle se caractérise par une unité remarquable du Nord vers le Sud:

1. Le domaine interne
2. Le sillon des flyschs
3. Le domaine externe

2-2-1- Domaine interne:

Il comprend le socle kabyle cristallin et sa couverture sédimentaire paléozoïque peu ou pas métamorphisée et la chaîne calcaire ou dorsale kabyle.

2-2-2- Le sillon des flysch:

Composés par une double série:

La série mauritanienne

La série massylienne

2-2-3-Le domaine externe:

En Algérie orientale, il est représenté par:

1. Les séries telliennes
2. Les séries de l'avant pays allochtone
3. les séries de l'avant pays autochtone

- **Les séries telliennes:** masses allochtones chevauchant vers le Sud et caractérisées par le développement de faciès marneux et marno calcaire. On distingue la nappe ultra tellienne, les nappes telliennes et les nappes penitelliennes.
- **Les séries de l'avant pays allochtones:** elles sont orientées suivant la direction SW-NE. On peut distinguer d'Est en Ouest les domaines et les unités suivantes:
 - Unité néritique constantinoise
 - Unité sud sétifienne
 - Avant pays plissés et écaillés des unités des Sellaouas.
- **Les avant pays autochtones plissés:** constituent les monts des Aurès et du Hodna et du Belezma.

La région d'étude fait partie de deux ensembles:

L'un est l'allochtone Sétifien au Djebel Amsid (au Nord –Ouest de Bir Chouhada), il est écaillé et flotte sur une lame de Trias et l'autre autochtone nord Aurassien représenté par les monts d'Ain Yagout, les djebels Hanout, Harshel et Terbenut, Ces massifs présentent des plis de direction atlasique ou hodnéenne.

Une couverture moi-plio-quaternaire s'étend sur les plaines.

2.3- Analyse stratigraphiques:

Dans la carte d'Ain Yagout, où se trouve la grande majorité de la zone, on peut constater 04 ensembles d'âge géologique différent, on cite :

- L'ensemble des terrains où les formations sédimentaires sont peu ou pas tectonisées. Il est formé du Quaternaire avec de différentes formations telles que les Quaternaire, Villafranchien, sol de sebkha et aussi du Mio-Pliocène.
- L'ensemble de la nappe néritique constantinoise, avec un Aptien qui affleure.
- L'ensemble allochtone Sud Sétifien qui débute de l'Aptien au Jurassique supérieur.
- L'ensemble Aurésien des séries para autochtones qui débute au Miocène jusqu'au Lias.

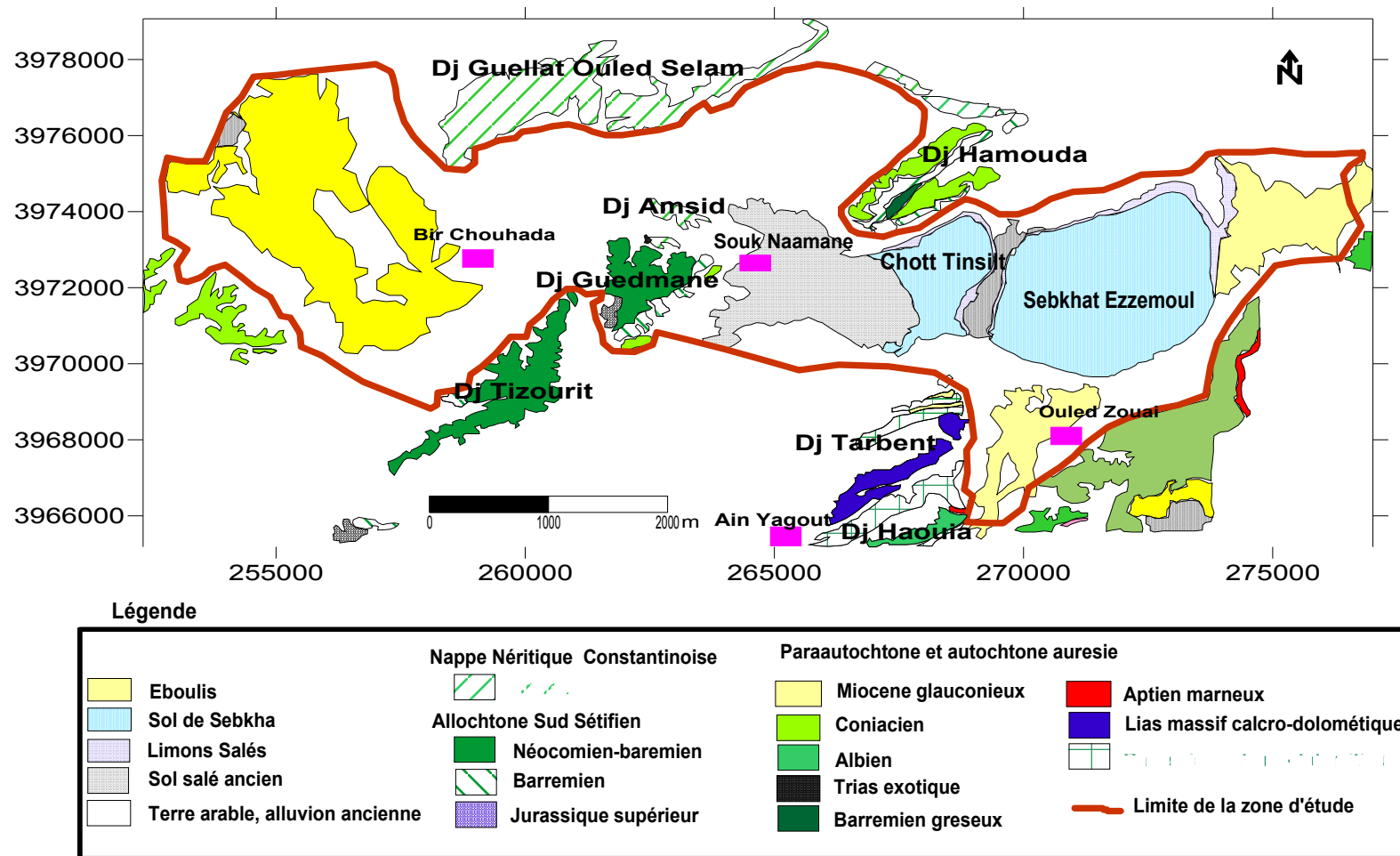


Figure N°4 : Extrait de la carte geologique de Ain Yagout N°146

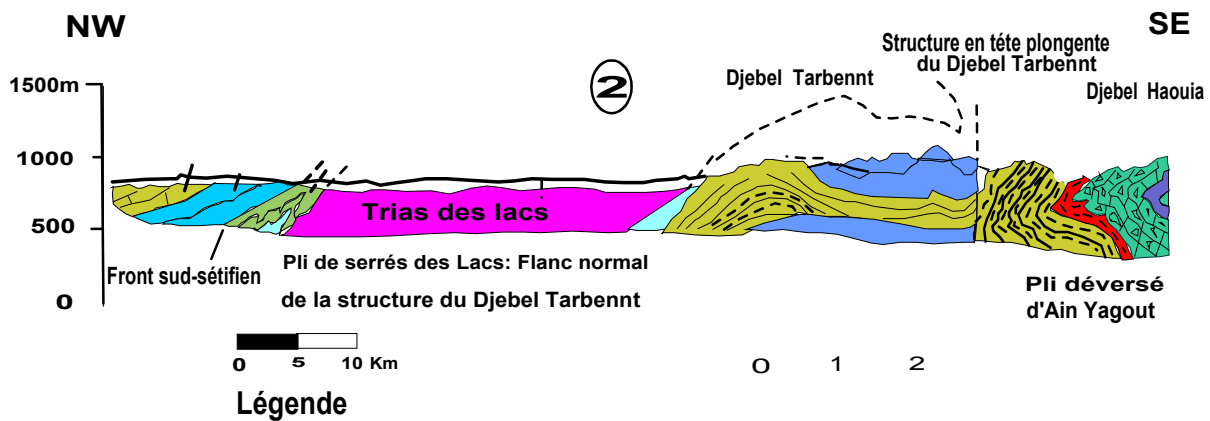
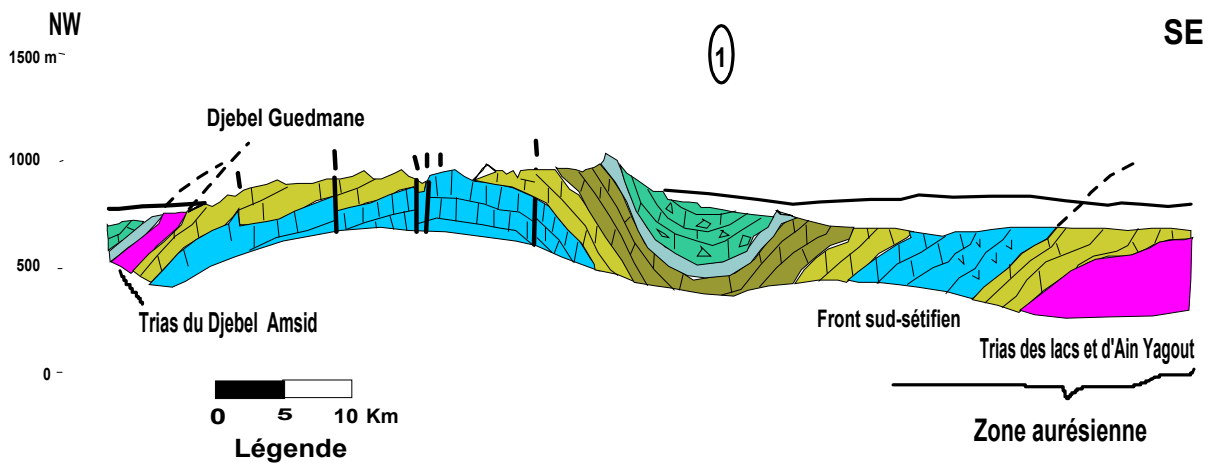


Figure N° 5 : Extrait de la coupe géologique interprétative de (Ain Yaghout N°146)
(SONATRACH, 1977)

❖ Formations peu ou pas tectonisées:**A / Quaternaire (q) :**

Les sols salés anciens forment de vastes étendues à végétation caractéristiques de salsolacées. L'irrigation les rend cultivables localement, aussi en trouve des glacis polygéniques, qui est la forme de relief la plus caractéristique des hautes plaines constantinoises. Elle correspond à des surfaces très faiblement pentées près des plaines et dont la pente augmente progressivement vers les montagnes. Le Villafranchien est une croûte calcaire massive dans le Nord-Est du Douar Mraouna.

B / Mio-Pliocène (mp):

Les formations attribuées au Mio-Pliocène affleurent d'une façon très disperses, au Douar Mraouna, à l'Est de Bir Chouhada et dans les monts de Ain Yaghout. Il s'agit de conglomérats mal cimentés, d'argile jaunâtre sableuse et de calcaires lacustres mal stratifiés, rosâtres ou blancs.

❖ Nappe néritique constantinoise:**A / Aptien (n⁵_n) :**

Un seul affleurement est visible dans le Nord de la région, à la mechta El Henchir. Ce sont des calcaires sombres en bancs réguliers, leur nature est mécritique.

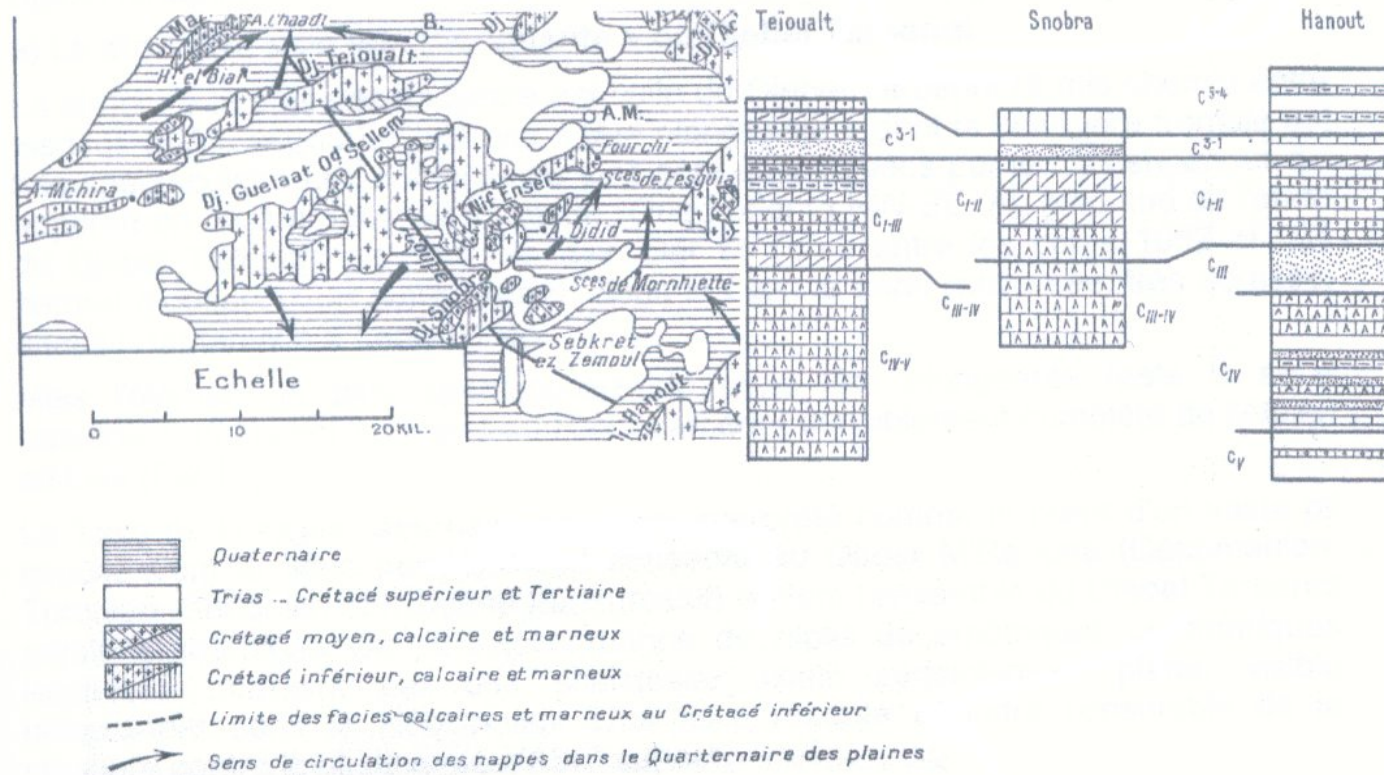


Figure N°6 : Esquisse hydrogéologique et coupe corrélative à travers les massifs du Djebel Guelaat Oulad Selam

❖ Ensemble Allochtone Sud Setifien**▪ la série de Djebel Guedmane :**

Les formations de cette unité forment tous les affleurements de Djebel Merzguene, Rhires, Djebel Tizourit, Djebel Guedmane, Draa El Gueblia, Djebel Amsid et Djebel Hamouda (Djebel Snobra).

A / Aptien (n5):

Avec une épaisseur de 150 m au maximum l'Aptien est formé de calcaires à petits bancs. La première moitié de la série débute par des calcaires massifs, la seconde moitié montre un ensemble bien lité de micrite avec des cassures sombres.

B / Barrémo-Aptien (n⁴⁻⁵) :

Ce sont des calcaires organogènes, formant une corniche massive de calcaires compact à cassure blanche de 60 m d'épaisseur à Djebel Hamouda. Elle est nommée corniche noire avec une masse peu ou pas stratifiée, très hétérogène, au Djebel Guedmane. La corniche noire a une épaisseur de 70m .

C / Barrémien (n^{4b}) :

Il est formé de calcaires de dolomies et de grès, avec des intercalations marneuses au Djebel Hamouda. Sous la barre des calcaires massifs du Barrémo-Aptien, cet ensemble forme une puissante et épaisse série d'une centaine de mètres. Ce sont des calcaires roux, grès roux. Ces bancs sont séparés par des intercalations de marnes sableuses ou argileuses. L'épaisseur de cet étage est de 180 m au Djebel Guedmane et de 150 m au Djebel Hamouda.

D / Néocomien – Barrémien (n¹⁻⁴) :

Au Djebel Hamouda et Kef El Geussâa seul le Barrémien est présent. C'est un ensemble calcaro –dolomitique ou 60 m de la série sont visibles au Djebel Guedmane. La série se complète vers le bas par un ensemble de grosses barres de calcaires roux ou graveleux à intercalations de dolomie grise. Cette série atteint 150m à 200 m d'épaisseur.

E / Jurassique (J⁶) :

La formation y est organisée en trois grosses barres de calcaires massifs fins ou finement graveleux avec un Jurassique supérieur de 80m d'épaisseur.

❖ Para autochtone et autochtone Aurésien

La série des lacs

Les affleurements de cet ensemble forment les monts d'Ain Yagout et les affleurements de la région des lacs au piedmont de Djebel Hamouda.

Echelle: 1/1000 A. Yagout

Epaisseurs cumulées	Epaisseurs partielles	Etage	Log avec n° des échantillons	Lithologie
300m	100m visibles	CONIACIEN	Miocène discordant jusque sur C1	Marnes grises
200m	100m	TURONIEN	408 407 406 405 404 position probable 374 375 404 403 400 399 398 397 396 395 394 393 377 378 379	Marnes grises Marnes grises à petits bancs de lamelles Marnes grises à petits bancs de lamelles Marnes grises très encroûtées Calcaire massif café au lait à polypiers Marnes grises à petits bancs de biomicrites Calcaire massif beige à polypiers Marnes grises à petites bancs de biomicrites
100m	95m visibles	CENOMANIEN SUP		Biomicrites à débris de polypiers Biomicrites à débris de polypiers et marnes encroûtées Marnes grises claires Calcaires bruns, pâte fine à lamell
0m				

Figure N°7 : La série des lacs

- **Miocène (m^h):**

C'est une série qui débute par des conglomérats rubéfiés, polygéniques et discordants, suivie par quelque mètre de calcaires gréseux roux.

- **Coniacien (C^{2h}):**

Cet étage visible est formé essentiellement par des marnes grises de 100 m d'épaisseur.

- **Turonien (C^{1h}):**

Cette série a une épaisseur de 100 m d'épaisseur. C'est une série marneuse très encroûtée, avec intercalations des bancs calcaires massifs beiges. Elle affleure légèrement au Nord de Sebkhet Ez-zemoul.

- **Cénomanién (C^{1h}):**

Ce sont des alternances de marnes grises claires et de calcaires massifs beiges. L'affleurement de ces calcaires est visibles près de Sebkhet Ez-zemoul. Le Cénomanién supérieur a une épaisseur de 95 m.

- **Albien (n^{6-7h}):**

Il est visible à la base de la série renversée de Djebel Tarbent et sur le flanc nord d'Ain Yagout au Djebel Haouia. Ce sont des séries marno-gréseuses à la base et marneuses au sommet avec une épaisseur d'environ 70 m.

- **Aptien ($n^{5bc}h$):**

Il s'agit de calcaires bien lités qui se placent entre l'Albien marno-gréseux et la série marneuse de l'Aptien inférieur. Ils forment une barre de 350 m d'épaisseur.

- **Aptien ($n^{5a}h$):**

C'est une série à dominante marneuse dont l'épaisseur varie entre 70 m et 80 m. A la base, on note quelques intercalations gréseuses.

- **Barrémien ($n^{4d}h$):**

Il s'agit de 200 m à 250 m de série à dominante gréseuse, à rares intercalations dolomitiques, c'est une série très monotone de grès roux ou blancs.

- **Barrémien ($n^{4bc}h$):**

C'est une formation qui est formée par de grosses barres calcaro-dolomitiques, séparés par des zones plus tendres (intercalations argileuses) ou argilo-silteuse.

Les barres présentent des faciès de dolomies, de calcaires dolomitiques et de micrite de calcaire graveleux.

- **Crétacé basal (n^{1-3}_h):**

C'est un ensemble argilo-pelitique très épais qui dépasse les 600 m d'épaisseur.

- **Bérriasien – Valenginien (n^{1-2}_h):**

Ce sont des marnes verdâtres avec intercalations de petits bancs grésos-quartzitiques avec une épaisseur de 800 m à 1000 m à Djebel Tombait.

- **Calcaires écrasés à calpionelle ($j^s - n^1_h$) :**

C'est une série d'une centaine de mètres d'épaisseur, avec à la base des marnes roses et jaunes. Qui appartiennent au Kimméridgien – Portlandien. Au sommet des brèches de 10 m d'épaisseur.

- **Jurassique (jH^s) :**

Le Dogger est essentiellement formé de marno – calcaires roses et jaunes, d'une épaisseur de 55 m. Le Malm est formé de 40 m de calcaires à silex rougeâtres et verdâtres avec à la base des calcaires gris clairs. Le lias est formé de dolomies caractéristiques de cet étage, 20 m de marno –calcaire et 25 m de marne grise, au Djebel Tarbent. Cet étage est constitué par une épaisse masse calcaire dolomitique mal litée qui a une épaisseur de 400 m.

- **Trias (t) :**

Au Nord, il affleure au Djebel Amsid juste à la base de la nappe allochtone sud sétifienne. L'affleurement du Trias au Djebel Amsid souligne un contact anormal plat. Il se trouve aussi entre les deux lacs (Chott Tinsilt et Sebket Ez- zemoul) sous forme d'une bande de direction Nord – Sud, sur laquelle est construite la route nationale N° 20 qui relie Constantine à Batna. Au sud de la ville d'Ain Yagout, se sont des marnes bariolées et des gypses bréchiques. Un seul affleurement d'ophite a été repéré près des lacs.

2.4-Description structurale et tectonique:

La structure des réservoirs est conditionnée par la tectonique. La forme du réservoir et le sens d'écoulement des eaux d'autre part. La région d'étude est limitée du point de vue tectonique par la base de l'ensemble para autochtone et autochtone aurasiennau Sud.

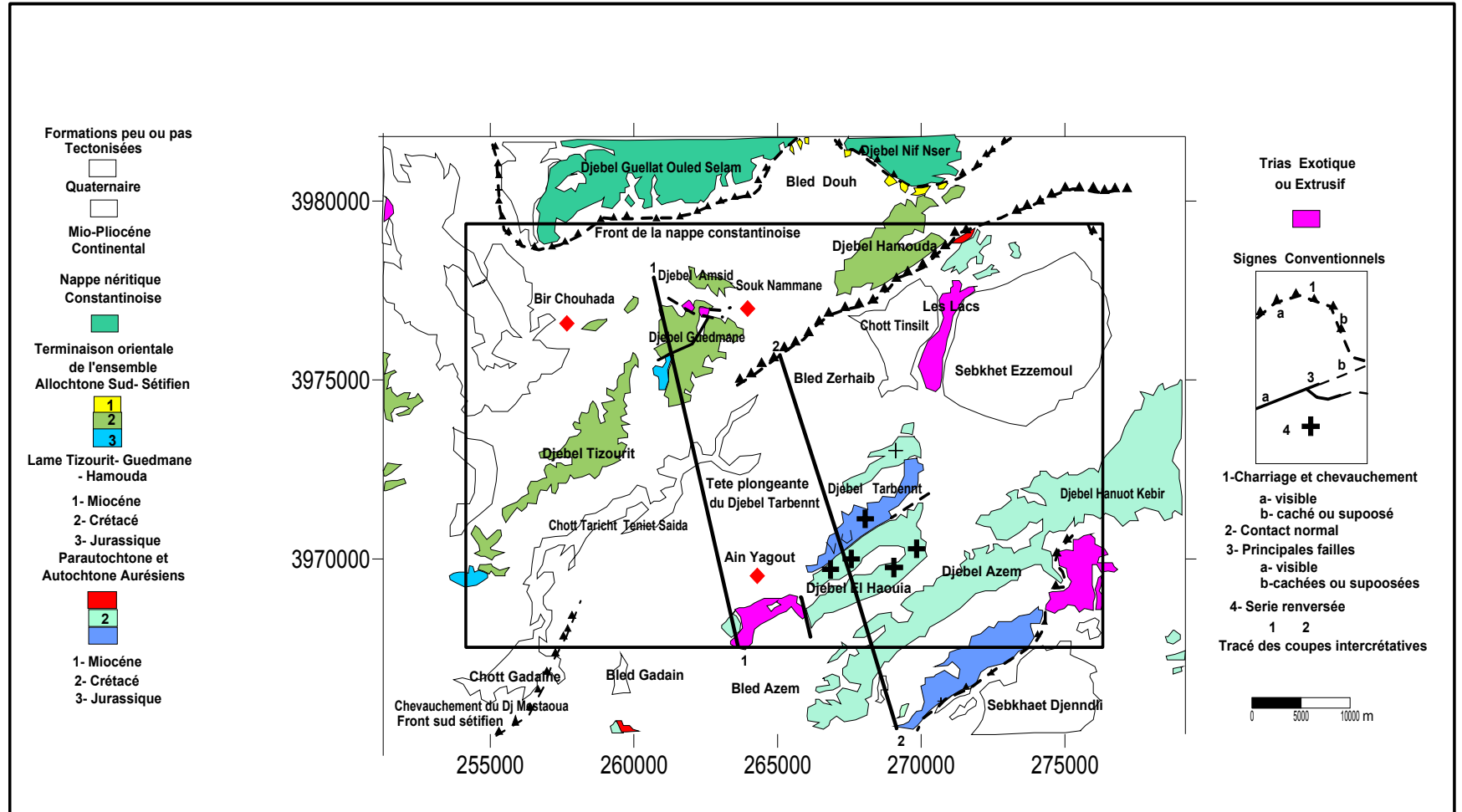


Figure N° 8 : Schéma structural (feuille de Ain Yagout au 1/50000eme)

2.4-1- Principales Phases Tectoniques:

L'histoire tectonique est caractérisée par deux phases principales:

a- la phase Atlasique:

Elle se manifeste dès la fin du Crétacé supérieur et atteint son paroxysme entre le Lutétien supérieur et le Miocène inférieur, c'est une phase priabonienne durant laquelle il y a un plissement des formations avec apparition d'anticlinaux et de synclinaux orientés SW-NE et NSE. Elle conduit à l'apparition des premières nappes de charriage dans la zone septentrionale, formant ainsi, le domaine allochtone Sud Setifien.

b- la phase Alpine:

Cette phase majeure est surtout dominée par "la phase tortonienne" qui déforme la chaîne plissée, elle affecte essentiellement le domaine parautochtone en créant de nouvelles nappes dans l'avant pays et conduit à l'apparition des plis emboîtés(plis de largeurs déca kilométriques, déformés en plan par des torsions simples, des décrochements cumulatifs ou par la combinaison de ces deux phénomènes .Elle est également responsable de grands cisaillements et de la genèse de structures en baïonnettes).

L'accumulation des sédiments plio-quaternaires, rarement déformés, correspond à un comblement de relief dans le domaine des hautes plaines constantinoises et du pied des Aures. Après le Tortonien supérieur deux phases successives de distension affectent l'édifice des nappes tortonniennes en le plissant et en le faillant intensément, créant ainsi les reliefs actuels.

Notons en fin que la phase de distension a dû s'accompagner de la mise en phase du Trias en relation avec les failles, ainsi que sous formes de diapir, alors que la phase de compression se traduit par des plis amples de directions NW-SE et NE-SW, et de pendage relativement faible.

2.4-2- Tectonique: deux groupes se distinguent :

- **Tectonique cassante:** Concerne les roches compactes, comme les dolomies et les calcaires, elle joue deux rôles importants:
- Donne naissance aux fissures qui seront élargies par les eaux météoriques ce qui amène à la formation du Karst.
- Donne naissance aux grands accidents (failles) qui vont jouer le rôle de drains d'eau en profondeur.

Cette tectonique est rencontrée dans la plaine de Bir Chouhada et Souk Namaane sous forme de horst et graben.

- **Tectonique souple:** Ce style concerne les roches incompetentes telles que les marnes et les marno-calcaires puisqu'elles donnent à ces roches des formes anticlinales et synclinales.

2.5- Formations aquifères:

A l'issue de la synthèse lithologique, nous pouvons sur la base des informations relatives à la nature lithologique des terrains et des coupes de forages distinguer les formations susceptibles d'être aquifères. Dans notre secteur d'étude on note la présence des ensembles réservoirs suivants:

- **Les formations de recouvrement:**

D'âge Mio quaternaire, formées de conglomérats, d'alluvions et de calcaires lacustres, ces formations constituent un ensemble réservoir important qui repose par endroit directement sur l'ensemble réservoir des dépôts carbonatés du Jurassique et du Crétacé inférieur. Les deux ensembles sont en plusieurs endroits séparés par des niveaux argileux et marneux, ces derniers constituent le mur du réservoir mio-plio-quaternaire et le toit du réservoir des dépôts carbonatés jurassique et crétacé inférieur.

Cet aquifère est exploité par puits et forages peu profonds.

- **L'ensemble du réservoir des dépôts carbonatés:**

Les formations carbonatées de l'ensemble allochtone Sud Setifien telle que les formations du crétacé inférieur comme l'Aptien (calcaires) et le Barrémien (calcaires et dolomies).

Les formations carbonatées de l'ensemble parautochtone et autochtone Auresien telles que les formations du Crétacé comme le Cénomaniens, l'Aptien (calcaires) et le Barrémien (calcaires et dolomies). L'épaisseur totale est de 650 m et les formations du Jurassique, telles que celles rencontrées à une profondeur moyenne de 10 m sur les piémonts des massifs, et se trouvent à une grande profondeur au centre de la plaine.

On remarque qu'il s'agit d'un réservoir épais très étendu sous la couverture qui peut jouer un rôle régional. Il comprend des aquifères des deux grands ensembles structuraux, l'allochtone Sud Setifien et le parautochtone et autochtone Auresien qui sont en relation avec les aquifères du Nérétique Constantinois, soit directement, soit indirectement par les failles tangentiels et orthogonales majeures.

	Formation	Lithologie	Lieu d'affleurement et l'intérêt hydrogéologique
Quaternaire	Eboulis de pente	Eboulis	Pointe sud du Djebel Hamouda Leur position topographique ne permet de les exploiter
	Sol de Sebkha		Chotts Tinsilt, sebkhat Ez Zemoul et Taricht Teniet Saïda.
	Limons salés périodiquement inondés	Limons	Bordent le Chott Tinsilt et la sebkhat Ez Zemoul.
	Sols salés anciens	Sols hydromorphes salés	
	Terres arables, formations de pente, alluvions anciennes et Quaternaires indéterminées	Limons et graviers sur lesquels se sont installés des sols bruns	Ils forment un aquifère très exploités par des puits de grand diamètre dans la région de Souk Naamane, Bir Chouhada et Ouled Zouai. Ces fournissent en moyenne des débits variables de 2 à 4l/s et rare sont ceux qui s'assèchent en étiage
	Glacis polygéniques	Matériel élastique très fragmenté devenant plus anguleux et plus grossier au voisinage des reliefs	Au voisinage des grands reliefs crétacés. Il est peu exploité par des puits artisanaux en raison de la dureté de calcaire. par contre il est exploité par de nombreux forages au NE de Bir Chouhada.
	Villafranchien		Douar Marouna

Miocène	Mio-Pliocène continental	Conglomérat souvent mal cimenté jaunâtre ou rose argiles jaunâtres sableuses et calcaires lacustres mal stratifiés rosâtres ou blancs	Douar Marouna à l'Est de Bir chouhada et dans les Monts d'Ain Yagout
Nappe Nérétique constantinoise	Aptien	Calcaires sombres en bancs réguliers de nature micritique	Mechtat el Hemchir Djebel Guelaat Ouled Sellem.
Ensemble Allochtone Sud- Sétifien	Aptien	Calcaires massifs à patine gris-bleu à Miliolidés	Djebel Hamouda.
	Barrémien- Aptien	Calcaire compact à caussure blanc mamoréenne	
	Barrémien	Calcaires roux oolitiques Grès roux Calcaires lumachelliques Calcaires rognonneux intercalations de marnes sableuses ou argileuses grises ou gris-vert.	Djebel Guedmane
	Néocomien Barrémien	Calcaire dolomitique avec à sa base un ensemble de grosses barres de calcaires roux oolitiques ou graveleux à intercalations de dolomies grises	Kef Guessaa du Djebel Hamouda Djebel Guedmane
	Jurassique supérieur	Calcaires massifs fins Calcaires massifs	Djebel Guedmane Teniet Saïda Djebel Merzguène
	Miocène	Conglomerats rubéfies polygéniques discordants Calcaires gréseux roux glauconieux et phosphatés	Affleurement adjacent au Trias des Lacs. Sur le bord Nord de la Sebket Ez Zemoul
Parautochtone	Céniacien	Marnes grises	Au Nord des Lacs sous les encroûtements villafranchiens ou le Quaternaire
Et Autochton	Turonien	Marnes Biomicrorites glauconieuses Calcaires massifs beiges	Au Nord de la Sebket Ez Zemoul
Aurésiens	Cénomanién supérieur et Turonien basal	Alternances de marnes grises et de calcaires bruns en gros bancs	Au Nord de sebkhat Ez Zemoul
	Cénomanién	Alternances de marnes grises et de calcaires massifs	Sebkhat Ez Zemoul
	Albien	Grès gris ou brun clair à inter lits marno-gréseux Alternances de marnes verdâtres et de grès bruns, recouvertes par un niveau de grès ferrugineux un peu noduleux ou bréchoïde Marnes grises	A la base de la série renversée du Djebel Tarbennt et sur le flanc Nord du pli déversé d'Ain Yagout au Djebel Hanout Kebir
	Aptien calcaire	Calcaires riches en Miliodés Bancs dolomitiques ocre jaune Intercalations d'oosparites bioclastiques brunes	Arête Nord du Djebel Tarbennt le Djebel Houia, l'arête nord du Djebel Azem et les premières pentes du Djebel Hanout Kebir. Constituer un Aquifère à perméabilité de fissure qu'il est possible d'exploiter par des forages près des Douars El Hanchir
	Aptien marneux	Marnes de 70à80m d'épaisseur avec à la base quelques intercalations gréseuses et de marno-calcaires noduleux	
	Barrémien gréseux	Grès à intercalations dolomitiques ou	Peut être atteint des forages

		biosparitiques de 200 à 250m d'épaisseur	profonds sur le versant Nord du Djebel Tarbenet. Son faciès griso-calcaires permet de supposer un aquifère intéressant
	Barrémien calcaro-dolomitique	Calcaire dolomitiques avec intercalations argileuses ou argilosilteuses et de petits niveaux de grès	
	Crétacé basal	Argile pélique (800m écrasée et schistosée)	Djebel Tarbennt (au Nord-Est de Ain Yagout) Au Nord du Djebel Tournbait Douar Ouled Eoudjemaa
	Berriasien et Valanginien	Marnes verdâtres à intercalations grés quartzitiques roux et de calcaires micritiques	Rass Tarbennt
	Jurassique calcaire	Marnes rosées et jaunes qui alternent avec des petits bancs de micrite écrasée (60m) Micrites (50m) Brèches intra-formationnelles	Flanc Nord de l'anticlinal du Djebel Toumbait
	Jurassique marno-calcaires indifférencié	Calcaires écrasés (50m) Marno-calcaires rosés et jaunes écrasés	Djebel Tarbennt
	Jurassique moyen	Calcaires à silex à pâte beige ou jaunâtre (40m) Sileux rougeâtres ou verdâtres au sommet Calcaires gris clair à schistosité à la base	Flanc Nord de l'anticlinal du Djebel Toumbat Djebel Tarbennt
	Marnes écrasées indifférenciées	Marnes schistosées	Djebel Tarbennt
	Lias supérieur marneux	Hard-ground a empreintes d'Ammonites Marno-calcaires et des marnes calcaires à débit Marnes esquilleuses gris clair à schistosité (25m)	Flanc Nord de l'anticlinal du Djebel Toumbait
	Lias massif calcaro-dolomitique	Calcaire dolomitique sombre (400m) Intercalations de calcaires marmoréens à Algues	Anticlinal du Djebel Toumbait, les hauteurs du Rass Tarbennt et du Djebel Tarbennt Shir Prés d'Ain Yagout
	Trias Exotique ou Extrusif	Argiles bariolées écrasées, lardées de masses gypseuses bréchiques ophite	

Figure N°9 : Log litho stratigraphique Synthétique

Conclusion :

Les grands massifs montagneux de la région d'étude sont principalement constitués de formations rocheuses à dominante carbonatée et formant une série lithologique continue de Lias au Crétacé. Ces formations ont subi différentes phases de plissement notamment au cours de l'Eocène et qui s'étend jusqu'au Pliocène. Ces plissements sont surtout formés selon des axes Nord-Est Sud-Ouest, de même que les failles qui les accompagnent.

Les vastes étendues rencontrées entre les massifs montagneux, sont constituées par des accumulations en surface de formations postérieures au Crétacé supérieur.

Géométrie et structure des aquifères:

L'étude de la structure et de la géométrie des aquifères définis ci-dessus se fera par l'interprétation des résultats de l'étude géophysique et des colonnes stratigraphiques des forages.

Apport de l'étude géophysique:**1- Introduction:**

Cette synthèse des travaux géophysiques est établie dans le but de connaître la structure et la géométrie des ensembles géologiques connus pour leurs caractéristiques aquifères. De plus, nous tenterons par l'interprétation des données des forages récents de préciser la cohérence des résultats géo électriques avec ceux des coupes lithologiques. Il s'agit là, du seul élément d'information, à défaut des données brutes des SEV, que nous pouvons exploiter pour tenter de réinterpréter cette étude géophysique.

En effet, une étude par prospection géophysique a été effectuée dans la haute plaine de Bir Chouhada et Souk Naamane; elle a été réalisée par la compagnie générale de géophysique suite à la demande de la direction de l'hydraulique et de l'équipement rural ou deux prospections électriques ont été faites :

- La première en 1961, qui concerne : l'étude structurale par prospection électrique de la haute plaine de Bir Chouhada (Levasseur) et Souk Naamane (Rouget de l'Isle) (sur les flans Nord de Djebel Guedmane.)
- La deuxième en 1969 et couvre la partie sud de Djebel Guedmane et Tizourit dont le but et la : prospection géophysique des chotts Gaine et Saboune et de la plaine d'El Madher.

2-Etude structurale par prospection électrique de la haute plaine de Bir Chouhada(Levasseur) et Souk Naamane (Rouget de l'Isle):

La superficie de la zone prospectée est d'environ de 120 km². Elle comporte 219 sondages électriques avec une longueur de ligne AB atteignant 8000 m. Le programme initial comporté l'exécution de 07 profils de sondages électriques dans la zone de Bir Chouhada et de 05 profils dans la zone de Souk Naamane, par suite, un profil intercalaire et d'autre prolongés, de manière à réunir les deux zones. Généralement, ils sont désignés par les lettres A. B. C. D.E.F.G. H. I.J. K.L.M.N et P. l'azimut est en général Nord 163 grades Est avec un espacement de 1000 m à 1500 m. Sur chaque profil, les sondages électriques sont équidistants d'environ 500 m et parfois de 1000 m.

Le but de cette prospection est de déterminer l'allure du toit des calcaires et des dolomies du Crétacé inférieur sous le Crétacé supérieur marneux, le Tertiaire marin et le Mio Pliocène continental.

