



Département Irrigation et Drainage

MEMOIRE DE MASTER

*Pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique*

**OPTION : Irrigation et Drainage**

**THEME :**

**ESTIMATION DES PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES  
DE LA NAPPE DE AIN DJASSER W. BATNA**

**Présenté par :**

M<sup>r</sup> : BELKACEM El-Mahdi

**DEVANT LES MEMBRES DU JURY**

| Nom et Prénom                    | Grade | Qualité      |
|----------------------------------|-------|--------------|
| M <sup>r</sup> AZIB Makhoulf     | M.C.A | Président    |
| M <sup>r</sup> BENKACI ALI Tarik | M.C.B | Examinateur  |
| M <sup>me</sup> SAADOUNE Samra   | M.C.B | Examinatrice |
| M <sup>me</sup> MAZOUZI Sabra    | M.A.A | Examinatrice |
| M <sup>me</sup> AZIEZ Ouahiba    | M.A.A | Promotrice   |

JUIN 2016

# *Dédicaces*

*Je dédie ce travail :*

*Avant tout à mes chers parents, pour leur soutien immense qu'ils n'ont cessé de m'apporter ainsi que les conseils qu'ils m'ont prodigué sans lesquels j'avoue je ne serai pas ce que je suis aujourd'hui.*

*A mes sœurs Soundous, Hafsa, Asma*

*A toute la famille BELKACEM*

*Ma promotrice M<sup>me</sup> AZEIZ Ouahiba*

*A tous mes amis sans exception et d'une façon spéciale à : Noureddine, Mohamed, Yaaqoub, Ahmed, Soufian, Idris, Ahmed, Salah, Hichem, Djamel, Raouf, Hichem, Tarek, Sami, Mohamed, Yehya, Oussama, Billal, Haqou, Brahim, Youness, Didin, Chama, Yasser, Lotfi, Bahri, Mahfoud, Abedesalam, chouchou, Taqy, Binjou ... et tous les étudiants d'ENSH.*

# REMERCIEMENTS

*Au moment où je termine mon mémoire, je souhait adresser un message de tendresse a toutes les personnes de mon entourage qui m'ont soutenu tout au long de ce mémoire.*

*Bien sûr, je tiens à remercier en premier lieu ma promotrice **M<sup>me</sup> AZIEZ Ouahiba** pour leurs idées, leurs conseils et la gentillesse dont elle a fait preuve à mon égard.*

*Je tiens à porter un remerciement général pour toute l'équipe de **DRE** de **Batna** pour les discussions professionnelles mais aussi extra professionnelles qui facilitent l'insertion au sein d'une équipe de travail.*

*Je ne peux pas oublier dans ces remerciements toute l'équipe du laboratoire d'**ADE** de **Batna**. Depuis les techniciens jusqu'aux le directeur.*

*Je profite de l'occasion pour remercier tous mes enseignants de l'**ENSH** de la première année jusqu'à maintenant.*

*Mon respect aux membres du jury qui me feront l'honneur d'examiner mon travail.*

## الملخص:

يقع سهل عين جاسر سبعين كيلومترا شمال غرب ولاية باتنة وينتمي إلى مستجمعات المياه من الهضاب العليا القسنطينية، التي تتميز بتضاريس متنوعة، وبالسهول المنخفضة والمرتفعات. من وجهة النظر الهيدروجيولوجية، تظهر دراسة المياه الجوفية ضعفا في التغذية المباشرة أثناء هطول الأمطار، وتغذية جانبية كبيرة من الحجر الجيري للجبال المحيطة بسهل عين جاسر، ويشهد مستوى سطح المياه الجوفية انخفاضا مقارنة بما كان.

أظهرت كيمياء المياه زيادة في البكربونات، الكالسيوم والمغنيزيوم والتي يبدو أن لها صلة بطبيعة جيولوجية

## **Résumé**

La plaine d'Ain Djasser est située à soixante-dix kilomètres au Nord-Ouest du chef-lieu de la wilaya de Batna et appartient au bassin versant des hautes plateaux Constantinois, caractérisée par un relief diversifié, à faible altitude pour la plaine et accentué pour les massifs.

Du point de vue hydrogéologique, l'étude de la nappe superficielle montre une très faible alimentation de surface directe par infiltration lors des précipitations et une alimentation importante latérale provenant des massifs calcaires entourant la plaine d'Ain Djasser. La surface piézométrique rabattue morphologiquement suivant la topographie.

La chimie des eaux a mis en évidence la prédominance des Bicarbonatés, des calciques et des magnésiennes qui semblent être liées à la nature géologique.

## **Abstract**

Plain Ain Djasser is located seventy kilometers northwest of the capital of the province of Banta and belongs to the watershed of the high plateaus of Constantine. It is characterized by a diverse topography, low altitude for the plain and accentuated by massives.

From a hydro-geological point of view, the study of the shallow aquifer shows a very low power direct surface infiltration during rainfall and significant side feed from Limestone Mountains surrounding the plain of AinDjasser. Potentiometric surface morphology folded following the topography.

Water chemistry showed the predominance of bicarbonates of calcium and magnesium-which seem to be related to the geological nature.

## Sommaire :

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| Introduction générale : ..... | 2 |
|-------------------------------|---|

### *Chapitre I : Présentation et contexte climatique de la région*

|   |    |
|---|----|
| Introduction : .....  | 4  |
| I-I-1) - Situation géographique : .....                         | 4  |
| I-I-2) - Contexte socio-économique : .....                      | 6  |
| I-I-3) - Aperçu géomorphologique : .....                        | 6  |
| I-I-4) - Réseau hydrographie : .....                            | 6  |
| I-I-5) - Végétation : .....                                     | 7  |
| Conclusion : .....  | 7  |
| I-II) - Cadre climatique : .....                                | 8  |
| I-II-1) – Aperçu général sur le climat de la région : .....     | 8  |
| I-II-2) - Caractéristiques de la station météorologique : ..... | 8  |
| I-II-3) - Les précipitations : .....                            | 8  |
| I-II-4) - Les températures : .....                              | 11 |
| I-II-6) - Les paramètres climatologique : .....                 | 12 |
| I-II-6-1) – L’indice d’aridité : .....                          | 12 |
| □ Indice d’aridité annuel de Martonne : [2].....                | 12 |
| □ Indice d’aridité mensuel de Martonne : .....                  | 12 |
| I-II-6-2) – diagramme d’Emberger : .....                        | 13 |
| I-II-6-3- L’humidité relative : .....                           | 13 |
| I-II-6-4) – Les vents : .....                                   | 14 |
| I-II-6-5) – Insolation : .....                                  | 14 |
| I-II-7) – Evapotranspiration : .....                            | 15 |
| I-II-7-1) – Evapotranspiration potentielle (ETP) : [3].....     | 15 |
| □ Formule de Thornthwaite : [4] .....                           | 15 |
| □ Formule de Serra : [5] .....                                  | 16 |
| I-II-7-2) - Evapotranspiration réelle (ETR) : .....             | 16 |
| □ Méthode de Turc : [6].....                                    | 16 |
| I-II-8) – Bilans Hydriques : .....                              | 16 |
| I-II-9) – Le ruissellement : .....                              | 18 |
| I-II-10) – L’infiltration : .....                               | 18 |
| Conclusion : .....  | 18 |

## *Chapitre 2 : Cadre géologique et géophysique*

|   |    |
|---|----|
| II-I) – Cadre géologique : .....  | 20 |
| II-I-1) – Géologie régionale : .....                                      | 20 |
| II-II-2) – Géologie locale : .....  | 21 |
| II-II-2-1) – Géologie de la plaine de Ain Djasser : .....                 | 21 |
| II-II-2-2) – Analyse Litho Stratigraphique : .....                        | 22 |
| II-II-2-3) – Description Lithologique de formations rencontrées : .....   | 23 |
| □ Trais Exotique : .....  | 23 |
| □ Formations du secondaire : .....  | 23 |
| □ Formations du Tertiaire : .....   | 24 |
| □ Formations du quaternaire : .....                                       | 24 |
| II-II-2-4) – Tectonique : .....   | 24 |
| II-II-2-5) – Analyse structurale (notice de la carte de Bourzhel) : ..... | 25 |
| II-II-2-6) – Aperçu sur les formations aquifères potentielles : .....     | 25 |
| Conclusion : .....  | 25 |
| II-II- Cadre Géophysique : .....  | 25 |
| II-II-1) Examen des cartes de résistivité : .....                         | 28 |
| II-II-1-1) Carte de résistivité en ligne AB=100 m : .....                 | 28 |
| II-II-1-2) Carte de résistivité en ligne AB=1000 m: .....                 | 28 |
| II-II-1-3) Coupes géoélectriques : .....                                  | 30 |
| II-II-1-4) Carte du substratum : .....                                    | 31 |
| Conclusion : .....  | 33 |

### *Chapitre 3 : Etude Hydrogéologique et Hydrochimique*

|  |    |
|--|----|
| III-I) - Hydrogéologie : .....   | 35 |
| III-I -1) - Contexte Hydrogéologique de la zone d'étude : .....  | 35 |
| III-I-1-1) Aquifère superficiel d'âge Mio-Plio-Quaternaire (aquifère alluvionnaire) : [11] .....         | 35 |
| <input type="checkbox"/> Description des formations aquifères : .....                                    | 35 |
| <input type="checkbox"/> Alimentation : .....  | 35 |
| <input type="checkbox"/> Les sorties : .....   | 35 |
| <input type="checkbox"/> Etendue des formations de la nappe superficielle : .....                        | 35 |
| <input type="checkbox"/> Conditions aux limites : .....  | 35 |
| III-I-1-2) – Aquifère profond d'âge jurassique et crétacé (aquifère carbonaté) [12] .....                | 36 |
| <input type="checkbox"/> Description des formations : .....  | 36 |
| <input type="checkbox"/> Alimentation .....  | 36 |
| <input type="checkbox"/> Les sorties : .....   | 36 |
| III-I-2)- Piézométrie .....  | 36 |
| III-I-2-1) Inventaire des points d'eau : .....   | 36 |
| III-I-2-2) Interprétation de la carte piézométrique : .....  | 37 |
| <input type="checkbox"/> Le sens de l'écoulement : .....   | 40 |
| <input type="checkbox"/> Le gradient hydraulique : [14] .....  | 40 |
| <input type="checkbox"/> Conditions aux limites : .....  | 40 |
| III-I-3) Comparaison des cartes piézométriques Juin 2013/Avril 2016 .....                                | 41 |
| III-I-4) Détermination des caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère alluvionnaire : ....           | 42 |
| III-I-4-1) Essais de pompes effectués sur la plaine de Ain Djasser : .....                               | 42 |
| <input type="checkbox"/> Expérimentations des pompes d'essais : [16] .....                               | 43 |
| <input type="checkbox"/> Equipement nécessaire : .....   | 43 |
| <input type="checkbox"/> Déroulement de l'essai de pompage : .....                                       | 44 |
| III-I-4-2) Méthode d'interprétation : .....  | 44 |
| <input type="checkbox"/> Méthode de THEIS : [17] .....   | 44 |
| <input type="checkbox"/> Application de la méthode de Theis sur quatre forages : .....                   | 46 |
| <input type="checkbox"/> L'approximation de COOPER-JACOB : .....   | 49 |
| III-I-4-3) Interprétation des résultats des essais : .....   | 56 |
| Conclusion : .....   | 57 |
| III-II) - Hydrochimie : .....  | 58 |
| III-II-1) Cartographie hydrochimique et comparaison aux normes Algériennes de potabilité :<br>[28] ..... | 58 |

|  |    |
|--|----|
| III-II-1-1) Les paramètres physico-chimique : .....                            | 59 |
| <input type="checkbox"/> Température : .....                                   | 59 |
| <input type="checkbox"/> Potentiel d'hydrogène (pH) : .....                    | 59 |
| <input type="checkbox"/> Dureté (Titre Hydrotimétrique TH) : .....             | 60 |
| <input type="checkbox"/> Titre alcalimétrique complet(TAC) : .....             | 61 |
| <input type="checkbox"/> La conductivité électrique : .....                    | 62 |
| <input type="checkbox"/> Résidu sec (RS) : .....                               | 62 |
| <input type="checkbox"/> Carte du calcium ( $\text{Ca}^{++}$ mg/l) : .....     | 63 |
| <input type="checkbox"/> Carte du Magnésium ( $\text{Mg}^{++}$ mg/l) : .....   | 64 |
| <input type="checkbox"/> Carte du Sodium ( $\text{Na}^+$ mg/l) : .....         | 65 |
| <input type="checkbox"/> Carte du Potassium ( $\text{K}^+$ mg/l) : .....       | 65 |
| <input type="checkbox"/> Carte du chlorure ( $\text{Cl}^-$ mg/l) : .....       | 66 |
| <input type="checkbox"/> Carte du Sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ mg/l) : .....   | 67 |
| <input type="checkbox"/> Carte du bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ mg/l) : ..... | 68 |
| <input type="checkbox"/> Carte du Nitrate ( $\text{NO}_3^-$ mg/l) : .....      | 68 |
| III-II-2) Aptitude des eaux à l'irrigation : [29] .....                        | 69 |
| III-II-2-1) Sodium Adsorption Ratio (S.A.R): [30].....                         | 69 |
| Conclusion : .....   | 70 |

## Liste des tableaux :

### *Chapitre I : Présentation et contexte climatique de la région*

|   |    |
|---|----|
| Tableau N° I.1 : les coordonnées géographiques de Ain Djasser (source DRE Batna).....       | 4  |
| Tableau N° I.2 : Agglomérations urbaines de la daïra de Ain Djasser .....                   | 5  |
| Tableau N° I.3 : Cordonnées de station météorologique de l'aéroport de Batna (ANRH ) .....  | 8  |
| Tableau N° I.4 : Précipitations moyennes Mensuelles (Station aéroport 1989-2013).....       | 8  |
| Tableau N° I.5 : répartition saisonnière des précipitations (1989/2013) .....               | 10 |
| Tableau N° I.6 : Précipitations moyennes annuelles (1989 / 2013) (ANRH Constantine).....    | 10 |
| Tableau N° I.7 : Température mensuelle moyenne, minimales et maximales (DRE Batna)....      | 11 |
| Tableau N° I.8 : classification de valeur de (I) de De. Martonne .....                      | 12 |
| Tableau N° I.9 : valeurs d'indice d'aridité mensuelles.....                                 | 12 |
| Tableau N° I.10 : Indice d'EMBERGER.....  | 13 |
| Tableau N° I.11 : humidité relative moyenne mensuelle Station d'Aéroport (1989-2013) .....  | 13 |
| Tableau N° I.12 : La vitesse moyenne mensuelle des vents (1989-2013).....                   | 14 |
| Tableau N° I.13 : Valeurs moyennes mensuelles de l'insolation à la station. ....            | 14 |
| Tableau N° I.14 : Evapotranspiration potentielle corrigée (formule de Thornthwaite).....    | 15 |
| Tableau N° I.15 : Evapotranspiration potentielle à partir de la formule de SERRA.....       | 16 |
| Tableau N° I.16 : évapotranspiration réelle à partir de la formule de Turc : .....          | 16 |
| Tableau N° I.17 : Valeurs de l'évapotranspiration obtenue par les différentes méthodes..... | 16 |
| Tableau N° I.18 : Bilan hydrique de THORNTHWAITE .....                                      | 17 |
| Tableau N° I.19 : Valeur de ruissellement.....  | 18 |
| Tableau N° I.20 : Valeur d'infiltration .....   | 18 |

### *Chapitre 2 : Cadre géologique et géophysique*

|   |    |
|---|----|
| Tableau N° II.1 : valeurs des résistivités (C.G.G 1972) ..... | 27 |
|---|----|

### *Chapitre 3 : Etude Hydrogéologique et Hydrochimique*

|   |    |
|---|----|
| Tableau N° III.1 : caractéristiques des forages d'essai de pompage.....                                 | 43 |
| Tableau N° III.2 : Valeurs de T (m <sup>2</sup> /s) K (m/s) et S calculés par la méthode de Theis ..... | 48 |
| Tableau N° III.3 : Valeurs de T, k et S calculés par l'approximation logarithmique de Jacob.<br>.....   | 56 |
| Tableau N° III.4 : Résultats des essais de pompage obtenus par les différentes méthodes.....            | 57 |
| Tableau N° III.5 : Normes Algériennes de potabilité (source ADE Batna) .....                            | 58 |
| Tableau N° III.6 : variation de température .....   | 59 |
| Tableau N° III.7 : variation de potentiel d'hydrogène.....  | 60 |
| Tableau N° III.8 : variation de dureté (TH) .....   | 60 |
| Tableau N° III.9 : Titre alcalimétrique complet (TAC) de la région .....                                | 61 |
| Tableau N° III.10 : variation de conductivité CE (μS/cm) .....  | 62 |
| Figure N° III.18 : Carte de répartition avec la conductivité électrique CE (μS/cm) .....                | 62 |
| Tableau N° III.11 : variation de calcium Ca <sup>++</sup> (mg/l).....                                   | 63 |
| Tableau N° III.12 : variation de Magnésium Mg <sup>++</sup> (mg/l) .....                                | 64 |
| Tableau N° III.13 : variation de chlorure Cl <sup>-</sup> (mg/l) .....                                  | 66 |
| Tableau N° III.14 : variation de chlorure Cl <sup>-</sup> (mg/l) .....                                  | 67 |
| Tableau N° III.15 : variation de bicarbonate HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l).....                  | 68 |
| Tableau N° III.16 : variation de Nitrate NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l).....                       | 68 |
| Tableau N° III.17 : Résultats du SAR.....   | 69 |

## Liste de figures :

### *Chapitre I : Présentation et contexte climatique de la région*

|   |    |
|---|----|
| Figure N° I.1 : communes limitrophes de Ain Djasser.....  | 4  |
| Figure N° I.2 : carte de découpage administratif.....   | 5  |
| Figure N° I.3 : Image satellite représentant les éléments physiques qui composent le relief de la plaine de Ain Djasser. .... | 7  |
| Figure N° I.4 : Cartes des sous bassins de hauts plateaux Constantinois (DRE Batna) 9   |    |
| Figure N° I.5 : Variations des précipitations moyennes mensuelles (1989/2013).....  | 10 |
| Figure N° I.6 : Climatogramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnols (1989-2013) .....  | 11 |
| Figure N° I.7 : Indice annuel d'aridité de MARTONNE .....   | 13 |
| Figure N° I.8 : diagramme pluviométrique de EMBERGER .....  | 14 |
| Figure N° I.9 : Représentation graphique du bilan de THORNTHWAITE .....   | 17 |

### *Chapitre 2 : Cadre géologique et géophysique*

|   |    |
|---|----|
| Figure N° II.1 : Esquisse structurale du Nord-Est Algérien, (d'après. Wildi, 1983) [9]..... | 20 |
| Figure N° II.2 : Extrait de la carte géologique de Bourhzel à l'échelle 1/50 000 [10].....  | 21 |
| Figure N° II.3 : Les formations géologiques de la plaine de Ain Djasser-BATNA .....         | 22 |
| Figure N° II.4 : Plan de situation des sondages électriques.....                            | 26 |
| Figure N° II.5 : Carte de résistivités (AB=1000m).....                                      | 29 |
| Figure N° II.6 : Carte de résistivités (AB=100m).....                                       | 29 |
| Figure N° II.7 : coupe géologique selon le profile géo-électrique A.....                    | 30 |
| Figure N° II.8 : coupe géologique selon le profile géo-électrique D.....                    | 30 |
| Figure N° II.9 : Carte du substratum résistant et de la fracturation (C.G.G 1972) .....     | 32 |

### *Chapitre 3 : Etude Hydrogéologique et Hydrochimique*

|  |    |
|--|----|
| Figure N° III.1 : Carte d'inventaire des points d'eau de la plaine de Ain Djasser Batna Avril 2016.....      | 37 |
| Figure N° III.2 : Carte topographique de la plaine de Ain Djasser Batna. ....                                | 38 |
| Figure N° III.3 : Carte piézométrique de la plaine de Ain Djasser Batna, Avril 2016. ....                    | 39 |
| Figure N° III.4 : Carte piézométrique de la plaine de Ain Djasser Batna, Juin 2013 [11] .....                | 41 |
| Figure N° III.5 : Application de la méthode de Theis sur le forage d'AEP El Hassi. ....                      | 46 |
| Figure N° III.6 : Application de la méthode de Theis sur le forage Ben Sliman.....                           | 47 |
| Figure N° III.7 : Application de la méthode de Theis sur le forage Guehtar.....                              | 48 |
| Figure N° III.8 : application de la méthode de JACOB sur le forage d'AEP El Hassi (durant la descente). .... | 51 |
| Figure N° III.9 : application de la méthode de JACOB sur le forage d'AEP El Hassi (durant la remontée). .... | 52 |
| Figure N° III.10 : application de la méthode de JACOB sur le forage de Ben Sliman (durant la descente). .... | 53 |
| Figure N° III.11 : application de la méthode de JACOB sur le forage de Ben Sliman (durant la remontée). .... | 53 |
| Figure N° III.12 : application de la méthode de JACOB sur le forage de Guehtar(durant la descente). ....     | 54 |
| Figure N° III.13 : application de la méthode de JACOB sur le forage de Guehtar (durant la remontée). ....    | 55 |
| Figure N° III.14 : Carte de localisation des forages échantillonnés .....                                    | 58 |
| Figure N° III.15 : Carte du pH.....  | 60 |
| Figure N° III.16 : Carte de Dureté TH.....   | 61 |
| Figure N° III.17 : Carte de Titre alcalimétrique complet (TAC) de la région .....                            | 61 |
| Figure N° III.18 : Carte de répartition avec la conductivité électrique CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) ..... | 62 |
| Figure N° III.19 : Carte de la RS .....  | 63 |
| Figure N° III.20 : Carte de calcium $\text{Ca}^{++}$ (mg/l).....   | 64 |
| Figure N° III.21 : Carte isoteneur de Magnésium $\text{Mg}^{++}$ (mg/l) .....                                | 65 |
| Figure N° III.22 : Carte de Sodium $\text{Na}^+$ (mg/l) .....  | 65 |
| Figure N° III.23 : Carte de Potassium $\text{K}^+$ (mg/l).....   | 66 |
| Figure N° III.24 : Carte de chlorure $\text{Cl}^-$ (mg/l).....   | 67 |
| Figure N° III.25 : Carte isoteneur la de Sulfate $\text{SO}_4^{-2}$ (mg/l) .....                             | 67 |
| Figure N° III.26 : Carte de bicarbonate $\text{HCO}_3^-$ (mg/l).....   | 68 |
| Figure N° III.27 : Carte de Nitrate $\text{NO}_3^-$ (mg/l).....  | 69 |
| Figure N° III.28 : Diagramme de classification des eaux d'irrigation de Riverside.....                       | 70 |

## Introduction générale :

Dans la wilaya de **Batna**, et en dehors des régions ayant des cours d'eau permanents, l'alimentation en eau d'irrigation et en eau potable des populations repose sur l'exploitation des eaux souterraines. Parmi ces réservoirs souterrains se trouve celui de la plaine d'**Ain Djasser** qui fait l'objet de cette étude. Cette nappe, aux performances hydrauliques avérées s'étend sur une superficie d'environ **210 Km<sup>2</sup>**.