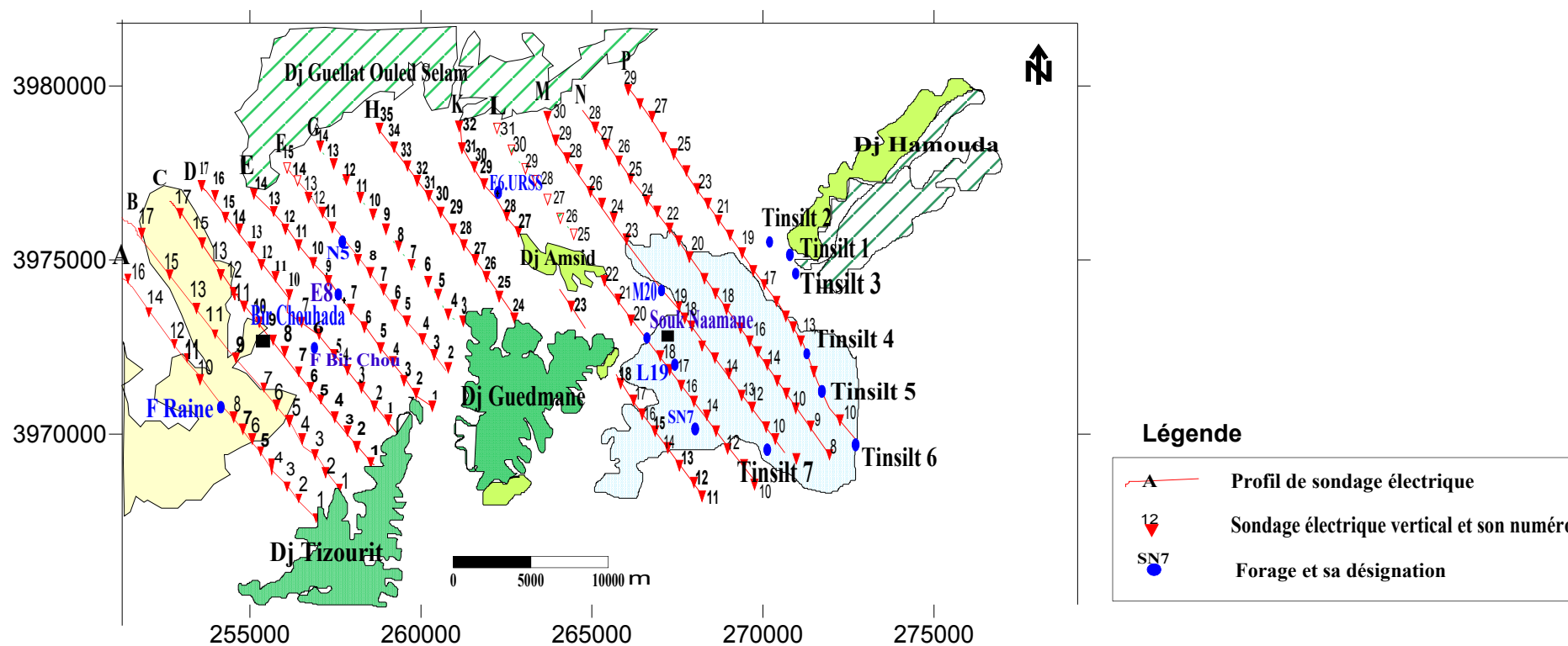


Figure N° 10 : Carte de situation des sondages électriques dans la région de Souk Naamane –Bir Chouhada

2 -1. Les sondages électriques d'étalonnage :

08 sondages électriques d'étalonnage ont été exécutés à l'endroit des forages existants. Ses sondages ont permis de comparer les formations qui existent et leurs résistivités en $\Omega.m$.

Les caractéristiques de ces forages sont compilées dans le tableau suivant:

Forages	X (UTM)	Y (UTM)	Formation captée
Tinsilt N2	837.25	296.6	Mio-Plio-Quaternaire
TinsiltN3	837.9	295.8	Mio-Plio-Quaternaire et Crétacé inférieur
Bir Chouhada N1	824.9	294.27	Crétacé inférieur
Tinsilt N4	838.5	293.35	Mio-Plio-Quaternaire et Crétacé supérieur
TinsiltN5	838.85	292.3	Mio-Plio-Quaternaire
Tinsilt N6	839.6	291.4	Mio-Plio-Quaternaire
TinsiltN7	837.2	291.4	Mio-Plio-Quaternaire et Crétacé inférieur

Tableau N°1 : Caractéristiques des forages utilisés pour les sondages étalons

Les sondages électriques étalons réalisés au voisinage de ces forages ont permis une corrélation entre les données géo électriques et lithologiques.

Comme le montrent les tableaux suivants:

Profondeur en (m)	Nature lithologique	Résistivité en ohm-m
0-9.50	Argile et galets	30
9.5-23	Calcaire	>100
23-38	Grès	>100
38-66	Marnes et marno-calcaires	<100
66-73	Calcaire marneux	100

TableauN°2 : Etalonnage au voisinage du forage Tinsilt N°3

Profondeur en (m)	Nature lithologique	Résistivité en ohm-m
0-16	Terres et argiles	45
16-40	Marnes et calcaires lacustres	20
40-57	Calcaire sub-récifals	100

Tableau N°3: Etalonnage au voisinage du forage Bir Chouhada N°1

Forages	Nature lithologique	Résistivité en ohm-m
Tinsilt N°5 et 6	Calcaires lacustres (eau chargée à 4g/l)	15
Tinsilt N°7	Calcaires lacustres (eau douce)	40

Tableau N°4 : Etalonnage au voisinage des forages Tinsilt N° 5,6 et 7

Les forages Tinsilt N°3 et Bir Chouhada N°1 sont les seuls à atteindre les calcaires du Crétacé inférieur respectivement à 9.50m et 39.60 m.

Le forage Tinsilt N°4 a atteint les marnes noires du Crétacé supérieur à 152 m de profondeur après avoir traversé des marnes sableuses contenant de minces niveaux de conglomérats et de calcaires lacustres du Mio-Pliocène.

Le forage Tinsilt N°5,6 et 7 ont été arrêtés respectivement à 100, 92,30 et 98 m de profondeur sans avoir atteint la base du Mio-Pliocène.

Le forage Tinsilt N°2 de 103,50 m de profondeur a atteint les marnes du Miocène inférieur marin, qui sont masquées par une brèche calcaire à ciment marneux.

D'autre part, le forage de Bir Raiane a été arrêté à 180 m dans des marnes gypseuses du Miocène supérieur ou du Pliocène représentant un faciès évaporitique.

2-2- Utilisation et exploitation des données de forages récents :

Les logs lithologiques des forages récents ont été projetés sur les coupes géo électriques. Cette corrélation nous a permis de discuter la validité de l'étude sur toute la région. Les forages utilisés sont au nombre de 07 et leurs caractéristiques sont regroupées dans le tableau suivant :

Forages	X	Y	Prof	Année	Formation captée
L19	833.2	294.8	80	1988	Mio-Plio-Quaternaire
M20	833.7	296.4	60	1990	Mio-Plio-Quaternaire
E8	825.5	295.4	150	1993	Mio-Plio-Quaternaire et Crétacé inférieur
F6.URSS	829.7	297.7	99	1965	Mio-Plio-Quaternaire et Crétacé inférieur
SN.7	835.2	292.5	130	1983	Mio-Plio-Quaternaire
N5	825.6	296.7	105	1965	Mio-Plio-Quaternaire
SN.7.URSS	834.4	293.5	180	1967	Mio-Plio-Quaternaire

Tableau N°5 : Caractéristiques des nouveaux forages

A la lecture des coupes lithologiques des forages, il convient alors d'attribuer les valeurs de résistivités suivantes :

Forages	Nature lithologique	Sondages correspondants	Résistivité en ohm-m
L19	5-80m : conglomérats à éléments calcaires	L19	25
M20	8-37m : conglomérats à éléments calcaires 37-150m : calcaires lacustres	M20	30 15
E8	00-18m : Argiles, graviers et calcaires. 35-150m : calcaires (crétacé inf).	E8	30 100
F6.URSS	00-18m : Argiles, poudingues et gravies 18-99m : Calcaires fissurés et intercalations marneuses	K29 K28	80
SN.7	00-22m : argiles et marnes 22-130m : marnes et calcaires	L14	10 30
N5	00-32m : argiles, débris de calcaires et calcaires 32-105m : calcaires fissurées	F10	20 100
SN.7.URSS	00-17m : argile 17-180m : marnes et bancs de calcaires.	L17	10 40

Tableau N°6 : Étalonnages à partir des forages nouveaux

2-3. Présentation et interprétation des résultats de la prospection électrique en exploitant les données de forages récents :

Les nouvelles données nous conduisent à déduire ce qui suit :

- Le substratum résistant, correspondant au Crétacé inférieur, n'a été atteint qu'au voisinage des affleurements et à de faibles profondeurs au voisinage de Draa El

Gueblia et au pied des djebels Tizourit, Guedmane, Amsid et Snobra ou le substratum n'est pas profond.

- La résistivité réelle du Crétacé supérieur et du Miocène n'a pu être déterminée avec précision en raison de la similitude des faciès marneux.
- Le remplissage continental Mio-Pliocène peut présenter des récessivités variables liées non seulement aux variations de faciès mais également à la teneur en sels dissous.
- L'exploitation des données récentes des forages et leur report sur les coupes géo électriques montre une bonne corrélation entre les données électriques et géologiques.

2-4- Présentation et interprétation des coupes géoélectriques :

L'interprétation des coupes des sondages électriques permet de synthétiser les éléments suivants :

- La plupart des diagrammes des S.E situés au voisinage de Draa El Gueblia et au pied des djebels Tizourit, Guedmane, Amsid et Snobra sont comparables aux diagrammes correspondants aux forages Tinsilt N° 3 et Bir Chouhada N°1 .
- Les diagrammes de tous les S.E situés vers l'extrémité sud-est des profils K, L, M, N et P, ainsi que de certains SE situés vers l'extrémité nord-ouest des profils N et P, sont comparables aux diagrammes correspondants aux forages Tinsilt N°4, 5,6 et 7.
- Les diagrammes des SE des profils A, B et C, situés au Nord-Ouest des SE A4, B4, et C4, sont tous comparables au diagramme étalon A9, de Bir Raiane.
- Les diagrammes des autres SE présentent tous une remontée finale plus ou moins tardive avec un recouvrement dont la résistivité peut varier de 5 à 30 ohm-m. Ils sont repartis vers la partie Nord-Ouest des profils E, F, G, H, K, L et M.
- La résistivité du remplissage de la fosse située à l'Ouest du profil D atteint une valeur très basse 1.5ohm-m et l'horizon résistant sous-jacent présente une remontée très accentuée à l'aplomb des SE A8 et A9.
- Nous retrouvons du remplissage à 9 ohm-m sur les profils G et H dont la partie médiane paraît effondrée avec une apparition brusque d'un horizon résistant masqué par les terrains superficiels, ainsi que du remplissage à 7ohm-m sur la partie nord-est des profils F, G, N et P.

- Les zones où le substratum est peu profond se retrouvent dans la partie médiane des profils D, C, et E, sur une grande partie du profil F, en plusieurs points des profils K, L et M, ainsi qu'au SE. P16, à l'extrémité du Djebel Snobra. La couverture présente toujours une résistivité égale ou supérieure à 10 ohm-m sauf au SE P 16 où on note une valeur extrêmement basse de 0.5 ohm-m dans la tranche des premiers mètres.

En fin l'analyse des données lithostratigraphiques récentes des forages et leur report sur les coupes géo électriques montre une bonne corrélation entre les données électriques et géo électriques.

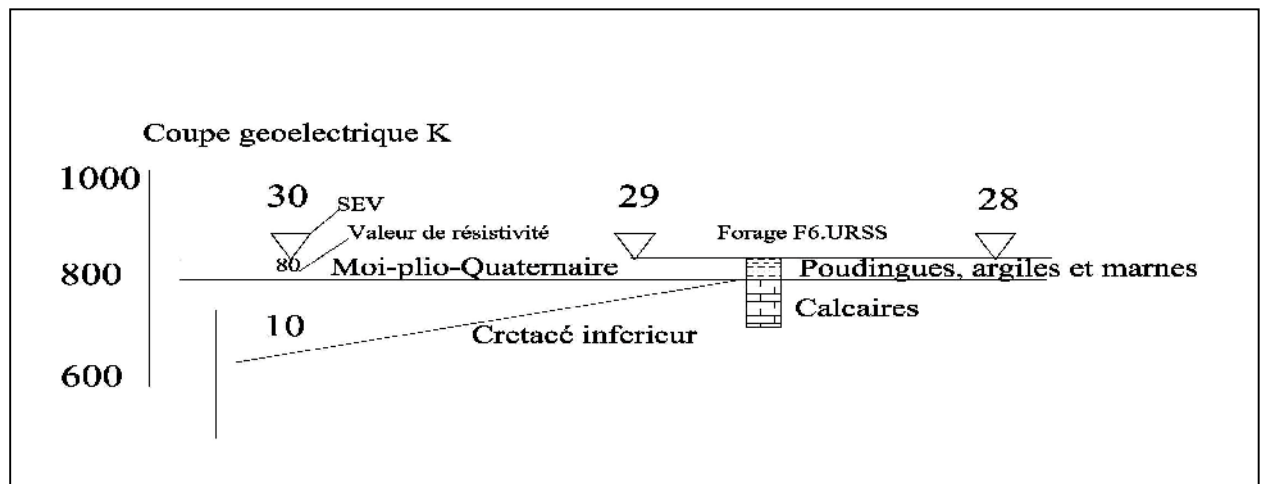


Figure N° 11 : Corrélation entre les données géo-électriques et lithologiques

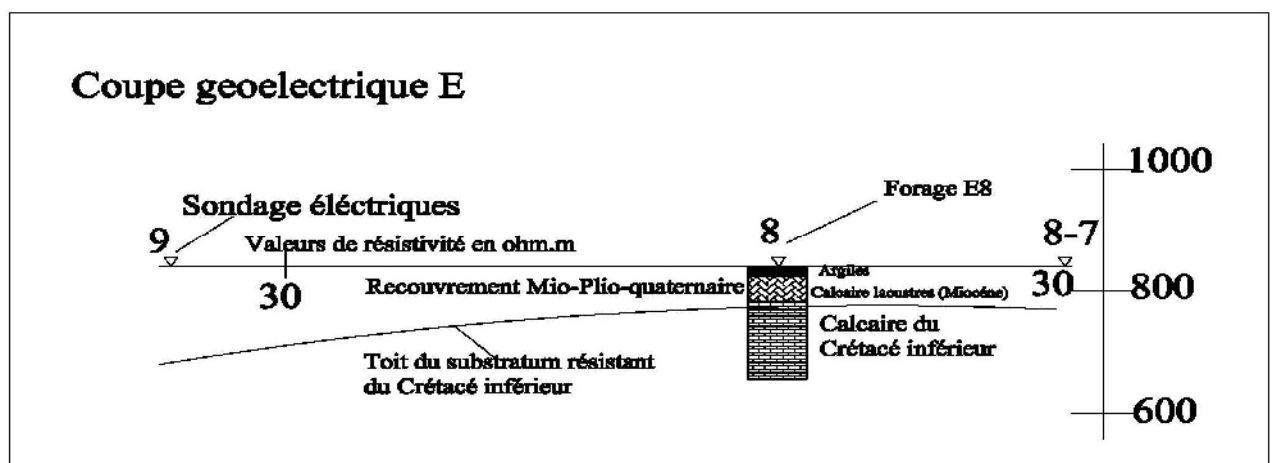


Figure N° 12 : Corrélation entre les données géo-électriques et lithologiques

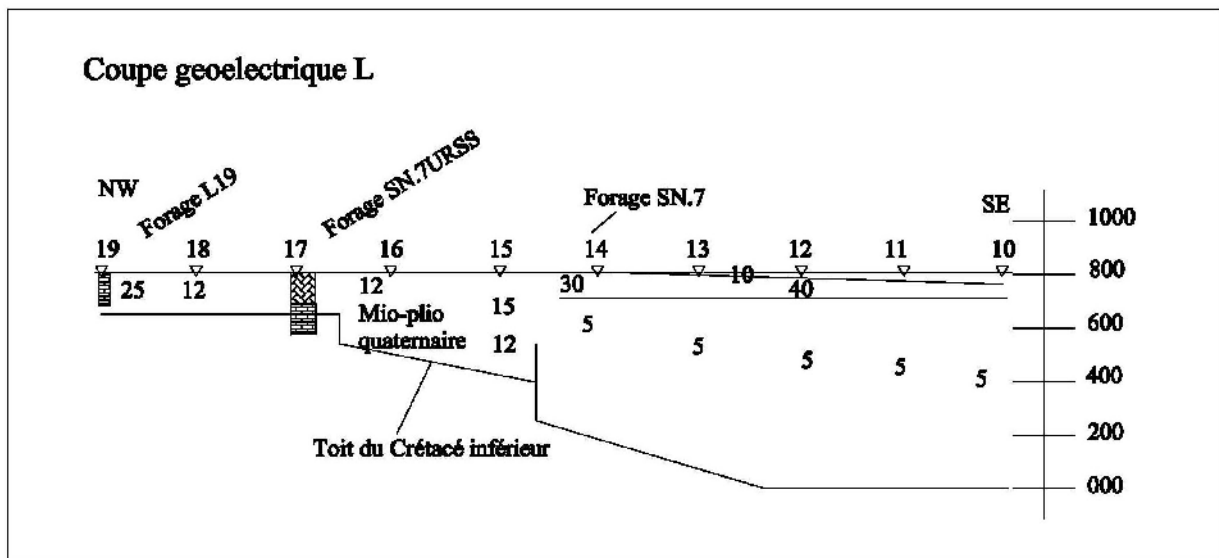


Figure N° 13 : Corrélation entre les données géo-électriques et lithologiques

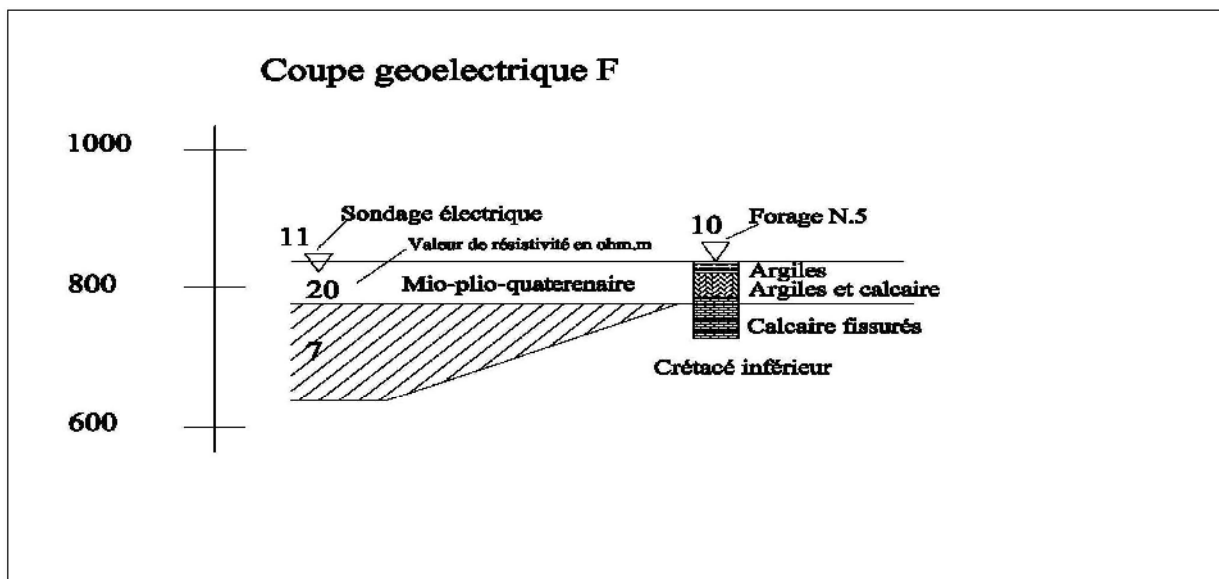


Figure N° 14 : Corrélation entre les données géo-électriques et lithologiques

2-5. Interprétation de la carte de la conductance totale:

La carte de la conductance totale a donné une idée valable sur l'extension du toit de substratum résistant, même si on ne connaît pas bien les valeurs des résistivités vraies. Elle a aussi déterminé les grandes unités structurales.

Les plages qui ont une conductance très élevée indiquent des fossés d'effondrement, les plages qui ont une conductance moyenne correspondent à des zones synclinales et les plages qui ont une conductance faible indiquent les zones où le substratum résistant est peu profond. Se sont des zones nettement précises sur la carte. Elles sont toutes autour des Djebels Amsid, Tizourit, Guedmane, Hamouda et l Taref, découvertes par les sondages suivants :

Sondages
A1 .A2.A3.
B1.B2.B3.
C1.C2.C3.
D1.D2.D3.D4.D5.D6.D7.D8.D9
E2.E3.E4.E5.E6.E7.E8.E9.E10.E11.E12.E13.E14
F2.F3.F4.F5.F6.F7.F8.F9.F10.F11.F12.F13.F14.F15
G3.G4.G5.G6
H24.H25
K (17, 33)
L (19, 30)
M(21, 29); N28; P16.

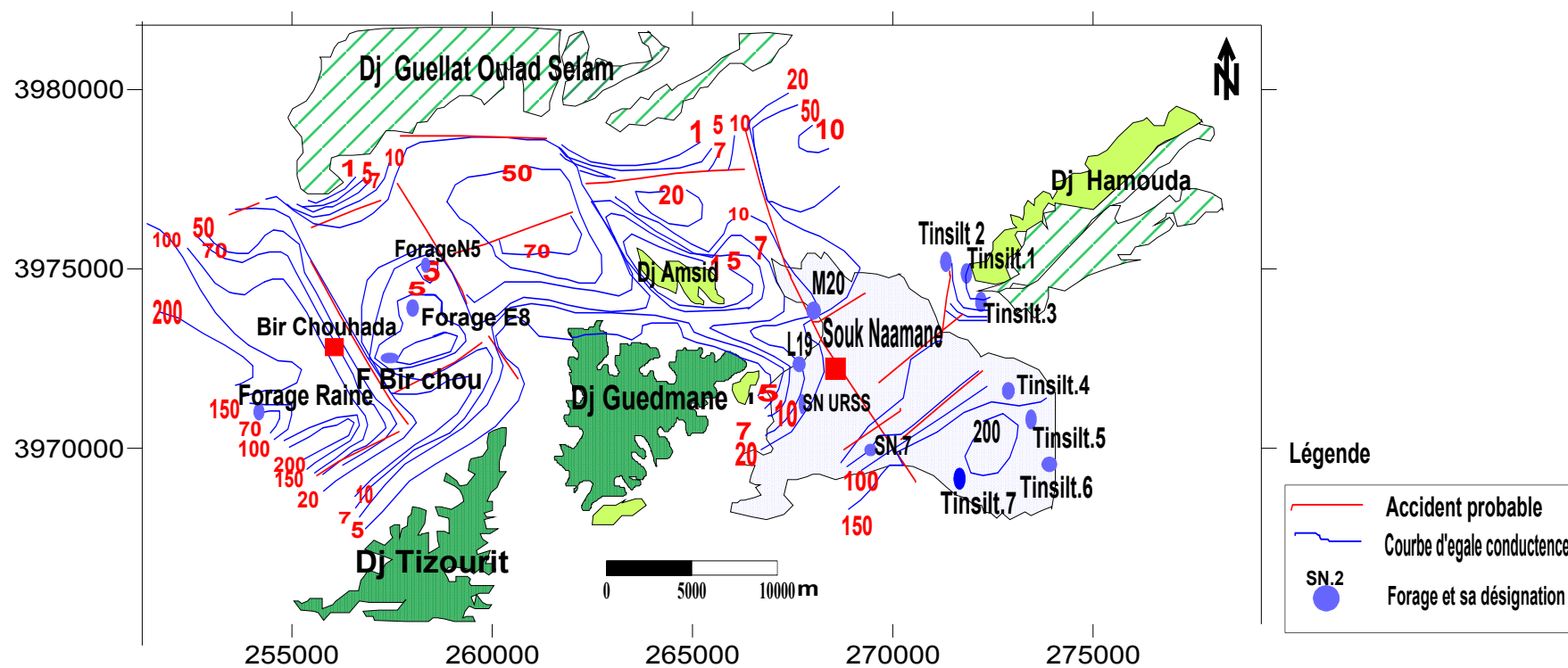


Figure N°15: Carte des Conductances totale de la région de Souk Naamane et de Bir Chouhada

3. Etude Géophysique des Chotts Saboune, Gadaine et de la plaine d'El Madher :

Cette prospection géophysique a couvert une partie de la zone d'étude, la région Sud - Est des Djebel Tizourit et Djebel Guedmane jusqu'au Chott Tinsilt, qui fut la partie orientale de la plaine de Gadaine.

Le cœur des anticlinaux de Tizourit, Guedmane, Amsid est principalement constitué par des formations calcaires et dolomitiques de Crétacé inférieur, le Cénomaniens, épais et en majorité marneux constitue le cœur du synclinal compris entre les Djebel Tizourit, Guedmane et Tarbent et se prolonge jusqu'au Chott Tinsilt.

3.1- Carte des résistivités ligne AB=1000 m:

Cette carte a été établie afin d'obtenir les zones où le recouvrement comporte des niveaux grossiers entre 100-300 ohm-m.

On note aussi bien la présence d'une large zone conductrice, zone allongée (NE-SW) et qui correspond aux chotts, aux sables argileux et aux graviers plio-quaternaires avec une résistivité comprise entre 5-30 ohm-m.

À la bordure on a des formations résistantes, notamment les calcaires cénomano-turonien, les conglomérats et les calcaires gréseux du Miocène.

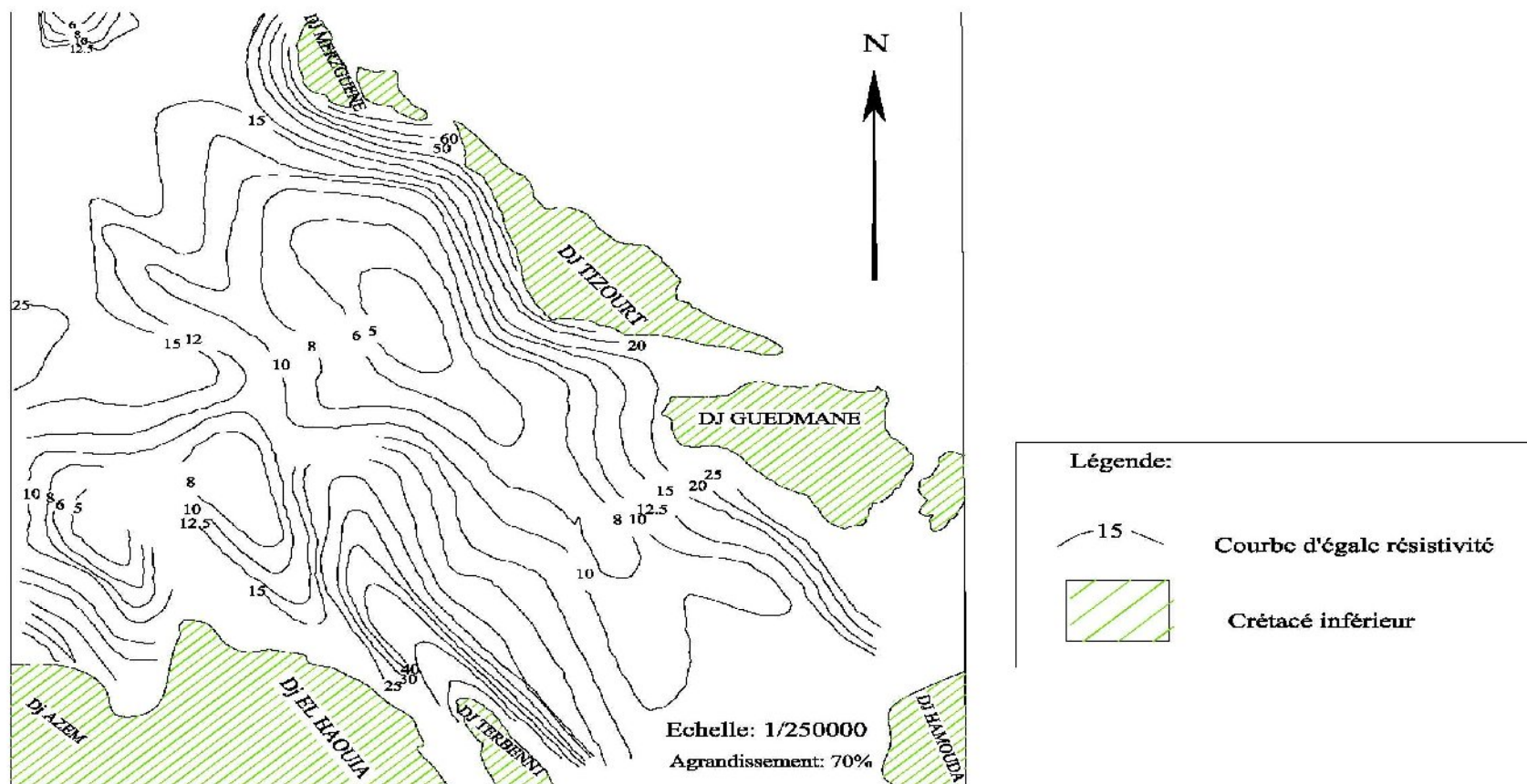


Figure N° 16 : Carte de résistivité AB =1000 m d'après CGG(1970)

3.2 Carte des résistivités ligne AB = 3000 m :

Elle permet de définir la répartition des formations résistantes et conductrices en profondeur (entre 400 et 800 m). Les grandes lignes structurales apparaissent. Il y a des zones où le substratum résistant est moins profond et apparaît nettement .

Ces formations résistantes peu profondes se poursuivent aux Djebels Tizourit, Guedmane sur un compartiment de 1 à 2 km de large et limité par le plongement de la faille majeure qui s'allonge du piedmont sud du Djebel Hamouda jusqu'à Djebel Mézeguène.

Au delà, le synclinal céno-manien se prolonge du NE au SW par une large plage de très basse résistivité de 4 km de large et probablement très épaisse, avec un remplissage marneux plus récent (Sénonien, Miocène).

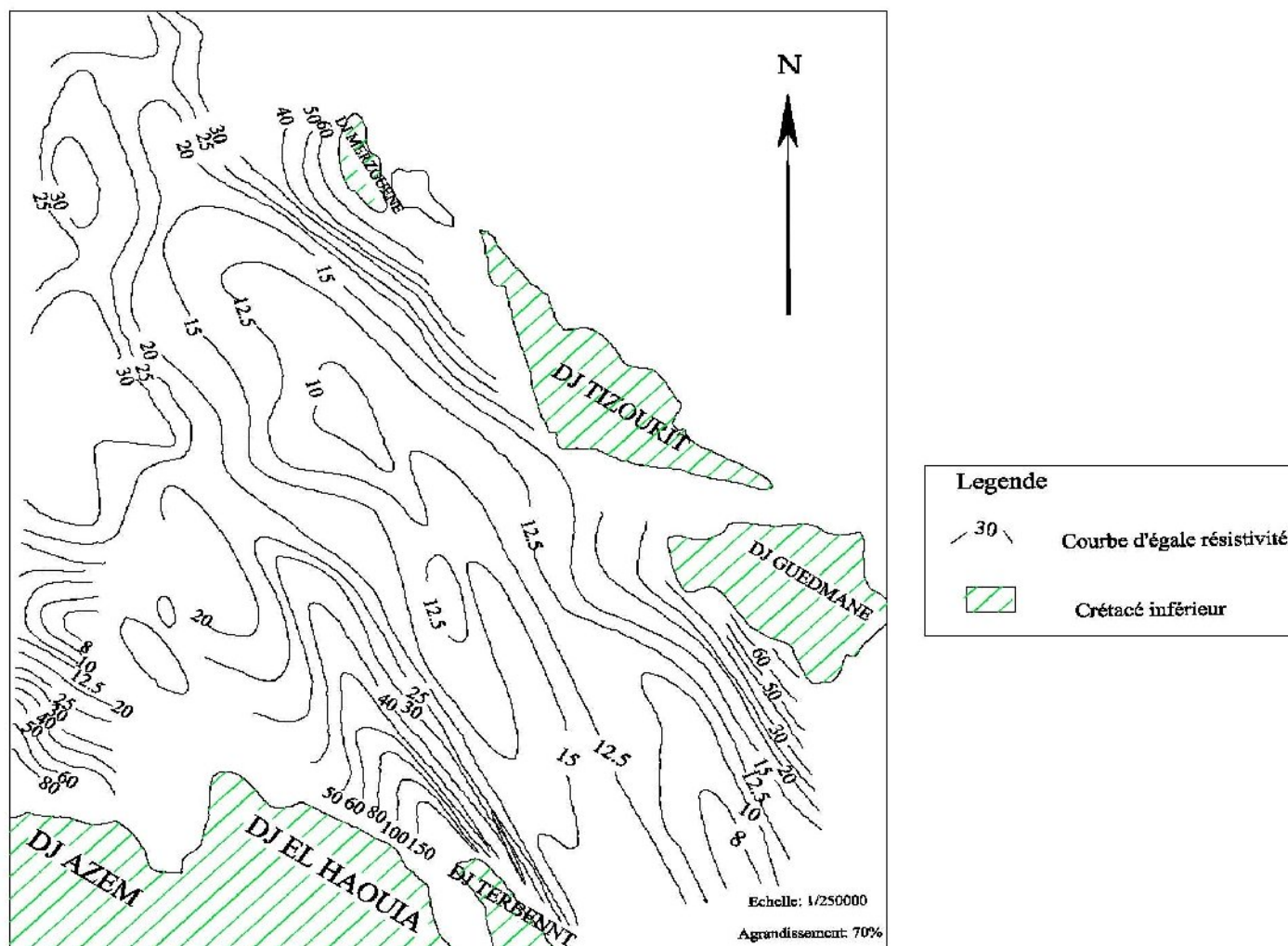


Figure N° 17 : Carte de résistivité AB =3000 m d'après CGG (1970)

3.3 Carte tectonique schématique :

La carte tectonique schématique de la zone prospectée confirme ce qui a été indiqué auparavant. La zone est formée de plusieurs compartiments, limités par des failles transversales et longitudinales, le même cas au Nord de la zone prospectée.

Elle montre les zones où le substratum résistant est moins profond aux alentours des anticlinaux de Guedmane, Amsid et Tizourit avec un soulèvement d'autres compartiments de Draa El Gueblia – Bir Chouhada et Amsid – Souk Naamane.

Cette carte montre aussi que les compartiments ciblés sont en liaison avec les massifs, car ce lien est très important pour l'alimentation de ses compartiments. Elle met le doute sur d'autres compartiments qui sont isolés au centre de ses hautes plaines où l'alimentation n'est pas sûre,

Car ils sont entourés par des failles de tous les cotés et aussi la profondeur des aquifères carbonatés.

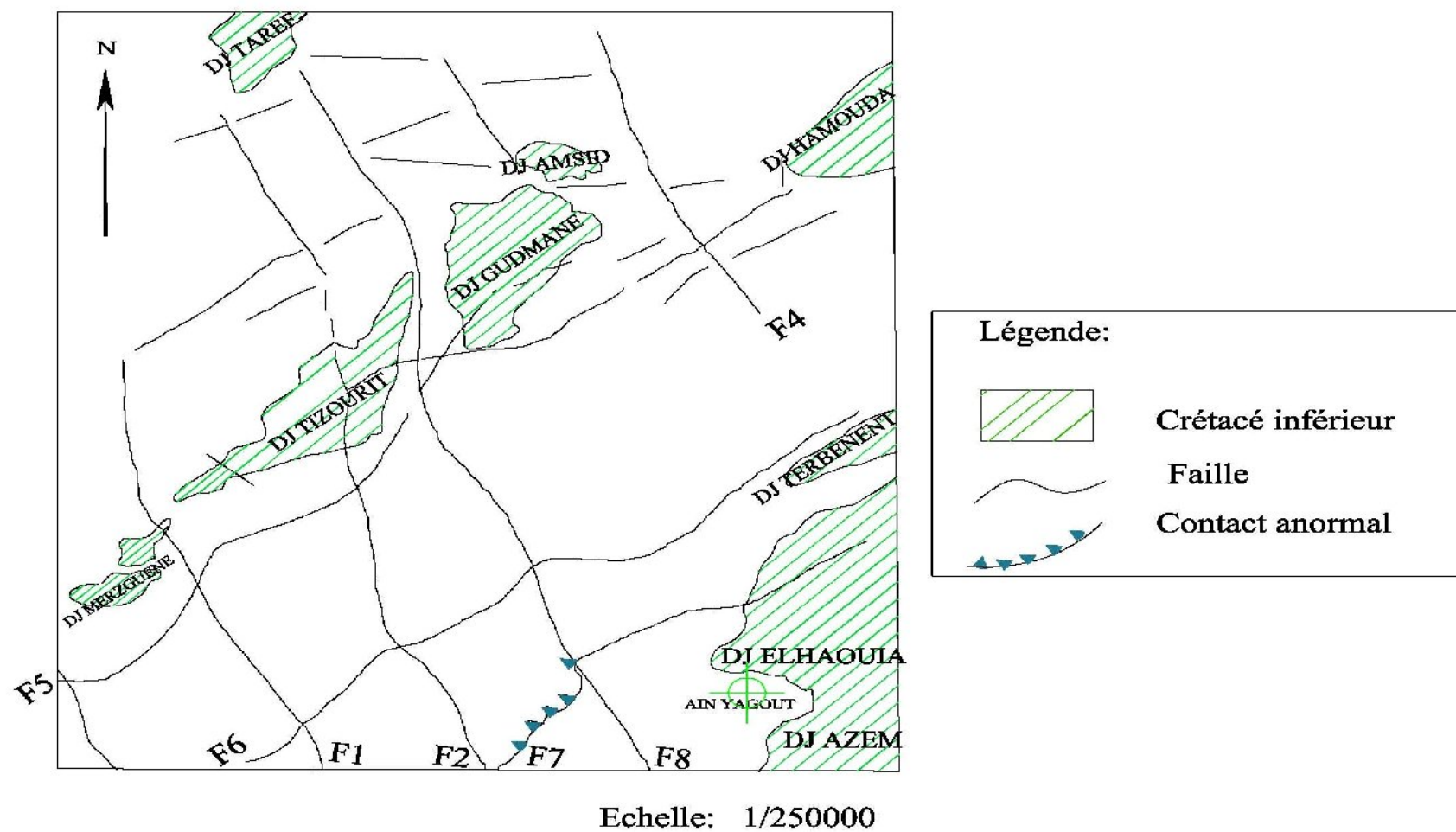


Figure N° 18 : Carte Tectonique d'après CGG (1970)

4. Résultats obtenus de point de vue hydrogéologique :**4.1. Nappe des calcaires du Crétacé inférieur :**

La série de Djebel Guedmane qui porte le numéro N° 10221 dans le permis d'Ain Beida, qui va du Malm à l'Aptien, est entièrement calcaire et dolomitique. Elle ne comporte aucun banc marneux. Elle est particulièrement puissante (620 m) et affleure sur une grande partie dans les hautes plaines (Djebel Guedmane, Djebel Amsid, Djebel Tizourit, Djebel Hamouda). L'Excellente potentialité de cette nappe est confirmée par les forages actuels de Bir Chouhada E8 (30 l/s), Souk Naamane K18 (20l/s).

En outre, il y a lieu de retenir que le degré élevé de fissuration des calcaires du Crétacé inférieur pourrait être lié à la proximité des grands accidents transversaux et longitudinaux qui ont affecté la région.

De ce fait, on peut obtenir les mêmes résultats, en plaçant nos forages aux endroits qu'on a indiqués auparavant dans la carte.

4.2. La nappe des calcaires lacustres du Mio-Plicène :

Les calcaires lacustres d'âge mio-pliocène affleurent surtout dans la région est de Bir Chouhada, avec une grande superficie. La nappe peut être en charge, comme au Nord Est du chott Tinsilt. Les calcaires lacustres peuvent être détectés par la prospection géophysique lorsqu'ils sont suffisamment résistants, comme dans les sondages électriques N5 et N6.

Dans la zone sud ouest du chott Tinsilt, les calcaires du Crétacé sont profonds, ce qui donne à la nappe des calcaires lacustres un rôle crucial pour l'exploitation dans cette zone.

Les forages réalisés par l'ANRH – DRE en 1990 au Sud Ouest de la commune de Bir Chouhada, ont montrés l'intérêt attendu de cette nappe, un premier forage, à 6 km de Bir Chouhada a donné 17 l/s et un deuxième dans les mêmes formations a donné un débit de 5.5 l/s. L'épaisseur de l'aquifère est comprise entre 37 et 41 m.

Conclusion :

L'interprétation des deux études géophysiques, effectuées dans la plaine de Bir Chouhada-Souk Naaman, ont apporté des informations concernant l'ensemble des aquifères mio-plio-quaternaire et crétacé-jurassique.

Les formations de remplissage mio-plio-quaternaire correspondant aux conglomérats, calcaires lacustres, marnes et argiles.

Les formations carbonatées du Crétacé et du Jurassique constituent l'aquifère profond, il est facilement exploité près des massifs et sur les horsts.

Des failles, dont le rejet peut excéder 100 m, longent les plateformes peu profondes situées en avant des affleurements calcaires au Nord et au Sud, de la haute plaine de Bir Chouhada, ainsi que la bordure méridionale des deux horsts décelés sous la même haute plaine.