Cette étude qui fait suite aux travaux de **DRE (Direction des Ressources en Eau de la Wilaya de Batna)** a pour objectif une caractérisation **hydrodynamique** et **hydrochimique** de la nappe de la plaine d'**Ain Djasser**.

L'étude hydrodynamique de la nappe de **Ain Djasser**, située au nord de la wilaya de **Batna** a pour objet l'exploitation des données géologiques, les mesures in situ des niveaux piézométriques et les résultats des travaux antérieures pour déterminer la géométrie des aquifères et leurs caractéristiques hydrodynamiques actuelles. Un suivi des niveaux piézométriques permettra l'établissement des cartes piézométriques et la réalisation d'un ou plusieurs essais de pompages qui après interprétation on détermine les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère testé. En outre, l'étude hydrochimique est basé sur la présentation et l'interprétation des différents résultats collectés sur le terrain et ceux obtenus en laboratoire.

La démarche suivie dans cette étude est la suivante :

**1<sup>er</sup> CHAPITRE :** Sera consacré à la présentation générale de la région d'étude afin de fournir une approche du contexte du point de vue descriptive et l'étude des principaux paramètres hydrologiques et climatiques.

**2<sup>eme</sup> CHAPITRE :** S'intéresse à la description des différentes formations géologiques avec apparition de leurs caractéristiques physiques et mécaniques, aussi interprétation des données géophysiques, afin de mettre en évidence les formations géologiques susceptibles d'être aquifères et de connaître leurs géométries.

**3<sup>eme</sup> CHAPITRE :** Sera consacré à l'étude de la piézométrie de l'aquifère superficiel et à l'identification de ces caractéristiques hydrodynamiques par essais de pompage. L'interprétation des données hydrochimiques.

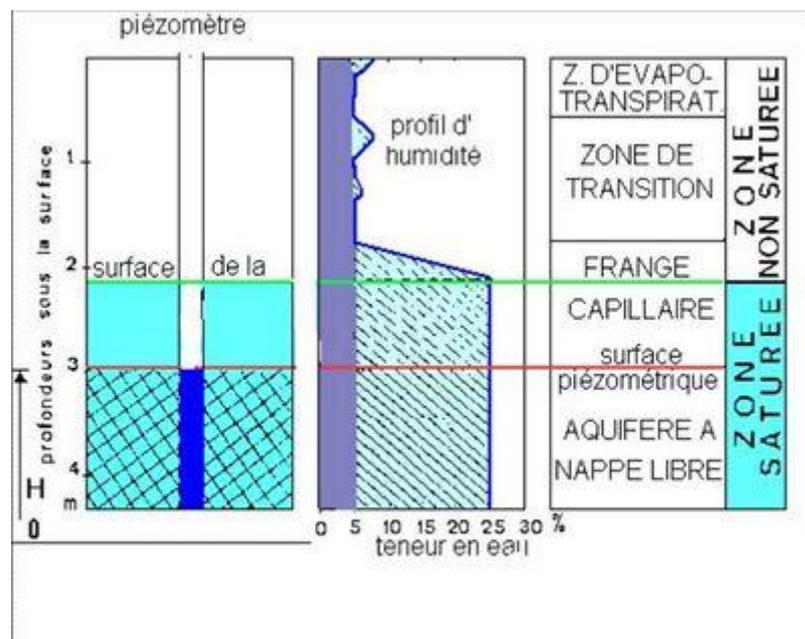
**Introduction :**

Le recours préférentiel aux eaux souterraines par rapport aux eaux de surface pour l'alimentation en eau potable (AEP) est motivé par de multiples critères tels que leur protection vis-à-vis de la surface et leurs volumes exploitables. Le choix d'une ressource hydrogéologique n'est jamais un acte anodin, il mérite toujours une étude sérieuse. L'exploitation des eaux souterraines se traduit par une succession d'étapes progressives, depuis la prospection des ressources en eau, en passant par leur exploitation et enfin leur gestion.

**1) Définition des concepts :****1-1) Les nappes :**

Une nappe aquifère est une accumulation d'eau dans un milieu poreux ou une roche fissurée.

Cette eau est retenue par une formation imperméable (ou seulement moins perméable) appelée mur de la nappe. Généralement, la composante verticale du gradient hydraulique étant très faible, il s'ensuit que la charge ne varie pas sur une verticale. Le niveau d'eau dans un piézomètre est donc indépendant de la position sur la verticale de son extrémité. Le lieu géométrique de ce niveau est la surface piézométrique.



**Figure N° 1 : Le niveau d'eau dans le sol**

Si la surface piézométrique se trouve dans la formation perméable, la nappe est libre. La surface piézométrique définit alors la surface de la nappe. Au-dessus de la surface piézométrique, le terrain est saturé, sur une certaine hauteur, par l'eau capillaire. Si la surface piézométrique se trouve au-dessus ou dans la formation imperméable, qui recouvre la formation perméable, la nappe est captive. La formation imperméable est appelée « toit de la nappe ».

La figure 1 synthétise les principaux objets et termes associés aux nappes. La nappe phréatique est la première nappe libre rencontrée sous la surface topographique. C'est la nappe qui alimente les puits ; c'est aussi souvent celle qui est le plus directement en contact avec les projets d'infrastructures. [32]

### **1-2) Evaluation de ressources :**

Elle doit s'appuyer sur la connaissance des caractéristiques propres à l'écoulement (transmissivité  $T$ ) et à l'emmagasinement (coefficient d'emmagasinement  $S$ ). Ces deux grandeurs gouvernent le régime des aquifères par les fonctions dites de flux ( $T$ ) et de stock ( $S$ ). Dans la pratique, elles sont obtenues par l'interprétation des pompages d'essai. [32]

### **1-3) Ouvrages d'exploitation des eaux souterraines :**

Une fois la prospection et l'évaluation des ressources en eaux souterraines réalisées, les modalités de leur exploitation dépendent étroitement des types hydrogéologiques d'aquifères.

- **Choix du type d'ouvrage**

On peut exploiter les eaux souterraines soit de manière ponctuelle, à leur émergence, grâce au captage de sources, soit par des puits et des forages repartis sur la surface du territoire sus-jacent aux aquifères choisis :

- Le captage de sources est la méthode la plus ancienne, bien qu'elle puisse encore faire l'objet de perfectionnements techniques ;
- Les puits, jadis creusés à la main, à l'aide de pics, par des puisatiers, notamment dans les roches consolidées (craie, grès, partie superficielle altérée, des granites), sont à peu près tombés en désuétude ;
- Le forage est l'ouvrage moderne le plus répandu pour l'exploitation des eaux souterraines, ce terme générique correspondant à de nombreuses techniques de réalisation. [32]

### **1-4) Les études hydrogéologiques :**

Les études à mener ont pour but, d'une part, de mettre en évidence les problèmes posés par la présence d'eau dans les sols, et d'autre part, de fournir tous les éléments nécessaires de connaissance sur les nappes et les écoulements. Ceci permet la définition et la mise en œuvre de solutions techniques appropriées de gestion qualitative et quantitative des eaux. [21]

Les reconnaissances piézométriques associées aux études doivent fournir les informations :

- La profondeur, l'épaisseur, l'étendue et la perméabilité des couches de terrains aquifères et des réseaux de joints dans la roche ;
- La cote altimétrique de la surface de la nappe ou le niveau des formations aquifères, leurs variations dans le temps et les niveaux réels de la nappe, y compris des éventuels niveaux extrêmes et leur intervalle de récurrence ;
- La répartition des pressions interstitielles ;
- La composition chimique de l'eau et sa température. [21]

Les informations obtenues par la reconnaissance doivent permettre d'évaluer les aspects suivants :

- Les possibilités de rabattement de la nappe et les méthodes à mettre en œuvre ;
- Les éventuels effets préjudiciables de l'eau interstitielle sur les excavations et les talus ;
- Toute mesure nécessaire à la protection de la structure (par exemple imperméabilisation, drainage et dispositions contre l'agressivité de l'eau) ;
- Les effets du rabattement de la nappe, de la dessiccation et des effets de barrage sur l'environnement du projet ;
- La capacité du terrain à absorber l'eau injectée pendant les travaux de construction ;
- La possibilité d'utiliser l'eau de la nappe locale, en fonction de sa composition chimique, à des fins de construction, en intégrant les dispositions législatives applicables ;
- La possibilité de rejet des eaux traitées dans le milieu naturels, ou, à l'inverse, la nécessité d'étancher les structures (drainage, bassin etc.). [21]

### 1-5) Essais de pompage :

Les essais de pompage sont destinés à déterminer les caractéristiques Hydrodynamiques des terrains aquifères que sont la transmissivité et le facteur d'emmagasinement. Ils permettent d'estimer le rayon d'action du pompage et de calculer le coefficient de perméabilité horizontale des terrains lorsque l'épaisseur de la couche aquifère est connue. [22]

L'essai consiste à rabattre par pompage la surface piézométrique d'une nappe, à partir d'un puits filtrant tout en mesurant le débit pompé et le niveau d'eau, au cours de la phase de pompage et au cours de la phase de retour à l'équilibre après arrêt du pompage. Les mesures sont effectuées dans le puits et dans au moins trois piézomètres alignés sur un rayon correspondant à la direction d'écoulement étudiée. [23]

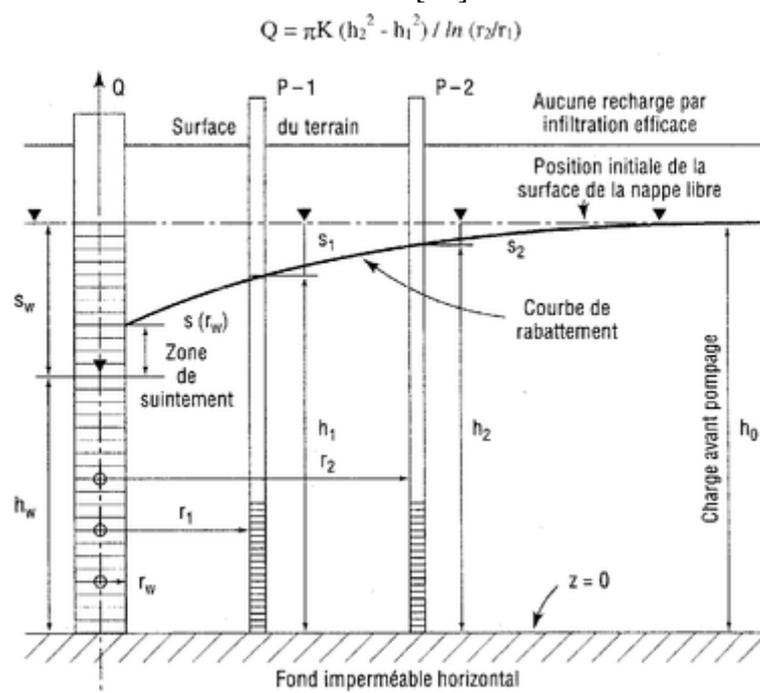


Figure N° 2 : Exemple de dispositif d'un essai de pompage (1 puits et 2 piézomètres)

Le débit de pompage testé est déterminé lors d'une phase d'essai préliminaire qui permet de tester la réponse du dispositif pompe / piézomètre / puits. L'essai proprement dit débute par la mise en marche du pompage au débit d'essai ainsi déterminé, lequel doit être stabilisé dans les deux minutes. A cet instant débute le temps des mesures ( $t=0$ ). Les niveaux d'eau sont relevés dans tous les piézomètres et dans le puits aux intervalles de temps définis, variant entre 30 s au début de l'essai à 1 heure au maximum.