Par ailleurs les principaux résultats de cette synthèse géophysique qui a permis de bien illustrer la structure et la géométrie des ensembles aquifères exploitables dans la plaine de Bir Chouhada- Souk Naamane.

Introduction:

L'étude hydro climatologique est indispensable à l'établissement du bilan hydrologique qui conditionne le fonctionnement du système hydrogéologique.

L'étude est basée sur le traitement et l'analyse des paramètres climatiques, principalement la température et les précipitations, à ainsi que leur évolution dans le temps et dans l'espace durant une période d'observation donnée.

Dans cette étude, la période concernée est comprise entre 1984 et 2001.

La station climatologique qui a été prise en considération est celle d'AIN SKHOUNA, elle est située à 24 km au Sud de la région d'étude.

STATION	X	Y	Z	LONGITUDE	ATTITUDE
AIN SKHOUNA	832,300	274,200	831 m	6°22'	35°42'

La station pluviométrique, qui a été prise en considération, est celle de la station de Bir Chouhada en plein centre de la région .

STATION	X	Y	Z	LONGITUDE	ATTITUDE
BIR CHOUHADA	824,600	294,600	829 m	6°17'	35°53'

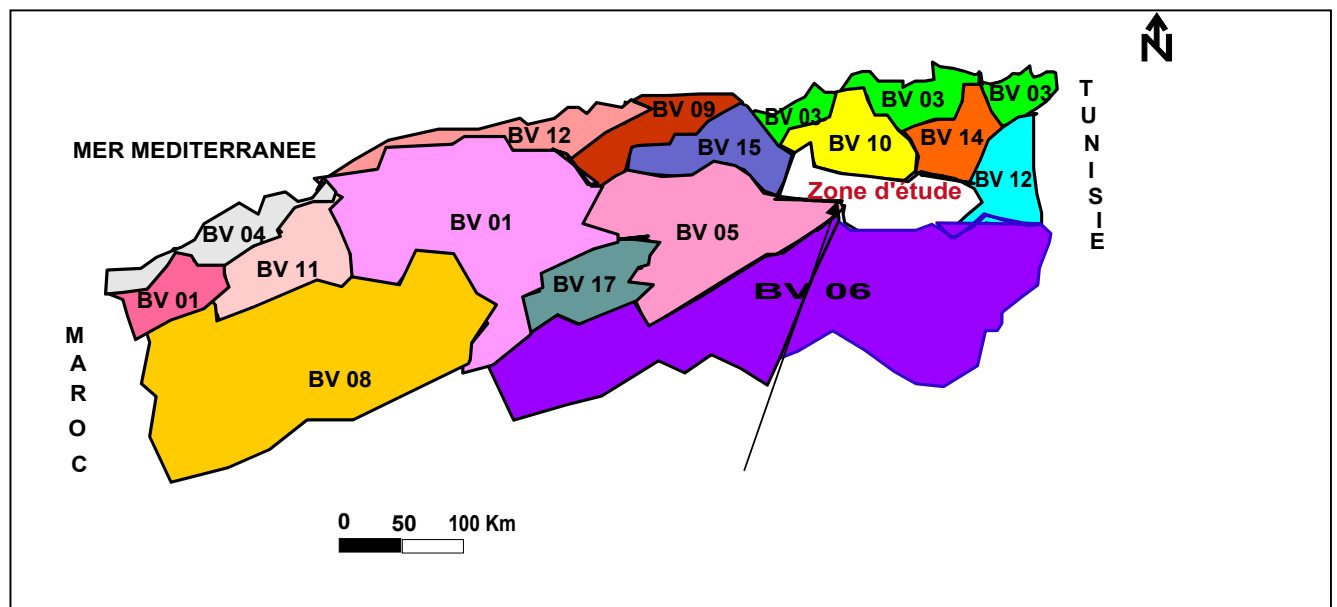
1-Cadre d'étude:

Figure N°19 : Répartition des bassins versants

La carte des bassins hydrologiques montre les limites des grands bassins hydrographiques de l'Algérie . La région de Bir Chouhada , Souk Naamane et Ouled

Zouai fait partie du bassin versant des hauts plateaux Constantinois N°07, (selon la Codification de l'ANRH). Sa superficie totale est de 9578 km². Le bassin N° 07 est subdivisé en sept sous bassin, la zone d'étude se localise dans le sous bassin N°03 et couvre une superficie de 530 km². Il est limitée au Nord par les monts des Djebels Taref , Guelat Ouled Sellam , Guerouaou et au Sud Est par les monts des Djebels Tarbent , Haouia , Hanout el Kébir. Le réseau hydrographique est constitué par des oueds temporaires à l' exemple de l'Oued Ben Zerhaib . Qui un bassin endoréique

2. Etude des paramètres hydroclimatologiques:

- **Les précipitations** : station pluviométrique de BIR CHOUHADA (code 070305)
Série récente (1984 - 2001).
- **Les températures** : station climatologique de AIN SKHOUNA (code 0703 nn)
Séries récente (1984 - 2001).

2-1-Les précipitations:

Elles représentent la totalité de la lame d'eau recueillie (pluies, neiges, gelée).

La pluviométrie de la zone d'étude est comprise entre 250 et 400 mm.

L'analyse des données recueillies, on a permis de tracer le graphique des hauteurs des précipitations moyennes mensuelles figure N°20 :

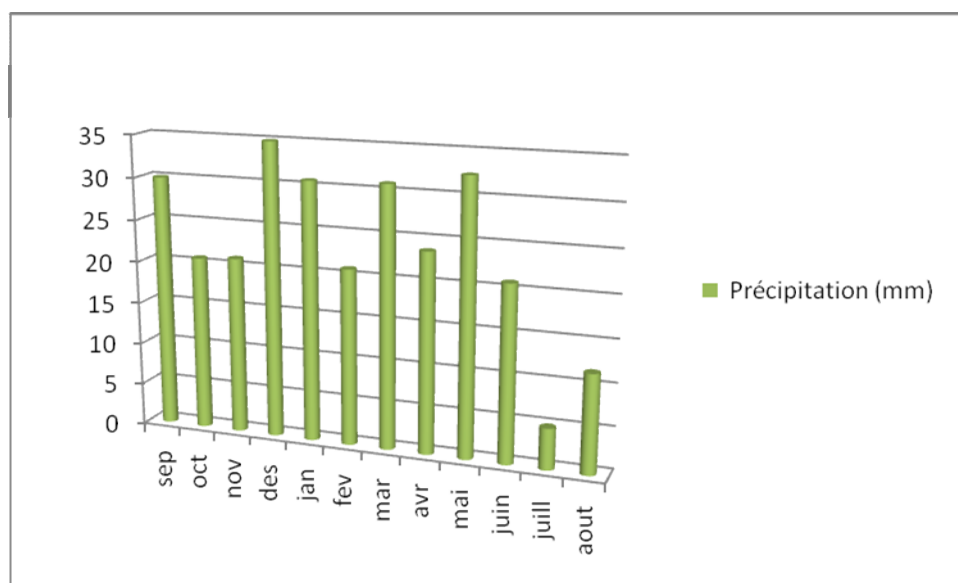


Figure N° 20: Variations mensuelles des précipitations 1984-2001 de la station de Bir Chouhada

Le mois le plus pluvieux est décembre avec 34.9 mm, le mois le plus sec est Juillet avec des précipitations de l'ordre de 4.9 mm.

Les précipitations moyennes annuelles pour la station de bir Chouhada sont de l'ordre de **282.53 mm**

- **La répartition des précipitations moyennes mensuelles :**

Le tableau ci-dessous montre une forte variabilité inter mensuelle des précipitations pour la station de Bir Chouhada. Les maximas des précipitations ont lieu en Janvier, Mars et Mai et les minimas sont observés en Juillet.

La saison la plus humide est l'hiver avec un pourcentage de 30.81% et la saison sèche est l'été avec un pourcentage de 13.29%. Le climat présente donc une saison relativement pluvieuse allongée qui comprend l'hiver et s'étale jusqu'à la fin du printemps. Quand à la saison sèche elle correspond à l'été.

Tableau N°7 Précipitations moyennes mensuelles (1984-2001) :

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	TOTAL (mm)
1984-2001	30	20.7	21	34.9	30.7	20.9	30.8	23.7	32.4	20.9	4.9	11.7	282.53
	71.7			86.5			86.9			37.5			
	%25.42			30.67%			30.81%			13.29%			

2-2-Les températures:

La température de l'air a une grande influence sur l'évapotranspiration qui favorise le déficit d'écoulement.

Les mesures de la température ont été effectuées à la station d'AIN SKHOUNA pour une période de 18 ans 1984-2001. Le graphique montre la variation moyenne mensuelle des températures.

Tableau N° 8 : Températures moyennes mensuelles à la station d'Ain Skhouna (1984-2001)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moye Ann
1984-2001	21.4	16.2	11	6.7	5.3	6.8	9.4	12.5	18	23.1	26.1	25.8	15.20

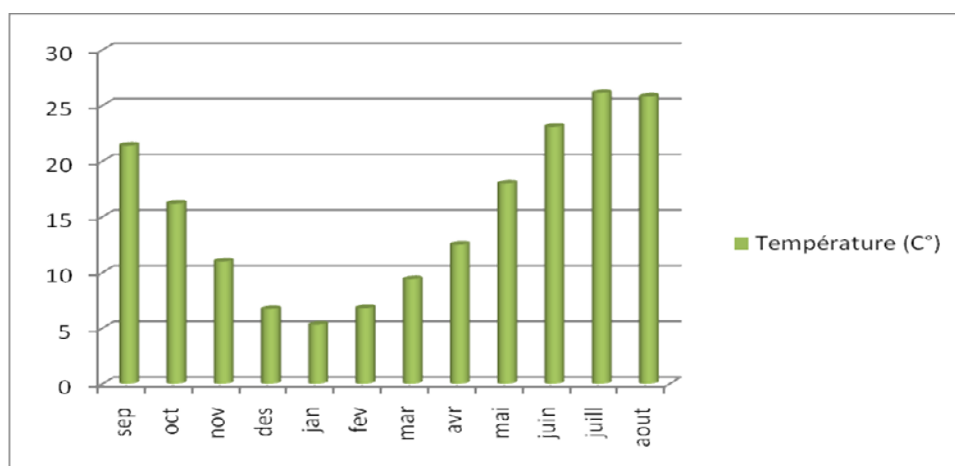


Figure N° 21 : Variations mensuelles des températures 1984-2001 de la station Ain Skhouna

La température moyenne annuelle est de l'ordre de 15.20 C°.

Le graphique des températures moyennes mensuelles montre nettement que le mois le plus chaud est le mois de juillet avec 26.1 C°, alors que le mois le plus froid est le mois de janvier avec une température de 5.3 C°

2.3 Autres paramètres :

Il y a d'autres indices qui sont susceptibles de donner une approche plus ou moins complète du climat de la région d'étude, et que nous exposerons ci-après.

2.3.1- indice de MARTONNE ou indice d'aridité :

En 1923, E. DE MARTONNE, se basant sur la distribution des précipitations et des températures a proposé de classer les stations d'observations selon un indice d'aridité (A):

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

P : Précipitations moyennes annuelles (282.53 mm).

T : Températures moyennes mensuelles (15.20 C°).

$$A = 11.21$$

Selon DE MARTONNE les stations qui ont un indice d'aridité compris entre 10-20 sont des stations à un climat semi - aride.

2.3.2 - Climagramme de L. EMBERGER :

Pour préciser les conditions climatiques de la région d'étude, on a utilisé le Climagramme de L.EMBERGER pour l'étude des climats méditerranéens. Le Climagramme comporte en ordonnée les valeurs du Q qui sont données par la relation suivante :

$$Q = \frac{P \cdot 2000}{(M + m)(M - m)}$$

Q : désigne le coefficient pluviométrique d'Emberger.

P : Précipitation moyenne annuelle en mm (282.53 mm).

M : moyenne des T maximales du mois le plus chaud (26.09 C°).

m : moyenne des T minimales du mois le plus froid (5.31 C°).

$$Q=47.09$$

La superposition des deux paramètres Q et T (min) sur l'abaque de L.EMBERGER, à permis la description du climat : le climat de la région est de type semi aride à hiver froid.

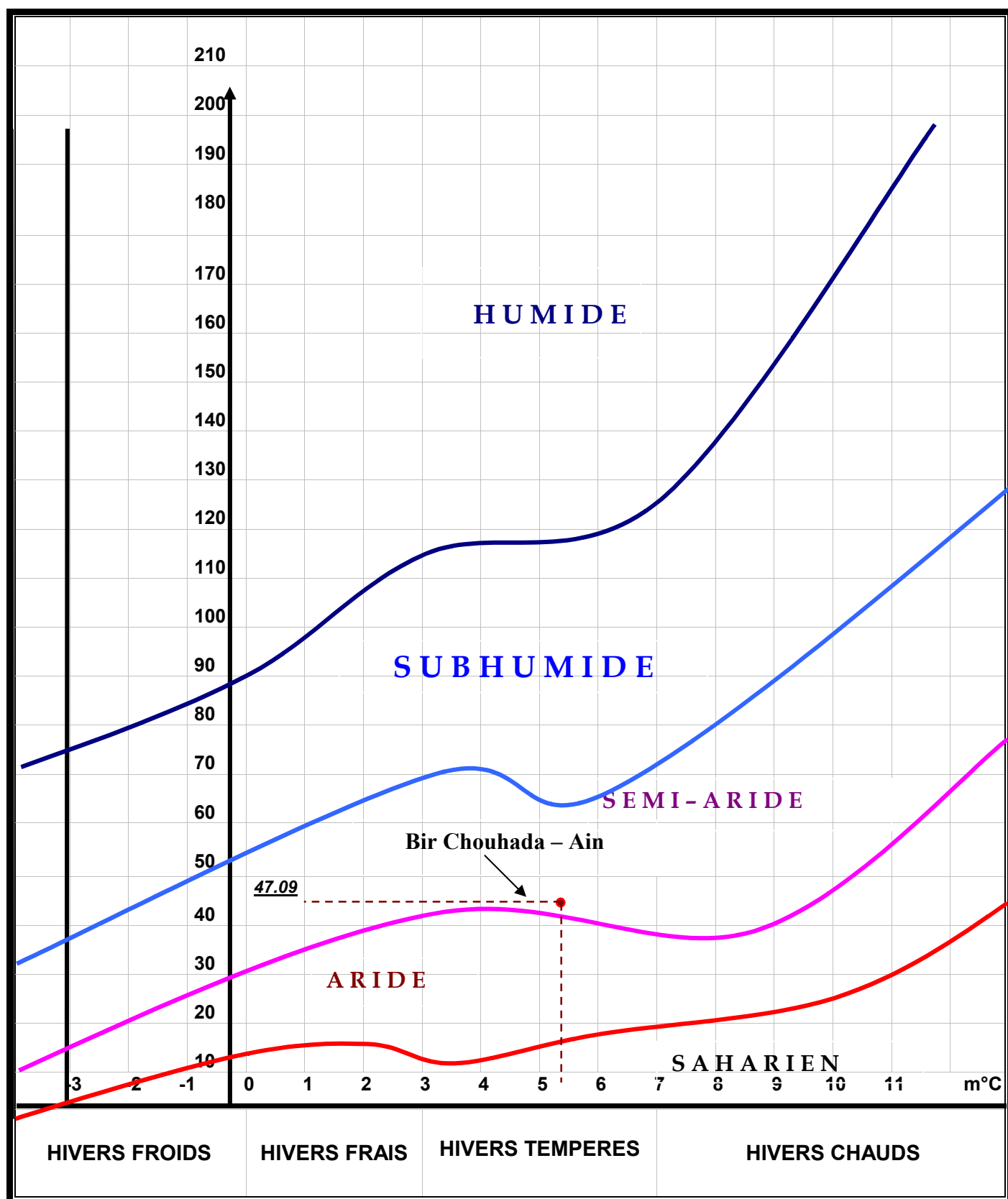


Figure N° 22: Diagramme Climagramme L. EMBERGER

3. Relation Température Pluies:

3.1. Diagramme Ombro-thérmométrique de GAUSSEN et BAGNOULS :

Selon la définition de GAUSSEN et BAGNOULS, une période sèche est celle pendant laquelle les précipitations totales du mois sont inférieures ou égales au double de la température du même mois : $P \leq 2 T$.

Cette relation, permet d'établir un diagramme Ombrothermique, sur lequel les précipitations sont portées sur une échelle double des températures. Le graphe obtenu à partir des données des deux stations (AIN SKHOUNA et BIR CHOUHADDA) met en évidence la période sèche. Cette dernière s'étend de la fin mai à la mi-octobre (05 mois).

La connaissance de cette période à une grande importance pour déterminer la période déficitaire en eaux.

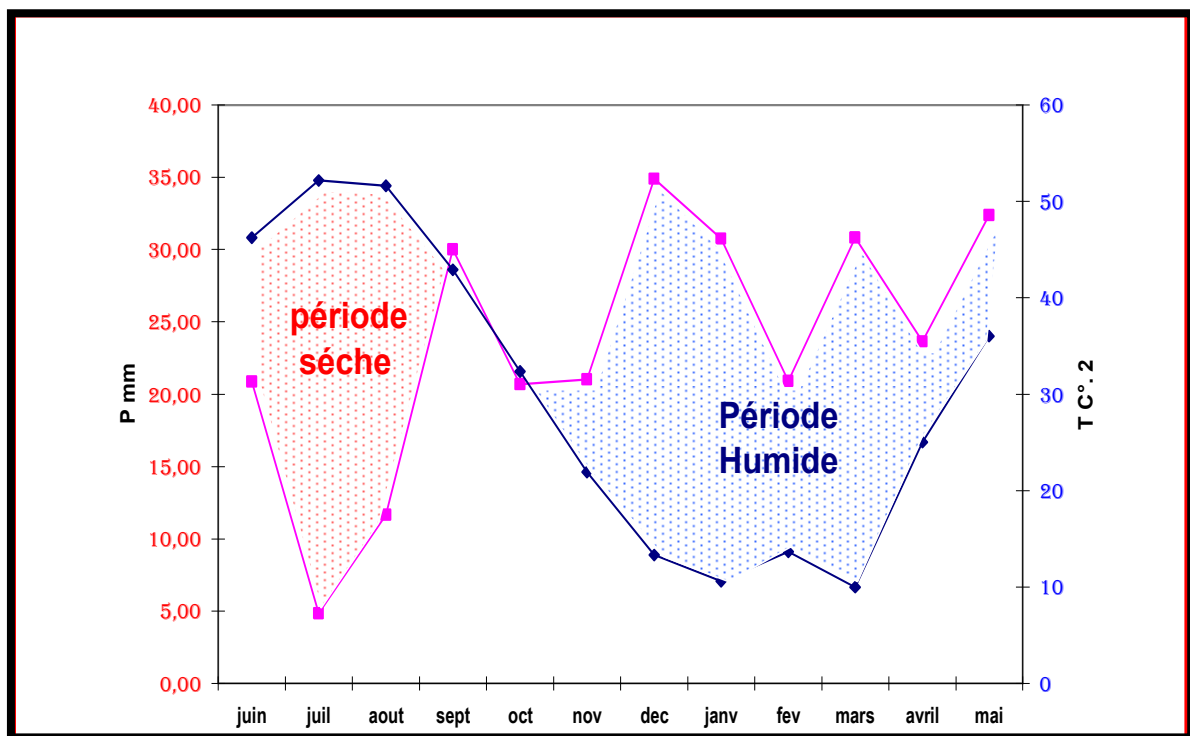


Figure N° 23 : diagramme Ombrothermique de H.Gaussen et F.Bagnouls

3.2 Méthode d'EUVERT (humidité du sol) :

Le rapport P / T établi mensuellement, permet de connaître l'évolution de l'humidité du sol. Il permet également de définir trois (03) types de régime :

- a- Régime très sec où le rapport P/T est inférieur à 1.
- b- Régime sec où le rapport P/T est compris entre 1 et 2.
- c- Régime humide où le rapport P/T est supérieur à 3.

Selon le tableau ci-dessous, il en ressort que la période sèche s'étale d'Avril à Novembre.

Ce résultat est plus proche de celui déterminé par GAUSSEN et BAGNOULS.

Tableau° 9 : Humidité du Sol

Mois	S	O	N	D	J	F	MR	AV	M	JN	JL	A	ANN
Pmm	30.0	20.7	21.0	34.9	30.7	20.9	30.8	23.7	32.42	20.9	4.9	11.7	282.5
T C°	21.4	16.1	10.7	6.67	5.31	6.83	9.44	12.52	18.01	23.11	26.09	25.82	15.2
P/T	1.40	1.28	1.96	5.23	5.8	3.06	3.26	1.89	1.79	1.01	0.18	0.45	/
SEC				HUMIDE				SEC			T. SEC		

3.3. Calcul l'évapotranspiration et le déficit d'écoulement :

L'évapotranspiration est la somme de toutes les pertes par transpiration de l'eau en vapeur, résultante de deux phénomènes : l'un est physique c'est l'évaporation et l'autre est biologique c'est la transpiration. Donc l'ETR est toujours inférieure ou égale à l'ETP.

Plusieurs méthodes peuvent être mises en œuvre :

a. Méthode de Turc :

Cette formule est applicable à tous les climats, elle donne l'ETR par des précipitations et des températures moyennes annuelles, et s'exprime comme suit :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + p^2 / L^2}}$$

P : Précipitations moyennes annuelles (282.53 mm).

T : Température moyenne annuelle (15.20 C°).

L : paramètre dépend de la température.

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3.$$

$$ETR = 282.53 \text{ mm}$$

b. Formule de Coutagne :

Coutagne a établi une relation permettant de calculer le déficit d'écoulement ; elle fait intervenir les précipitations moyennes annuelles et les températures moyennes annuelles. Et s'écrit :

$$\text{ETR} = \text{D} = \text{P} - \lambda \text{P}^2$$

D : Déficit d'écoulement Annuel.

P : Précipitations moyennes annuelles.

T : Températures moyennes annuelles.

$$\lambda = 1 / 0.8 + 0.14 \text{ T.}$$

Cette formule n'est applicable que lorsque : $1 / 8\lambda \leq \text{P} \leq 1 / 2\lambda$.

Le calcul à partir de l'équation précédente a donné $\lambda = 0.34$

Donc $0.36 \leq \text{P} \leq 1.74$, la formule est applicable :

$$\text{ETR} = \text{D} = 0.28253 \text{ m} - 0.0238 \text{ m}$$

$$\text{ETR} = 0.258 \text{ m, donc:}$$

$$\text{ETR} = 258 \text{ mm soit } 91.32 \% \text{ des précipitations}$$

c. Méthode de VERDEIL :

Comme WUND, VERDEIL a propose un abaque permettant de calculer le déficit d'écoulement tel que :

$$\text{ETR} = 273 \text{ mm/an}$$

d. Méthode de THORNTHWAITE :

L'ETP selon G.W. THORNTHWAITE, représente la quantité d'eau qui sera évaporée, transpirée, si la réserve en eau était suffisante pour compenser les apports maximaux.

Pour calculer l'ETP, on a utilisé les données de la station d'AIN SKHOUNA pendant la période 1984 - 2001.

Partant d'expériences réalisées sur divers climats semi humides et semi arides, Thornthwaite propose la détermination de l'évapotranspiration potentielle (ETP) comme suit :

$$\text{ETP mm} = 16 (10. t / I)^a$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \quad \text{ou, } i = (t / 5)^{1.514} \quad \text{et} \quad a = 0.016 \cdot I + 0.5.$$

On a calculé pour chaque mois l'indice i et on a pu tracer le tableau suivant :

Tableau N°10: Indice mensuel (i):

MOIS	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AV	MAI	JUIN	JUIL	AOÛ
Pmm	30.0	20.7	21.0	34.9	30.7	20.9	30.8	23.7	32.42	20.9	4.9	11.7
T C°	21.4	16.1	10.7	6.67	5.31	6.83	9.44	12.5	18.01	23.11	26.09	25.82
i	9.03	5.92	3.29	1.55	1.09	1.59	2.60	4.00	6.95	10.4	12.0	11.9

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \quad \rightarrow \quad I = 70.35$$

$$a = 0.016 \cdot I + 0.5 \quad \rightarrow \quad a = 1.62$$

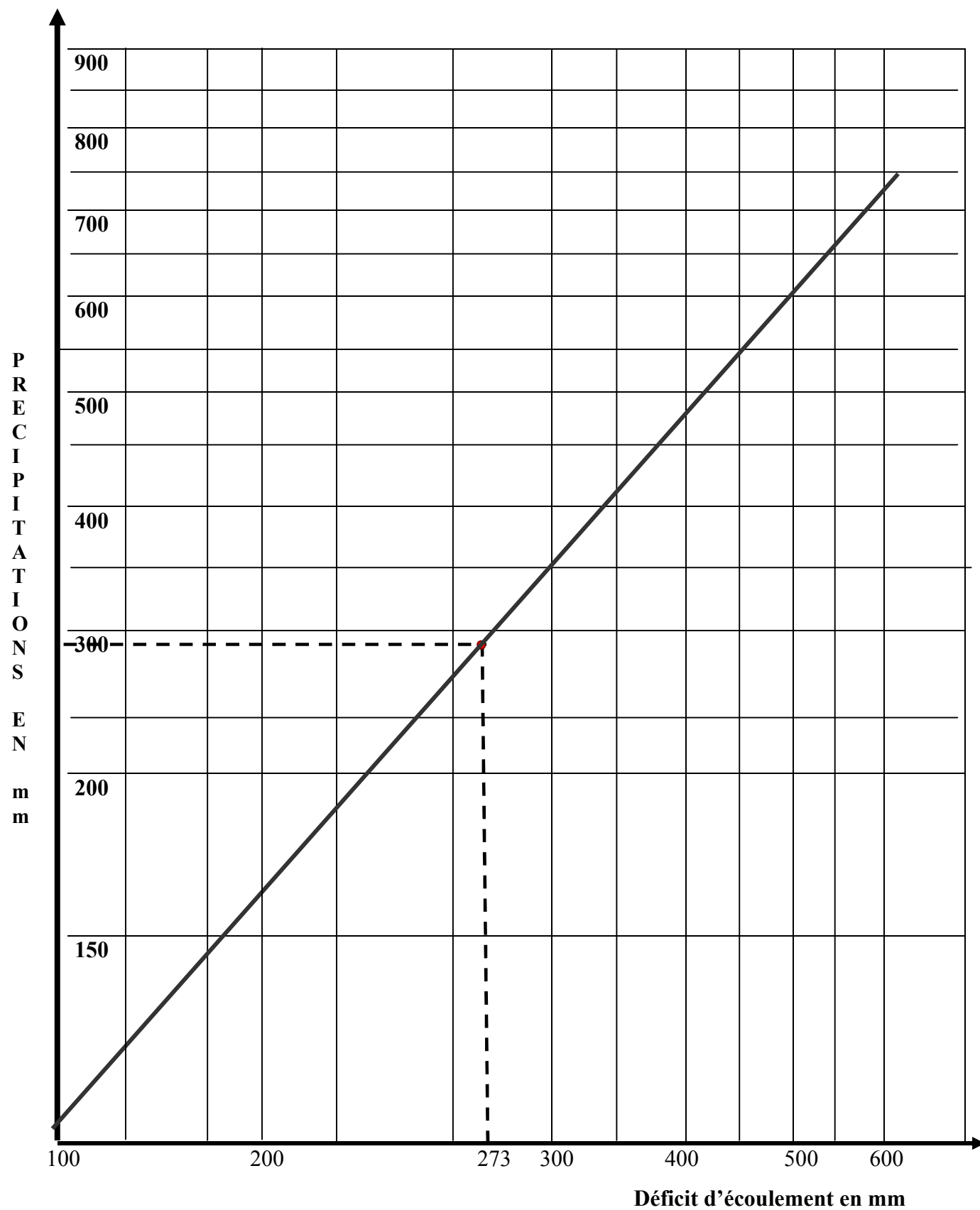


Figure N° 24 : Abaque pour le calcul du déficit d'écoulement en Algérie
(P.VERDEIL)

3.4. L'évapotranspiration réelle ou ETR :

C'est la quantité d'eau évaporée ou transpiré réellement, soit par le sol, soit par les surfaces libres, soit par la végétation dans les conditions naturelles.

Lorsque les précipitations sont supérieures à l'ETP, l'évapotranspiration réelle (ETR) serait égale à l'ETP.

Le surplus d'eau disponible sera emmagasiné dans le sol jusqu'à ce que soit atteinte la capacité de rétention. Au delà il y aura un excédent.

Lorsque les précipitations sont inférieures à l'ETP, deux cas peuvent se présenter :

- aussi longtemps que la réserve utile (RFU) sera capable de combler la différence entre les précipitations et ETP, l'ETR sera égale à l'ETP.
- au delà l'ETR sera égale à P, il y aura apparition du déficit agricole (DA).

D'après tornthwaite le bilan hydrologique mensuel peut être établi avec l'intégration des P et ETP pour estimer les paramètres suivants :

- l'évapotranspiration réelle ETR.
- la réserve facilement utilisable RFU dans le cas de notre zone d'étude on considère une RFU de l'ordre de 50 mm.
- le déficit agricole DA.
- l'excédent (water surplus) EX.

L'application numérique a donné → **ETP = 557.3 mm**

Tableau N°11 : Bilan Hydrique (C.W.Thornthwaite) (1984-2001)

Mois	Dec.	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juill.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Ann.
P mm	34.85	30.74	20.92	30.82	23.65	32.37	20.88	4.86	11.66	30.02	20.69	21.02	282.53
T C°	6.67	5.31	6.83	9.44	12.52	18.01	23.11	26.09	25.82	21.44	16.19	10.95	15.20
I	1.55	1.10	1.61	2.62	4.02	6.97	10.17	12.22	12.03	9.08	5.93	3.28	/
ETP mm	14.61	10.07	15.19	25.73	40.70	73.60	110.53	134.70	132.41	97.84	61.89	32.74	750.00
P-ETP	20.24	20.67	5.74	5.10	17.05	41.33	89.64	129.83	120.75	67.82	41.20	11.72	/
RFU	20.24	40.91	46.65	51.75	12.95	0	0	0	0	0	0	0	172.5
ETR	14.61	10.07	15.19	25.73	40.70	45.32	20.88	4.86	11.66	30.02	20.69	21.02	260.75
DA mm	/	/	/	/	/	28.28	89.65	129.84	120.75	67.82	41.20	11.72	489.26
EX mm	/	10.91	16.65	21.75	/	/	/	/	/	/	/	/	49.31

- **Interprétation des résultats fournis par le tableau de CW.Thornthwaite:**

Nous constatons qu'à partir du mois de Décembre les précipitations sont supérieures à l'ETP.

La RFU atteint son maximum aux mois de Février et Mars avec un excédent de 49.31 mm durant toute l'année.

A partir du mois de Mai nous enregistrons un déficit agricole de 28.28mm et qui atteint son maximum en Juillet avec 129.84mm. L'ETR est égale à 260.75mm.

En fin le déficit est de 489.26mm, montre une période sèche qui commence au mois de Mai et se poursuit jusqu'au mois de Novembre.

3.5. Calcul du ruissellement (R) et de l'infiltration (I) :

En 1961, M.T. TIXERON et BERKALOFF ont donné une relation permettant de calculer le ruissellement à partir des précipitations moyennes annuelles et de l'évapotranspiration potentielle calculée selon la méthode de THORNTHWAITE :

$$R = \frac{P^3}{3 (ETP)}$$

R : Ruissellement en mm.

P : Précipitations Moyennes Mensuelles. (282.53 mm).

ETP : Evapotranspiration Potentielle en mm (750.00 mm).

L'application numérique de cette formule a donné : **R = 13.49 mm**

La valeur du ruissellement est de l'ordre de 13.49 mm, ce qui correspond à 4.77 % des précipitations moyennes annuelles.

3-6. Essai du bilan hydrologique :

L'équation représentative du bilan peut s'annoncer sous la forme suivante :

$$P = D + R + I$$

P : Précipitations Moyennes Mensuelles.

D : déficit d'écoulement.

R : Ruissellement de surface.

I : Infiltration.

Selon la valeur des différents éléments du bilan, l'infiltration est calculée comme suit :

$$I = P - D - R$$

$$I = 0.28253 \text{ m} - 0.26075 \text{ m} - 0.1347 \text{ m} = 0.829 \text{ m} = \mathbf{8.29 \text{ mm}}$$

METHODES	PRÉCIPITATION P (MM)	DÉFICIT D'ÉCOULEMENT	RUISELLEMENT R	INFILTRATION I
TORNTHWAITE	282.53	260.75 soit 94.87 %	13.49 soit 4.77 %	8.29 soit 2.93 %
TURC	282.53	282.53 soit 100 %	R + I = 0	
COUTAGNE	282.53	258 soit 91.32 %	R + I 24.53	
VERDEIL	282.53	273 soit 96.63 %	R + I 9.53	

Tableau N°12 : Les différentes valeurs de l'évapotranspiration ETR et du Ruissellement

Conclusion:

Au terme de ce chapitre, il apparaît que la région d'étude est caractérisée par un climat semi-aride avec un hiver frais et un été sec.

- Les précipitations moyennes annuelles dans la région de BIR CHOUHADA, SOUK NAAMANE et OULED ZOUAI sont de l'ordre de **282.53 mm**. On a observé une irrégularité intermensuelle des précipitations.

Le mois le plus pluvieux est décembre avec 34.9 mm. Le mois le plus sec est juillet avec 4.9 mm.

- La température moyenne annuelle est de l'ordre de **15.20 C°** avec une basse température en hiver de 5.3 C° (janvier) et une forte température de l'ordre de 26.10 C° (le mois de Juillet) en été. L'évapotranspiration réelle calculée par la méthode de TORNTHTWAITE est de l'ordre de **260.75 mm**, soit un pourcentage de 92.26 % des précipitations.
- Le déficit des précipitations pour satisfaire l'ETP serait de **489.26 mm**, reparti de mai à novembre fixant ainsi une idée sur la période d'irrigation nécessaire aux cultures.
- La lame d'eau ruisselée, est de l'ordre de **13.49 mm**, soit 4.77 % des précipitations moyennes annuelles.
- L'infiltration calculée est trop faible soit 8.29 mm, due probablement à la nature des terrains et à l'évaporation dans l'ensemble de la région.

Généralement, la zone d'étude est caractérisée par un climat semi - aride avec une période sèche qui débute à la fin mai jusqu'à octobre.

Introduction :

L'étude hydrogéologie permet d'identifier les différents types d'aquifères existants au niveau de notre région d'étude.

Cette étude sera consacrée à l'étude des caractéristiques hydrogéologiques et du comportement hydrodynamique des aquifères.

1- Les formations aquifères :

D'après l'étude géophysique et géologique : on peut distinguer les formations aquifères suivantes :

1-2 L'aquifère du Mio-Plio- Quaternaire:

A l'Ouest du chott Tinsilt, ou le Crétacé inférieur est enfoui sous de puissantes séries marneuses, la nappe des calcaires lacustres pourrait être sollicitée au droit par des forages profonds. Leur exploitation permettrait de soustraire d'importants débits drainés vers les chotts, sans pour autant exagérer au risque d'abaisser le niveau de la nappe dans la plaine de Souke Naamane et de faire appel aux eaux des chotts. Cet aquifère peut également être exploité dans la partie occidentale de la plaine étudiée, dont l'eau, extrêmement douce se déverse dans la plaine de Bir Chouhada. Dans cette région de la plaine étudiée, le Miocène affleure largement notamment au Nord et au Nord –Ouest de Bir Chouhada.

Le Quaternaire qui recouvre pratiquement toute la plaine et les piémonts des reliefs est très exploité par de nombreux puits d'une profondeur moyenne variant de 20 et 40 m.

1.1. L'aquifère Karstique carbonaté du Crétacé inférieur :

En bordure des affleurements du Crétacé inférieur et dans les zones où le substratum résistant n'est pas profond (plaine de Bir Chouhada), le remplissage est constitué uniquement par de marnes, des calcaires lacustres et des conglomérats appartenant au Mio-Pliocène continental. Notons que les calcaires lacustres paraissent très bien développés au Sud- Est de Souk Naamane.

Cet aquifère a fourni des débits très variables allant de quelques litres par secondes à plus de 30 l/s quand les forages sont implantés au voisinage d'un réseau de fractures intense.

La productivité de cet aquifère est intimement liée à son degré de fissuration.

De plus cet aquifère, renferme une nappe caractérisée par des eaux douces comparativement aux eaux des aquifères quaternaires et miocènes.

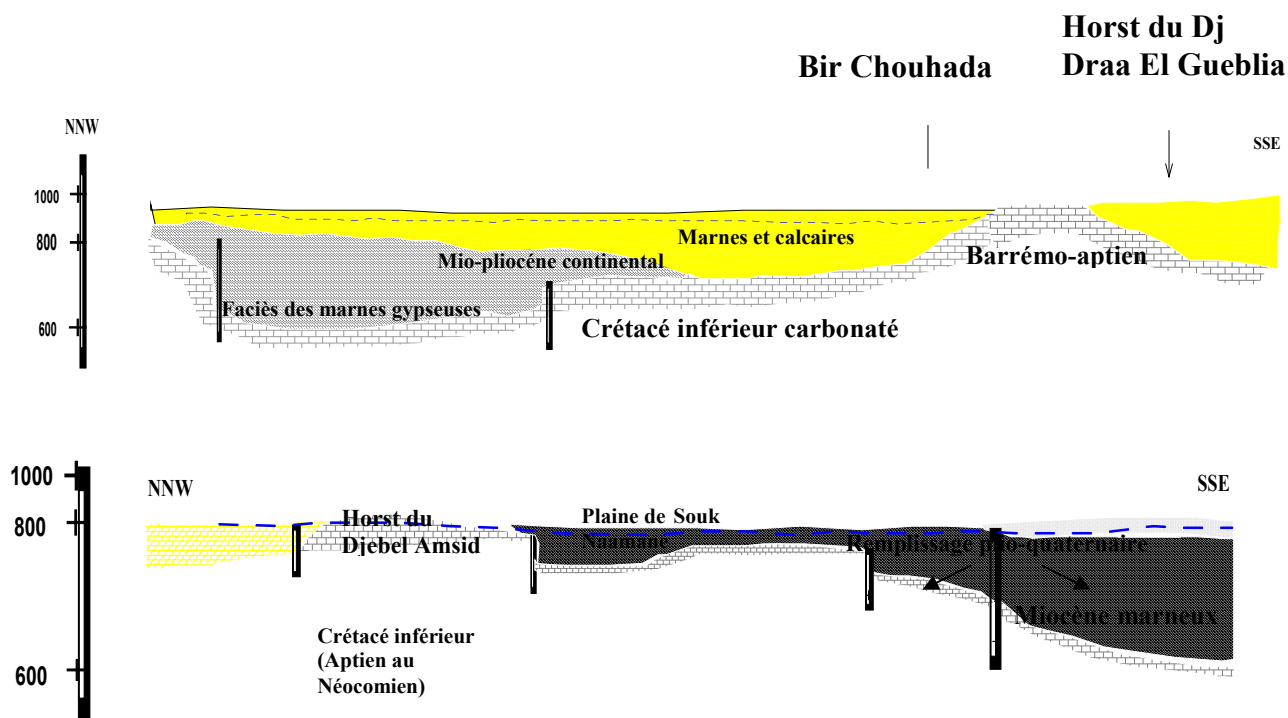


Figure N°25 : Coupe Hydrogéologiques Synthétiques

2- Bilan et Statistique :

La région d'étude englobe 807 points d'eau répartis en majorité dans la commune de Souk Naamane ce nombre représente environ 60% des puits de la zone.

Les puits inventorisés peuvent être classés comme suit :

- 83 forages profonds
- 30 puits asséchés
- 134 puits abandonnés
- 553 puits de grand diamètre
- 07 puits forés

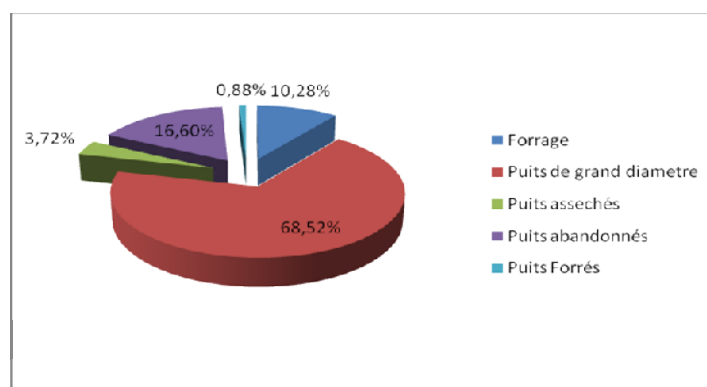


Figure N° 26: Représentation en pourcentage de la nature des points d'eau dans la zone d'étude

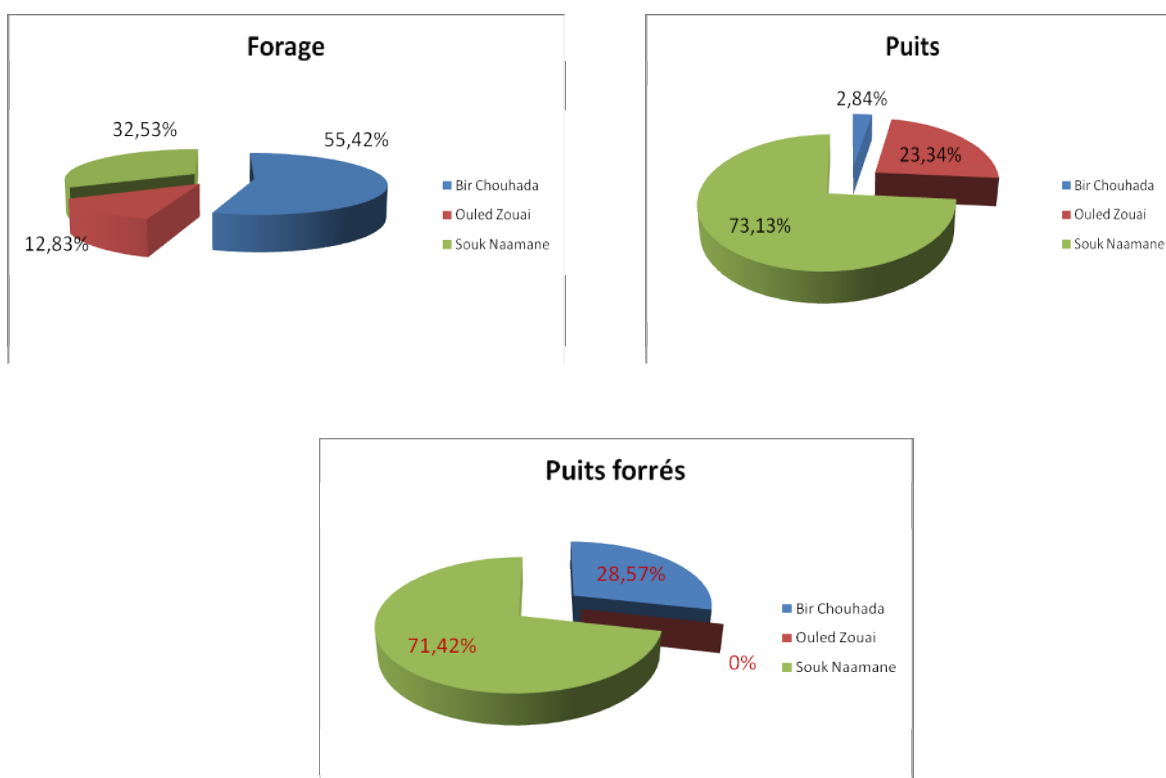


Figure N° 27 : Répartition par localité des points d'eau en pourcentage

L'utilisation des points d'eau est variée et se répartite comme suit :

Usage	Nombre
AEP	19
Irrigation	194
Domestique	76
Irrigation et AEP	258
Irrigation et Domestique	64
Non utilisé	204
Total	807

Tableau N°13 : Usage des points d'eau inventoriés

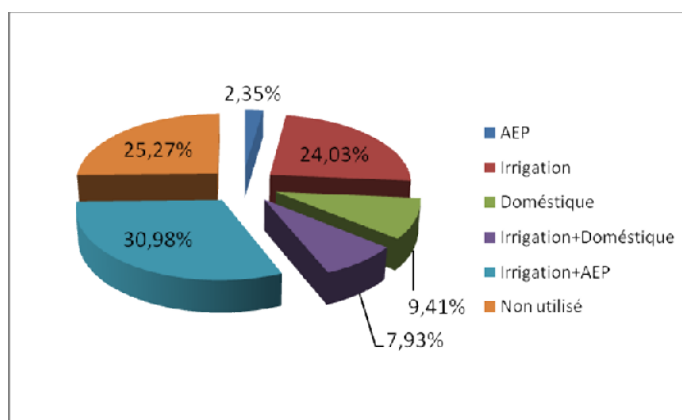


Figure N° 28 : Représentation en pourcentage des points d'eau en fonction de leur usage

➤ **Salinité :**

La mesure de la conductivité permet de se faire une idée sur la qualité de l'eau dans la région. Ces valeurs calculées concernent sur 236 mesures.

	Min	Max	Moyenne
Conductivité(μS/cm)	0.35	15.26	4.15
Minéralisation en (g/l)	0.24	10.6	2.5

Tableau N°14 : Ecart de conductivité et de salinité enregistrée

Ces valeurs font état d'une salinité élevée et témoignent de l'influence des eaux du chott.

Conductivité($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Nombre de points d'eau	Pourcentage de points d'eau (%)
$\text{CE} < 1$	26	4.55
$1 < \text{CE} < 2$	109	19.08
$2 < \text{CE} < 3$	127	22.24
$3 < \text{CE} < 5$	188	32.92
$5 < \text{CE} < 8$	92	16.11
$8 < \text{CE} < 12$	27	4.72
$12 < \text{CE} < 15$	2	0.35

Tableau N°15 : Répartition des points d'eau en fonction de la conductivité

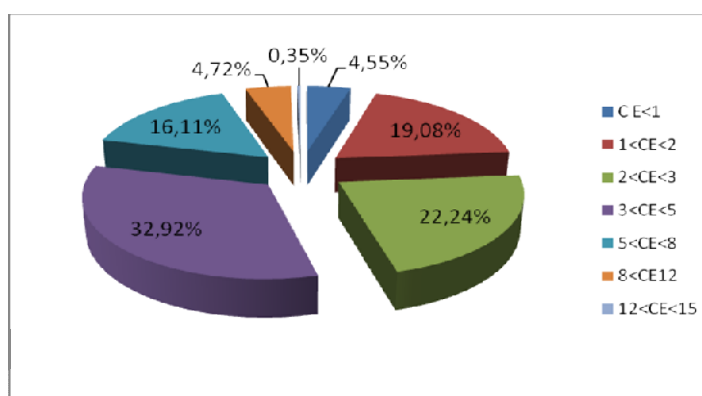


Figure N°29 : Répartition des points d'eau en fonction de la conductivité en pourcentage

Les points d'eau renfermant une eau de salinité inférieure ou égale à 2g/l (norme de potabilité).

➤ **Régime du pompage :**

Les ressources en eau souterraine ont nettement regressé en raison de la baisse du niveau piézométrique et de l'augmentation de la salinité.

- Nombre de puits de pompage : 520
- Taux : 64.43%
- Débit moyen l/s : 3.85

Régime du pompage	Min	Max	Moyenne
Heures/jour	2	24	7.22
Mois/an	4	12	10.31

Tableau N°16 : Statistiques sur les pompages dans la région de Bir Chouhada-Souk Naamane et Ouled Zouai

➤ **Evaluation des prélèvements :**

Les prélèvements sont évalués à partir des débits de pompages, des fréquences de pompages et des superficies irriguées en retenant, une grandeur de 1 l/s pour un hectare de terre.

Le tableau suivant montre les valeurs statistiques des prélèvements dans la région de Bir Chouhada-Souk Naamane et Ouled Zouai.

	Débit pompé en m ³ /jours	Débit pompé en m ³ /an
Somme	58079.52	15875136
Max	518.4	186624
Min	3.6	1296
Moyenne	110.20	30180.86
Ecart type	52.19	16567.77

Tableau N° 17: Evaluation des prélèvements

3. Inventaire des points d'eaux :

La région d'étude englobe 27 points d'eau répartis en majorité dans la commune de Souk Naamane. Ce nombre représente environ 70.37% des puits de la zone d'étude.

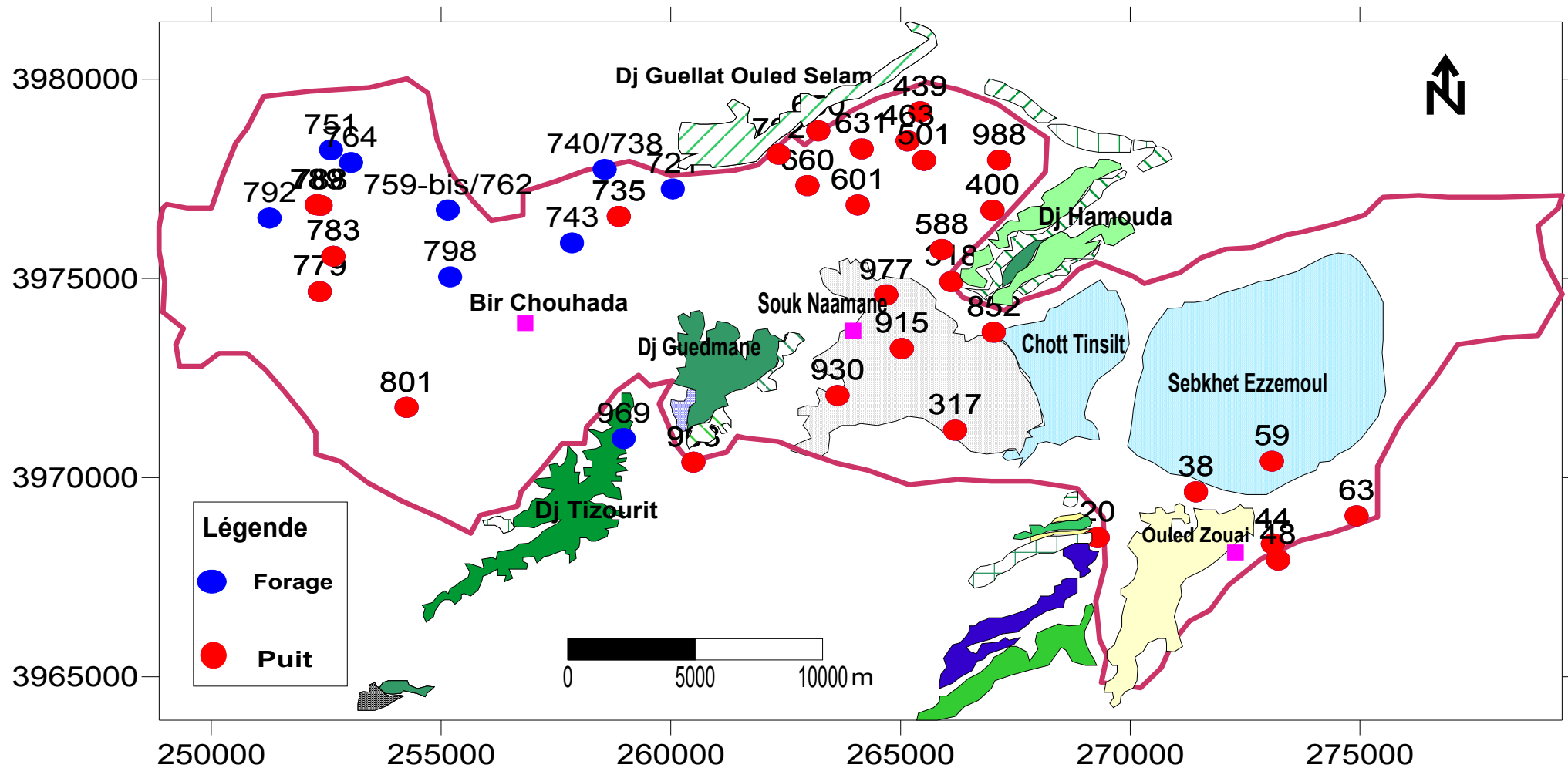


Figure N°30 : La Carte d'inventaire des points d'eaux de la plaine de Bir Chouhada-Souk Naamane et Ouled Zouai

3-1- La piézométrie :

Les cartes piézométriques nous permettent de définir l'écoulement souterrain des eaux de la nappe aquifère des calcaires, le gradient hydraulique est un paramètre important dans l'estimation des apports latéraux.

Les cartes piézométriques correspondent aux basses et hautes eaux, et correspondent respectivement au Octobre 2008 et Mai 2009.

Elles montrent que l'allure générale des courbes ne varie qu'assez peu d'une campagne à l'autre. Les axes de drainage principaux, mis en évidence, sont localisés au pied des massifs calcaires du Crétacé inférieur et en bordure des calcaires lacustres Miocène à l'ouest de Bir Chouhada. D'autre part, un axe de drainage traverse la plaine d'Ouest en Est entre Bir Chouhada et Souk Nammane.

En basses eaux, on a observé toutefois, un cône de dépression au Nord-Est de Bir Chouhada, causé par les pompages intensifs qui s'effectuent dans cette région ou s'étend un périmètre irrigué. Au Nord de souk Nammane, les écoulements se font du Nord ou affleurement les terrains aquifères du Crétacé inférieur vers le Sud. A partir de reliefs du Djebel Hamouda les lignes de courants sont comme tout ailleurs au voisinage des reliefs crétacé perpendiculaires aux affleurements. Dans cette région, le chott Tinsilt constitue aussi l'exutoire de la nappe.

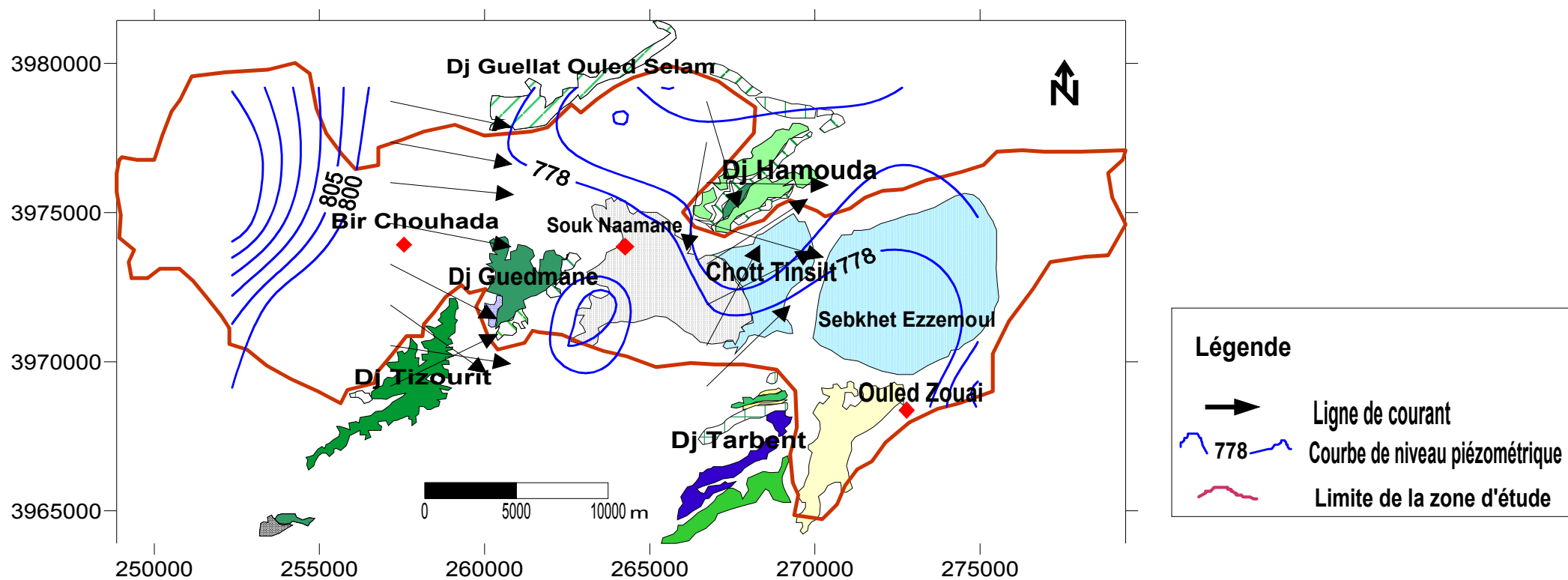


Figure N°31 : Carte piézométrique de la nappe Mio-Plio-Quaternaire en basses eaux (Octobre 2008)

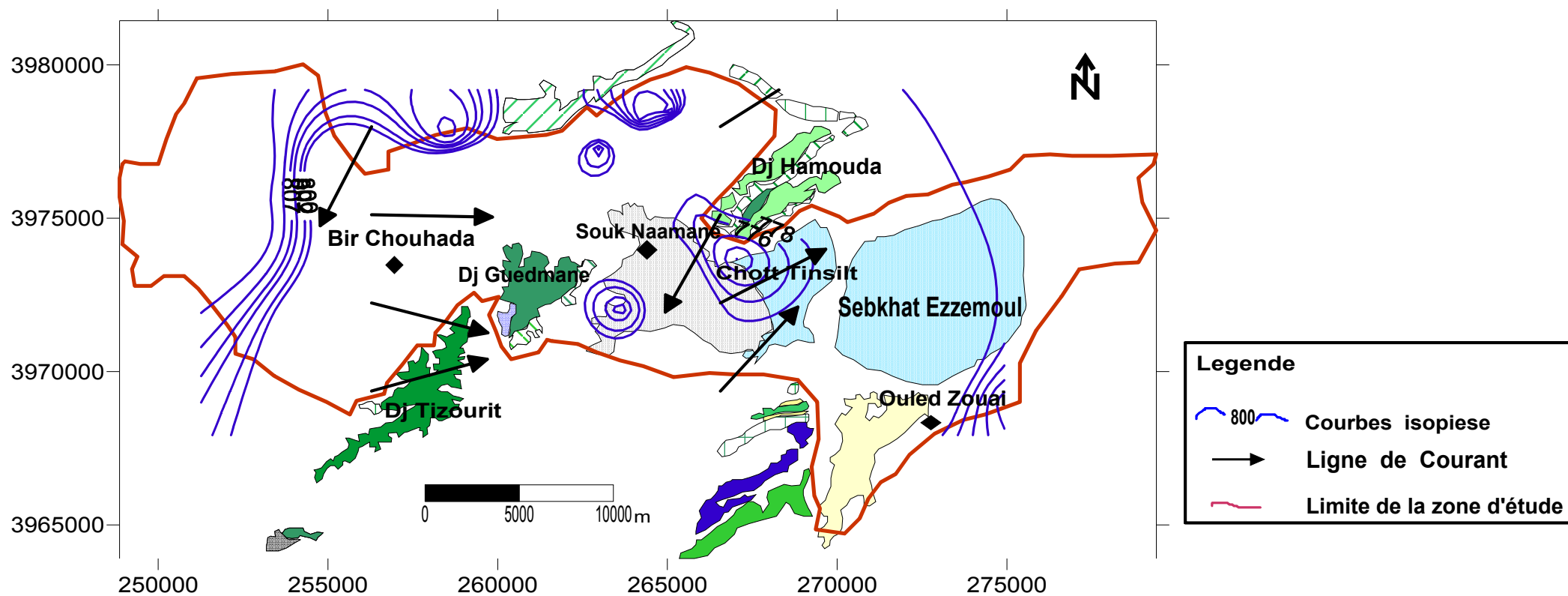


Figure N°32 : Carte piézométrique de la nappe Mio-Plio-Quaternaire en hautes eaux (Mai 2009)

3-2- Le gradient hydraulique :

Il calculé sur un profil tracé dans un plan vertical passant par une ligne de courant il est donné par la relation suivante : $I = (H_1 - H_2) / L$

Avec : H_1, H_2 : Niveau piézométrique par les courbes isopiézes

L : Distance entre les deux points de niveau piézométrique

Parties	$H_1(m)$	$H_2(m)$	$L (m)$	i
Sud de Dj Guedmane	792	788	500	8.10^{-3}
Sud Est de Dj Tizourit	792	788	600	$6.6. 10^{-3}$
Nord de Dj Guedmane	788	778	800	$2.5. 10^{-3}$

Tableau N°18 : Détermination de quelque valeur du Gradient Hydraulique

On a calculé pour les différentes zones considérées un gradient hydraulique. Les gradients sont élevés près des bordures de la plaine, ce qui semblerait indiquer une mauvaise perméabilité des terrains par rapport aux zones centrales. Les fortes valeurs du gradient correspondent aux zones de la plaine. En amont de Bir Chouhada les gradients sont de l'ordre de 6.10^{-3} à 8.10^{-3} . Dans la région d'Ouled Zouai, les gradients hydrauliques évoluent de $8. 10^{-3}$ près des reliefs à $3. 10^{-3}$ dans la partie centrale de la plaine.

Au Nord-Est de Souk Nammane, les isopiézes se resserrent normalement, car une grande proportion de l'écoulement souterrain passe entre les reliefs à flux imposés du Djebel Amsid au Sud.

4-Détermination des paramètres hydrodynamiques :

Cette étude est basée sur les données fournies par les essais de pompage effectués dans les puits et forages qui se trouvent dans la plaine de Bir Chouhada, Souk Naamane et Ouled Zouai. (Tableau caractéristiques des forages et puits ayant servis aux essais de pompage)

N° Puits	Nature	Commune	X (UTM)	Y (UTM)	Z	NS (m)	Prof (m)	Diamètre (m)	Q (l/s)	Formation captée
533	puit	Souk Naamane	264375	3978095	810	25.05	30	3.00	2	Q
186	forage	Souk Naamane	271804	3975804	838	43.9	90	0.3	3	Q+CI
736	puit	Bir Chouhada	258884	3976981	818	23.02	28	3	3	Q
E8 Bir Ch	forage	Bir Chouhada	825608	295423	827	26.53	150	0.4	44	Q+MP+ CI
42	puit	Ouled Zouai	272127	3969409	797	10.05	14	4	4	Q
OZ1	forage	Ouled Zouai	843475	288100	795	7.81	110	0.33	15	Q+M

Q : Quaternaire ; Q+M : Quaternaire et Miocène, Q+M+CI : Quaternaire, Miocène et Crétacé inférieur.

Tableau N°19 : Caractéristiques des forages et puits ayant servis aux essais de pompage

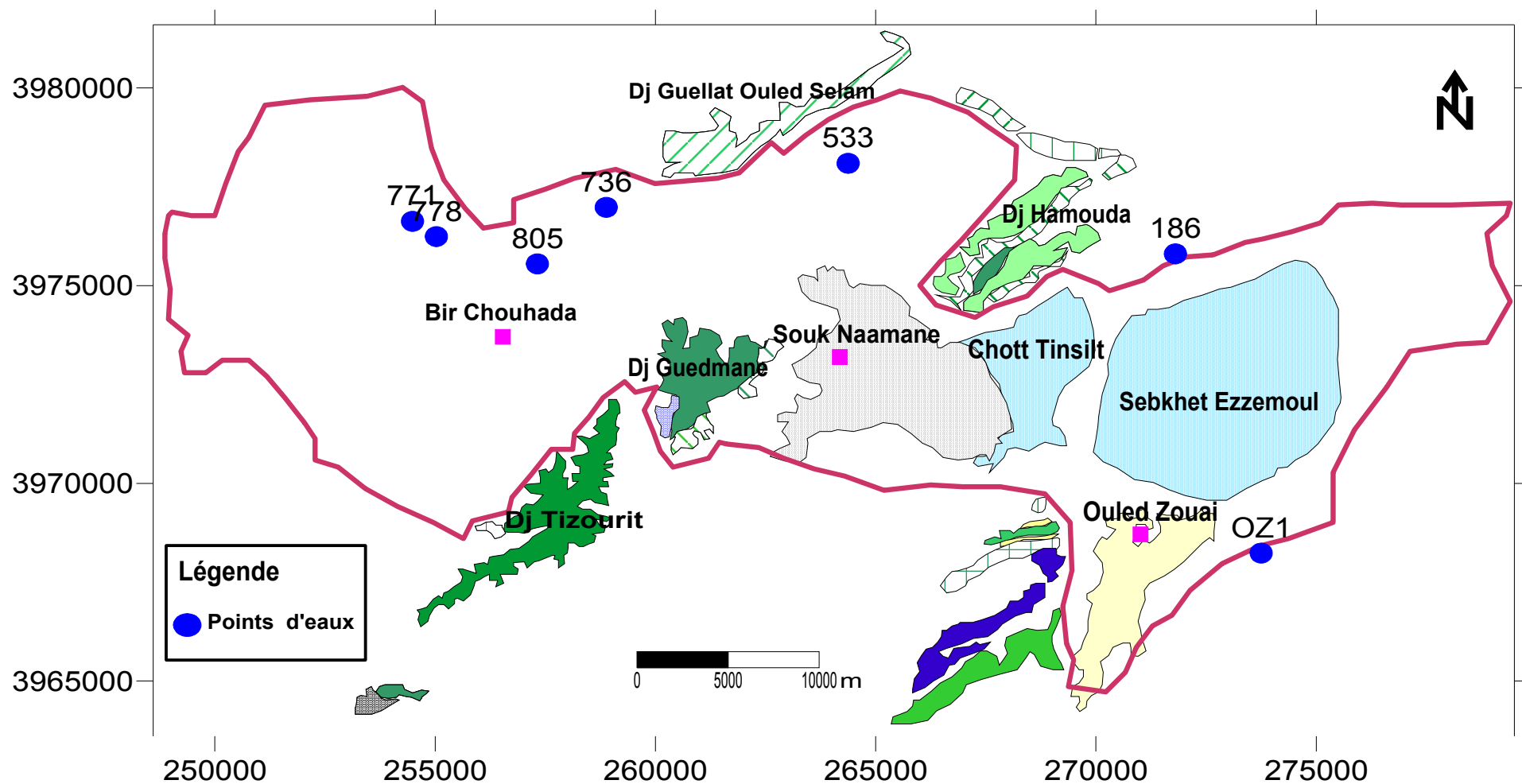


Figure N°33 : Carte de répartition des points d'eaux ayant servis aux essais de pompage

4.1. Interprétation des essais dans la plaine d'Ouled Zouai :

Deux essais de pompages ont été réalisés au niveau du forage (OZ1) et du puits (42) qui captent l'ensemble de l'aquifère du Quaternaire et du Miocène.

- **Forage OZ1 Ouled Zouai :**
- **La descente au forage OZ1 :** les rabattements mesurés au cours de la descente ont duré 72 h avec un rabattement de 20 m à débit constant de 15 l/s. Les données de pompage sont représentées sur le graphe temps/rabattement. La transmissivité T , déterminée par la méthode de Cooper & Jacob est de $9,04 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

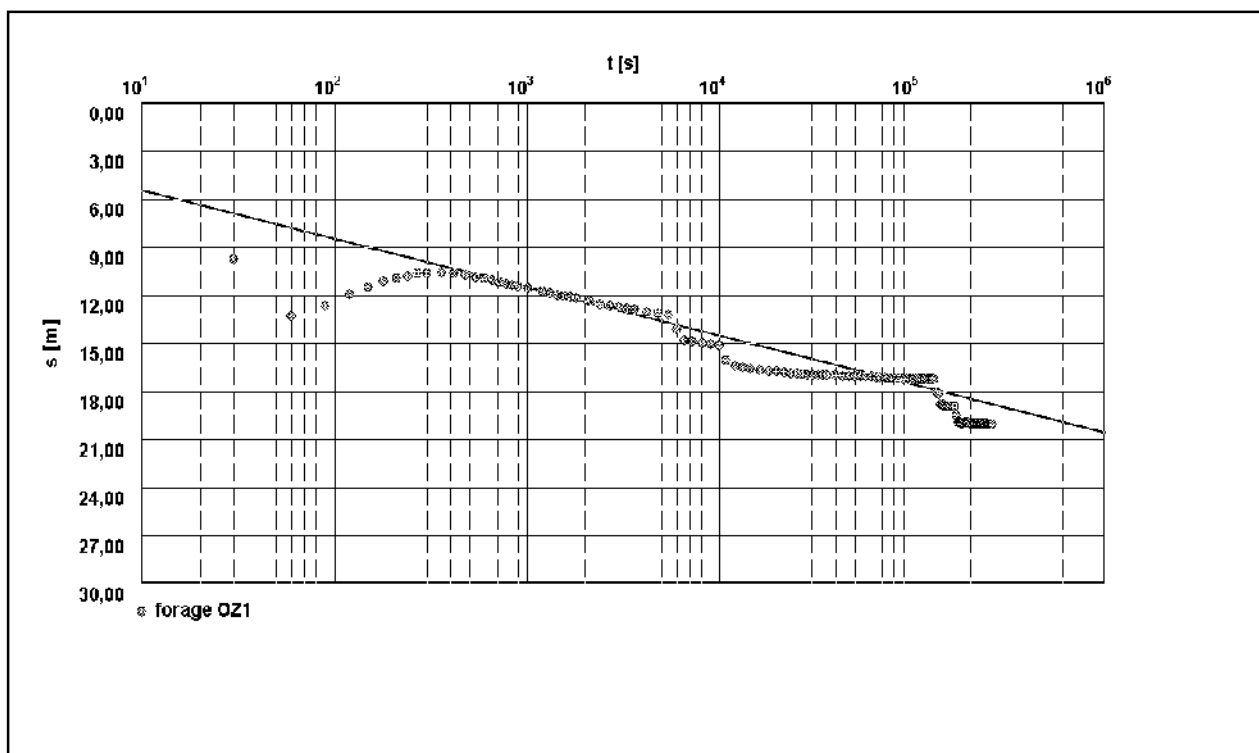


Fig N° 34: Interprétation de la descente au forage OZ1

- **La remontée du forage OZ1 :** la remontée des rabattements a duré 64 h. La transmissivité déterminée par la méthode Cooper & Jacob est de $5,58 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$.

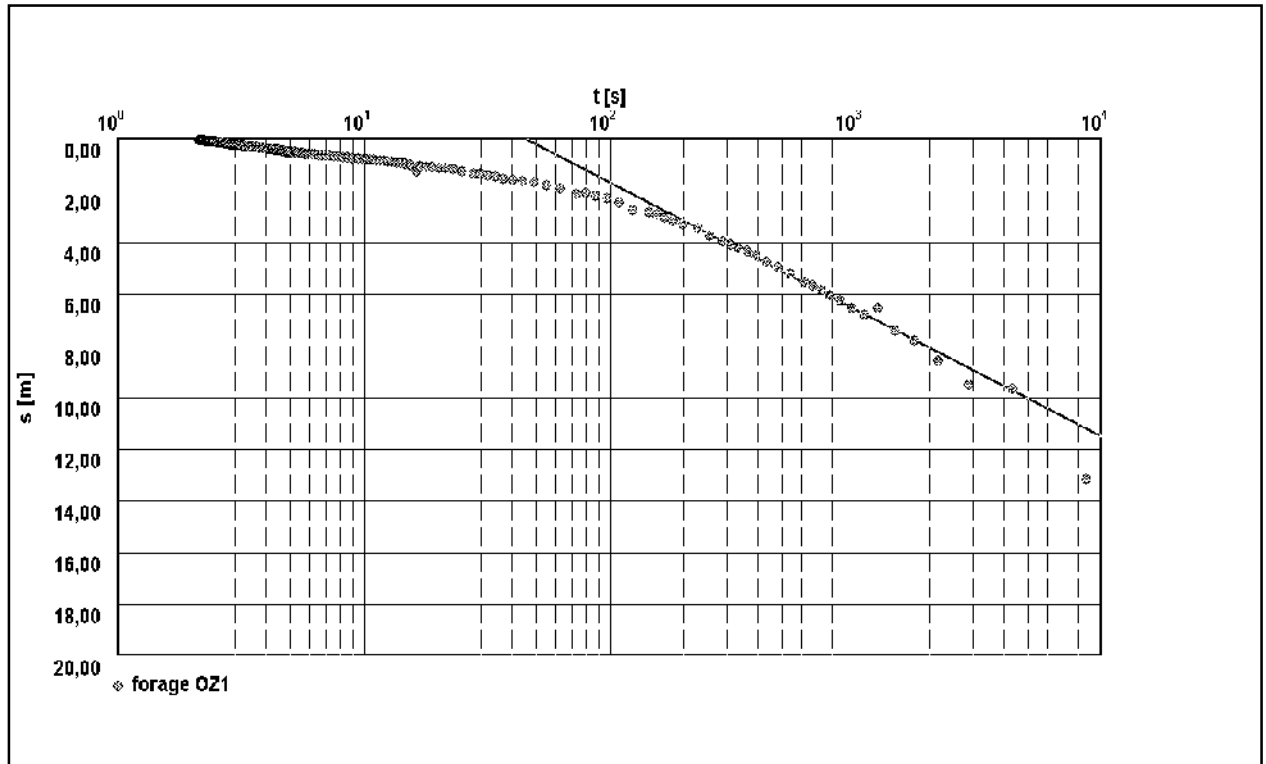


Fig N°35 : Interprétation de la remontée au forage OZ1

Puit N° 42 :

- **La descente du puits 42 :** la descente est observée pendant 8 h 49 mn avec un rabattement de 1.40 m avec un débit constant de 4 l/s. Les mesures dans le puits de pompage sont représentées sur le graphe temps/rabattement.

La transmissivité T , déterminée par la méthode Cooper & Jacob, est de $1,25 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

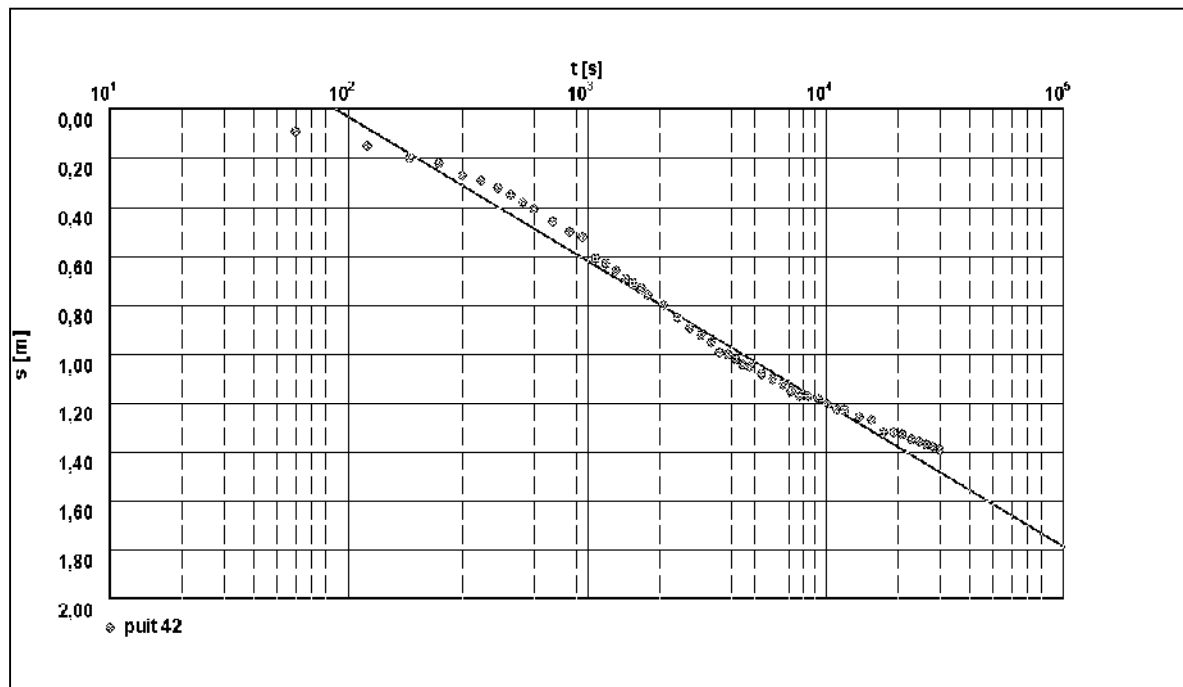


Fig N°36 : Interprétation de la descente du puits 42

- **La remontée du puits 42 :** les rabattements mesurés au cours de la descente ont duré 2 h 30 mn. Les données de pompage sont représentées sur le graphe, temps/rabattement.

La transmissivité T est déterminée à $1,18 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

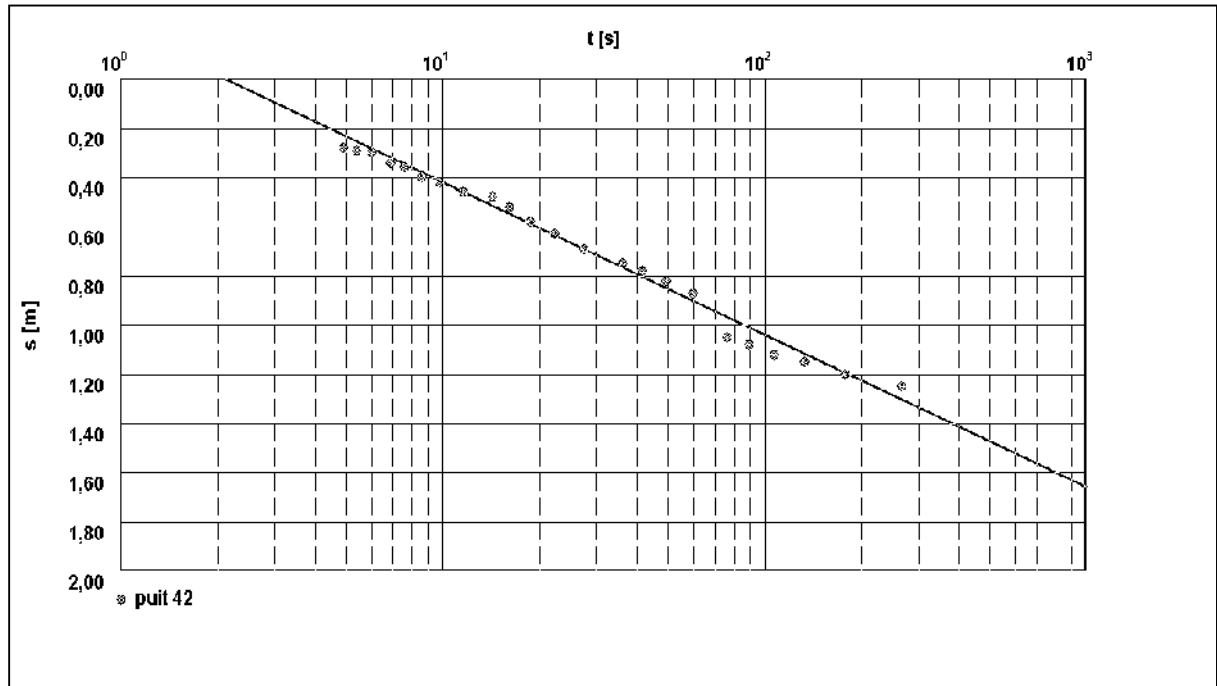


Fig N°37 : Interprétation de la remontée du puits 42

4.2- Interprétation des essais dans la plaine de Bir-Chouhada :

- **Puits 736 :**
- **La descente dans le puits 736 :** le pompage a duré 5 h 20 mn ce qu'a conduit à un rabattement de 3 m. Les mesures des rabattements observés dans le forage sont représentées sur le graphe, temps/rabattement. La transmissivité est de $1,02 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$.