Le pompage se poursuit durant au moins 6 h et au plus 48 h si la phase de régime permanent n'a pas été atteinte. Ce régime est considéré comme atteint après trois mesures successives des niveaux d'eau dans les piézomètres, espacées d'une heure, et ne différant pas de plus d'un centimètre en chaque point de mesure.

Lorsque l'une de ces conditions est atteinte, le pompage est arrêté et l'essai se poursuit par la mesure des niveaux d'eau dans les piézomètres lors de la remontée de la nappe. [22]

- **Applications : [23]**

Contrairement aux essais ponctuels de type Lefranc, Nasberg et Lugeon, l'essai de pompage permet de modéliser un comportement global de l'aquifère au regard d'une problématique de rabattement donnée. C'est l'essai qui permet d'obtenir avec le plus de précision l'estimation d'un débit d'exhaure et la zone d'influence du rabattement d'une nappe vis-à-vis du projet.

L'essai de pompage permet de caractériser des sols de perméabilité comprise entre 10<sup>-2</sup> et 10<sup>-7</sup> m/s.

- **Avantage :**

Les essais de pompage permettent de déterminer une transmissivité qui est le produit de l'épaisseur de la couche aquifère étudiée par un coefficient de perméabilité « en grand » caractéristique du massif de sol. De nombreux développements théoriques autour des méthodes d'interprétation permettent d'enrichir la connaissance du système hydrogéologique étudié (rayon d'action, transmissivité, coefficient d'emmagasinement, détection de limites particulières du système hydraulique...).

- **Limitations :**

Les essais de pompage sont des essais généralement coûteux dont les durées de réalisation et d'interprétation peuvent être importantes. Les méthodes d'interprétations peuvent rapidement devenir complexes. Elles font appel à de nombreuses théories, qu'il convient d'utiliser à bon escient, et nécessitent de bien connaître le contexte hydrogéologique du site étudié. Une étude hydrogéologique détaillée doit donc être menée en parallèle pour définir notamment les conditions de réalimentation de la nappe (par exemple la proximité d'une rivière, front étanche, aquifères secondaires ...). Le puits doit être descendu si possible jusqu'au substratum imperméable. Le débit de pompage doit être constant. Il ne doit donc pas être trop faible. Sa valeur ne doit généralement pas être inférieure à un mètre cube par heure. L'essai n'est donc adapté qu'aux nappes ayant une transmissivité suffisante.

- **Interprétation : [25]**

Les méthodes d'interprétation ne sont pas décrites ni imposées dans la norme NF P 94- et restent donc à la libre appréciation de l'ingénieur. Les méthodes classiques font notamment appel aux équations de Dupuit pour l'analyse en régime permanent et de Theiss – Jacob pour l'analyse en régime transitoire.

Ces méthodes reposent généralement sur le tracé de la courbe du rabattement en fonction du temps et son identification avec une courbe type. Le choix de la méthode d'interprétation dépend des conditions hydrauliques et hydrogéologiques dans lesquelles s'est déroulé l'essai de pompage : interprétation en régime permanent ou régime transitoire, nappe libre ou captive, présence à proximité d'un front d'alimentation ou de drainage...[21]

## **2) Synthèse des travaux IILRI (International Institute for Land Reclamation and Improvement) Bulletin 11f : Analysis and Evaluation of Pumping Test Data : [33]**

Comme il est impossible de passer en revue toutes les techniques, on a sélectionné les principales méthodes dont on dispose aujourd'hui pour interpréter les pompages d'essai.

Voici maintenant la liste des hypothèses de base valable pour toutes les méthodes :

- L'aquifère a une extension latérale apparemment illimité.
- L'aquifère est homogène, isotrope et d'épaisseur uniforme dans la zone influencée par le pompage d'essai.
- Avant le pompage, la surface piézométrique est (presque) horizontale dans la zone influencée par le pompage.
- on pompe à un débit constant.
- le puits d'essai pénètre entièrement l'aquifère et l'eau arrive en écoulement horizontal sur toute l'épaisseur de la nappe.

Il est évident que la première hypothèse en particulier est rarement satisfaite dans la nature. Cependant certains écarts s'interdisent pas l'application des méthodes, sauf s'ils devenaient trop important.

### **2-1) Méthode de Theis :**

- **Mode opératoire :**
  - construire une courbe type de la fonction de puits de Theis sur une feuille bi-logarithmique en portant les valeurs de  $W(u)$  en fonction de  $u$ , il est souvent plus pratique d'utiliser la courbe « renversée », obtenue en portant les valeurs de  $W(u)$  en fonction de  $1/u$ .

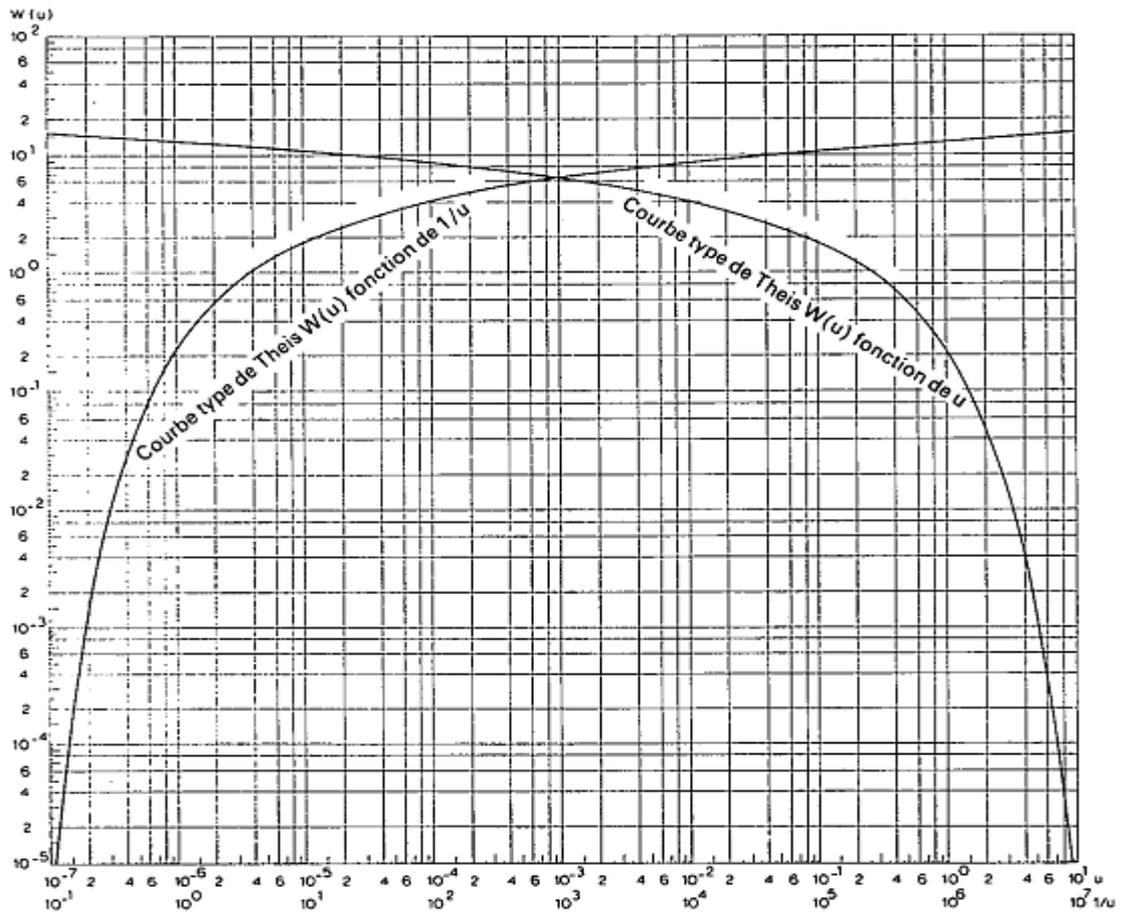


Figure N° 3 : Courbe types de Theis : W(u) fonction de u et W(u) fonction de 1/u

Porte de la même façon les valeurs de s en fonction de  $t/r^2$ . Répéter cette opération pour tous les piézomètres utilisés. On notera que si le débit Q de puits est constant, le rabattement s est lié à  $t/r^2$  de la même façon que W(u) est lié à u, et la courbe d'essai est semblable à la courbe type.

Porter les valeurs de W(u), s et Q dans l'équation : 
$$s = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^\infty \frac{e^{-u} du}{u} = \frac{Q}{4\pi T} W(u)$$

On a appliqué la méthode de Theis aux données du Tableau N° 1 la figure N° 4 montre pour deux piézomètre l'ensemble des points s fonction de  $t/r^2$ .

Soit  $s_A = 0.15m$  et  $(t/r^2)_A = 1.5 \cdot 10^{-3} / 1440$  jour/m<sup>2</sup>. On porte ces valeurs et celle de Q = 788m<sup>3</sup>/jour dans l'équation précédant et l'on obtient :

$$T = 788 / (4 \cdot 3.17 \cdot 0.15) \cdot 1 = 418 \text{ m}^2/\text{jour} \quad \text{et}$$

$$s = 4 \cdot 418 \cdot (1.5 \cdot 10^{-3}) / 1440 \cdot 1/10 = 1.7 \cdot 10^{-4}$$