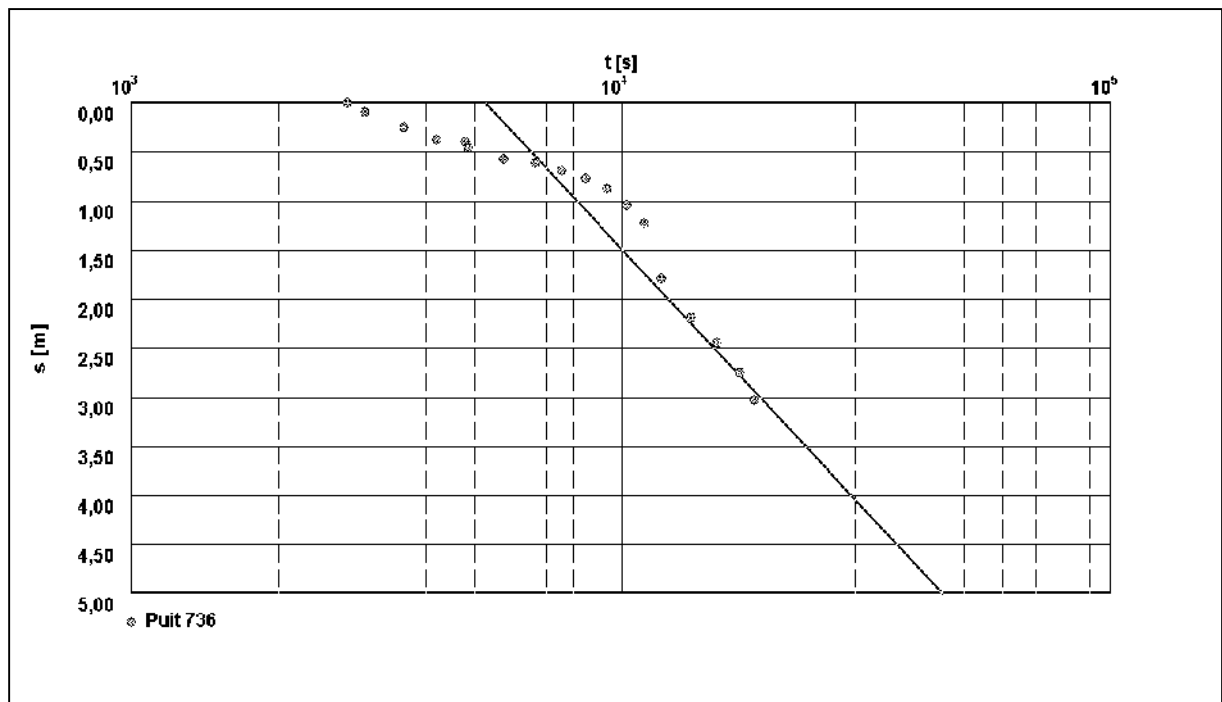


Fig N°38 : Interprétation de la descente du puits 736

- La remontée du puits 736 : le temps de la remontée a duré 8 h 30 mn. Les rabattements sont représentés sur le graphe temps/rabattement.

La transmissivité T déterminée par la méthode de Cooper & Jacob est de $1,27 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$.

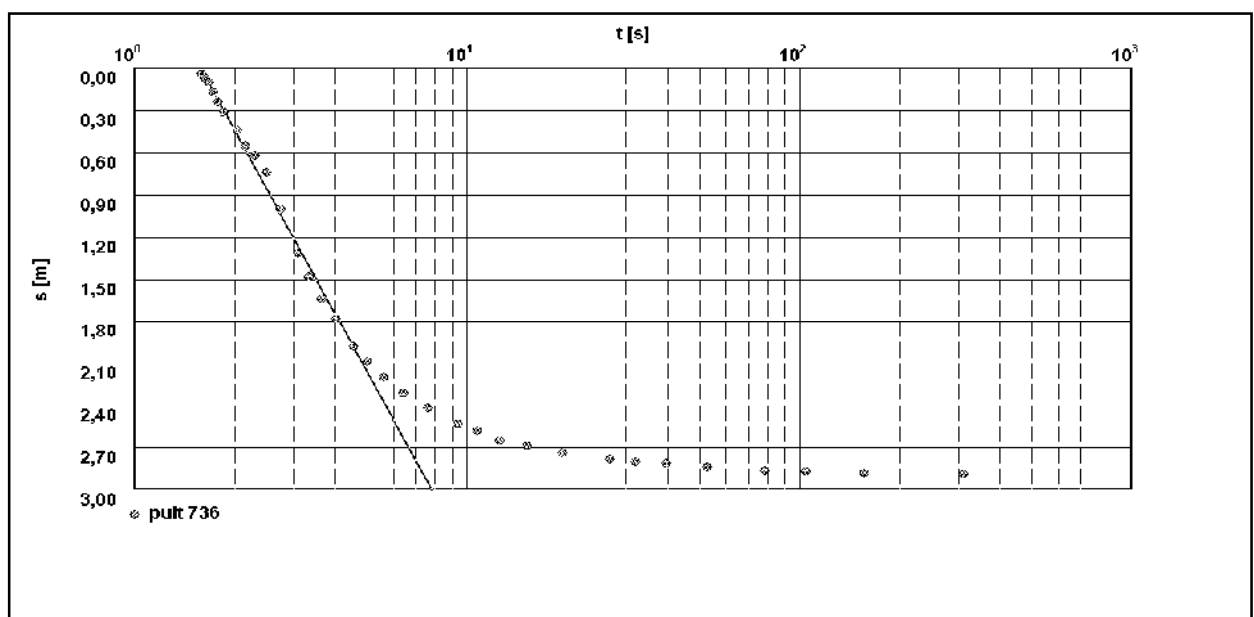


Fig N°39 : Interprétation de la remontée du puits 736

- **Forage E8 Bir-Ch :**
- **La descente du forage E8 Bir Ch :** l'interprétation de l'essai de longue durée, (48 h) avec un rabattement final de 7.27 m, avec un débit constant de 44 l/s. les mesures sont représentées sur un graphe, temps/rabattement. La transmissivité est de $5,4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

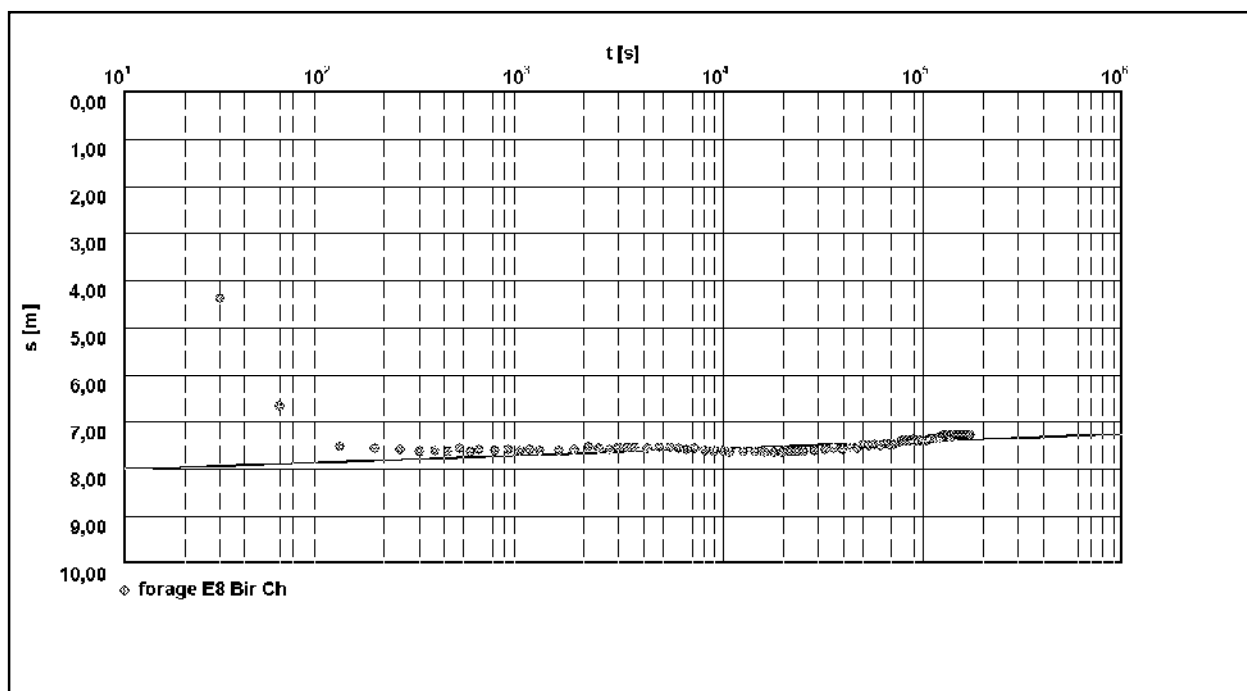


Fig N°40 : Interprétation de la descente au forage E8 Bir Ch

- **La remontée du forage E8 Bir Ch :**
- Les rabattements résiduels observés dans le forage pendant 6 h. La transmissivité est de $2,85 \cdot 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$.

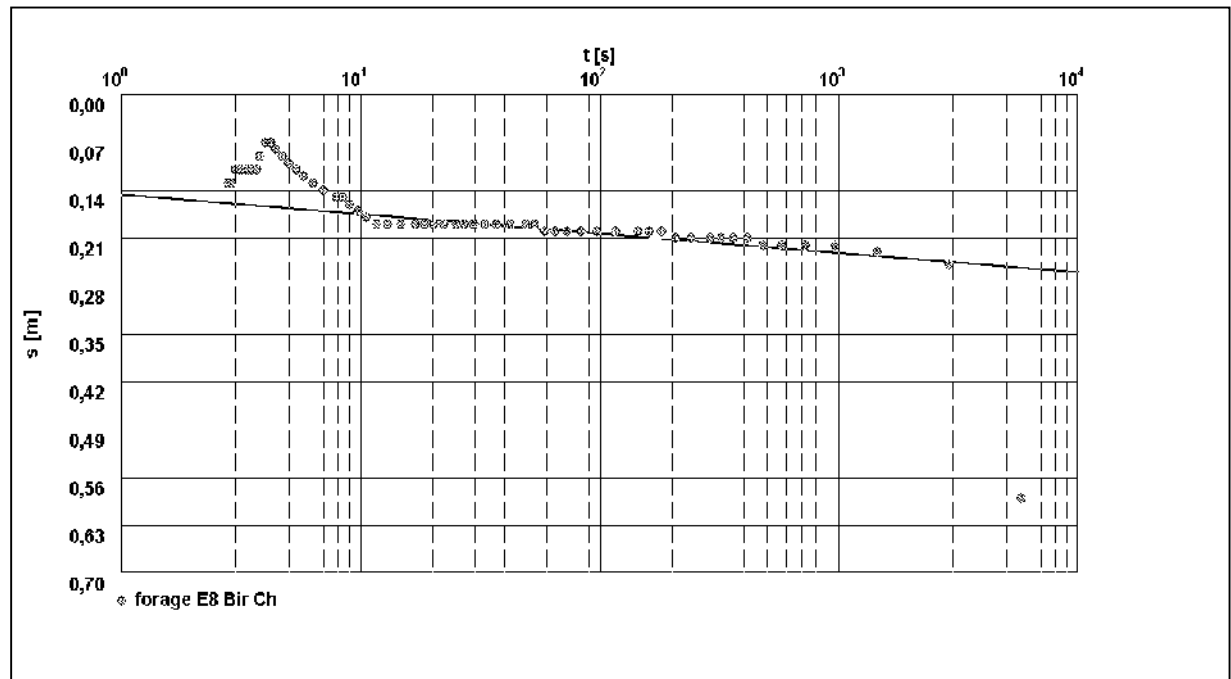


Fig N°41 : Interprétation de la remontée au forage E8 Bir Ch

4.3. Interprétation des essais de pompage effectués dans la plaine de Souk Nammane :

- **Forage N°186 :**
- **La descente du forage N° 186 :**

La descente du niveau d'eau a durée 6 h 39 mn avec un rabattement final de 14.30 m

Les mesures sont représentées sur le graphe, temps/rabattement. La transmissivité est de $5,90 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$.

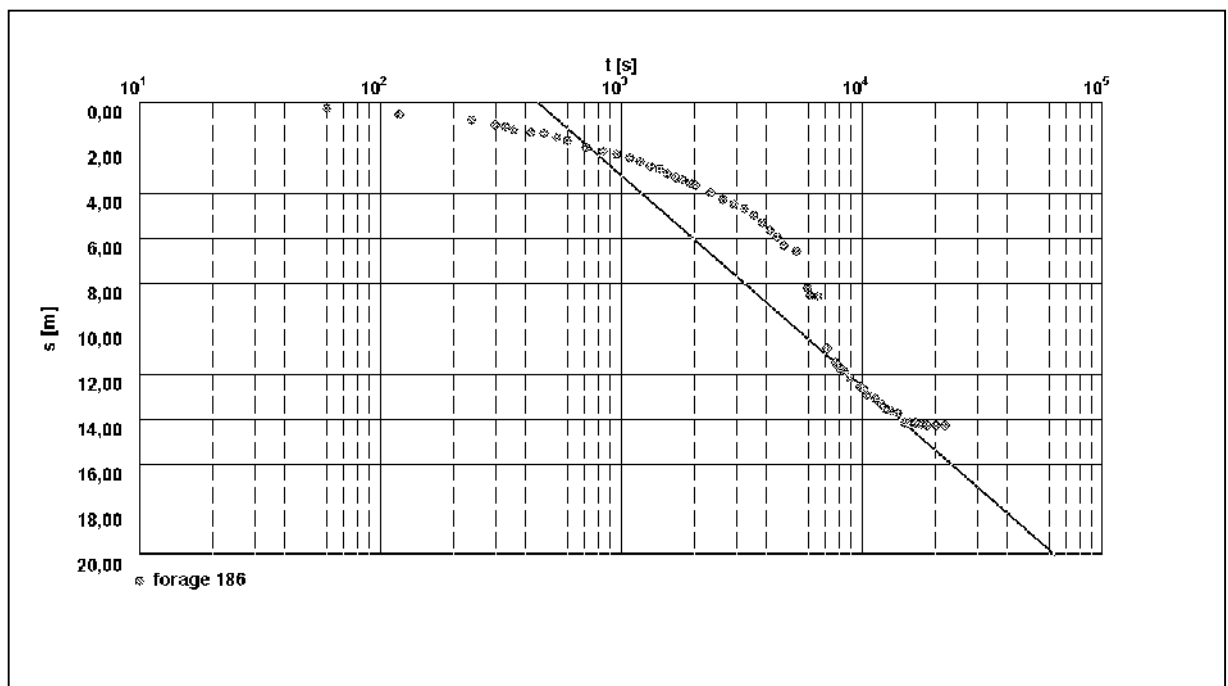


Fig N°42 : Interprétation de descente au forage 186

- **La remontée du forage N° 186 :** le temps de la remontée a duré 2 h. les données de pompage sont représentées sur le graphe, temps/rabattement.
La transmissivité est de $7,65 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$.

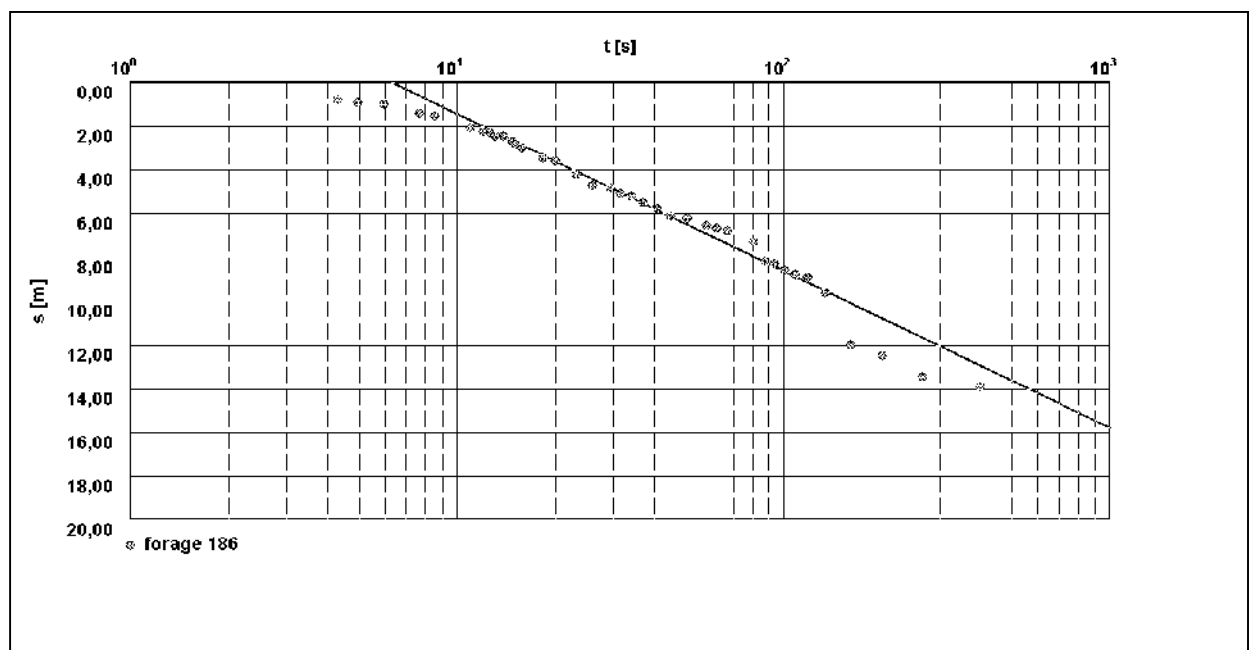


Fig N° 43 : Interprétation de la remontée au forage 186

- **Puits N° 533 :**
- **La descente du puits N° 533 :** les rabattements mesurés dans le puits sont représentées sur le graphe, temps/rabattement. La transmissivité déterminée par la méthode Cooper & Jacob est de $4,09.10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$.

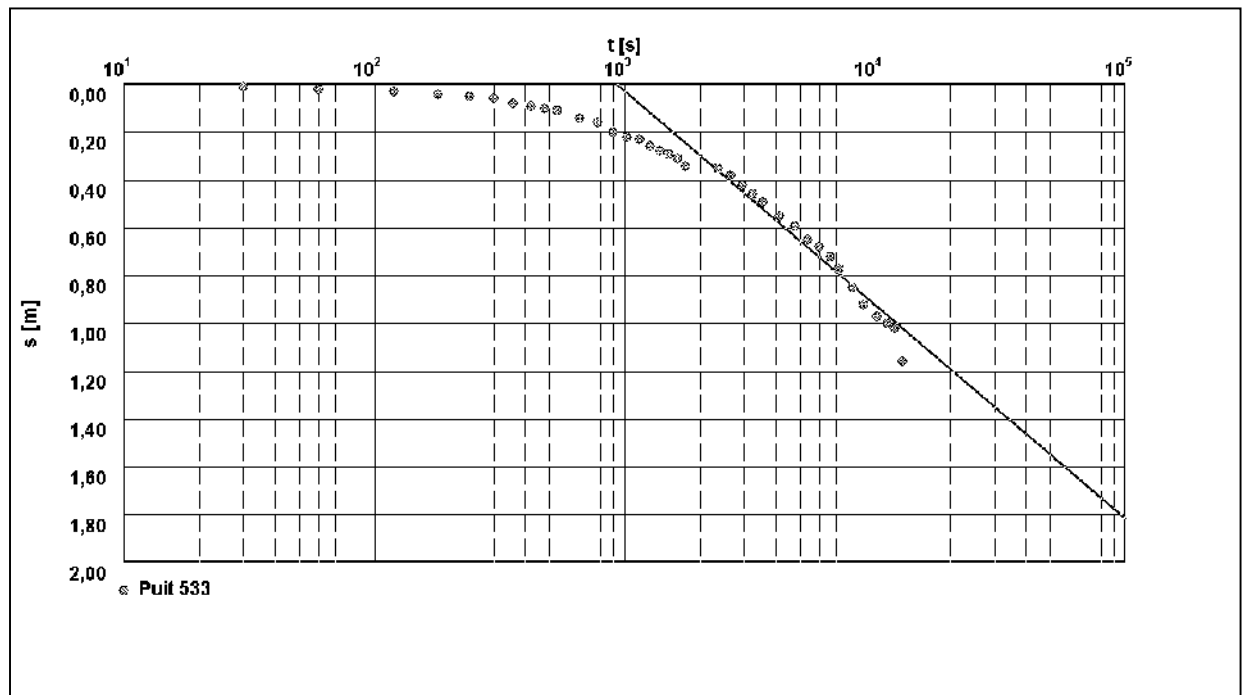


Fig N°44 : Interprétation de la descente du puits 533

- **La remontée du puits 533:** le temps de la remontée a durée 6 h. La transmissivité est de $1,99.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

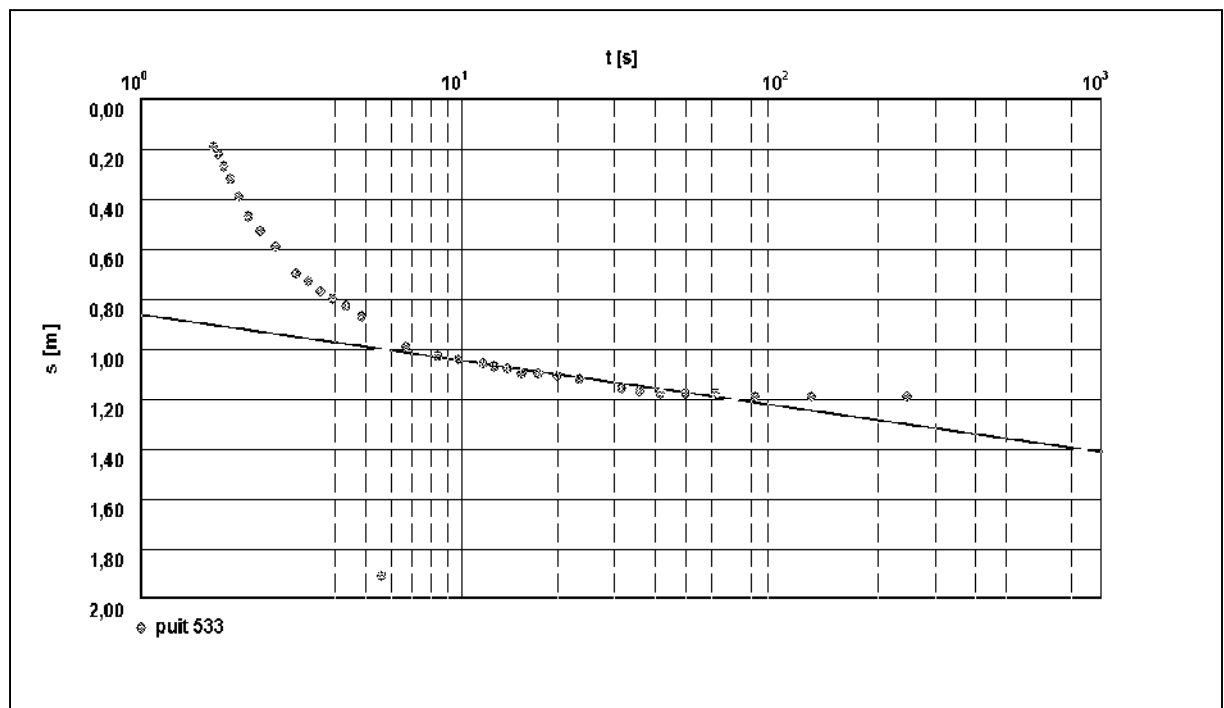


Fig N° 45:Interprétation de la remontée du puits 533

Le tableau suivant synthétise les résultats des essais réalisés:

N° points	commune	Prof (m)	Q (l/s)	Formations captées	T (m ² /s) descente	T (m ² /s) remontée
533	Souk nammane	30	4	Q	$4.09.10^{-4}$	$1.99.10^{-3}$
186	Souk nammane	90	3	Q+CI	$5.90.10^{-5}$	$7.65.10^{-5}$
736	Bir Chouhada	28	4	Q	$1.02.10^{-4}$	$1.27.10^{-4}$
E8 Bir Ch	Bir Chouhada	150	44	Q+M+CI	$5.24.10^{-2}$	$2.85.10^{-1}$
42	Ouled Zouai	14	4	Q	$1.25.10^{-4}$	$5.58.10^{-4}$
OZ1	Ouled Zouai	110	15	Q+M	$9.04.10^{-3}$	$1.18.10^{-3}$

Tableau N°20 : Résultats des essais de pompage effectués dans la région d'étude

Conclusion:

L'étude hydrogéologique a permis de connaître deux aquifères ; l'un Plio-Mio-Quaternaire dont les niveaux superficiels sont connus par les puits et les niveaux profonds par les forages ; l'autre Crétacé Inférieur et Jurassique supérieur.

L'alimentation de l'aquifère superficiel se fait soit directement sur les formations poreuses, soit indirectement au long des piémonts des massifs environnants et aussi par les aquifères carbonatés au niveau des failles.

L'écoulement se fait principalement dans deux sens du Sud-Ouest vers le Nord-Est, ou d'Ouest vers l'Est avec un gradient hydraulique variable allant de 0.002 à 0.008, le niveau le plus bas de cette nappe superficielle est représenté par les chotts (Tinsilt, Ez Zemoul).

On a pu évaluer à partir des essais de pompage effectués au niveau des forages et puits ; les valeurs de transmissivités calculées varient de $5.24.10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ au niveau du forage E8 Bir Ch (Bir Chouhada) à $5.90.10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ déterminée au niveau du forage N° 186.

Ainsi il en ressort que les fortes transmissivités caractérisent les aquifères carbonatés du Crétacé Inférieur.

Introduction :

La composition chimique d'une eau joue un rôle important dans la détermination de sa qualité, ce qui influera sur les possibilités soit de son utilisation pour l'alimentation en eau potable, soit pour d'autres usages.

Dans la haute plaine de Bir Chouhada, Souk Naamane et Ouled Zouai, la chimie des eaux souterraines est conditionnée soit par les formations géologiques traversées, soit par les incidences anthropiques.

1- Minéralisation et caractérisation des faciès chimiques des eaux:

L'analyse chimique effectuée sur les eaux prélevées de 57 points d'eaux dans la zone montre des valeurs très élevées de la conductivité électrique (600-11200 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et du résidu sec (510-5944 mg/l). Ces paramètres augmentent généralement de l'Ouest vers l'Est notamment dans la région d'Ouled Zouai autour de Sebkhat Zemoul et du Chott Tinsilt.

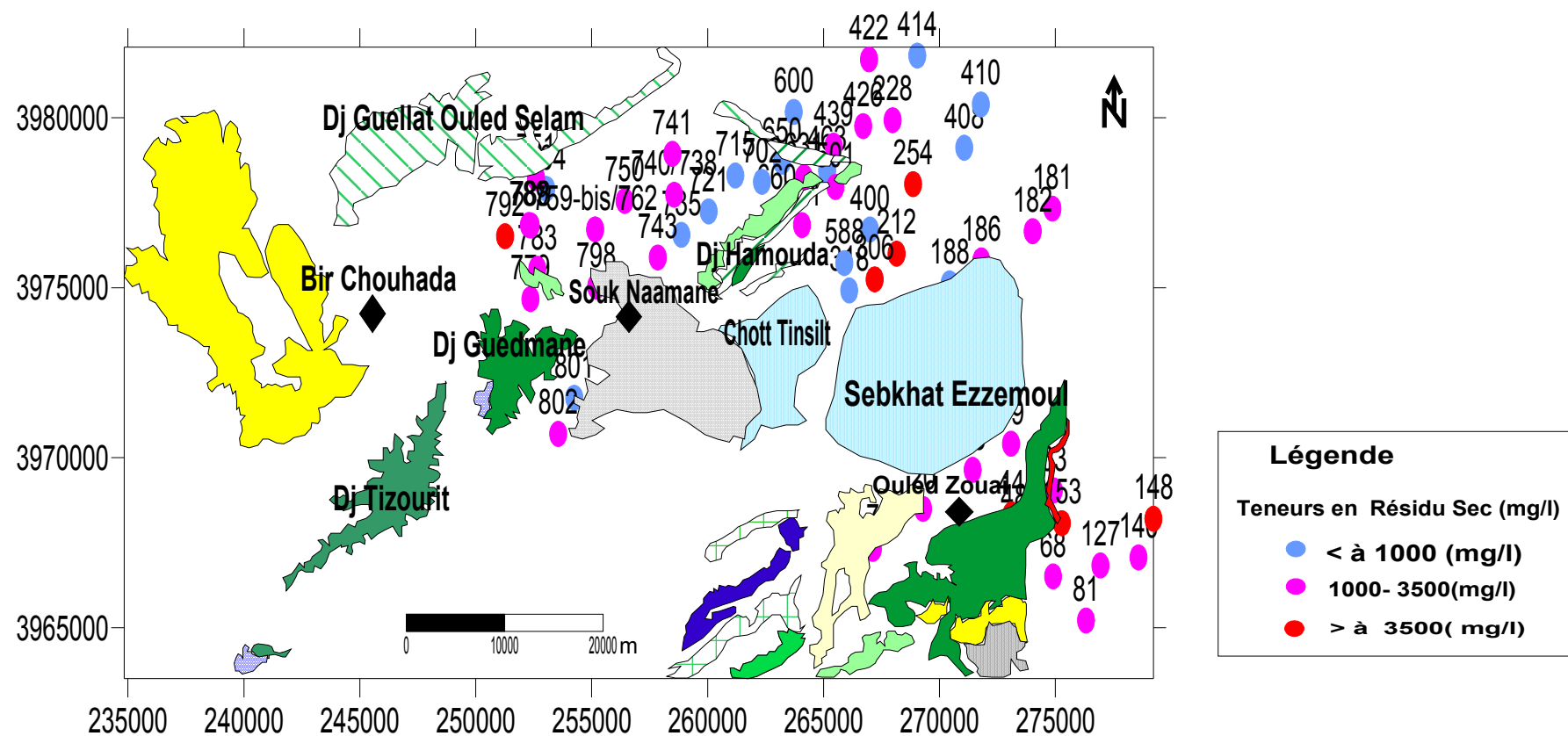


Figure N°46 : Carte de variation du résidu sec des eaux de la nappe Mio-Plio-Quaternaire de la région d'étude(2009)

L'examen de la relation $\text{HCO}_3^- / (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-})$ permet d'observer les facteurs qui influencent la variation de la conductivité des eaux.

Nous constatons ainsi une diminution logarithmique du rapport en fonction de la conductivité électrique, deux pôles sont observés :

- L'un est caractérisé par une dominance des ions HCO_3^- et des conductivités inférieures à 2000 $\mu\text{S/cm}$, il englobe 40% des points d'eau localisés au Nord et au Nord-Est de Souk Naamane près des terrains de bordure crétacés et dans la région de Bir Chouhada, où la nappe est sollicitée par les captages, situés surtout dans les terrains des calcaires vacuolaires du Miocène.
- L'autre représente le pôle évaporitique avec une dominance des ions Cl^- et SO_4^{2-} . Ce pôle apparaît pour les fortes conductivités ($>2000 \mu\text{S/cm}$) et rassemble plus de 60% des points d'eaux. Ces eaux localisées dans la région d'Ouled Zouai et à l'Ouest du chott Tinsilt.

Les valeurs faibles de la conductivité (2000 $\mu\text{S/cm}$) s'observent dans les régions éloignées des affleurements des évaporites du Trias et sont liées aux ions bicarbonates. Par contre, lorsqu'elles dépassent 2000 $\mu\text{S/cm}$, la conductivité devient liée plus aux ions évaporitiques (Cl^- et SO_4^{2-}).

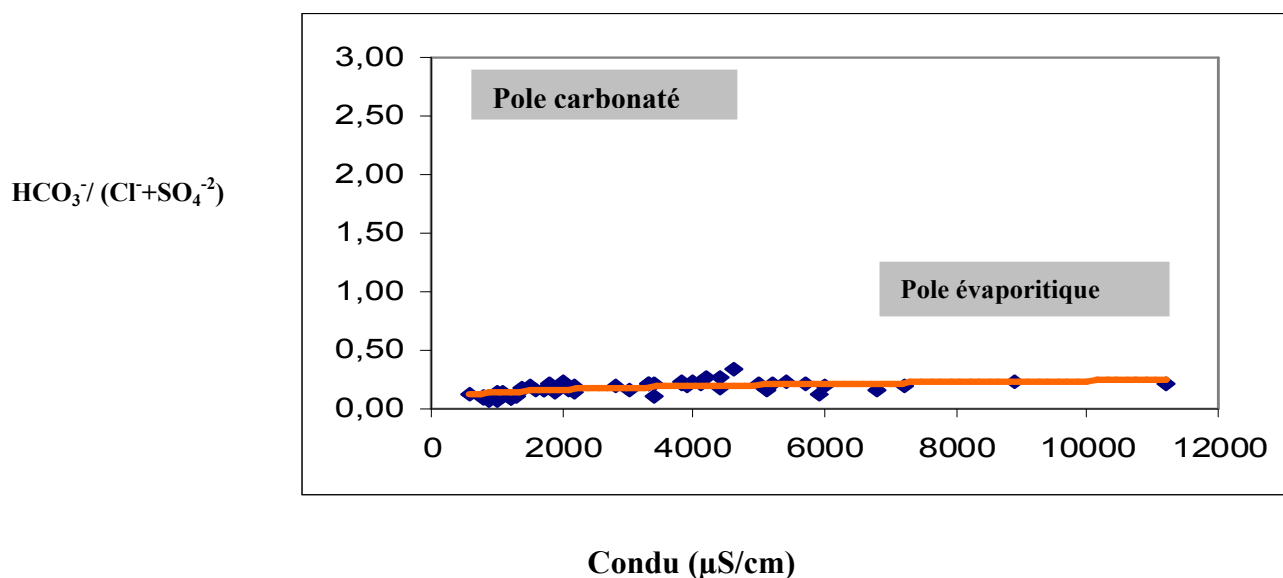


Figure N°47: L'origine de la salinité en fonction des rapports caractéristiques

Trois groupes d'éléments chimiques présentent des teneurs dominantes en Na^+ et Cl^- , suivis par Ca^{2+} et Mg^{2+} et enfin SO_4^{2-} et HCO_3^- . La richesse des eaux en éléments Na^+ , Cl^- et SO_4^{2-} et HCO_3^- est liée à la dissolution des formations évaporitiques (surtout le gypse). Par contre les bicarbonates sont dus à la dissolution des formations carbonatées du Crétacé

inférieur et du Miocène et les éléments Ca^{2+} et Mg^{2+} peuvent avoir deux origines : les formations gypseuses (évaporitique) et les formations carbonatés.

2-Classification des eaux :

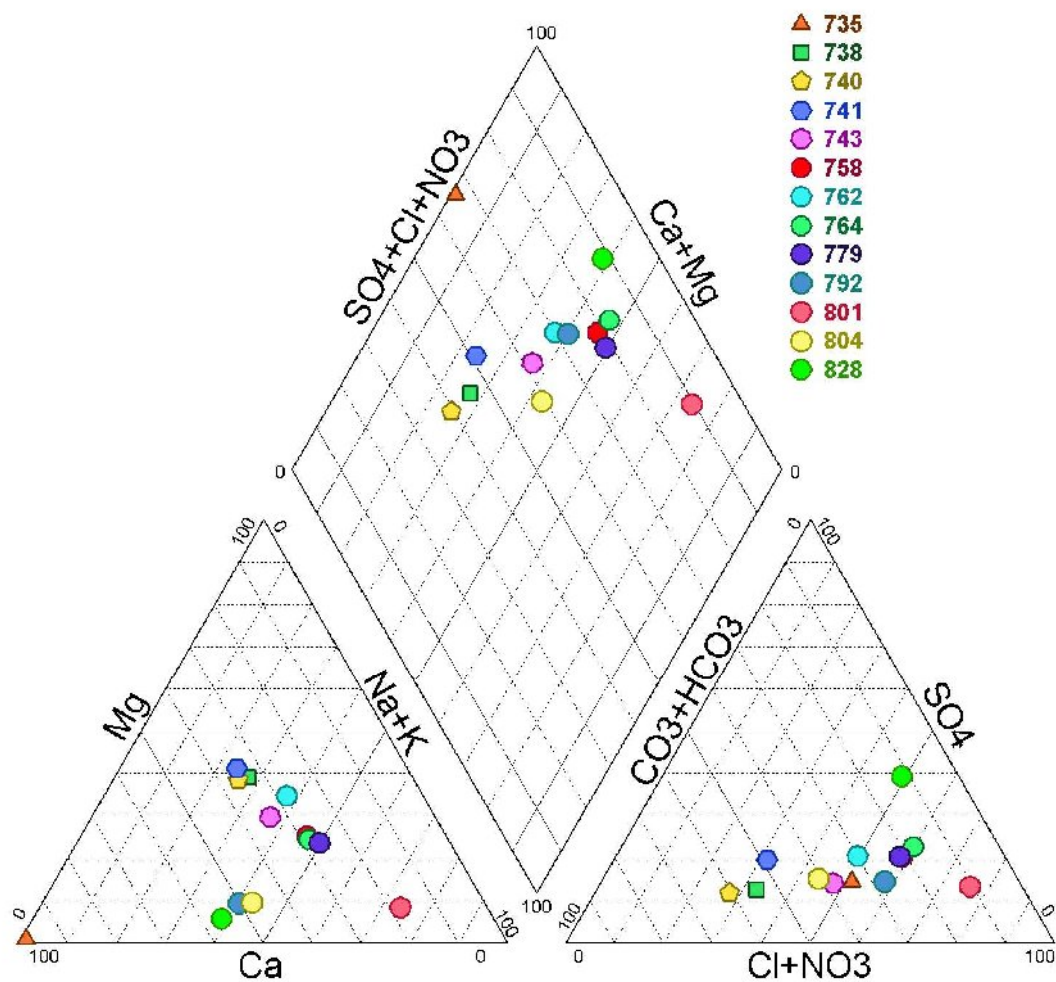
Il existe différentes catégories de classification définissant la composition chimique et le faciès chimique.

Classification de Piper

Classification de Schoeller-Berkaloff

Après classification des analyses sur le diagramme de Piper et de Schoeller-Berkaloff, deux faciès chimiques dominants sont observés :

- L'un chloruré sodique avec un pourcentage de 54.38% qui caractérise généralement des eaux salées, avec une conductivité supérieur à 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et l'autre chloruré calcique avec un pourcentage de 15.78% remarquable au centre de la plaine (à l'Est et à l'Ouest de Souk Naamane) et dans la région d' Ouled Zouai de part et d'autre du Djebel Tarbent, la conductivité est généralement inférieure à 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
- Et l'autre bicarbonaté calcique avec un pourcentage 12.31% et magnésien de pourcentage 10.52% apparaît surtout près des reliefs crétacés au Nord de Souk Naamane suggérant une alimentation de la nappe par des eaux provenant des terrains carbonatés du Crétacé inférieur. Ce même faciès caractérise également les eaux captées par les forages profonds réalisés dans les horsts à l'Est de Bir Chouhada, ou l'aquifère carbonaté est accessibles à de faibles profondeurs.



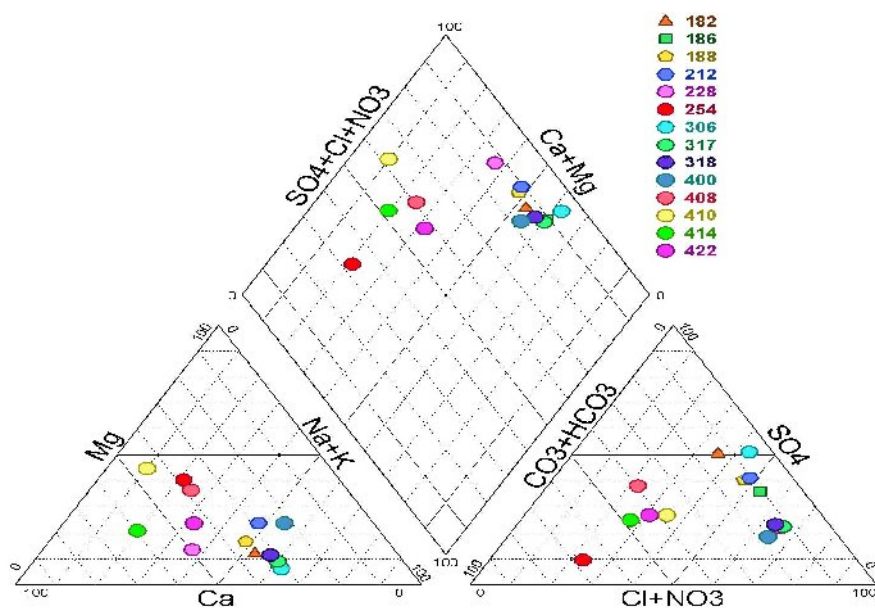


Figure N°49 : Diagramme de Piper des eaux prélevées dans la région de Souk Naamane (2009)

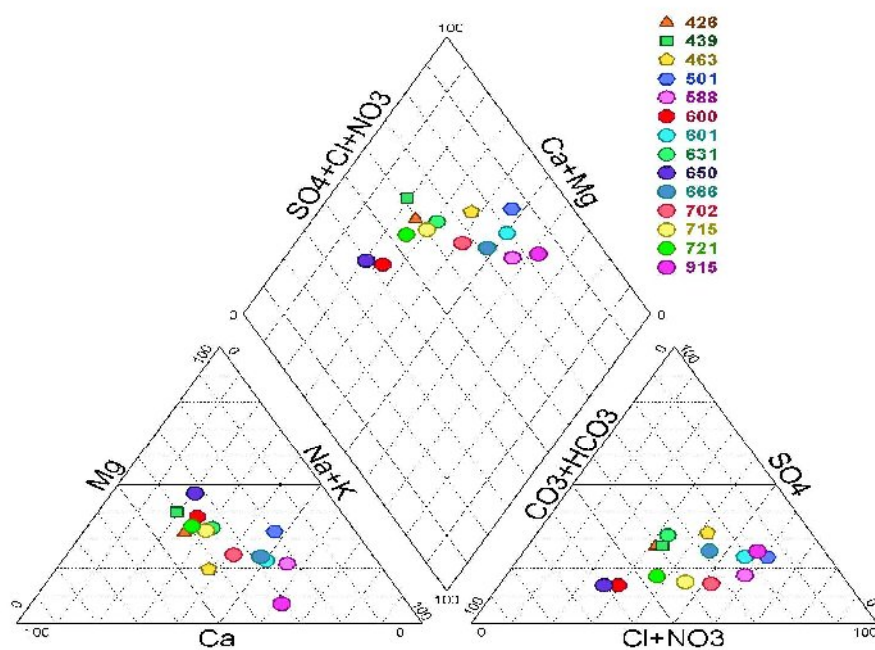


Figure N°50 : Diagramme de Piper des eaux prélevées dans la région de Souk Naamane (2009)

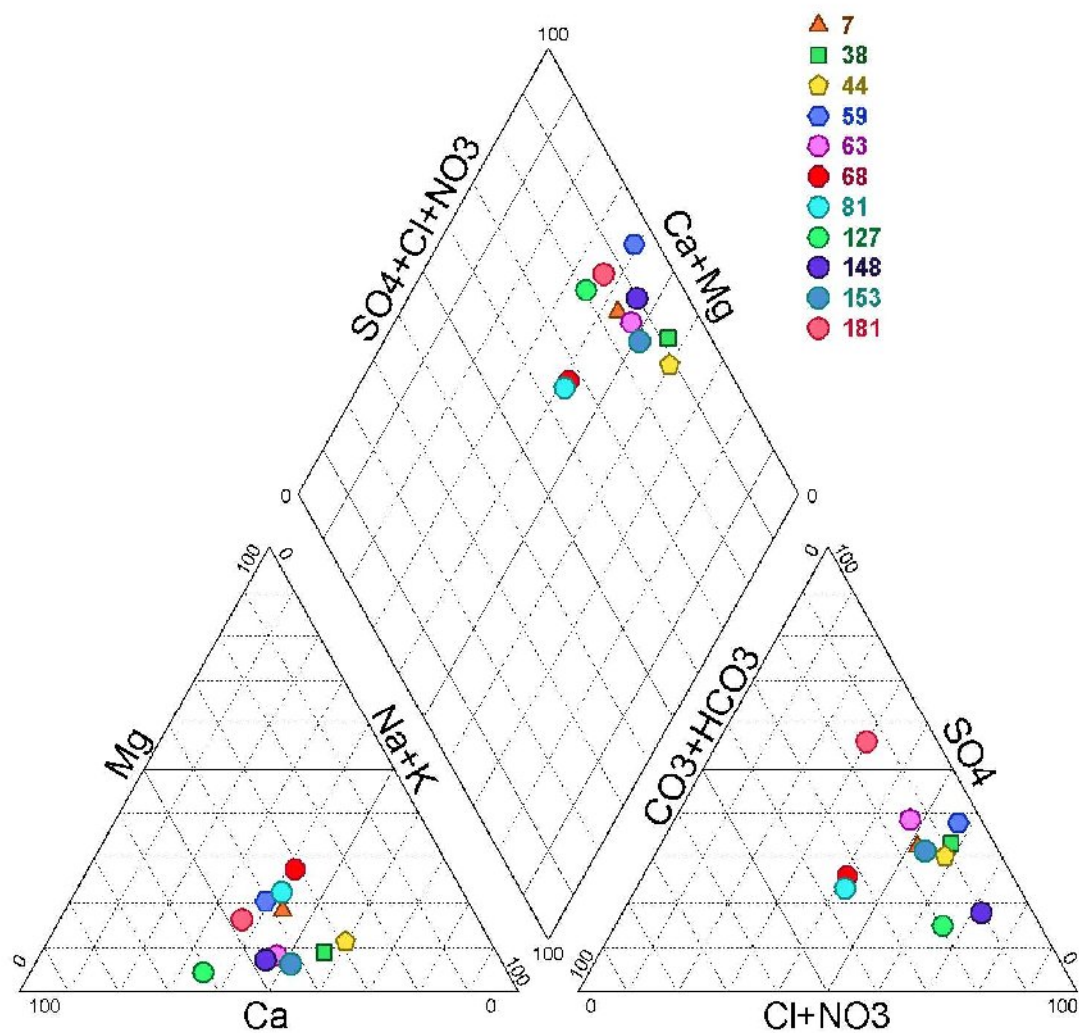


Figure N°51: Diagramme de Piper des eaux prélevées dans la région d'Ouled Zouai(2009)

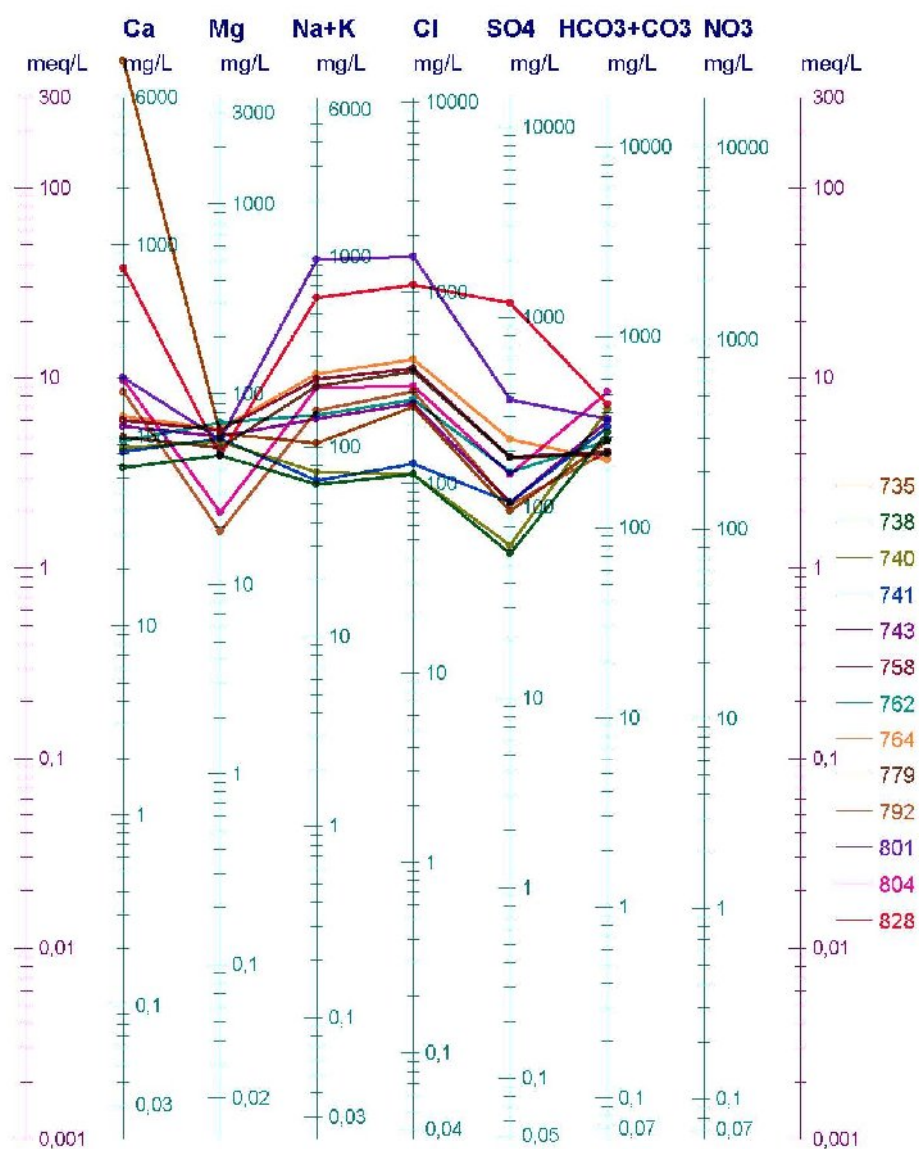


Figure N°52 : Diagramme de Scholler-Berkaloff des eaux prélevées dans la région de Bir Chouhda(2009)

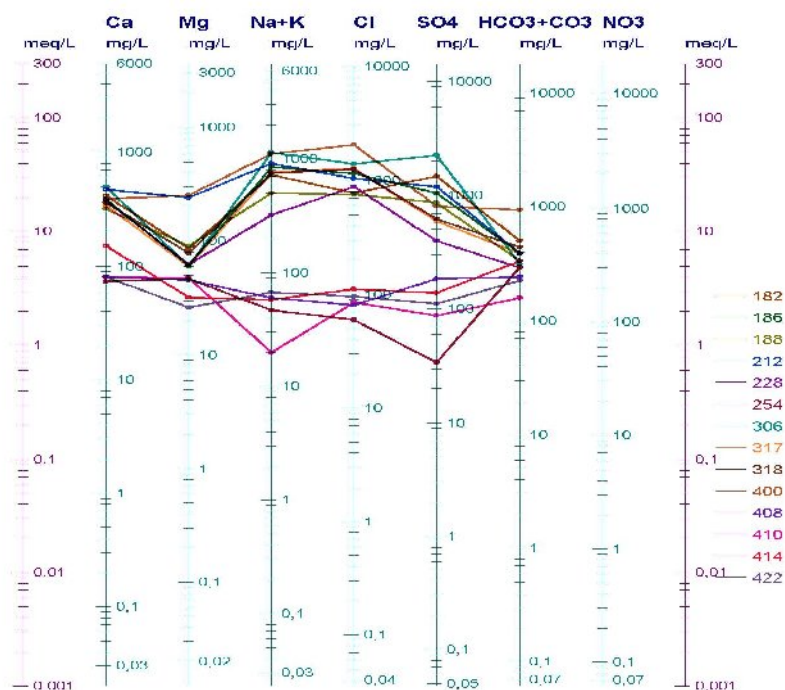


Figure N°53: Diagramme de Scholler-Berkaloff des eaux prélevées dans la région de Souk Naamane(2009)

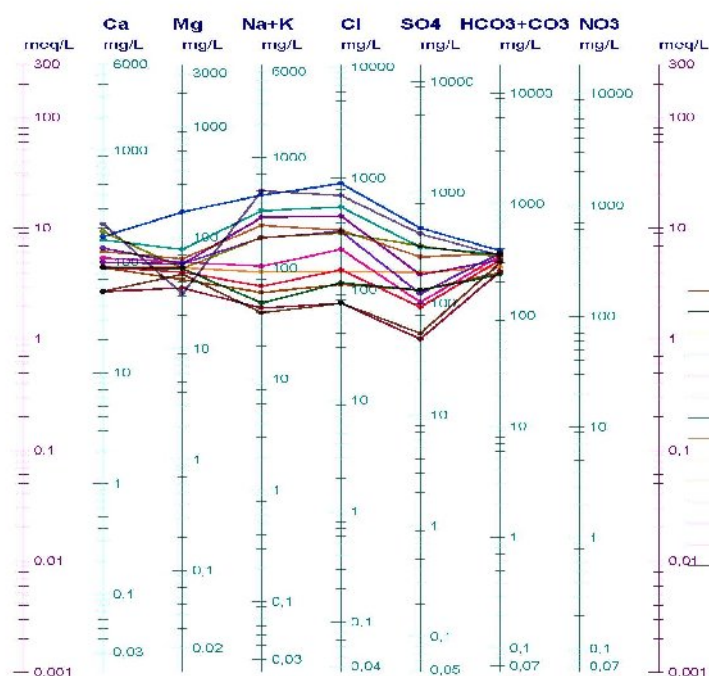


Figure N°54: Diagramme de Scholler-Berkaloff des eaux prélevées dans la région de Souk Naamane(2009)

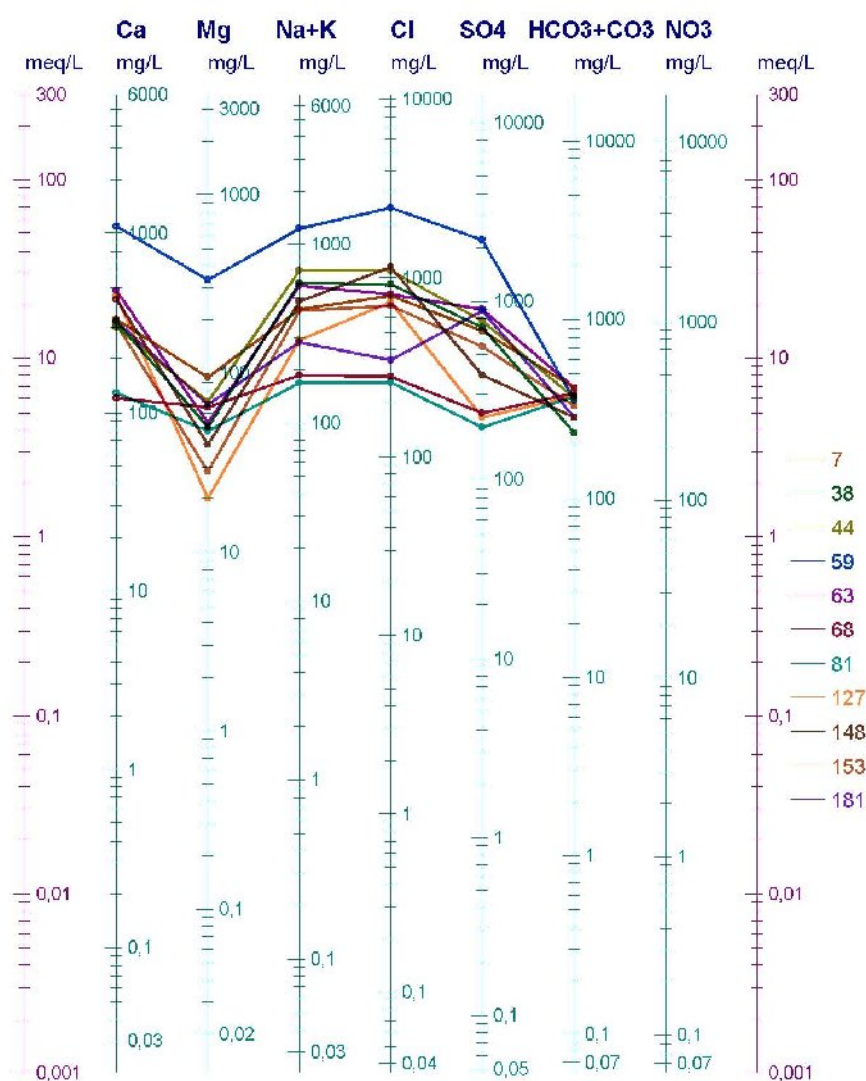


Figure N°55: Diagramme de Scholler-Berkaloff des eaux prélevées dans la région de Ouled Zouai(2009)

La carte de la répartition des faciès chimiques de la région montre le passage du faciès bicarbonaté calcique au Nord de la région de Souk Naamane vers le faciès bicarbonaté- sodique et bicarbonaté- magnésien ce qui se traduit probablement par des échanges de base $\text{Ca}^{2+} \longrightarrow \text{Mg}^{2+}$ et $\text{Ca}^{2+} \longrightarrow 2\text{Na}^{+}$.

Le faciès chloruré sodique apparaît également à l'Ouest de Bir Chouhada, où l'aquifère des calcaires lacustres renferment du gypse salifère diffus.

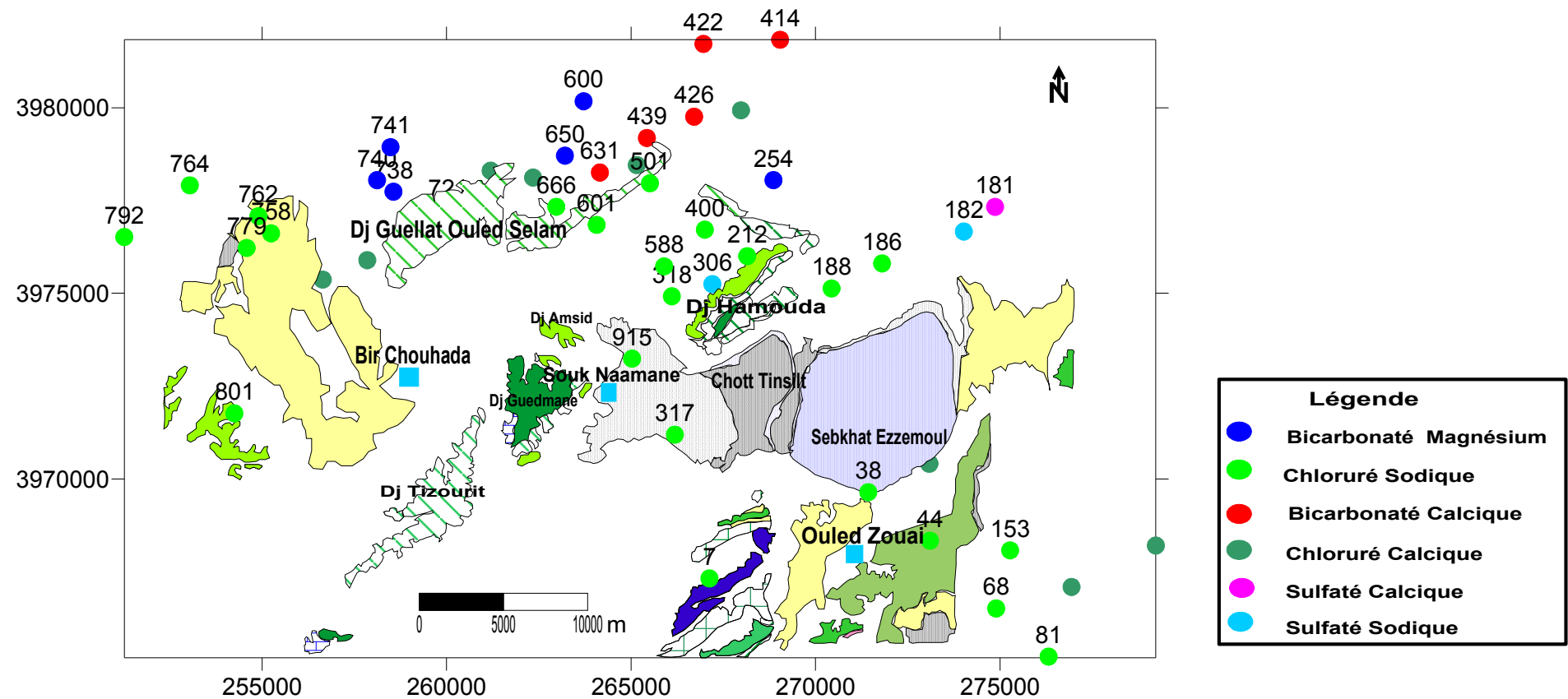


Figure N°56: Carte de la répartition des faciès chimiques de la plaine de Bir Chouhada-Souk Naamane et Ouled Zouai(2009)

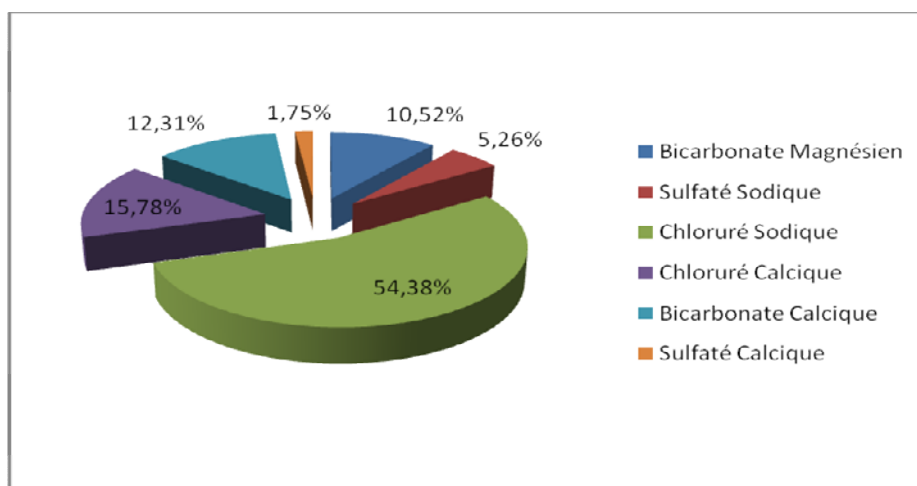


Figure N° 57: Répartition des faciès chimiques en pourcentage dans la plaine de Bir Chouhada-Souk Naamane et Ouled Zouai

Vu la prédominance des ions (Na^+ , Ca^{2+} , Cl^- , HCO_3^-) dans l'eau de la nappe on a réalisé une représentation des faciès chimiques dans un diagramme bilogarithmique ($\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$, $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$)

Ce diagramme montre l'existence de six pole caractéristiques de faciès chimique des eaux de la nappe.

Entre les deux pôles extrêmes représentés par le faciès bicarbonaté - calcique et chloruré-sodique s'observe un passage progressif du faciès bicarbonaté calcique au bicarbonaté sodique et chloruré sodique.

La tendance vers le pole chloruré calcique est plus marquée, exprimant un échange de base entre les ions de calcium et les ions de sodium plus actif.

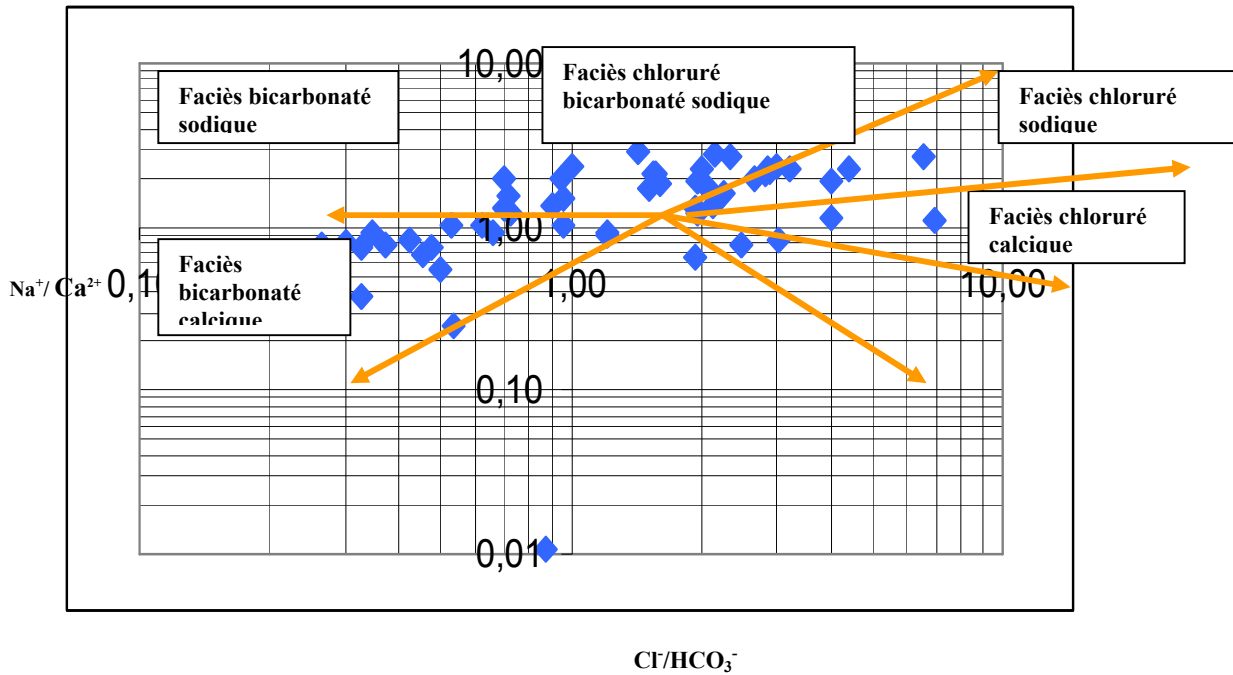


Figure N°58: Diagramme sur la répartition des faciès chimiques par l'utilisation du rapport (Na^+/Ca^{2+}) et (Cl^-/HCO_3^-)

3- Origine des éléments chimiques :

On peut déterminer l'origine des éléments à partir de la bonne corrélation qui existe entre eux. Les calculs des régressions effectués utilisent les données des analyses chimiques de 57 point d'eau. Deux relations principales ont été examinées.

3-1- Le couple (Na^+ et Cl^-) :

La présence de ces deux éléments chimiques dans les eaux naturelles est liée à la dissolution de l'halite ($NaCl$) selon l'équation suivante : $NaCl = Na^+ + Cl^-$ $\log k = 1.58$ (Helegson 1969).

L'évolution de Na^+ est étudiée en fonction des teneurs en chlorure, car ce dernier est considéré comme un traceur stable et conservatif des évaporites, très soluble, n'intervenant pas dans les phénomènes d'oxydoréduction et il est peu influencé par l'intervention des bactéries.

En plus son déplacement n'est pas retardé dans l'eau. La représentation graphique de l'évolution des teneurs en sodium en fonction des concentrations en chlorures sur une échelle logarithmique, montre la répartition des ions Na^+ et Cl^- avec un coefficient de corrélation de 0.93 indiquant l'origine du faciès chloruré sodique.

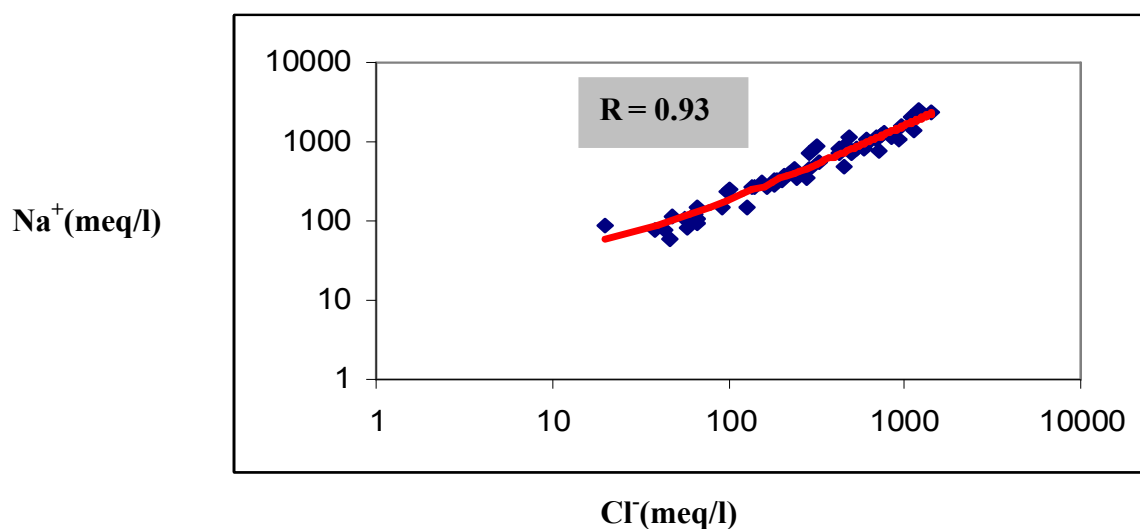


Figure N°59 : Courbe de Corrélation des ions Na^+ avec les ions Cl^-

La projection des différents points sur le diagramme de $\text{Ca}^{2+}/(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$, Na^+/Cl^- montre que 35% des points subissent un échange de base et 50% des points d'eaux se représentent à l'état naturel et seul 15% des points présentent un excès en calcium par apport aux bicarbonates et aux sulfates.

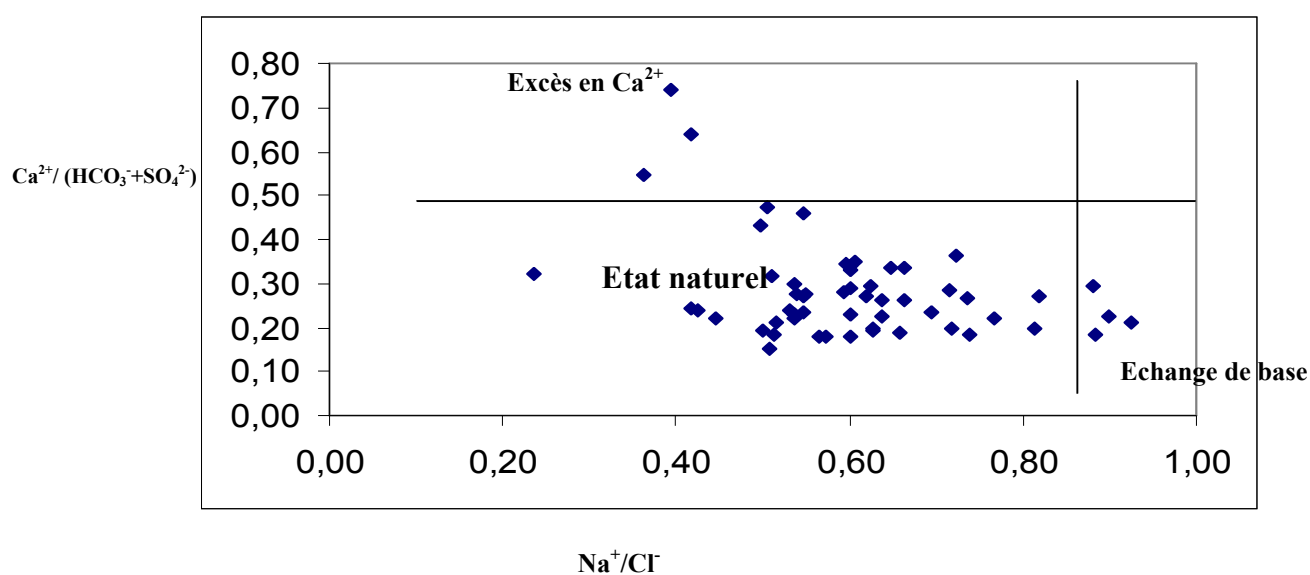


Figure N° 60: Les différents états des éléments chimiques dans l'eau

L'origine de la salinité des eaux et la prédominance des éléments Na^+ et Cl^- et du faciès chloruré sodique peuvent s'expliquer selon deux possibilités :

- Soit par le lessivage du Trias affleurant près de Sebkhath Zemoul et du Chott Tinsilt et la remontée par capillarité des eaux riches en éléments évaporitiques circulant au contact du Trias qui forme, au Sud de Sebkhath Ez Zemoul dans la

région de Ouled Zouai et à l'ouest du Chott Tinsilt, le substratum de la nappe superficielle.

- Soit par la dissolution du gypse salifère qui se présente à l'état diffus dans les terrains marneux et calcaires lacustres du Mio-Pliocène. Cette observation est nettement argumentée à l'Ouest de Bir Chouhada, où ces terrains affleurent sur de grandes étendues.

3-2-Les éléments Ca^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} :

On a examiné l'origine du calcium en fonction de deux éléments chimiques (bicarbonates et sulfates) qui indiquent l'origine principale (soit des calcaires soit du gypse).

La représentation graphique de l'évolution du calcium en fonction des bicarbonates montre un ensemble qui se positionne sur la droite, indiquant l'origine carbonatée des ions de calcium par la dissolution des formations carbonatées d'âge crétacé qui affleurent sur les reliefs des Djebel Guedmane, Guellat Ouled Selam et Hamouda.

Par contre les autres points présentent un excès en teneurs de Ca^{2+} , interprété comme le résultat de la mise en solution du gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ou du CaCO_3 (calcaires).

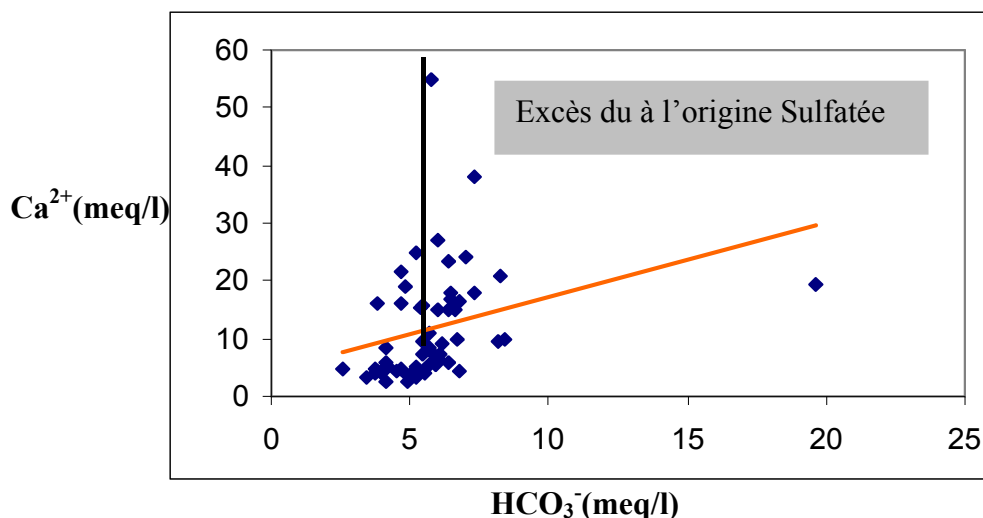


Figure N° 61: Représentation graphique des ions de calcium en fonction des ions de bicarbonate pour déterminer l'origine du calcium

Pour déterminer l'évolution du calcium en fonction de ces éléments une représentation graphique des teneurs en Ca^{2+} en fonction de $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$.

Cette dernière fait apparaître deux évolutions :

- Un excès exponentiel en Ca^{2+} indiquant l'origine évaporitiques de Ca^{2+}

- Une évolution linéaire interprétée comme le résultat de la dissolution des formations carbonatées.

Ces deux représentations montrent que la dissolution des ions de calcium à partir des évaporites est plus importante que celle qui se fait à partir des carbonates.

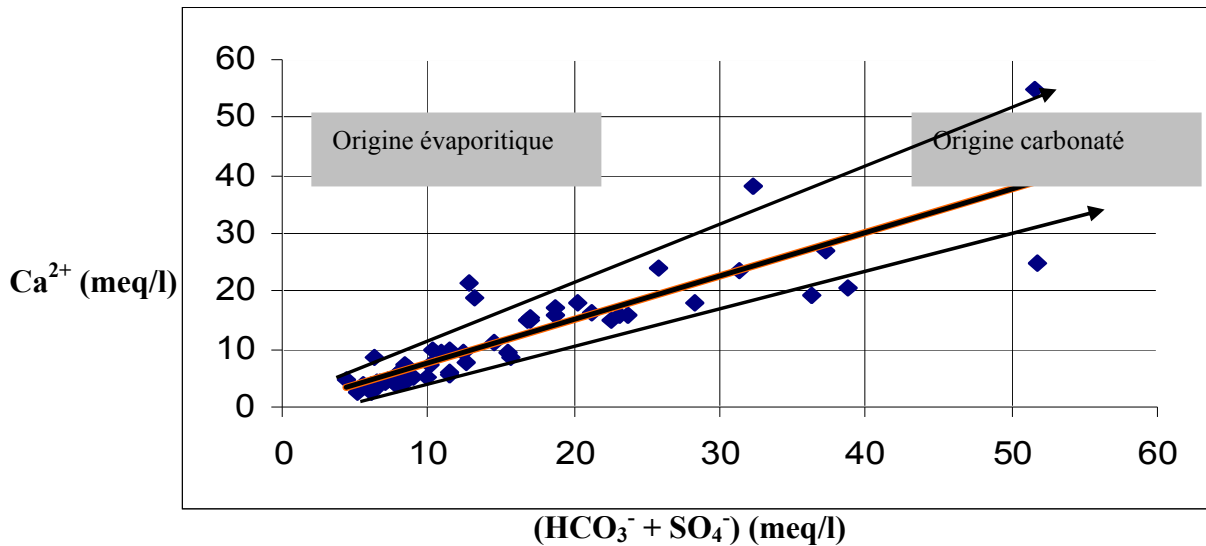


Figure N°62: Les différentes origines de calcium

3-3- Paramètre de pollution :

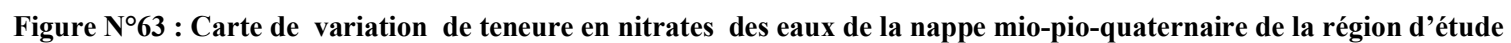
Le développement agricole entraîne souvent une pollution rapide des eaux souterraines par les formes chimiques de l'Azote, surtout celle des nitrates, en raison de leur grande solubilité aux échanges ioniques. Les autres formes chimiques de l'Azote (nitrites et ammonium) apparaissent seulement dans des conditions réductrices.

L'azote est présent au niveau de la zone d'étude sous trois formes chimiques (nitrates, nitrites et ammonium).

- **Les nitrates (NO_3^-) :** représentent la forme la plus oxygénée de l'azote, c'est une forme très soluble. Sa présence dans les eaux souterraines est liée à l'utilisation intensive des engrais chimiques. Les valeurs dosées oscillent entre 0 et 135 mg/l et la valeur moyenne correspond à 43 mg/l. Les teneurs qui dépassent 50 mg/l (seuil admissible selon les normes OMS) sont observées au Nord de Souk Nammane, dans la plaine cernée entre les reliefs de Djebel Hamouda et au Nord-Ouest de Bir Chouhada, où on a observé une intense activité agricole.

Toutefois, les eaux de la nappe profonde captée par des forages profonds dans le horst de Djebel Amsid, ne sont pas affectées par cette pollution. Dans la région d'Ouled Zouai, les teneurs en nitrates sont pour la majorité des points analysés, inférieures à la norme

admissible. Au voisinage de la commune de Souk Nammene, les eaux prélevées dans les puits domestiques sont par contre polluées par ces éléments. La présence de fosses septiques et l'assainissement rudimentaire qui caractérise cette localité en seraient les causes principales.



- **Les nitrites (NO_2^-)** : les valeurs les plus élevées et qui dépassent le seuil de potabilité (0.1mg/l) sont observées à l'Ouest du Djebel Tarbent. Les fortes valeurs sont également observées au Nord du Djebel Amsid.
- **L'ammonium (NH_4^+)** : sa présence dans l'eau est liée soit aux rejets urbains, soit par réduction des formes azotées en conditions réduites. Les plus élevées qui dépassent les normes de 0.5 mg/l sont surtout observées au Nord de Bir Chouhada au niveau de puits numérotés 741, 755, 758 et 746. d'une façon générale les valeurs varient de 0 à 2.6 mg/l. les régions à forte teneur en NH_4^+ correspondent grossièrement à celles où nous avons mesuré des teneurs en nitrates et nitrites, toutefois il convient de dire que certains puits sont peu protégés et sont réalisés près des fosses septiques, soit non couverts.

4- Détermination de la qualité d'eau pour l'irrigation :

Pour mieux connaître l'aptitude des eaux à l'irrigation, on a calculé la quantité de sodium adsorbé (SAR) par l'équation suivante :

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

Les concentrations de Na^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} sont exprimées en meq/l. Le SAR de chaque point d'eau est reporté sur le diagramme de Wilcox en fonction de sa conductivité électrique. Ce diagramme montre que la majorité des points d'eau présente une salinité forte.