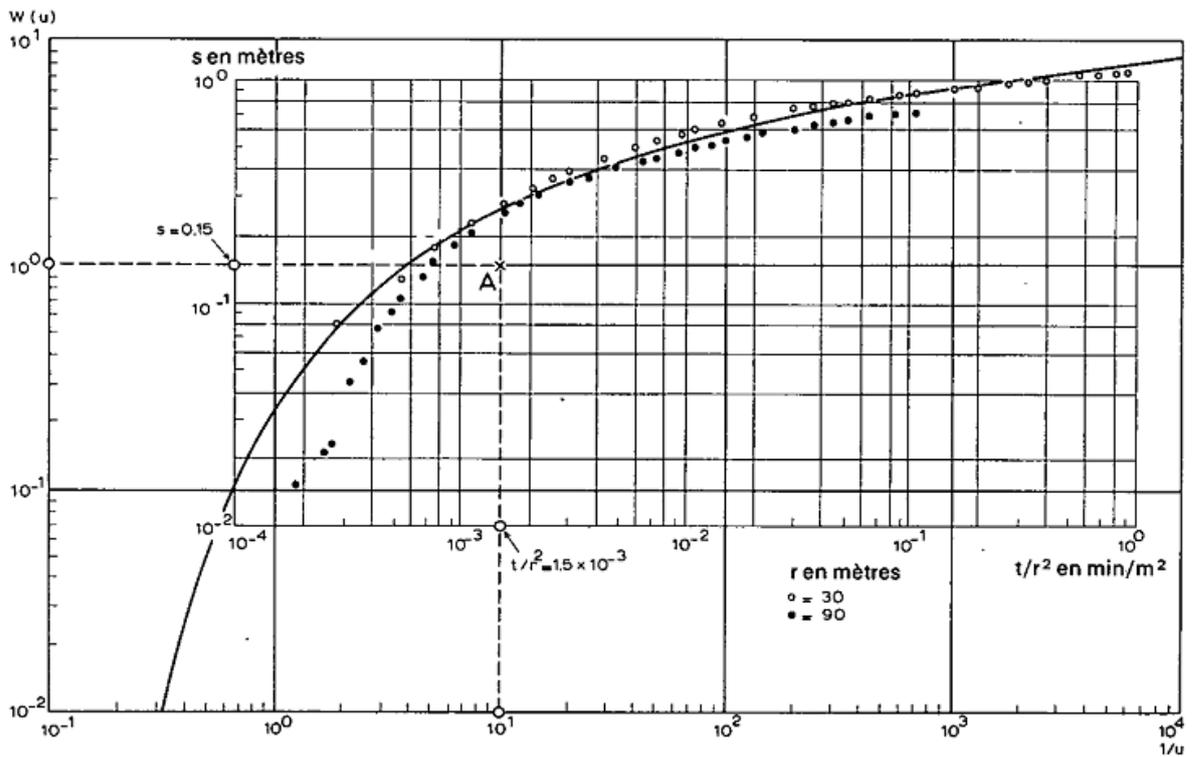


Figure N° 4 : Interprétation de l'essai d'Oude Karendijk suivant la méthode de Theis

**Tableau N° 1 : Données du pompage d'essai d'Oude Korendijk rabattement du piézomètre H<sub>30</sub>, profondeur de filtre 20m**

| t (min) | s (m) | t/r <sup>2</sup> (min/m <sup>2</sup> ) | t (min) | s (m) | t/r <sup>2</sup> (min/m <sup>2</sup> ) |
|---------|-------|--|---------|-------|--|
| 0       | 0     | 0                                      | 18      | 0,680 | 2,00 × 10 <sup>-2</sup>                |
| 0,1     | 0,04  | 1,11 × 10 <sup>-4</sup>                | 27      | 0,742 | 3,00                                   |
| 0,25    | 0,08  | 2,78                                   | 33      | 0,753 | 3,66                                   |
| 0,50    | 0,13  | 5,55                                   | 41      | 0,779 | 4,55                                   |
| 0,70    | 0,18  | 7,77 × 10 <sup>-4</sup>                | 48      | 0,793 | 5,34                                   |
| 1,0     | 0,23  | 1,11 × 10 <sup>-3</sup>                | 59      | 0,819 | 6,56                                   |
| 1,40    | 0,28  | 1,56                                   | 80      | 0,855 | 8,89 × 10 <sup>-2</sup>                |
| 1,90    | 0,33  | 2,11                                   | 95      | 0,873 | 1,06 × 10 <sup>-1</sup>                |
| 2,33    | 0,36  | 2,59                                   | 139     | 0,915 | 1,54                                   |
| 2,80    | 0,39  | 3,12                                   | 181     | 0,935 | 2,01                                   |
| 3,36    | 0,42  | 3,73                                   | 245     | 0,966 | 2,72                                   |
| 4,00    | 0,45  | 4,44                                   | 300     | 0,990 | 3,33                                   |
| 5,35    | 0,50  | 5,94                                   | 360     | 1,007 | 4,00                                   |
| 6,80    | 0,54  | 7,55                                   | 480     | 1,050 | 5,55                                   |
| 8,3     | 0,57  | 9,22                                   | 600     | 1,053 | 6,66                                   |
| 8,7     | 0,58  | 9,67 × 10 <sup>-3</sup>                | 728     | 1,072 | 8,08                                   |
| 10,0    | 0,60  | 1,11 × 10 <sup>-2</sup>                | 830     | 1,088 | 9,22 × 10 <sup>-1</sup>                |
| 13,1    | 0,64  | 1,46                                   |         |       |  |

**RABATTEMENTS DU PIEZOMETRE H<sub>90</sub>, PROFONDEUR DU FILTRE 24 m.**

|      |       |                         |     |       |                         |
|------|-------|-------------------------|-----|-------|-------------------------|
| 0    | 0     | 0                       | 40  | 0,404 | 4,94 × 10 <sup>-3</sup> |
| 1,5  | 0,015 | 1,85 × 10 <sup>-4</sup> | 53  | 0,429 | 6,55                    |
| 2,0  | 0,021 | 2,47                    | 60  | 0,444 | 7,41                    |
| 2,16 | 0,023 | 2,68                    | 75  | 0,467 | 9,26 × 10 <sup>-3</sup> |
| 2,66 | 0,044 | 3,24                    | 90  | 0,494 | 1,11 × 10 <sup>-2</sup> |
| 3    | 0,054 | 3,70                    | 105 | 0,507 | 1,30                    |
| 3,5  | 0,075 | 4,32                    | 120 | 0,528 | 1,48                    |
| 4    | 0,090 | 4,94                    | 150 | 0,550 | 1,85                    |
| 4,33 | 0,104 | 5,35                    | 180 | 0,569 | 2,22                    |
| 5,5  | 0,133 | 6,80                    | 248 | 0,593 | 3,06                    |
| 6    | 0,153 | 7,42                    | 301 | 0,614 | 3,72                    |
| 7,5  | 0,178 | 9,36 × 10 <sup>-4</sup> | 363 | 0,636 | 4,48                    |
| 9    | 0,206 | 1,11 × 10 <sup>-3</sup> | 422 | 0,657 | 5,21                    |
| 13   | 0,250 | 1,60                    | 542 | 0,679 | 6,70                    |
| 15   | 0,275 | 1,85                    | 602 | 0,688 | 7,43                    |
| 18   | 0,305 | 2,22                    | 680 | 0,701 | 8,40                    |
| 25   | 0,348 | 3,08                    | 785 | 0,718 | 9,70 × 10 <sup>-2</sup> |
| 30   | 0,364 | 3,70 × 10 <sup>-3</sup> | 845 | 0,716 | 1,04 × 10 <sup>-1</sup> |

**RABATTEMENTS DU PIEZOMETRE H<sub>215</sub>, PROFONDEUR DU FILTRE 20 m.**

|     |       |                         |     |       |                         |
|-----|-------|-------------------------|-----|-------|-------------------------|
| 0   | 0     | 0                       | 305 | 0,196 | 6,60 × 10 <sup>-3</sup> |
| 66  | 0,089 | 1,43 × 10 <sup>-3</sup> | 366 | 0,207 | 7,92 × 10 <sup>-3</sup> |
| 127 | 0,138 | 2,75 × 10 <sup>-3</sup> | 430 | 0,214 | 9,30 × 10 <sup>-3</sup> |
| 185 | 0,165 | 4,00 × 10 <sup>-3</sup> | 606 | 0,227 | 1,31 × 10 <sup>-2</sup> |
| 251 | 0,186 | 5,43 × 10 <sup>-3</sup> | 780 | 0,250 | 1,69 × 10 <sup>-2</sup> |

## 2-2) Méthode de Jacob :

La méthode de Jacob (Copper et Jacob, 1946) s'appuie elle aussi sur la formule de Theis ; cependant les conditions de son application sont plus restrictives que celles de la méthode de Theis. Dans la formule de Theis on peut remplacer la fonction exponentielle intégrale par un développement en série convergente.

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \left( -0.5772 - \ln u + u - \frac{u^2}{2.2!} + \frac{u^2}{2.2!} - \frac{u^2}{2.2!} + \dots \right)$$

### • Mode opératoire :

- Porter pour des piézomètres les valeurs de  $s$  en fonction du temps correspondant  $t$  sur un papier semi-logarithmique ( $t$  en échelle logarithmique) et tracer la droite passant par les points obtenus figure N°5.

- Prolonger la droite jusqu'à l'axe des temps où  $s=0$ , et lire la valeur de  $t_0$ .

- Calculer la pente de la droite, c'est-à-dire la différence de rabattement par cycle log de temps.

- Porter les valeurs de  $Q$  et de  $\Delta s$  dans l'équation et résoudre par rapport à  $T$ . connaissant  $T$  et  $t_0$ , calculer  $s$  à partir de l'équation précédant.

Comme exemple numérique, on a choisi les résultats de l'essai s'Oude Korendijk. La figure N donne le diagramme  $s$  en fonction de  $t$  sur un papier semi-logarithmique.

On trace une droite passant par les points. Sa pente mesurée sur l'axe vertical vaut  $\Delta s = 0.36\text{m}$  par cycle log de temps. L'intersection de la droite avec l'axe des abscisses donne  $t_0 = 0.25\text{ min} = 0.25/1440\text{ jours}$ .

Le débit vaut  $Q = 788\text{m}^3/\text{jour}$ . On porte ces valeurs dans l'équation et l'on obtient :

$$T = (2.30 \cdot 788) / (4 \cdot 3.14 \cdot 0.36) = 401 \text{ m}^2/\text{jour}$$

$$S = (2.25 \cdot 401) / 30^2 \cdot 0.25/1440 = 1.7 \cdot 10^{-4}$$

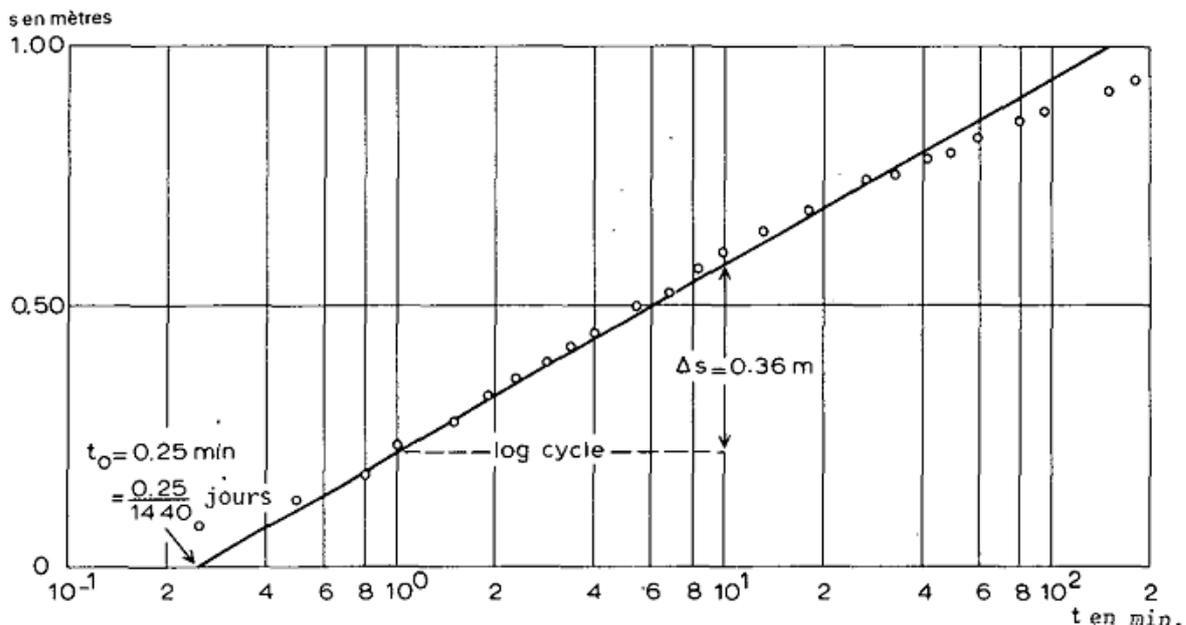


Figure N° 5 : Interprétation de l'essai d'Oude Karendijk suivant la méthode de Jacob

**Conclusion :**

Le pompage d'essai est l'un des moyens les plus utiles pour déterminer les propriétés hydrauliques des couches aquifères et d'optimiser leur exploitation, tout fois d'une manière rationnelle

Selon Kruseman l'équation du régime permanent, ou de Thiem peut souvent s'appliquer pour déterminer le coefficient de perméabilité. Cependant, les conditions de terrain peuvent être telles que l'on a besoin d'un temps considérable pour atteindre ce régime permanent, ce qui est parfois un désavantage sérieux de cette méthode.

Un grand progrès a été fait par Theis (1935) qui fut le premier à développer les formules du régime transitoire, comprenant le temps et le coefficient d'emmagasinement. Theis découvrit que lorsqu'on pompe à débit constant dans un puits par fait un aquifère d'extension latérale illimitée, l'influence du prélèvement de l'eau se propage vers l'extérieur avec le temps. Si en chaque point de la zone d'influence on multiplie l'abaissement de la charge hydraulique par le coefficient d'emmagasinement, et si l'on fait ensuite la somme de toutes les valeurs obtenues, le chiffre trouvé est égal au volume prélevé. Comme l'eau doit provenir d'une réduction de l'emmagasinement de la nappe, le niveau piézométrique continue à baisser aussi longtemps que l'aquifère reste infini. Donc, il n'existe théoriquement aucun régime permanent. Cependant, la vitesse de l'abaissement diminue constamment au fur et à mesure que la zone d'influence s'étend, et le cas échéant elle devient si faible qu'elle est négligeable, ce que l'on considère en fait comme le régime permanent.

L'équation du régime transitoire, ou de Theis, provient de l'analogie entre l'écoulement souterrain et la conduction de la chaleur.

**Introduction :**

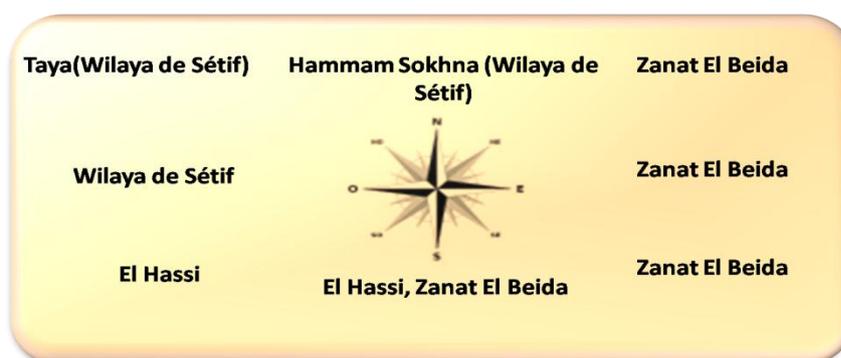
La plaine de **Ain Djasser** appartient au bassin versant des **hautes plateaux constantinois** et précisément au sous bassin versant **Merdja Zana (BV 07-02)**. Ce sous bassin s'étale sur une superficie de **1036 km<sup>2</sup>** environ, il se caractérise par un relief diversifié, à faible altitude pour la plaine et accidenté pour les massifs montagneux.

**I-I-1) - Situation géographique :**

La plaine de **Ain Djasser** ayant fait l'objet de notre étude, couvre une superficie d'environ **210 km<sup>2</sup>**, elle est située à **60 Km** au **Nord** de la wilaya de **Batna** en bordure de la route **N°75** et à **80 km** au **Sud** de la wilaya de **Sétif**.

La commune de **Ain Djasser** est limitée (**Figure N° I.1**) :

- Au **Nord** par la commune **Hammam Sokhna** (wilaya de **Sétif**).
- Au **Nord-Ouest** par la commune **El-Taya** (wilaya de **Sétif**).
- A l'**Est** et **Sud** par la commune de **Zanat El Beida** et la commune **El Hassi**.



**Figure N° I.1 : communes limitrophes de Ain Djasser**

Les coordonnées géographiques correspondantes sont :

**Tableau N° I.1 : les coordonnées géographiques de Ain Djasser (source DRE Batna)**

| Coordonnées | sexagésimales  | décimales | Lambert |              |
|-------------|----------------|-----------|---------|--------------|
| Latitude    | 35° 51' 40'' N | 35.8611°  | X       | 798,13902 Km |
| Longitude   | 6° 00' 04'' E  | 6.0012°   | Y       | 289,73268 Km |

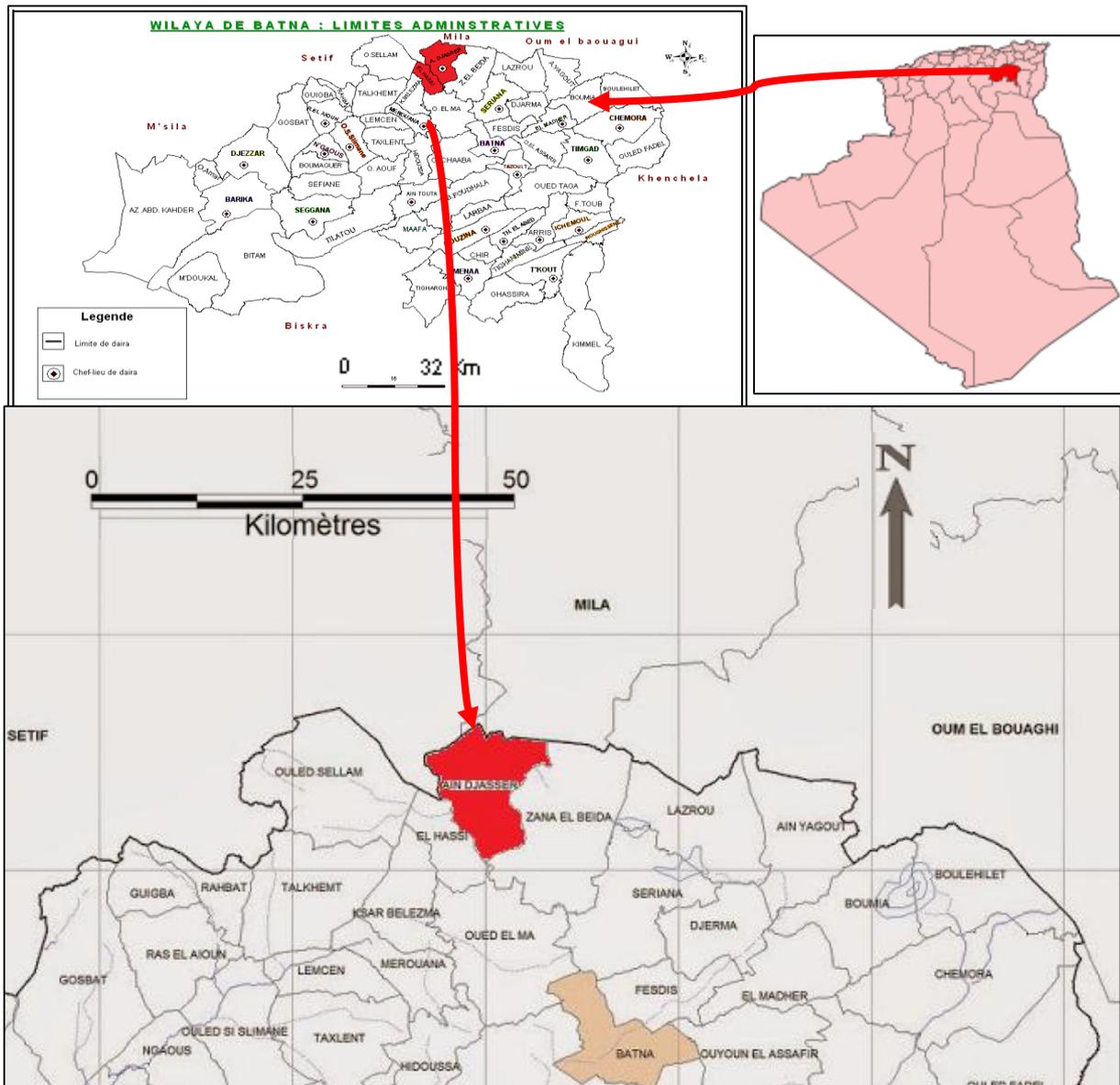


Figure N° I.2 : carte de découpage administratif

### I-I-2) - Contexte socio-économique :

Dans cette localité à caractère rural, l'activité se limite essentiellement à l'agriculture et peu d'élevage, l'industrie se résume en une petite unité textile.

D'après le recensement général de **2008** la population de cette plaine est de l'ordre de :

- **16176** habitants à **Ain Djasser**.
- **7911** habitants à **El-Hassi**.

### I-I-3) - Aperçu géomorphologique :

La région d'étude est caractérisée par une surface à **faible pente** avec des altitudes qui varient entre **910 m** au **Nord-Ouest** et **870 m** au **Sud-Est**.

La plaine est encadrée par les reliefs suivants :

- Au **Nord** par les collines d'**Ouled Haif** où affleurement d'une manière considérable les formations salées du **Trias**.
- Au **Sud** par la chaîne montagneuse des **Djebels Zana (1280 m)** et **Tissouras**.
- Au **Sud Est** par **Djebel Roknia**.
- A l'**Ouest** par **Djebel Agmerouel (1230m)**.

#### I-I-4) - Réseau hydrographie :

Le réseau hydrographique est généralement liée à l'organisation du relief, cette région d'étude présente un faible réseau hydrographique endoréique où seul Oued **Boughzel**, qui ne coule qu'à la faveur des fortes pluies, traverse la localité de **Ain Djasser** de l'**Ouest** vers l'**Est** et se perd à environ **10 km** à l'**Est** de cette localité.



Figure N° I.3 : Image satellite représentant les éléments physiques qui composent le relief de la plaine de Ain Djasser.

#### Conclusion :

La plaine de **Ain Djasser** située à **60 Km** au **Nord** de la ville de **Batna** est caractérisée par une morphologie à **faible** altitude dans la **plaine** (850m) et **accidentée** pour les **massifs** (1230m).

**I-II) - Cadre climatique :**

L'étude climatologique est d'une importance non négligeable, basée sur les données des précipitations, des températures, des vents, de l'humidité...etc. Elle permet de définir le bilan hydrologique en se basant sur l'évapotranspiration réelle, le ruissellement et l'infiltration qui participe à l'alimentation et au renouvellement des aquifères.

**I-II-1) – Aperçu général sur le climat de la région :**

La zone d'étude appartient au sous bassin de **Merdja Zana**. C'est une division du bassin versant des **hauts plateaux constantinois (07.02)** qui couvre une superficie de **1036 km<sup>2</sup>**.