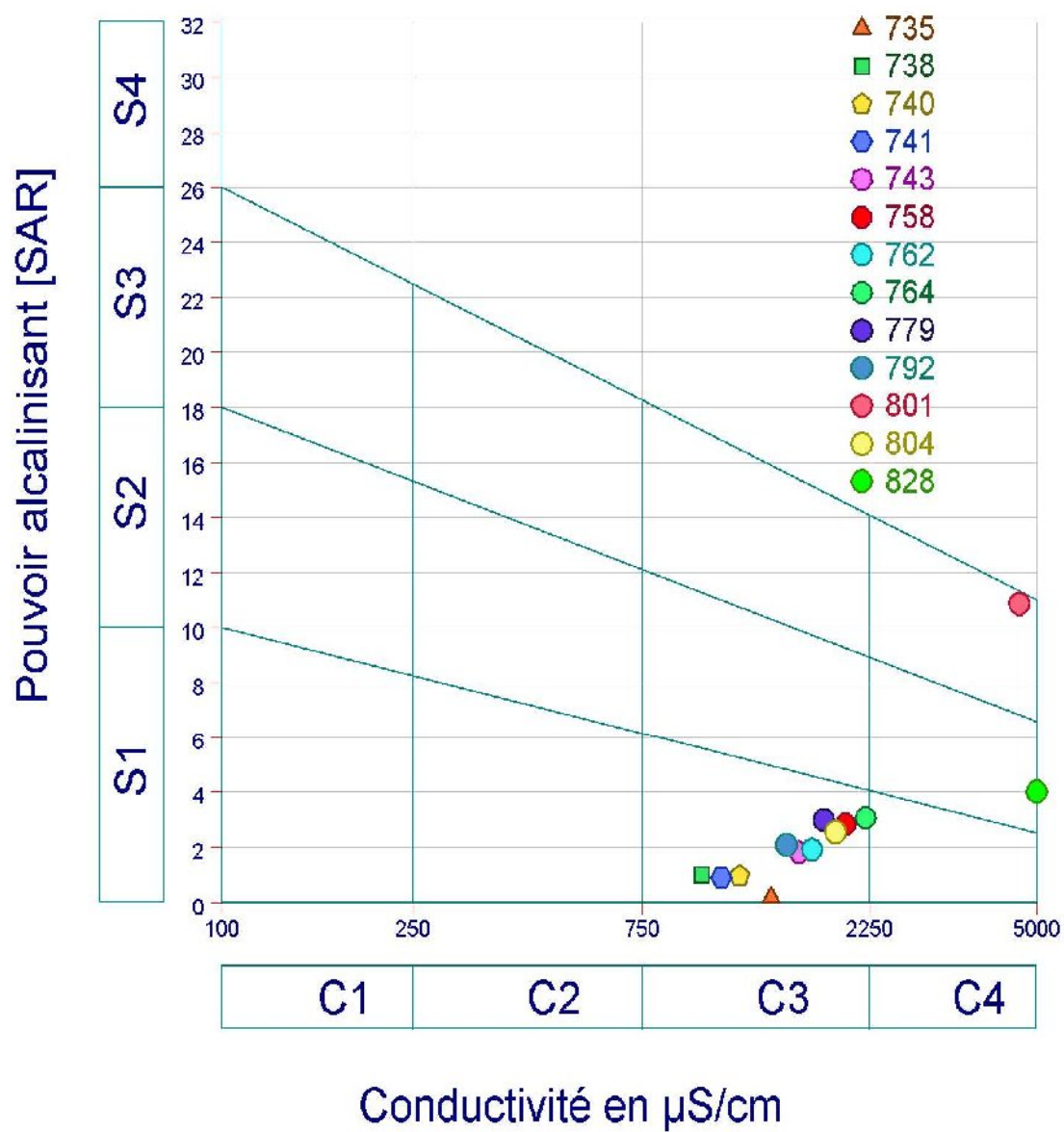


Figure N°64 : Classification des eaux d'irrigation (méthode de SAR) Bir Chouhada

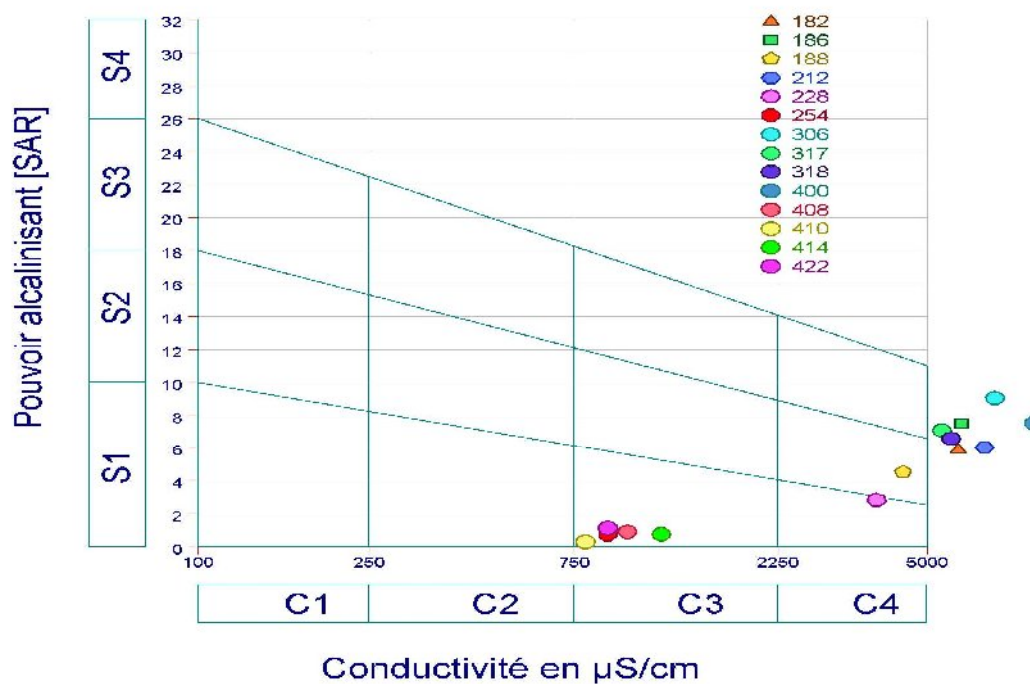


Figure N°65 : Classification des eaux d'irrigation (méthode de SAR) Souk Naamane

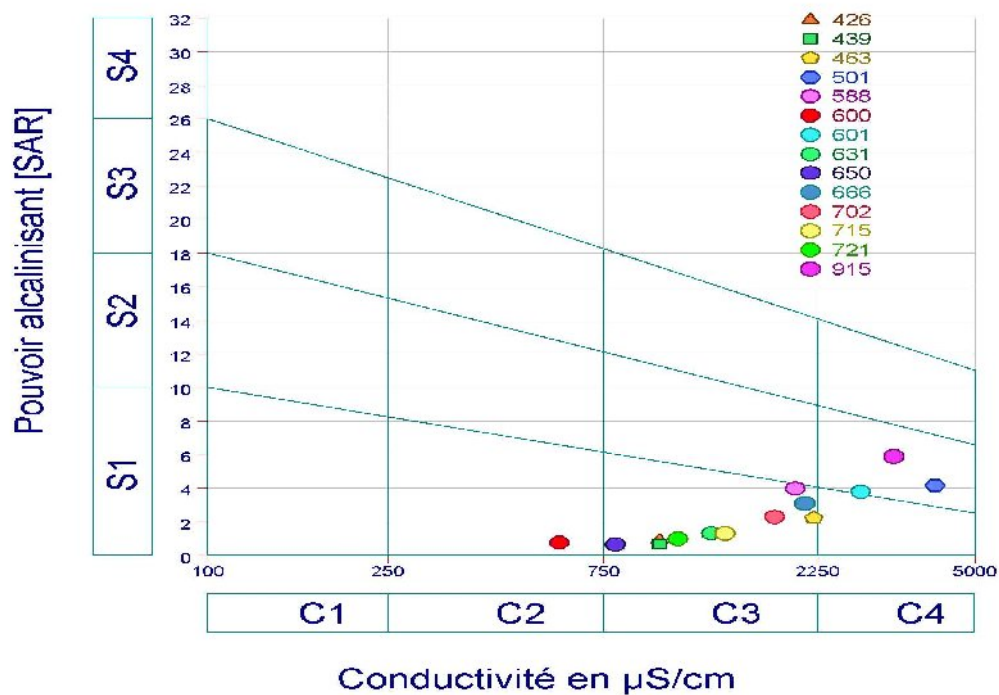


Figure N°66 : Classification des eaux d'irrigation (méthode de SAR) Souk Naamane

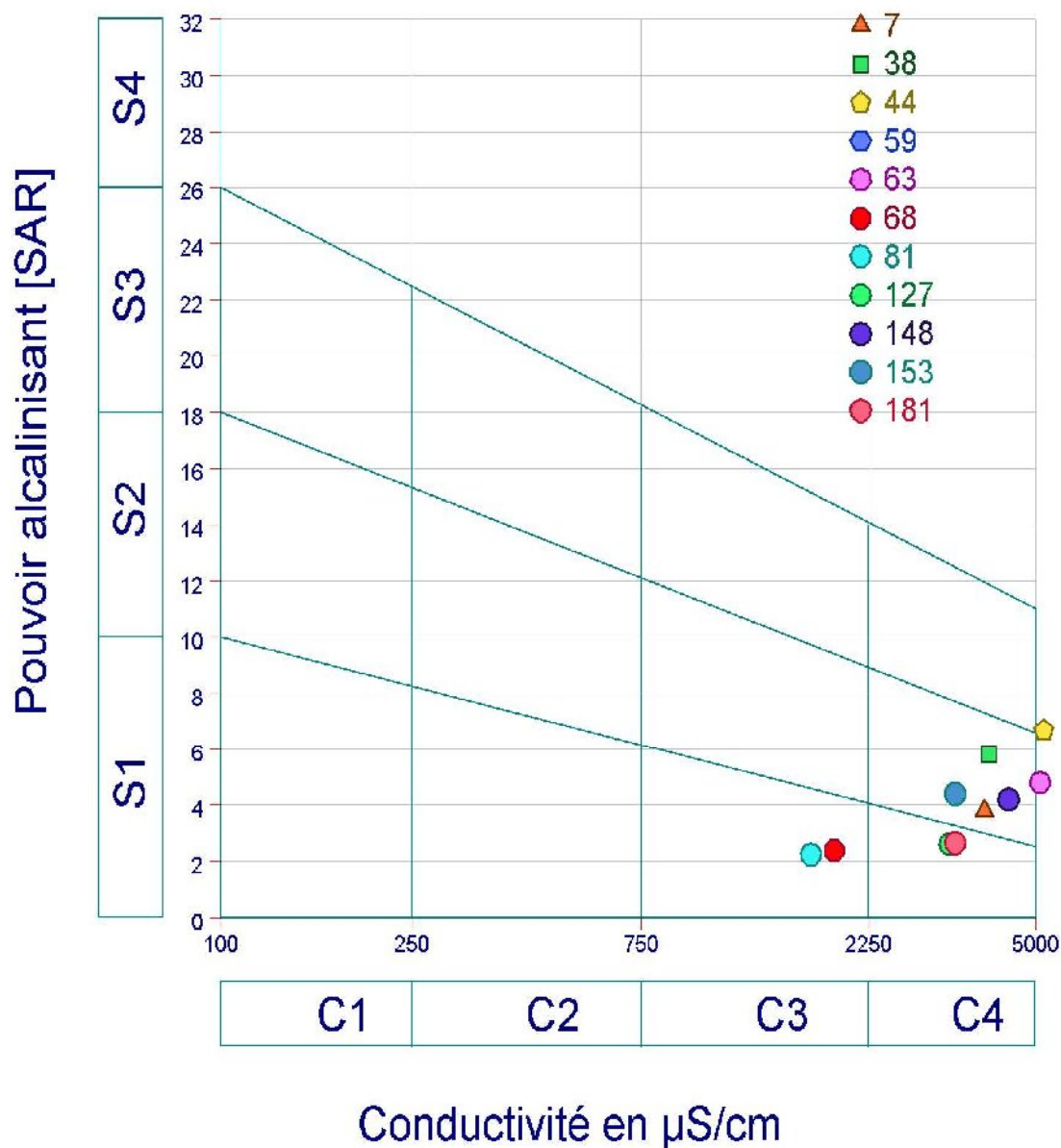


Figure N°67 : Classification des eaux d'irrigation (méthode de SAR) Ouled Zouai

On observe que la majorité des eaux se situent dans la classe C4-S2, C4-S3, C3-S1 qui définit une eau de salinité très élevée (C4) qui ne convient pas à l'irrigation en conditions ordinaires. Ces eaux ne peuvent être utilisées que pour l'irrigation des sols perméables avec un bon drainage. A défaut de ces critères l'eau présente un danger d'alcalisation des sols à textures fines. Seules les plantes tolérantes aux sels (tabacs, coton, orge, artichaut et dattiers) peuvent être cultivées.

On observe aussi une relation exponentielle entre la conductivité électrique et le SAR qui confirme le phénomène d'échange de base entre les ions de calcium et les ions de

sodium ; donc la majorité des points d'eau situés dans la zone centrale de la plaine de Souk Naamane et ceux situés près des deux Sebkhas présente une mauvaise qualité pour l'irrigation. Seuls les forages profonds qui captent les niveaux crétacés et les puits forés dans les zones limitrophes des reliefs crétacés peuvent être utilisés pour tout type de culture.

Partie II

Introduction :

L'étude de la vulnérabilité à la pollution des nappes et la mise en place de mesures destinées à la prévention des pollutions accidentelles est importante pour la gestion des ressources en eau.

1. Application de la méthode GOD (Foster 1987) :

1.1. Présentation de la méthode :

Ce système a été développé par Foster et Hirata, il est illustré dans la Figure (N°67), 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 groundwater 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.

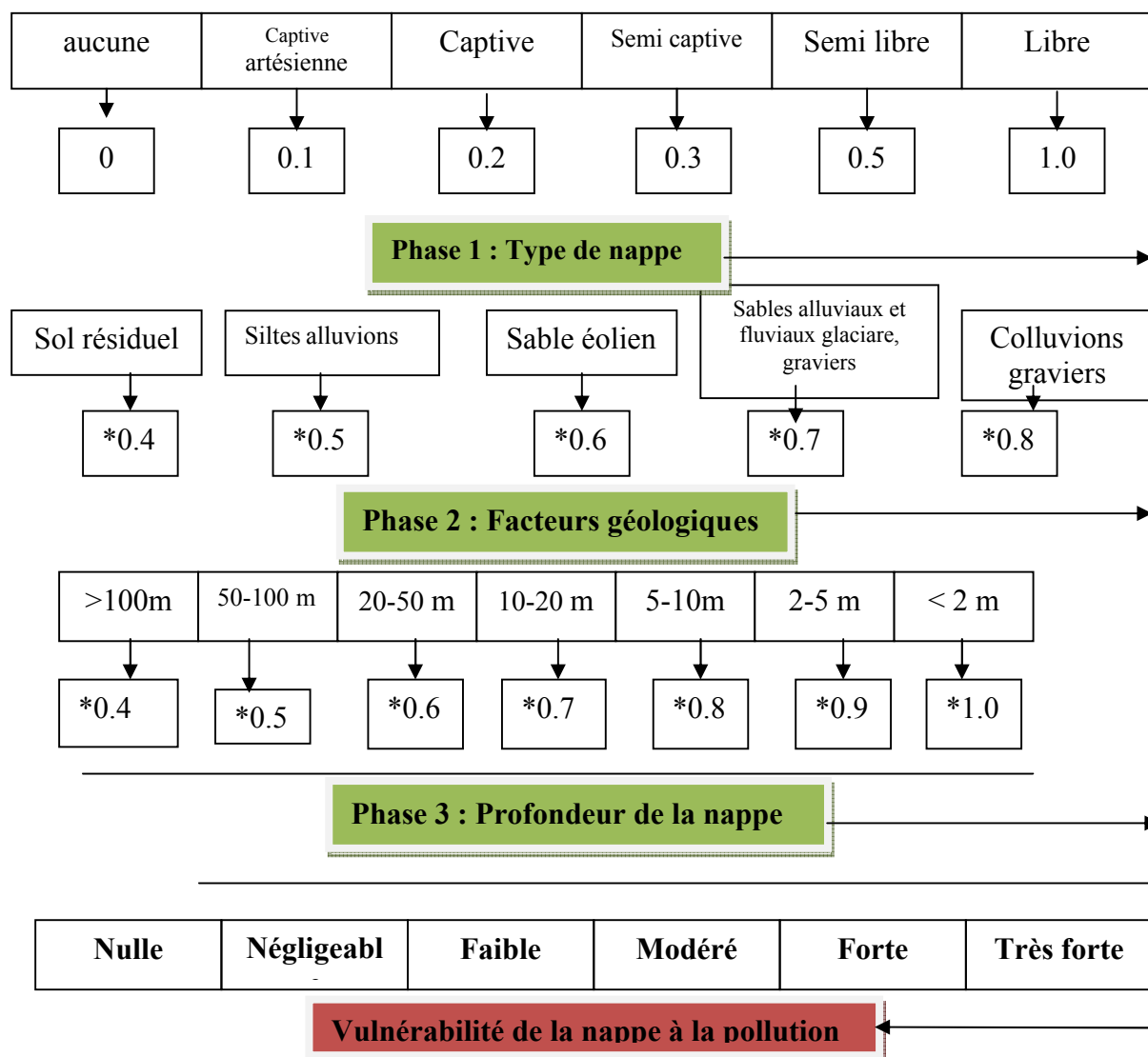


Figure N°68 : Indices de classification de la vulnérabilité selon la méthode GOD

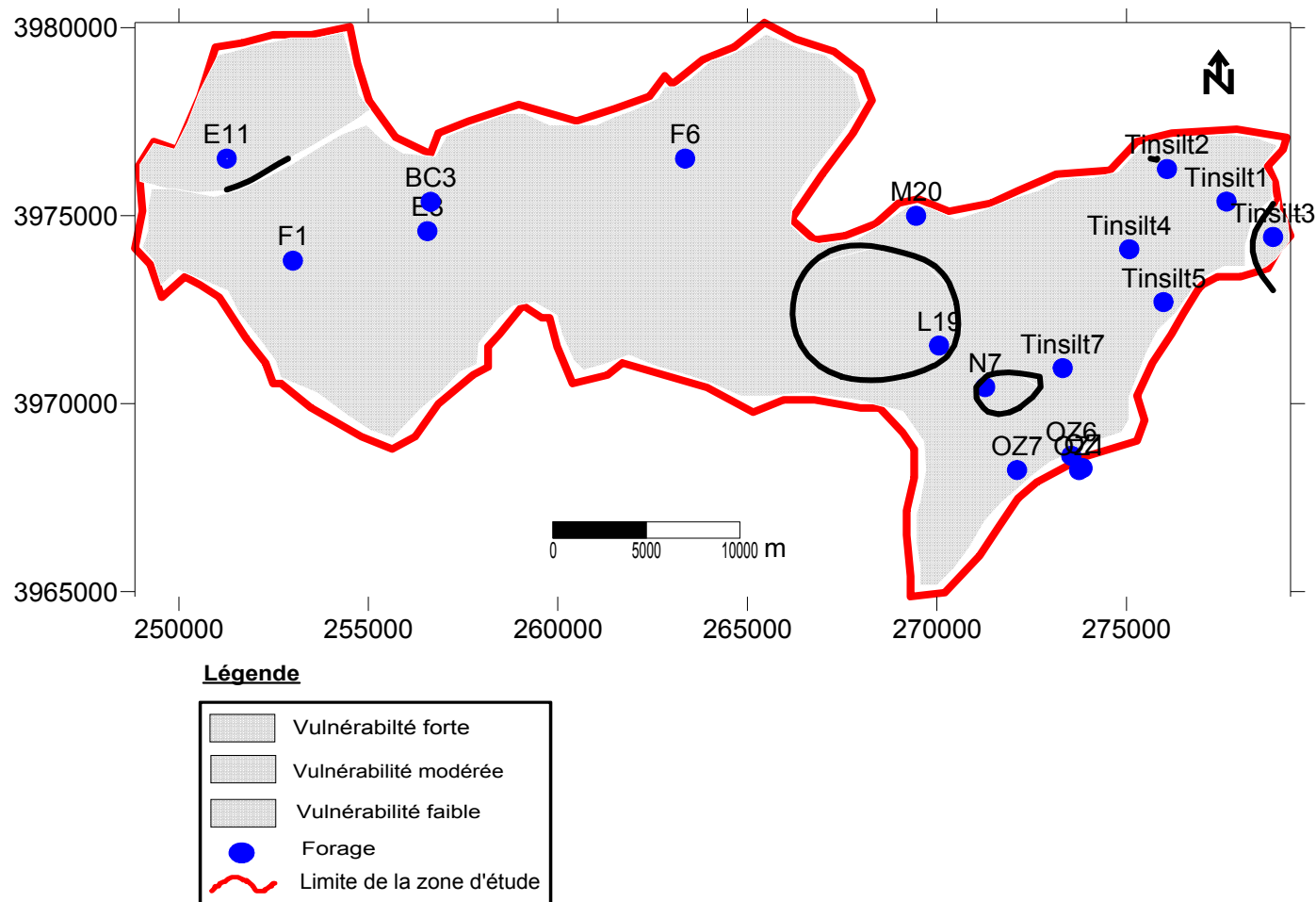


Figure N°69: Carte de vulnérabilité de la nappe mio-plio-quaternaire de la région de Bir Chouhada-Souk Naamane et Ouled Zouai

1.2. Interprétation la carte de vulnérabilité à la pollution de la nappe mio-plio- quaternaire de la région de Souk Naamane, Bir Chouhada et Ouled Zouai :

La nappe mio-plio quaternaire est constituée dans sa grande partie de calcaires lacustres, conglomérat, argiles et alluvions. La zone non saturée formée essentiellement d'argiles rouges, de marne et de petits bancs de calcaires. La profondeur de surface piézométrique varie entre 8 m et 36 m.

L'observation de cette carte montre l'importance de l'étendue des terrains à vulnérabilité modérée, qui occupent la majorité de la superficie totale ; en revanche, les terrains à faible et forte vulnérabilité occupent une faible étendue.

De ce fait, on peut dire qu'il s'agit d'une nappe globalement à vulnérabilité modérée à la pollution. Trois zones de vulnérabilité à la pollution se distinguent :

- **Les terrains à forte vulnérabilité :** Occupant une faible superficie.

Elle correspond à la partie centrale de la zone urbaine et une partie des zones de chotts ; principalement aux alentours des forages L19 et Tinsilt 3.

Elle se caractérise par une formation lithologique de conglomérats et de calcaires lacustres.

- **Les terrains à faible vulnérabilité :** Se localisent à l'Ouest de la Haute plaine de Bir Chouhada, Souk Naamane et Ouled Zouai.

La lithologie de cette zone est constituée d'argile rouge, marnes avec de petits bancs calcaires et de limons marneux.

- **Les terrains à vulnérabilité modérée:** Elles se repartissent dans la majorité des terrains étudiés. Ce sont les zones urbaines et les zones d'activité agricole.

Conclusion :

L'étude hydrochimique de la région qui est basé sur l'analyse et l'interprétation des 57 échantillons montre la prédominance des éléments chimiques (Na^+ , Cl^- , HCO_3^- et Ca^{2+}) et des faciès chloruré sodique et chloruré calcique.

L'origine de la salinité des eaux est due principalement à la dissolution des formations gypso-salifères d'âge triasique, qui constitué le substratum de la nappe alluviale dans la région située au Sud et à l'Est des deux chotts et où les évaporites affleurent.

Le mécanisme de contamination de la nappe par les fortes teneurs en chlorures et en sodium est essentiellement lié à la remontée, par capillarité, des eaux circulant au contact du substratum triasique, localisé dans la région des deux chotts en été et par le lessivage de ces mêmes terrains par les eaux de ruissellement en hiver. Par ailleurs, le faciès bicarbonaté calcique très répandu au Nord de Souk Naamane et au voisinage des reliefs crétacés. L'aquifère calcaire alimente la nappe superficielle et ce qui influe probablement sur les échanges de base $\text{Ca}^{2+} \longleftrightarrow \text{Na}^+$ et $\text{Ca}^{2+} \longleftrightarrow \text{Mg}^{2+}$.

Le faciès chloruré sodique apparaît également à l'Ouest de Bir Chouhada, où l'aquifère des calcaires lacustres renferment du gypse salifaire diffus.

Les paramètres de pollution se présentent avec des teneurs très élevées surtout en nitrates et en ammonium.

La majorité des points d'eau présente une mauvaise qualité d'eau pour l'irrigation et pour l'alimentation en eau potable à cause de leur salinité et résidu sec très élevé. Seuls les forages profonds réalisés sur les bordures de la plaine près des reliefs crétacés ou dans les horsts de Djebel Amsid, permettent d'extraire des eaux de bonne qualité chimique.

La cartographie des zones de vulnérabilité de la nappe a révélé trois zones de vulnérabilité différente. Les zones de vulnérabilité modérée occupent la majorité de la surface totale de la plaine, alors que les zones à faible et forte vulnérabilité occupent le reste de cette surface.

Introduction :

L'eau est une matière première très précieuse. Elle permet la survie des êtres vivants et de leur environnement naturel. Au cours du temps, les utilisations et fonctions de l'eau ont beaucoup évolué. D'abord utilisée pour l'eau potable et l'irrigation, elle a ensuite été nécessaire pour la production d'énergie et pour les besoins industriels. Les exigences pour l'eau potable deviennent de plus en plus contraignantes, aussi bien en quantité qu'en qualité ; donc la nécessité d'une gestion rationnelle efficace et durable des ressources.

Dans cette optique, une gestion de l'eau d'une façon intégrante et dont l'unité géographique représentée par un bassin versant sera indispensable.

Ce concept de la gestion intégrée de l'eau par bassin versant se traduit par l'élaboration d'un plan directeur mené par une analyse assez exhaustive (selon les données disponibles) pour mieux appréhender les différentes facettes de ce plan.

Le plan directeur d'eau sera représenté par la mise en œuvre d'un programme permettant de suivre l'état de satisfaction des besoins en eau aux différents horizons, des diverses catégories d'usagers résultant des conditions naturelles observées, des aménagements existants et d'un ensemble d'actions concernant la mobilisation de nouvelles ressources, les principes d'allocation et les conditions d'exploitation et de gestion des divers équipements hydrauliques ; la mise en œuvre de cet ensemble d'intervention constitue le scénario.

Ces politiques d'interventions se déroulent dans un contexte géographique caractérisé par un ensemble de données relatives :

- D'une part, aux aspects physiques (réservoirs existants, séries pluviométriques, hydrologie, hydrogéologie.)
- Et d'autre part, aux estimations des demandes des divers usagers et de leur évolution, fonction des besoins des populations.

1-Répartition spatiale de la population dans la région de Bir Chouhada**Souk Naamane et Ouled Zouai :**

D'après les résultats du dernier recensement (2008), la zone d'étude regroupe 38576 habitants avec une densité démographique de 104 hab/km² (Souk Naamane), de 41 hab/km² (Ouled Zouai) et de 76 hab/km² (Bir Chouhada), répartis spatialement en trois zones principales de populations :

- La population agglomérée : elle correspond aux chefs lieu des communes qui abrite : 43.98% (Souk Naamane), 17.68% (Bir Chouhada) et 2.56% (Ouled Zouai).
- Les agglomérations secondaires : comptent 5.54% de la population totale de la zone d'étude.
- La population éparsé : englobe 11680 hab soit 30.30% de la population totale.

Tableau N° 21: Répartition spatiale de la population communale dans la région de**Souk Naamane, Bir Chouhad et Ouled Zouai**

Commune	Catégorie de population	Construction	Logement	Population (1998)	Population (2008)
Souk Naamane	Chef lieu	4089	4002	23018	23986
Bir Chouhada	Chef lieu	2189	2000	8356	9461
Ouled Zouai	Chef lieu	978	1049	4556	5129
Totale		2756	7051	35930	38576

Tableau N°22 : Répartition spatiale de la population dans la région de Bir Chouhada,**Souk Naamane et Ouled Zouai**

Catégorie de population	Construction	Logement	Population 1998	Population 2008
Chef lieu	3152	3074	21031	24760
Agglomération secondaire	493	483	2676	2136
Zone éparsé	2701	2459	7772	11680
Total	6346	6016	31479	38576

Source ONS 2009

1-1 Evolution de la population :

L'accroissement de la population dans la région d'étude de 2008 à 2038 a un taux de 1.34%.

Commune	Catégorie de population	Population 2008	Population 2018	Population 2028	Population 2038
Souk Naamane	Chef lieu	16956	19370	213070	298298
	Agglomération secondaire	2136	2440.1	2781.73	3171.17
	population éparsé	4894	5579.16	6360.24	7250.67
Bir Chouhada	Chef lieu	6816	7770.24	8858.07	10098.20
	Agglomération secondaire	/	/	/	/
	population éparsé	2645	3015.3	3437.44	3918.68
Ouled Zouai	Chef lieu	988	1126.32	1284	1463.76
	Agglomération secondaire	/	/	/	/
	population éparsé	4141	4720.74	5381.64	6135.07

Tableau N°23 : Evolution de la population communale à moyen et long termes dans les régions de Bir chouhada, Souk Naamane et Ouled Zouai

Le tableau ci-dessous résume cette évolution aux différents horizons et les différentes zones des communes :

Catégories de population	Pop 2008	Pop 2018	Pop 2028	Pop 2038
Chef lieu	24760	28266.56	28645.33	29029.17
Agglomération secondaire	2136	2440.1	2781.73	2819
Population éparsé	11680	13315.2	13493.62	13674.43
Totale	38576	44021.86	44920.68	45522.6

Tableau N°24 : Evolution de la population à moyen et long termes dans les régions de Bir Chouhada, Souk Naamane et Ouled Zouai

1-2 Les activités agricoles :

Etant une zone rurale, la région d'étude a comme activité principale l'agriculture.

Céréalières et fourrages bien développée au niveau de la plaine de Bir Chouhada et Souk Naamane.

Les périmètres d'irrigation sont surtout concentrés dans les plaines de Bir Chouhada et Souk Naamane pour une superficie irriguée de 3520 hectares.

1-3 Les activités industrielles et de transformation :

Elle est presque absente et est représentée uniquement par la menuiserie du bois.

2- Répartition spatiale des infrastructures Hydrauliques :

La situation actuelle et l'état général des équipements hydrauliques se résument dans le tableau N° 26.

- **Forages :**

Selon le dernier bilan de la DHW d' Oum El Bouaghi ou 15 forages sont actuellement en exploitation mobilisent un potentiel de 4.10 hm³/an. Les eaux de ces forages sont essentiellement destinées à l'alimentation potable(AEP) ; et 68 forages exploités pour l'irrigation mobilisent un potentiel de 8.51 hm³/an.

- **Puits :**

La région englobe 560 puits exploités pour l'irrigation mobilisant un potentiel de 7.01 hm³/an.

- **Les réservoirs et capacité de stockage :**

La capacité de stockage dans la région de Bir chouhada,Souk Naamane et Ouled Zouai est de 5220 m³ dont les agglomérations du Chef lieu des communes s'accaparent (58.04%) du total. Le reste est reparti entre les agglomérations secondaires (4.98%) et les zones éparses (36.97%) d'une manière générale on peut dire qu'actuellement cette capacité de stockage est satisfaisante. Mais cette situation ne reflète pas la réalité , car en effet seule les agglomérations de chefs lieux qui disposent d'une capacité importante, le reste des agglomérations secondaires et des zones éparses relèvent un déficit allant de la moitié de leur capacité de stockage actuelle.

3- Mobilisation des ressources en eau :

La situation actuelle de la mobilisation des ressources en eau souterraine se résume dans le tableau ci-dessous :

Commune	Potentialités Totale		Ressource mobilisées		Ressources exploitées	
	de surface (hm ³ /an)	de souterraine (hm ³ /an)	de surface (hm ³ /an)	de souterraine (hm ³ /an)	de Surface (hm ³ /an)	de souterraine (hm ³ /an)
Souk Naamane	1.41	11.77	0.14	11.16	0	11.16
Bir Chouhada	0.86	3.62	0.08	3.28	0	3.28
Ouled Zouai	0.63	4.22	0.063	4.22	0	4.11
Total	2.33	19.61	0.28	18.66	0	18.55

Source DHW 2009

**Tableau N°25: Répartition par commune les ressources en eau dans la région
de Bir Chouhada, Souk Naamane et Ouled Zouai**

Les ressources potentielles exploitables de la région d'étude sont estimées à 21.94 hm³/an. Parmi lesquelles 18.94 hm³/an sont mobilisées et 18.55 hm³/an sont effectivement exploités.

Les ressources en eaux de surface sont de 2.33 hm³/an, avec un potentiel de 0.28 hm³/an et pas d'exploitation de ces eaux.

Les ressources en eaux souterraines une potentialité reconnue de 19.61 hm³/an, mobilisé un potentiel de 18.66 hm³/an et exploité un volume de 18.55 hm³/an.

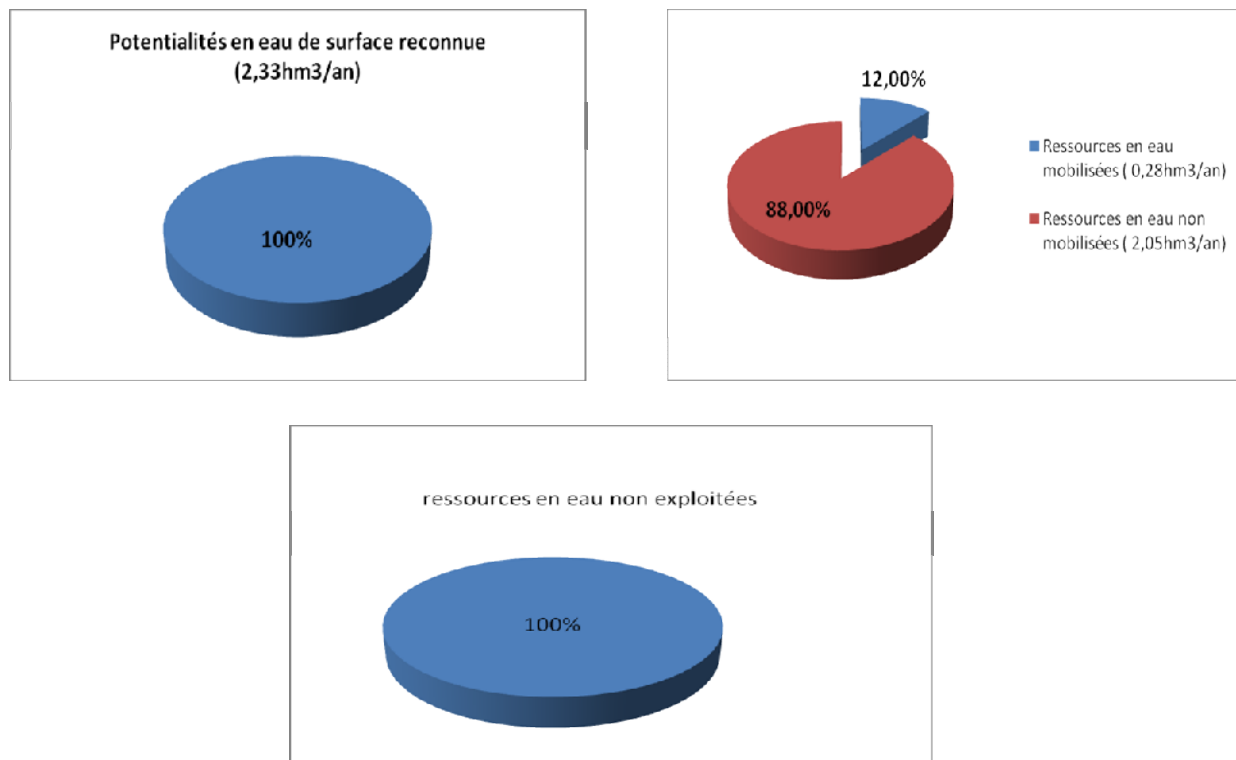


Figure N°70 : Les eaux de surfaces potentialités reconnue, ressources mobilisées et exploitées Dans la région de Bir chouhada, Souk Naamane et Ouled Zouai

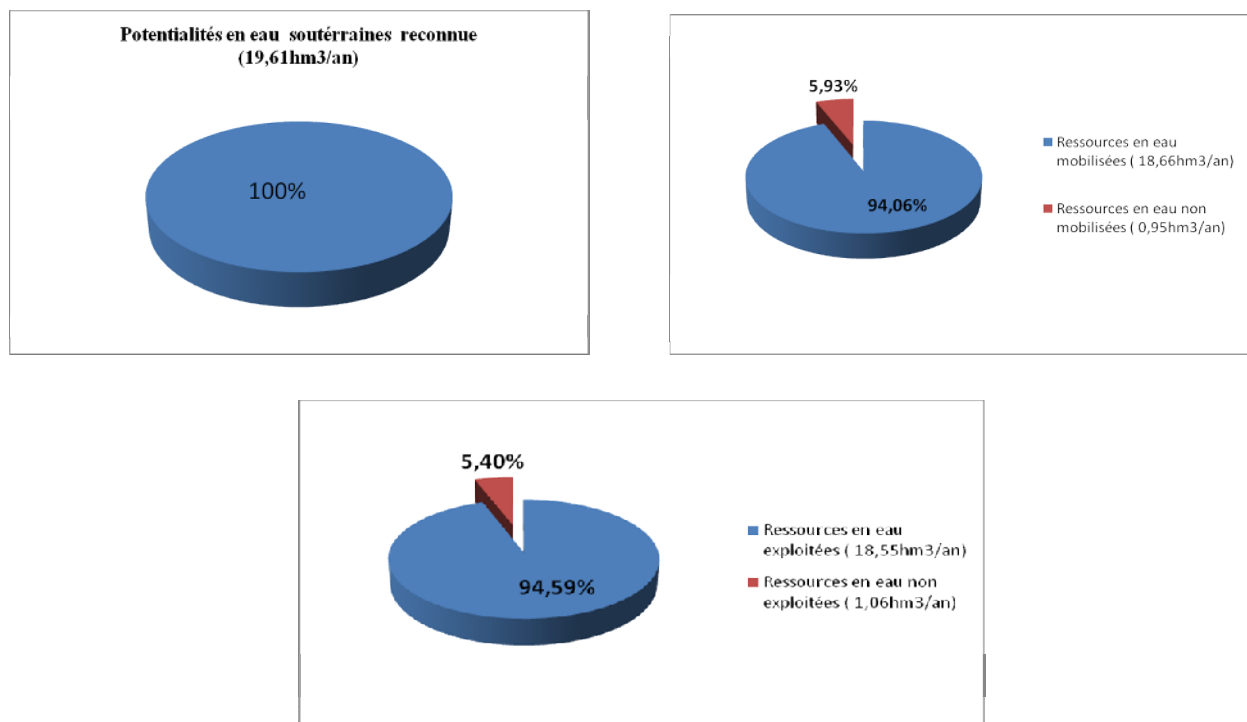


Figure N°71 : Les eaux souterraines : potentialité reconnue –ressources mobilisées et exploitées dans la région de Bir chouhada, Souk Naamane et Ouled Zouai

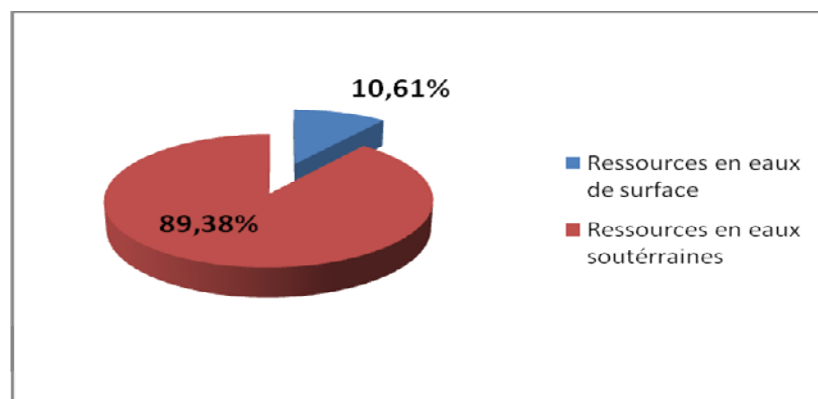


Figure N°72 : Potentialités Total reconnues dans la région de Bir chouhada, Souk Naamane et Ouled Zouai

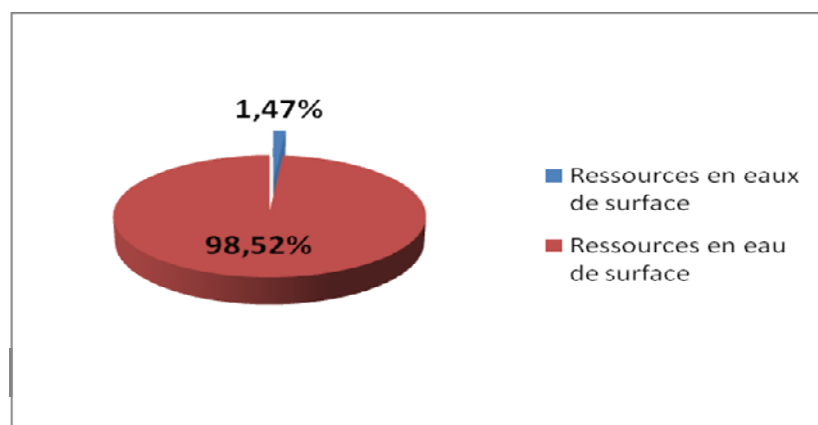


Figure N°73 : Ressources mobilisées dans la région de Bir chouhada, Souk Naamane et Ouled Zouai

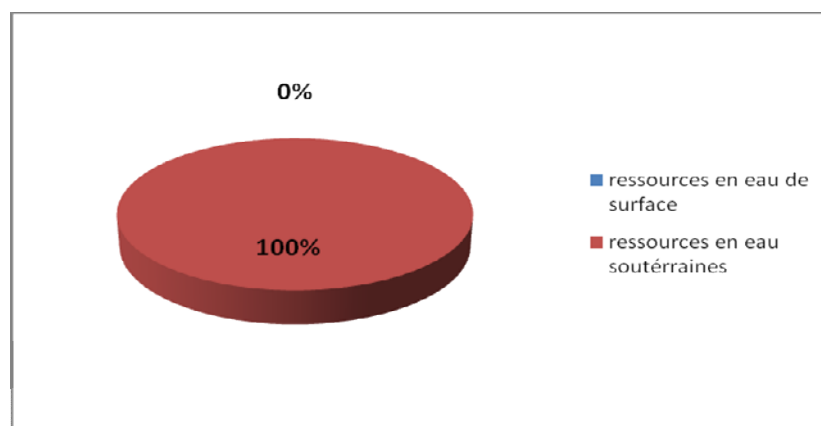


Figure N°74 : Ressources en eau exploitées dans la région de Bir chouhada, Souk Naamane et Ouled Zouai

3-1-Approvisionnement en eau :

La zone d'étude compte 18 agglomérations de plus 1000 habitants regroupant une population de 35952 habitants selon le recensement de 1998 et de 38546 selon l'estimation de 2008. Ces agglomérations ont un linéaire total de réseaux de distribution de plus de 95km ; et disposent d'un potentiel de stockage de 5220 m³.