**I-II-2) - Caractéristiques de la station météorologique :****Tableau N° I.3 : Cordonnées de station météorologique de l'aéroport de Batna (ANRH)**

| Station             | X (Km)  | Y (Km)  | Longitude | Latitude | Altitude (m) |
|---------------------|---------|---------|-----------|----------|--------------|
| l'aéroport de Batna | 814,220 | 255,700 | 06°19' E  | 35°45'N  | 821,29       |

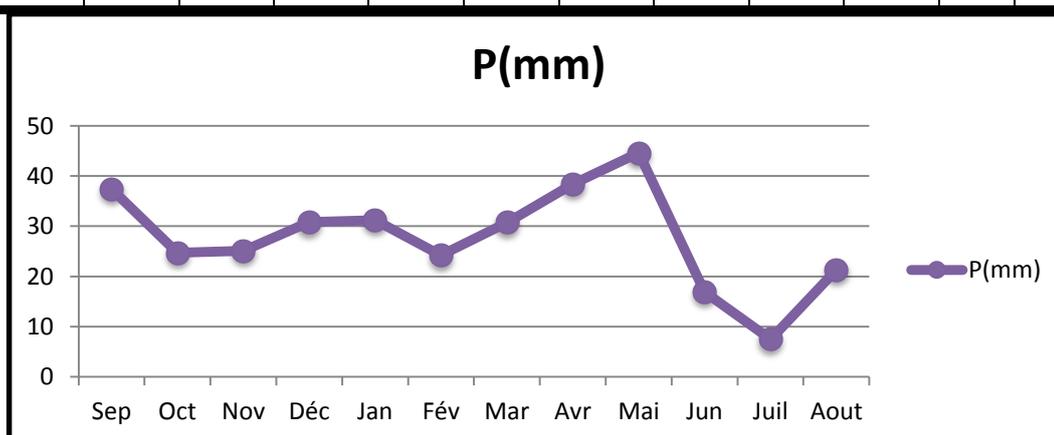
L'étude des paramètres climatologique est basée essentiellement sur les **précipitations** et la **température**, à cet effet on utilise une série des données de la station de l'**aéroport de Batna** pour une période de **25 ans (1989 / 2013)**.

**I-II-3) - Les précipitations :**

La variation mensuelle de la précipitation pour la période de **1989 à 2013** est représentée dans le tableau suivant :

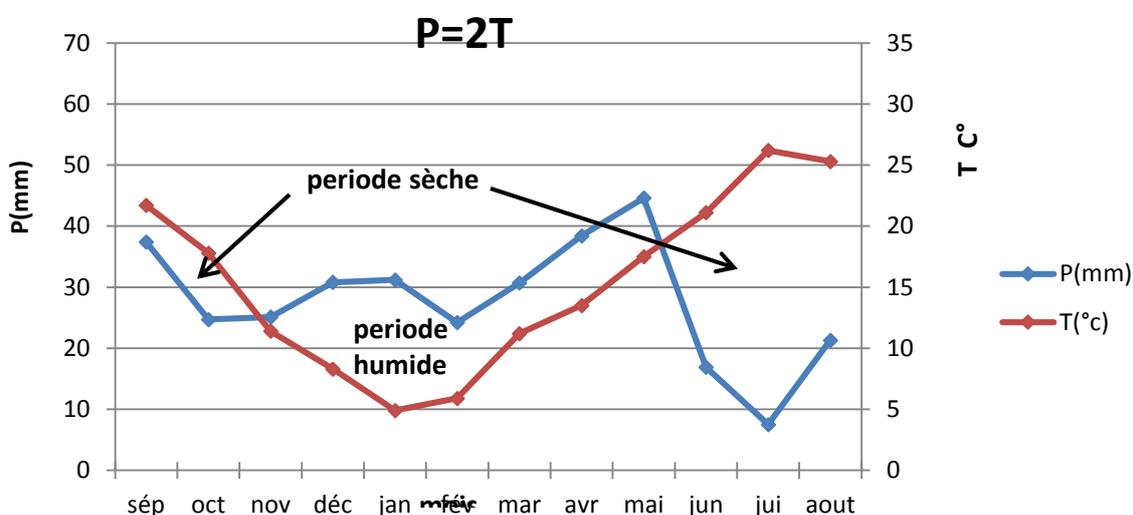
**Tableau N° I.4 : Précipitations moyennes Mensuelles (Station aéroport 1989-2013)**

| Mois          | S.   | O.   | N.   | D.   | J.   | F.   | M.   | A.   | M.   | J.   | J.  | A.   | Tot.  |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|-------|
| <b>P (mm)</b> | 37,4 | 24,7 | 25,1 | 30,8 | 31,2 | 24,2 | 30,7 | 38,4 | 44,6 | 16,9 | 7,5 | 21,3 | 332,8 |

**Figure N° I.5 : Variations des précipitations moyennes mensuelles (1989/2013)**

**I-II-4) - Les températures :****Tableau N° I.7 : Température mensuelle moyenne, minimales et maximales (DRE Batna)**

| Saison      | Automne |      |      | Hiver |      |      | Printemps |      |      | Eté  |       |       | Moyenne annuelle |
|-------------|---------|------|------|-------|------|------|-----------|------|------|------|-------|-------|------------------|
| mois<br>T°C | Sep.    | Oct. | Nov. | Déc.  | Jan. | Fév. | Mar.      | Avr. | Mai. | Jun. | Juil. | Aout. |                  |
| M           | 29,2    | 24,0 | 17,1 | 12,8  | 11,9 | 13,4 | 17,2      | 20,0 | 25,9 | 31,7 | 35,7  | 34,9  | 22,82            |
| m           | 14,3    | 10,0 | 4,8  | 1,3   | 0,0  | 0,4  | 3,1       | 5,7  | 9,8  | 14,4 | 17,2  | 17,2  | 8,18             |
| Moy         | 21,7    | 17,8 | 11,4 | 8,3   | 4,9  | 5,9  | 11,2      | 13,5 | 17,5 | 21,1 | 26,2  | 25,3  | 15,4             |

**I-II-5) – Relation Température – précipitation :****Figure N° I.6 : Climatogramme Ombrothermique de Gausсен et Bagnols (1989-2013)**

On utilise le climatogramme Ombrothermique de GAUSSEN et BAGNOULS pour avoir la relation entre la température et la précipitation, ce diagramme est établi à partir des données de températures moyennes mensuelles et des précipitations moyennes mensuelles. Les précipitations sont portées à une échelle double des températures. [1]

**I-II-6) - Les paramètres climatologique :****I-II-6-1) – L'indice d'aridité :**

- **Indice d'aridité annuel de Martonne : [2]**

Martonne (1923) a défini un indice appelé indice d'aridité annuel **I**, donné par la formule suivante :

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

Avec :

**P** : précipitations moyennes annuelles (mm) **T** : températures moyennes annuelles (°C)

Martonne a proposé selon la valeur de (**I**) la classification suivante :

Tableau N° I.8 : classification de valeur de (I) de De. Martonne

| Valeurs de I   | Type du climat            |
|----------------|---------------------------|
| $20 < I < 30$  | Le climat est tempéré     |
| $10 < I < 20$  | Le climat est semi-aride  |
| $7.5 < I < 10$ | Le climat est steppique   |
| $5 < I < 7.5$  | Le climat est désertique  |
| $I < 5$        | Le climat est hyper aride |

Application numérique :

$P$  (mm) = **332,8**.  $T$  (c°) = **15,4**. Donc :  $I = 13, 10$ . On a  $10 < I < 20$

Le climat de la région d'**Ain Djasser** est un climat **semi-aride**.

- **Indice d'aridité mensuel de Martonne :**

On peut aussi calculer l'indice d'aridité pour chaque mois par la formule :  $I = \frac{12 \cdot P}{t+10}$

$I$  : indice d'aridité mensuelle.  $P$  : précipitation mensuelle (mm).

$T$  : température moyenne mensuelle (c°).

Les valeurs d'indice d'aridité sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau N° I.9 : valeurs d'indice d'aridité mensuelles

| Mois | S.   | O.   | N.   | D.   | J.   | F.   | M.   | A.   | M.   | J.  | J.  | A.  |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|
| I    | 14,2 | 10,7 | 14,1 | 20,2 | 25,1 | 18,3 | 17,4 | 19,6 | 19,5 | 6,5 | 2,5 | 7,2 |

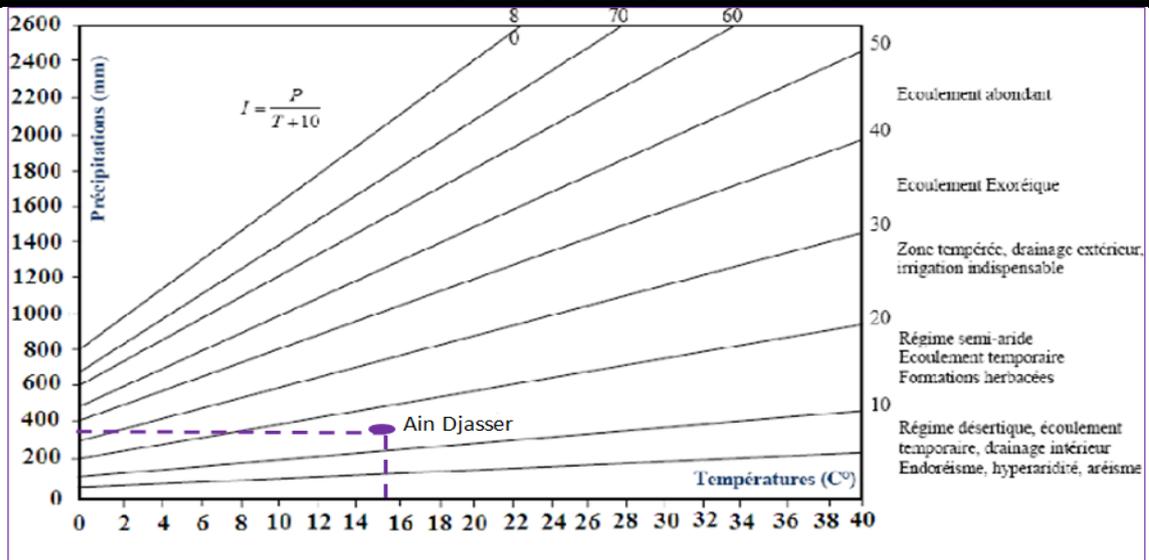


Figure N° I.7 : Indice annuel d'aridité de MARTONNE

I-II-6-2) – diagramme d'Emberger :

$$Q2 = \frac{2000 \cdot P}{(M^2 - m^2)}$$

-  $Q2$  : quotient pluviométrique d'EMBERGER.  $P$  : précipitations moyennes annuelles en mm.

-  $M$  : moyenne des températures maximales du mois le plus chaud, en degré absolu

$T^{\circ}C + 273(^{\circ}K)$ .  $m$  : moyenne des températures minimales du mois le plus froid, en degré absolu  $T^{\circ}C + 273(^{\circ}K)$ .