La situation actuelle et l'état général des équipements hydrauliques se résument dans le tableau N° : 28.

Commune	Agglomération Population >1000hab	population		Origine de ressource	Moyenne de stockage	
		Recen 1998	2008		Nb	Capacité (m ³)
Souk Naamane	Bir El Hanchir	566	467	F6	01	150
	Souk Naamane centre	15296	18360	F5 bis	01	1000
				K18	01	500
				E8	01	250
	M'Zair	1537	1574	F6	01	40
	Ouled Mloule	573	2077	FT2 bis	02	170
	SN	/	3286	FT2bis	01	150
Bir Chouhada	B-CH	5128	5466	FD7	02	500
				F1		250
	Azrou	/	706	FAZ4	02	290
	HAM-TARF	/	1827	FE9	01	40
	Chouf	/	924	FB17	01	40
	Saou/A	/	627	F1bis	01	190
Ouled Zouai	Ouled -Zouai	607	1200	OZ1	02	560
	Ben Daas	/	245	OZ3	01	40
	Tass hmama	/	445	FGS	01	40
	Les lacs	/	457	OZ1	02	560
	Tarbnet	/	713	OZ1	01	100
	Zorf	/	1557	OZ6	01	150
	Chouachi	/	218	OZ3	01	100
	Ghodbane		239	OZ6	01	40
Total						

**Tableau N°26 : L'origine des ressources pour l'A.E.P des agglomérations dans la
région de Bir Chouhada, Souk Naamane et Ouled Zouai**

Commune	agglomération	Adduction (Km)	Réseau de distribution		Nombre d'heure de pompage (heures /jours)	Gestion
			Long (km)	Perte (%)		
Souk Naamane	Souk Naamane centre	10.83	28.94	06	20/24	ADE
	Cité communal	0.24	5.85	15	20/24	APC
	Bir El Hanchir	1.30	5.5	02	12/24	APC
	M'Zaier	1.5	11.7	10	12/24	APC
	Bkikia	0.3	0.44	02	08/24	APC
	Ouled Mlloul	0.05	0.45	/	20/24	APC
	Ouled Hadj	0.5	1.90	/	08/24	APC
Bir Chouhada	Bir Chouhada	3.82	1.94	10	12/24	APC
	Ham Tarf	3.5	10.25	5	10/24	APC
	Azrou	1	1	-	4/24	APC
	Chouf	2.5	1.52	-	4/24	APC
	Saou	1.153	7.7	-	4/24	APC
Ouled Zouai	Ouled-Zouai	2.5	3.1	05	7/24	APC
	Ben Daas	1.7	1.10	03	5/24	APC
	Tass Hmama	1	2.00	05	8/24	APC
	Les lacs	2.5	3.5	01	2/24	APC
	Zorf	1.2	3.1	01	16/24	APC
	Chouachi	1.3	1.9	08	3/24	APC
	Ghodbane	1.2	0.9	01	2/24	APC
	Tarbnet	0.9	1.5	05	2/24	APC

Source DHW Oum El Bouaghi 2009

**Tableau N°27 : Caractéristiques des réseaux des agglomérations (population> 1000 hab)
dans la région de Bir Chouhada, Souk Naamane et Ouled Zouai**

Commune	Agglomération Pop> 1000hab	Volume réel délivré hm ³ /an	Dotation Théorique l/hab/ j	Dotation Réel l/hab/j	Besoin en eau potable hm ³ /an	Déficit hm ³ /an
Souk Naamane	Souk Naamane centre	1.22	158	157.65	1	Néant
	Cité communal	0.15	185	492.9	0.17	0.048
	Bir El Hanchir	0.06	185	185	0.02	Néant
	M'Zaier	0.02	41.17	41.17	0.086	0.062
	Bkikia	0.010	23.82	23.82	0.066	0.056
	Ouled Mlloul	0.15	187	34.08	0.11	Néant
	Ouled Hadj	0.010	34	34.08	0.04	0.03
Bir Chouhada	Bir Chouhada	0.64	200	231	0.29	Néant
	HAM TARF	0.18	118	110	0.10	0.08
	Azrou	0.14	92	92	0.03	0.11
	Chouf	0.023	16	16	0.050	0.027
	Saou	0.062	46	46	0.034	0.027
Ouled Zouai	Ouled Zouai	0.11	252	252	0.065	Néant
	Ben Daas	0.026	293	293	0.013	Néant
	Tass Hmama	0.026	161	161	0.024	Néant
	Les Lacs	0.031	189	189	0.025	Néant
	Zorf	0.12	222	222	0.085	Néant
	Chuoachi	0.015	198	198	0.011	Néant
	Ghodben	0.015	180	180	0.013	Néant
	Tarbnet	0.047	181	181	0.039	Néant

Source DHW Oum El Bouaghi 2009

Tableau N° 28: Alimentation en eau potable dans les agglomérations

(Pop> 1000 habitants)

3-2-Alimentation en eau d'irrigation :

Actuellement, la superficie irriguée dans la région d'étude est de 2909 hectares, selon la répartition suivante :

Région agricole	Commune	Superficie irriguée (ha)	Principales cultures	Ressources en eau
Haute plaine Constantinoise	Souk Naamane	1672	Céréales Fourrages Maraichage Arboriculture	Puits+ Forage
Haute plaine Constantinoise	Bir Chouhada	816	Céréales Fourrages Maraichage Arboriculture	Puits+ Forage
Plaine de Fkirina	Ouled Zouai	421	Céréales Fourrages Maraichage Arboriculture	Puits+ Forage

Tableau N°29 : Situation actuelle de l'alimentation en eau agricole dans la région de Bir Chouhada, Souk Naamane et Ouled Zouai

On peut dire que l'alimentation en eau agricole dans la région essentiellement d'origine souterraine ; 68 forages et 560 puits sont destinés à cet usage les eaux de surface ne sont pas exploitées.

4-Le réseau d'assainissement :

Ce réseau arrive à satisfaire les besoins de 98% de la population des agglomérations ; Les rejets de ces réseaux s'effectuent dans les Chotts Tinsilt et Ezzemoul.

Sur les 18 agglomérations de plus de 1000 habitants ,98% sont dotés de réseaux d'assainissement qui représentent un linéaire de 57.21 km.

4-1-Estimation du débit des eaux usées domestiques :

Nous considérons que les 80% des eaux consommées sont rejetées comme eaux usées dans le réseau d'évacuation.

5-Evaluation de la demande socio-économique :

L'objectif principal de l'évaluation de la demande socio-économique en eau est de suivre l'évolution des besoins en eau sur le long terme (2008-2038) des différents secteurs usagers à savoir :

- L'alimentation en eau potable ;
- L'alimentation en eau agricole ;

Ceci nous permettra de faire ressortir les écarts prévisibles entre offre et besoin en fonction du temps :

5-1-- Les besoins en eau potable :

Les besoins attendus aux échéances de l'étude (court, moyen et long terme) sont basés sur l'objectif de satisfaction à 100 % des besoins en eau potable et en relation avec le modèle de développement du réseau urbain et des espaces ruraux préconisées lors de l'élaboration du plan d'aménagement de la région . L'amélioration de l'alimentation en eau des populations sur le plan quantitatif est l'un des objectifs recherchés, les dotations moyennes retenues et adoptées sont représentées comme suit :

Dispersion	Court terme	moyen terme	long terme
Chef lieu	170 (l/j/hab)	190 (l/j/hab)	210 (l/j/hab)
Agglomération secondaire	120 (l/j/hab)	140 (l/j/hab)	160 (l/j/hab)
Zone épars	100 (l/j/hab)	120 (l/j/hab)	140 (l/j/hab)

Tableau N°30 : Dotations moyennes journalières adoptées

La projection de la population et la dotation journalière ainsi que ses besoins en eau potable en (hm³/an) sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Horizon	Dispersion	A.C.L	A.S	Z.E	Total
2008	Population (hab)	24760	2136	11680	38576
	Dotation (l/j/hab)	150	100	80	/
	Besoin (hm ³ /an)	1.35	0.19	1.68	3.22
2018	Population (hab)	28266.56	2440.1	10330.05	41036.71
	Dotation (l/j/hab)	170	120	100	/
	Besoin (hm ³ /an)	3.07	0.46	3.58	7.11
2028	Population (hab)	28645.33	2781.73	10468.4	41895.53
	Dotation (l/j/hab)	190	140	120	/
	Besoin (hm ³ /an)	6.54	1.05	7.91	15.5
2038	Population (hab)	29029.17	2819	10608.67	49152.37
	Dotation (l/j/hab)	210	160	140	/
	Besoin (hm ³ /an)	13.84	2.23	17.23	33.30

Tableau N°31: Bilan prévisionnel des besoins en A.E.P par rapport aux dotations préconisées

N.B : Les pertes par exploitation ainsi que les besoins des institutions (administratives ou autre....etc.) sont estimer entre 5.26% et 10 % des besoins totaux.

5-2-Déficit d'alimentation en eau potable :

L'alimentation en eau potable des agglomérations est confrontée à des contraintes qui ont fait que la distribution de l'eau aux abonnés soit insuffisante, de ce fait on estime aujourd'hui que le rendement du réseau est à 20 % au plus. Ce chiffre est à l'origine des fuites qui touchent les conduites d'eau estimées à 15 % du volume transféré. D'autres problèmes viennent aggraver la situation, il s'agit de coordination entre les organismes d'eau.

Le tableau ci-dessous résume bien cette situation :

Tableau N°32 : Déficit en A.E.P des agglomérations aux différents horizons

Dispersion	Situation actuelle 2008		Horizon 2018		Horizon 2028		Horizon 2038	
	Besoin (hm ³ /an)	Ecart a compensé	Besoin (hm ³ /an)	Ecart a compensé	Besoin (hm ³ /an)	Ecart a compensé	Besoin (hm ³ /an)	Ecart a compensé
C.L	1.35	-6.9	3.07	-1.72	6.54	-3.47	13.84	-7.3
A.S	0.19	-0.71	0.46	-0.27	1.05	-0.59	2.23	-1.27
Z.E	1.68	-7	3.58	-1.9	9.91	-6.33	17.23	-7.32
Total	3.22	-14.61	7.11	-3.89	17.5	-10.39	33.3	-15.89

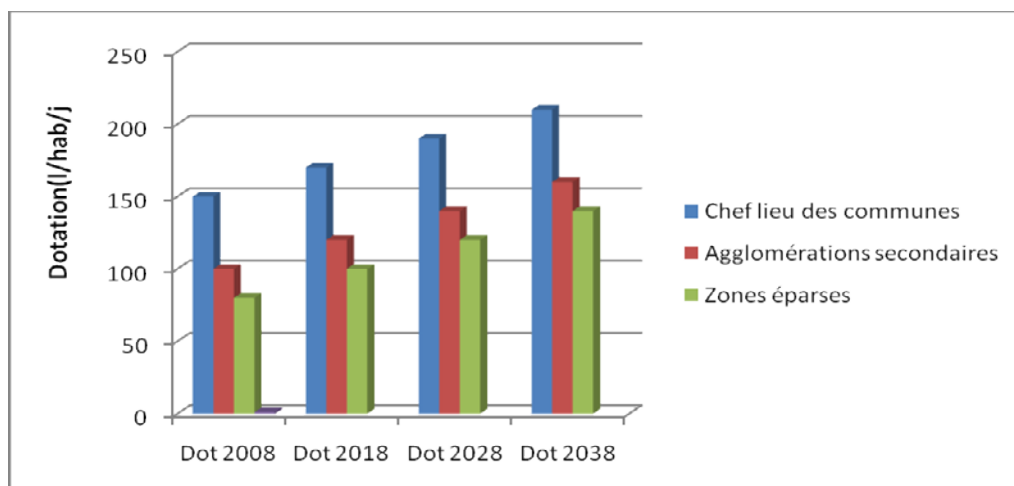


Figure N°75 : Dotation moyenne adoptées dans les différents horizons

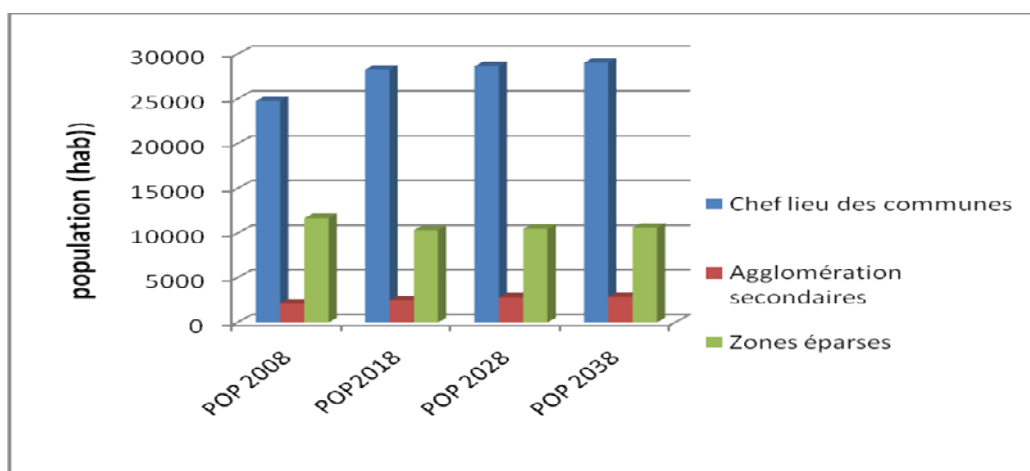


Figure N°76 : l'accroissement démographique de la population dans la région

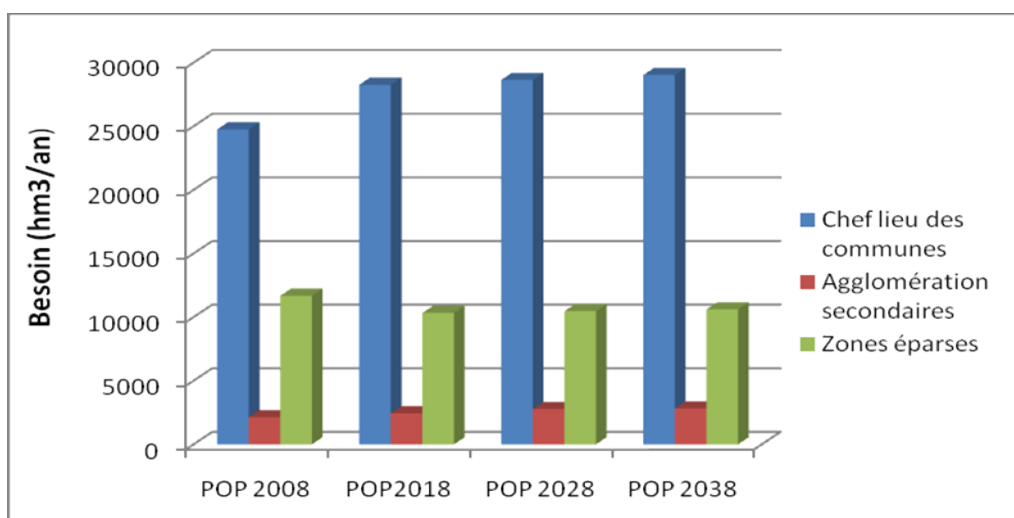


Figure N°77 : Besoins en eau potable dans la région

5-3-Les besoins en eau d'irrigation :

L'élément de base pour l'étude d'un projet d'irrigation se résume essentiellement dans l'évaluation des besoins en eau pour les cultures.

Les besoins de toutes les cultures pratiquées dans le périmètre irriguer nous donne les besoins totaux en eau.

Le tableau suivant montre les besoins en eau pour l'irrigation par commune

Commune	Superficie Irriguée (ha)	Efficience Moyenne	% d'irrigation		Besoin en eau à La parcelle (m ³)		Besoin en eau FAO en tête (m ³)			Besoin en eau (m ³ /ha)	
			eau de surface	E/S	Théo (FAO)	Corrigé	total	Eau surface	E/S	Théo	Corrigé
Souk Naamane	1672	0.60	0%	100%	8548	8426	14170	-	14170	8475	8354
Bir Chouhda	816	0.64	0%	100%	3323	3323	5523	-	6768	6768	6364
Ouled Zouai	421	0.65	0%	100%	3323	3323	5523	-	6768	6768	6364
	2909										21082

Source DHW Oum El Bouaghi (Mai 2009)

Tableau N° 33: Besoin en eau pour l'irrigation par Commune

Le taux de croisement est 180 hm³/an

Besoins Dispersion	Surface de la petite et moyenne hydraulique (ha) à différents horizons			
	2008	2018	2028	2038
Bir chouhada Souk Naamane et Ouled Zouai	2909	3089	3269	3449

Tableau N°34 : Surfaces mobilisées aux différents horizons.

L'accroissement de la superficie irriguée dans les horizons projetées engendre une augmentation des besoins en eau d'une façon considérable qui aura ses répercutions sur les ressources en eau souterraine.

Le tableau ci-dessous montre bien cette situation :

Besoins Dispersion	Les besoins en eau d'irrigation (hm ³ /an)			
	2008	2018	2028	2038
Bir Chouhada, Souk Naamane et Ouled Zouai	7.68	8.15	8.62	9.09

Tableau N°35 : Les besoins en eau d'irrigation aux différents horizons.

5-4- Bilan des besoins globaux :

Après l'estimation des besoins en eau des différents secteurs (A.E.P et A.E.I), on procédera à une confrontation de ces besoins avec les ressources en eau mobilisées.

Les besoins Secteurs d'utilisateurs	Les besoins en eau aux différents horizons			
	2008	2018	2028	2038
L'alimentation en eau potable	3.22	7.11	15.5	33.3
L'alimentation en eau d'irrigation	7.68	8.15	8.62	9.09
Totale	10.9	15.26	23.76	42.39

Tableau N°36 : Les besoins en eau globaux dans la région

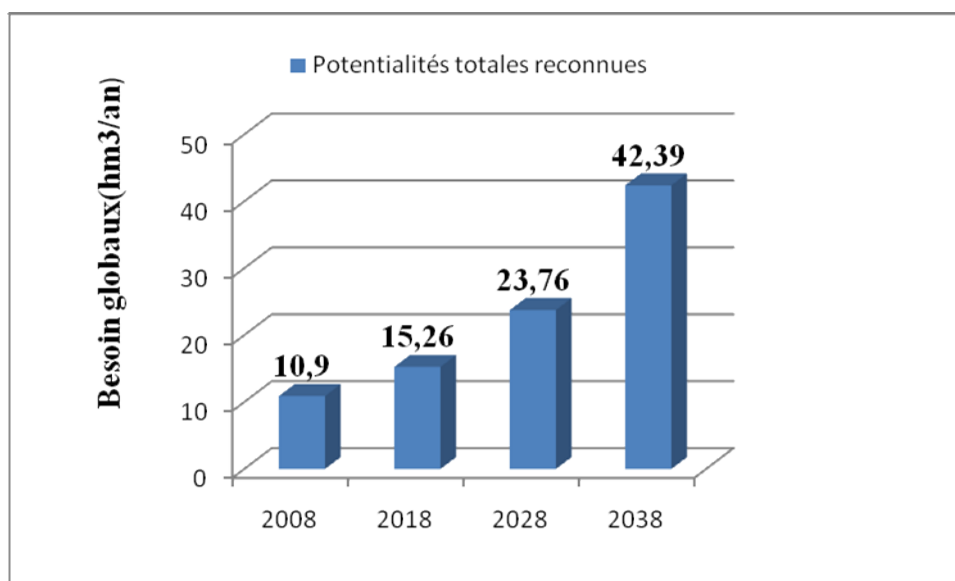


Figure N°78 : Bilan des besoins globaux dans la région

On peut dire que le volume mobilisé actuellement dans la région de Bir Chouhada, Souk Naamane et Ouled Zouai est suffisant pour satisfaire les besoins en eau des différents secteurs à court et moyen terme.

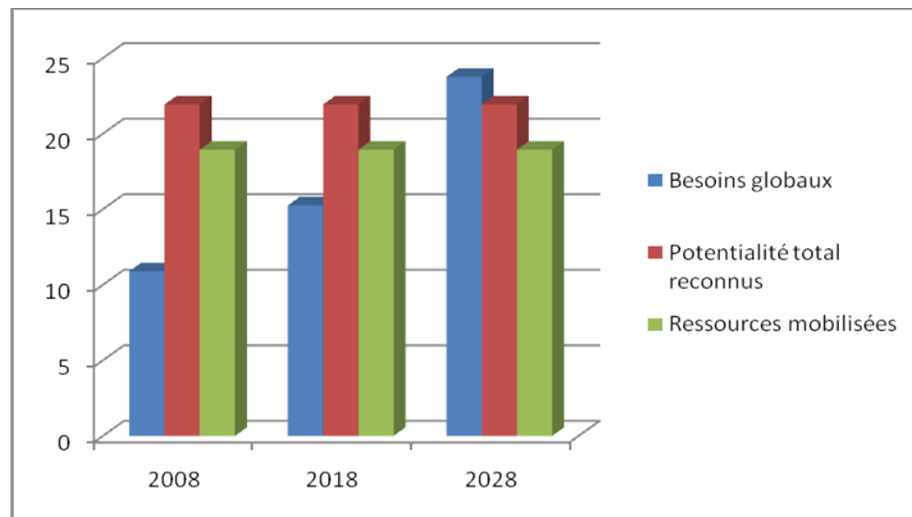


Figure N°79 : Bilan potentialités reconnues- ressources mobilisées- besoins globaux

Le graphique (Fig80.) nous montre clairement que les besoins globaux dépassent largement les ressources en eau mobilisées à partir de l'année 2018, ces besoins dépassent les potentialités de l'horizon 2028.

Déjà, à nos jours, les besoins globaux seraient de 10.91 hm³/an soit un déficit annuel de 4.16 hm³/an par rapport aux ressources mobilisées actuellement (2008).

On peut dire que le volume mobilisé actuellement dans la région de Souk Naamane, Bir Chouhada et Ouled Zouai (18.94 hm³/an) est suffisant pour satisfaire les besoins en eau des différents secteurs à court et moyen terme, mais le problème qui se pose que le volume mobilisé actuellement au niveau des communes de la région d'étude n'arrive pas à satisfaire même les besoins en eau pour l'A.E.P à moyen terme. Donc ce problème est un problème de gestion de ces ressources et parfois l'absence d'une politique locale pratiquée sur le terrain pour le développement de ces zones rurales.

Conclusion générale

L'ensemble des résultats obtenus a permis les résultats suivants :

Le secteur d'étude est situé dans la partie nord du grand bassin des hautes plateaux constantinois, d'une superficie de 530 Km², il est caractérisé par :

- Un chevelu hydrographique caractéristique des zones semi-arides, constitué d'oueds dont les débits en période d'étiage sont nuls.
- Un climat à forte variabilité spatiale et temporelle dominé par l'influence de l'évapotranspiration.
- Un couvert végétal pauvre et discontinu.

L'étude géologique de cette plaine a permis de mettre en évidence l'existence de deux ensembles réservoirs :

- L'un poreux englobe différentes formations du Mio-Plio-Quaternaire, des alluvions anciennes et récentes, des conglomérats et de calcaires lacustres mal stratifiés. Il se présente en de vastes étendues au niveau des plaines ; Bir Chouhada, Souk Naamane et Ouled Zouai.
- L'autre englobe la série calcaire et calcaro-dolomitique d'âge crétacé et jurassique probable, au niveau des massifs carbonatés essentiellement Djebel Guedmane, Djebel Tizourit, Djebel Amsid, Djebel Haamouda.

L'étude hydroclimatologique a montré que la région est caractérisée par un climat semi-aride, avec un hiver froid et pluvieux. Un été est sec et chaud avec une évapotranspiration intense, l'aridité du Nord vers le Sud, et que durant la dernière décennie l'augmentation constatée de la température influe sur le ruissèlement et l'infiltration, ce qui a une incidence sur l'alimentation des aquifères et sur le renouvellement des eaux.

L'étude hydrogéologique a permis de confirmer ce qui a été déterminé par l'étude géologique et que nous sommes en face de deux formations aquifères principales ; il s'agit des calcaires et calcaires dolomitiques du Crétacé et Jurassique qui forment un aquifère à perméabilité de fissure et offre la possibilité d'existence de drains karstiques et des formations fluvio-lacustre du Mio-Plio-Quaternaire qui constituent un aquifère phréatique.

D'après les coupes géologiques, on constate que le contact entre les nappes se fait directement sans intermédiaire ou lien, intercalé par des niveaux argileux.

La carte piézométrique de l'ensemble aquifère superficiel montre une surface convergente :

- Au Nord vers la fosse NE de Djebel Amsid
- Au Sud vers les chotts.

Le gradient hydraulique variable allant de $2,5.10^{-3}$.

Conclusion générale

Les essais de pompage effectués au niveau des forages et des puits ont donné des valeurs de transmissivités qui sont varient entre $5.24.10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ et $5.90.10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$.

L'étude hydrochimique montre que le secteur d'étude est divisé en deux parties :

La plaine de Bir Chouhada est caractérisée par des eaux chargées et moyennement potables.

La zone marécageuse caractérisée par des eaux très chargées, influencées par la présence des chotts et les formations triasiques. Les eaux de cette partie sont de mauvaises qualités.

Plusieurs faciès chimiques apparaissent dont les plus dominants sont chloruré sodique et chloruré calcique. Cela est dû à la dissolution des formations évaporitiques et lessivage des terrains gypso-salifaires.

L'examen de la carte de vulnérabilité (méthode de GOD) montre que la majorité de la nappe libre de Souk Naamane Bir Chouhada et Ouled Zouai a une vulnérabilité modérée. Les zones à faible et forte vulnérabilité occupent une faible superficie de la surface totale de terrain étudiée.

D'après les résultats du dernier recensement de 2008, la zone de Bir Chouhada, Souk Naamane et Ouled Zouai regroupe 38576 habitants avec une densité démographique $104 \text{ hab}/\text{km}^2$ (Souk Naamane), $41 \text{ hab}/\text{km}^2$ (Oled Zouai) et $76 \text{ hab}/\text{km}^2$ (Bir Chouhada), qui sont répartis spatialement en trois zones principales de peuplement :

- La population agglomérée : qui correspond au chef lieu des communes et qui abrite : 43.98% (Souk Naamane), 17.68% (Bir Chouhada) et 2.56% (Ouled Zouai).
- Les agglomérations secondaires : comptent 5.54% de la population totale de la zone d'étude.
- La population éparse : englobe 11680 hab soit 30.30% de la population totale.

Le taux d'accroissement de la population est de l'ordre de 1.34.

Les potentialités des ressources totales définis dans la région d'étude est de l'ordre de $21.94 \text{ hm}^3/\text{an}$, mobilisé au niveau des communes un potentiel de $18.94 \text{ hm}^3/\text{an}$ avec un volume exploitable de $18.55 \text{ hm}^3/\text{an}$ selon la répartition suivante :

- Les ressources en eau de surface avec une potentialité reconnue de $2.33 \text{ hm}^3/\text{an}$, mobilise un volume de $0.28 \text{ hm}^3/\text{an}$ et exploite un volume de $0 \text{ hm}^3/\text{an}$.

Conclusion générale

- Les ressources en eau souterraines avec une potentialité reconnue de 19.61 hm³/an et mobilise un volume de 18.66 hm³/an et exploité un volume de 18.55 hm³/an.

Le provisionnement en eau pour l'année 2008 est réparti comme la suit :

- L'alimentation en eau potable des agglomérations un volume annuellement de l'ordre de 4,20 hm³/an soit 19,14%.
- L'alimentation en eau agricole avec un volume de 15,75 hm³/an soit 71,78%.
- L'alimentation en eau domestique et industrielle avec un volume de 1,99 hm³/an soit 7,97%.
- L'évaluation de la demande socio -économique en eau à court, moyen et long terme est répartie comme suit :
- La projection de population et la dotation journalière nous a permis d'estimer les besoins en eau potable à court, moyen et long terme :

Pour la période (2008-2018) :

A l'horizon 2018, le volume réel pour l'A.E.P (4,2 hm³/an) devrait être exploité à 100 %, il est souhaitable, en plus des actions de réhabilitation des réseaux.

Horizon 2028 :

L'écart maximal à compenser (10,39hm³/an) démontre que la situation de l'A.E.P dans les agglomérations de chef lieu, secondaires, et éparses de la région d'étude est loin d'être alarmante, toutefois des actions de réhabilitation, d'aménagement des conduites d'eaux des champs de captage, ainsi que des nouvelles mobilisations sont nécessaires.

Horizon 2038 :

A cette échéance, la majorité des agglomérations nécessitent des mobilisations supplémentaires étant donné que les déficits sont de l'ordre 15,89 hm³/an.

Les besoins en eau pour l'agriculture sont de l'ordre 7,68 hm³/an, à court terme, 8,62 hm³/an à moyen terme et 9,09 hm³/an à long terme.

Ainsi que les besoins en eau globaux dans la région d'étude sont de l'ordre de 10,9 hm³/an à court terme, 15.26 hm³/an à moyen terme et de l'ordre 42,39 hm³/an à long terme. On peut dire que le volume mobilisé actuellement dans la région d'étude (18,94 hm³/an) est suffisant pour satisfaire les besoins en eau des différents secteurs à moyen terme.

Mais le problème qui se pose concerne le volume mobilisé actuellement au niveau des communes de la région d'étude qui n'arrive pas à satisfaire même les besoins en eau pour l'A.E.P à moyen terme.

Recommandations :

Les recommandations aux quelles nous sommes arrivés se résument comme suit :

- ❖ Veiller à une meilleure gestion des eaux en évitant l'exploitation anarchique des eaux souterraines par les nombreux forages et puits implantés.
- ❖ Effectuer des campagnes piézométriques et des prélèvements d'eaux pour l'analyse chimique pendant les deux périodes (hautes et basses eaux) afin d'estimer les réserves régulatrices de la nappe et suivre l'évolution chimiques des eaux.
- ❖ Equiper de préférences les puits par des briques en chaux pour minimiser les eaux de la pollution.
- ❖ Eviter le déversement direct des eaux d'égouts dans les chotts sans traitement préalable.
- ❖ Utilisation rationnelle des engrais avec une exploitation rationnelle des sols cultivés.
- ❖ Gérer d'une façon rationnelle les ressources en eau.

Référence bibliographique

- ❖ **A.N.R.H:** (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques) de Constantine : Coupes stratigraphiques des forages, données climatiques et l'étude géophysiques.
- ❖ **Benchiheb. F, Bouabid A (2000-2001) :** Etude hydrogéologique de la plaine Bir Chouhada- Souk Naamane.

Mémoire d'ingénieur .Université de Constantine

- ❖ **Bachouche. L, Toumi.S(2003) :** Synthèse Hydrogéologique du Secteur Constantine Ain M'lila.

Mémoire d'ingénieur .Université de Constantine.

- ❖ **Bousnoubra.H (1985):**Hydrogéologique de Quelques Réservoirs Karstiques Du Nord-Est Algérien.

Thèse de doctorat. Université du Languedoc.

- ❖ **Bouhabila.F et Zeghib.F(2001) :** Ressources hydrogéologique des bassins Chelghoum Laid,Teleghma et Ouled Hamla.

Mémoire d'ingénieur .Université de Constantine.

- ❖ **Bousalsal.B (2007) :** Etude hydrogéologique et hydrochimique de la nappe Aquifère libre d'El-Oued Souf.

Mémoire Magister en géologie appliquée Spécialité : Hydrochimie. Université d'Annaba

- ❖ **Boulabeiz .M(2006) :** Evolution des éléments chimiques et évaluation de risque des eaux souterraines à la pollution : Cas de la nappe de Collo, Nord-Est Algérien.

Mémoire Magister Option Hydrogéologie. Université d'Annaba

- ❖ **Bounab.Z(2008) :** Etude du Réseau d'Assainissement de la Ville de Bir Chouhada.

Mémoire d'ingénieur Option Hydraulique Urbaine .Université d'Ome El Bouaghi.

- ❖ **Cahier de l'Agence, (Novembre 2000) :** Bassin des Hauts Plateaux Constantinois N°5.

Référence bibliographique

- ❖ **D.H.W** :(Direction Hydraulique de la Wilaya), d'Ome El Bouaghi, Résultats des essais de pompage, Rapports géophysique, les coupes stratigraphique des forages.
- ❖ **Etude structurale de la Haute plaine de Levasseur et Rouget de L'isle :**

Coupes suivants les profils A,B,C,D,E,F,G,H,K,L,M,N,P
- ❖ **Etude Hydrogéologique de la plaine de Bir Chouhada –Souk Naamane-Ouled Zouai (Wilaya d'Ome El Bouaghi) (2004).**
- ❖ **Etude structurale par prospection géophysique des chotts Gaine et Saboune et de la plaine d'El Madher.**
- ❖ **Mébarki.A (1984) :** Ressources en eau et aménagement en Algérie (le bassin de Kebir Rhumel).

Thèse troisième cycle. Université de Nancy II.
- ❖ **Mecibah.I(2008) :** Les ressources en eau et gestion intégrée du bassin versant d'Oued Guebli (Nord-Est Algérien).

Mémoire Magister Option Hydrogéologie. Université d'Annaba.
- ❖ **O.N.S :** Office National de Statistique
- ❖ **Sub Division de Souk Naamane (2009) :** Etat de la production mensuelle d'eau souterraine, Alimentation en eau potable (Ressource, Réseau d'AEP)

Listes des cartes

- Carte topographique d'Ain Yagout et d'Ain M'lila (1/50000)
- Carte géologiques d'Ain Yagout et d'Ain M'lila

**Tableau des précipitations moyennes mensuelles en (mm)
Station de Bir Chouhaada (1984-2001)**

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juill.	Août	Annuel
1984 / 1985	4.9	64.3	12.2	94.9	33.5	8.9	77.3	29.4	80.5	00.0	2.5	00.0	407.9
1985 / 1986	27.6	21.9	21.1	34.5	33.3	4.7	95.4	16.9	25.0	7.7	00.0	16.0	304.1
1986 / 1987	62.1	26.2	20.4	34.5	10.7	42.4	28.2	17.5	40.4	1.5	17.9	1.3	303.2
1987 / 1988	7.2	20.8	20.8	11.7	09.1	22.9	27.3	32.6	23.1	51.3	00.0	00.0	226.8
1988 / 1989	21.2	1.8	18.9	81.8	13.6	19.0	13.5	19.1	12.9	59.3	00.0	50.5	312.6
1989 / 1990	53.1	2.5	3.2	3.5	50.9	00.0	18.6	27.7	94.5	12.4	00.0	65.3	331.7
1990 / 1991	22.7	6.1	49.7	32.7	00.0	43.8	61.1	33.4	13.9	59.3	00.0	00.0	319.7
1991 / 1992	12.0	38.0	12.1	15.1	22.9	50.1	34.1	52.5	39.3	20.0	1.6	00.0	278.7
1992 / 1993	29.1	6.9	47.3	61.2	13.8	19.2	31.0	00.0	46.4	00.0	00.0	9.4	264.3
1993 / 1994	00.0	00.0	8.4	30.1	32.6	13.4	15.8	21.1	7.5	00.0	14.3	6.3	149.5
1994 / 1995	25.1	71.1	4.2	11.5	60.2	15.9	41.0	12.3	14.0	55.8	19.2	18.4	348.7
1995 / 1996	69.4	27.7	2.8	34.9	143.1	85.8	31.8	45.3	56.6	29.5	9.0	6.1	542.0
1996 / 1997	00.0	9.5	00.0	13.7	60.3	00.0	8.9	38.3	00.0	00.0	18.2	00.0	148.9
1997 / 1998	16.8	21.4	43.7	40.0	11.1	00.0	21.8	38.3	3.5	14.0	00.0	00.0	249.8
1998 / 1999	60.3	8.8	45.1	13.8	18.4	8.7	15.2	15.2	00.0	15.6	00.0	00.0	201.1
1999 / 2000	44.5	21.9	30.8	53.7	4.4	14.0	00.0	15.2	45.6	16.0	00.0	12.5	258.6
2000 / 2001	22.3	2.9	16.6	25.8	4.4	00.0	00.0	12.3	46.1	12.5	00.0	12.5	155.4

Sources : ANRH – DRE

**Tableau des températures moyennes mensuelles en (°C) Station
d'Ain Skhouna (Batna 1984/2001)**

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juill.	Août	Moy / an
1984 / 1985	20	12,9	10,1	5,7	3,4	9,2	6,6	13	15,2	24,4	27,3	25,1	14,4
1985 / 1986	19,8	14,3	11,1	6,3	4,7	6	7,7	10,8	19	21,7	24,6	26,4	14,4
1986 / 1987	20,5	14,8	8,7	5,1	4,4	6	8,5	14,2	16,1	23,2	26,1	26,9	14,5
1987 / 1988	22,9	17,9	9,1	8,3	7,7	6,5	8,2	13,6	19,4	22,2	27,4	26,1	15,8
1988 / 1989	20,2	17,5	11,2	4,5	3,5	7	10,2	12	17,6	20,5	25,1	26,1	14,6
1989 / 1990	22	16,2	12,9	10,5	6,3	8,1	10,1	12,2	17,1	24,6	24,4	22,7	15,6
1990 / 1991	23,9	17,6	11,1	4,5	4,1	5,6	10,9	10,1	13,4	21,8	25,7	24,7	14,5
1991 / 1992	22	15,8	9,5	4,6	3,7	5,7	8,5	10,9	15,6	19,9	22,9	24,8	13,7
1992 / 1993	21,9	17,1	10,9	4,9	3,3	5	7,7	11,8	17,7	24,1	26,3	25,9	14,7
1993 / 1994	21,6	18,1	10,1	6,4	6,7	7,7	10,6	10,8	21	23,2	25,9	27,7	15,8
1994 / 1995	22,9	16,3	11,1	6,5	5	8,9	8,5	11,3	18,7	22,6	26,4	24,1	15,2
1995 / 1996	20,5	15,7	10,5	9,2	8,6	6,2	9,8	11,9	16,8	20	25,4	26,2	15,1
1996 / 1997	19,1	13,7	11,5	9,5	7,5	8,1	8,5	12,3	20,3	25,9	26,6	25,3	15,7
1997 / 1998	20,4	15,8	11,1	7,4	5,7	7	8,6	14,2	16,6	24	27,1	25,4	15,3
1998 / 1999	22,6	14,1	9,9	4,9	6,2	4,9	9,3	13,9	21,8	25,6	25,9	29,2	15,7
1999 / 2000	23,2	18,7	9,9	6,5	3,1	6,8	11	15,3	20,4	22,8	27,2	26,1	15,9
2000 / 2001	21	16,9	13,5	7,4	7	6,7	14	12,4	18,4	24,6	29	27	16,5
2001 / 2002	21,5	18	14,9	7,9	4,7	7,6	11,3	14,6	19	24,9	26,4	25	16,3

Sources - ANRH - DRE