Tableau N° I.10 : Indice d'EMBERGER.

| P (mm) | M (°K) | m (°k) | Q    |
|--------|--------|--------|------|
| 332.8  | 308.7  | 273    | 32.1 |

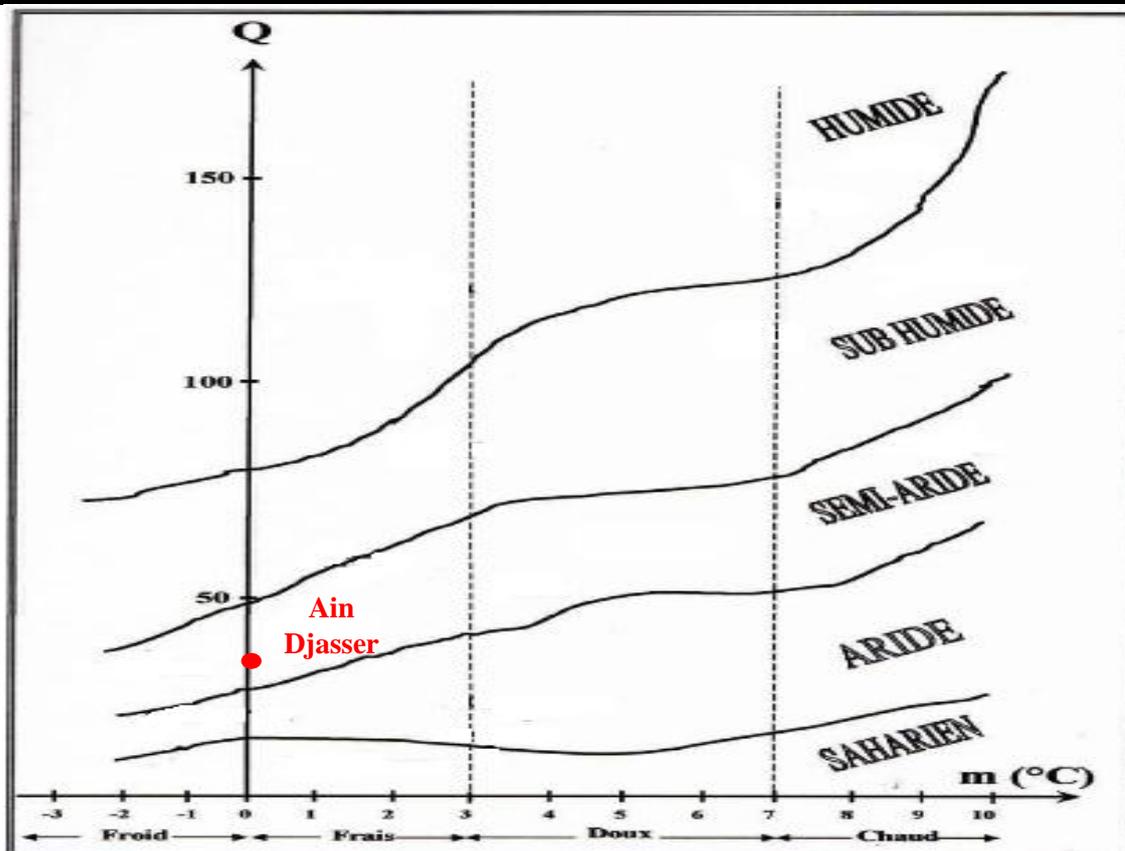


Figure N° I.8 : diagramme pluviométrique de EMBERGER

**I-II-7) – Evapotranspiration :**

Le phénomène de l'évapotranspiration se compose, d'une part, de l'évaporation directe qui s'effectue à partir des sols humides et des différents plans d'eau, mais aussi de la transpiration des végétaux.

**I-II-7-1) – Evapotranspiration potentielle (ETP) : [3]**

Dans les conditions d'alimentation excédentaire il y a une quantité évaporée à partir d'un bassin versant. On utilise deux formules pour calculer l'ETP, formule de THORNTHWAITE et SERRA.

- **Formule de Thornthwaite : [4]**

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

Dont :

T : température moyenne mensuelle      I : somme de i (indice thermique mensuel).

$$i = (T/5)^{1.514}$$

a : exposant climatique

$$a = 0.016 * I + 0.5.$$

Certains auteurs pensent que les valeurs de l'ETP calculées par la méthode de THORNTHWAITE sont sous estimées dans les régions arides, ou bien sur estimées dans les

régions tropicales humides et équatoriales. C'est pour cette raison que l'ETP calculé est multiplié par un facteur de correction K qui est fonction du temps, du mois et de la latitude du lieu :

$$ETP_c = ETP * K$$

Où : K : facteur de correction mensuelle dépendant de la latitude et du mois, il est obtenu par l'abaque de la durée d'éclairage.

Avec ETP : évapotranspiration potentielle non corrigée (mm)

ETP<sub>(corrigé)</sub> : évapotranspiration potentielle corrigée

**Tableau N° I.14 : Evapotranspiration potentielle corrigée (formule de Thornthwaite)**

| Mois             | S.     | O.    | N.    | D.    | J.   | F.    | M.    | A.    | M.    | J.     | J.     | A.     | Année  |
|------------------|--------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| T (°c)           | 21,7   | 17,8  | 11,4  | 8,3   | 4,9  | 5,9   | 11,2  | 13,5  | 17,5  | 21,1   | 26,2   | 25,3   | 15,4   |
| i                | 9,23   | 6,84  | 3,48  | 2,15  | 0,97 | 1,28  | 3,39  | 4,50  | 6,66  | 8,85   | 12,28  | 11,64  | 71,28  |
| ETP              | 99,32  | 71,77 | 34,56 | 20,54 | 8,65 | 11,73 | 33,58 | 45,62 | 69,80 | 94,86  | 135,29 | 127,75 | 753,83 |
| k                | 1,03   | 0,97  | 0,86  | 0,85  | 0,87 | 0,85  | 1,03  | 1,09  | 1,21  | 1,21   | 1,23   | 1,16   | -      |
| ETP <sub>c</sub> | 102,30 | 69,62 | 29,72 | 17,46 | 7,53 | 9,97  | 34,58 | 49,71 | 84,45 | 114,78 | 166,41 | 148,19 | 834,72 |

$$\sum_i i = 71,28 \quad ; \quad a = 1,64$$

- **Formule de Serra : [5]**

$$ETP = 16(10T/I)^a$$

T : température moyenne mensuelle (C°).  $I = \sum_i i$  avec  $i = 0,09T^{3/2}$   $\sum_i i = I = 70,41$   $a = 1,63$

**Tableau N° I.15 : Evapotranspiration potentielle à partir de la formule de SERRA**

| Mois             | Sep.   | Oct.  | Nov.  | Déc.  | Jan. | Fév.  | Mar.  | Avr.  | Mai.  | Jun.   | Juil.  | Aout   | Année  |
|------------------|--------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| T (°c)           | 21,7   | 17,8  | 11,4  | 8,3   | 4,9  | 5,9   | 11,2  | 13,5  | 17,5  | 21,1   | 26,2   | 25,3   | 15,4   |
| I                | 9,10   | 6,76  | 3,46  | 2,15  | 0,98 | 1,29  | 3,37  | 4,46  | 6,59  | 8,72   | 12,07  | 11,45  | 70,41  |
| ETP              | 99,82  | 72,32 | 35,04 | 20,91 | 8,87 | 12,00 | 34,04 | 46,13 | 70,35 | 95,37  | 135,63 | 128,13 | 758,60 |
| K                | 1,03   | 0,97  | 0,68  | 0,85  | 0,87 | 0,85  | 1,03  | 1,09  | 1,21  | 1,21   | 1,23   | 1,16   | -      |
| ETP <sub>c</sub> | 102,82 | 70,15 | 23,82 | 17,77 | 7,72 | 10,20 | 35,06 | 50,28 | 85,12 | 115,40 | 166,82 | 148,63 | 833,80 |

A partir de tableau on trouve que l'évapotranspiration potentielle maximale est dans le mois de Juillet (166.82mm), par contre le minimum est au mois de Janvier (7.72mm), et avec un total de 833.80mm.

**I-II-7-2) - Evapotranspiration réelle (ETR) :**

- **Méthode de Turc : [6]**

$$ETR = \frac{p}{\sqrt{0,9 + \frac{p^2}{L^2}}}$$

ETR : évapotranspiration réelle (mm)

P : précipitation moyenne annuelle (mm).

L = (300 + 25T + 0,05T<sup>3</sup>)

T : température moyenne annuelle.

Tableau N° I.16 : évapotranspiration réelle à partir de la formule de Turc :

| Station        | Période   | P (mm) | T(c°) | ETR    |
|----------------|-----------|--------|-------|--------|
| Batna Aéroport | 1989-2013 | 332,8  | 15,4  | 325,22 |

Tableau N° I.17 : Valeurs de l'évapotranspiration obtenue par les différentes méthodes

| Paramètres | Méthodes     | Valeur annuelle (mm) |
|------------|--------------|----------------------|
| P          |              | 332.8                |
| ETP        | THORNTHWAITE | 834.72               |
|            | Serra        | 833,80               |
| ETR        | Turc         | 325.22               |

## I-II-8) – Bilans Hydriques :

Selon THORNTHWAITE, la quantité d'eau nécessaire pour qu'un sol soit saturé est équivalente à une tranche d'eau de 50 mm (c'est RFU généralement adoptée).

Toujours d'après THORNTHWAITE, on peut établir un bilan hydrique mensuel qui permet d'estimer pour chaque mois :

- **ETR** : évapotranspiration réelle ; - **R.F.U** : Pour notre région on prend RFU=50mm ;
- **Da** : déficit agricole ; **Ex** : l'excédent (water surplus).

A partir des données des pluies mensuelles et l'évapotranspiration potentielle (ETP) calculée par la méthode de THORNTHWAITE, plusieurs cas peuvent être envisagés :

- Si :  $P \geq ETP \rightarrow ETP = ETR$ , il y a une quantité d'eau (P-ETR) qui va alimenter la RFU jusqu'à son maximum (100%).
- Si  $P=ETP$ , les précipitations sont suffisantes pour alimenter le sol mais il n'y aura pas de surplus pour alimenter la RFU.
- Si :  $P < ETP$ , il y aura épuisement des réserves, dans ce cas on aura un déficit du bilan  $Da = ETP - P$ . (Da) représente le besoin en eau pour l'irrigation des plantes.

Tableau N° I.18 : Bilan hydrique de THORNTHWAITE

| mois                     | Sep.  | Oct.  | Nov.  | Déc.  | Jan.  | Fév.  | Mar.  | Avr.  | Mai.  | Juin   | Juil.  | Aout.  | Tot.    |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|
| <b>P (mm)</b>            | 37,4  | 24,7  | 25,1  | 30,8  | 31,2  | 24,2  | 30,7  | 38,4  | 44,6  | 16,9   | 7,5    | 21,3   | 332,8   |
| <b>ETP<sub>c</sub></b>   | 102,3 | 69,62 | 29,72 | 17,46 | 7,53  | 9,97  | 34,58 | 49,71 | 84,45 | 114,78 | 166,41 | 148,19 | 834,72  |
| <b>P-ETP<sub>c</sub></b> | -64,9 | -     | -4,62 | 13,34 | 23,67 | 14,23 | -3,88 | -     | -     | -97,88 | -      | -      | -501,92 |
| <b>RFU</b>               | 0     | 0     | 0     | 13,34 | 37,01 | 50    | 46,12 | 34,81 | 0     | 0      | 0      | 0      | 181,28  |
| <b>ETR</b>               | 37,4  | 24,7  | 25,1  | 17,46 | 7,53  | 9,97  | 34,58 | 49,71 | 44,6  | 16,9   | 7,5    | 21,3   | 296,75  |
| <b>Da</b>                | 64,9  | 44,92 | 4,62  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 5,04  | 97,88  | 158,91 | 126,89 | 503,16  |
| <b>Ex</b>                | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1,24  | 0     | 0     | 0     | 0      | 0      | 0      | 1,24    |

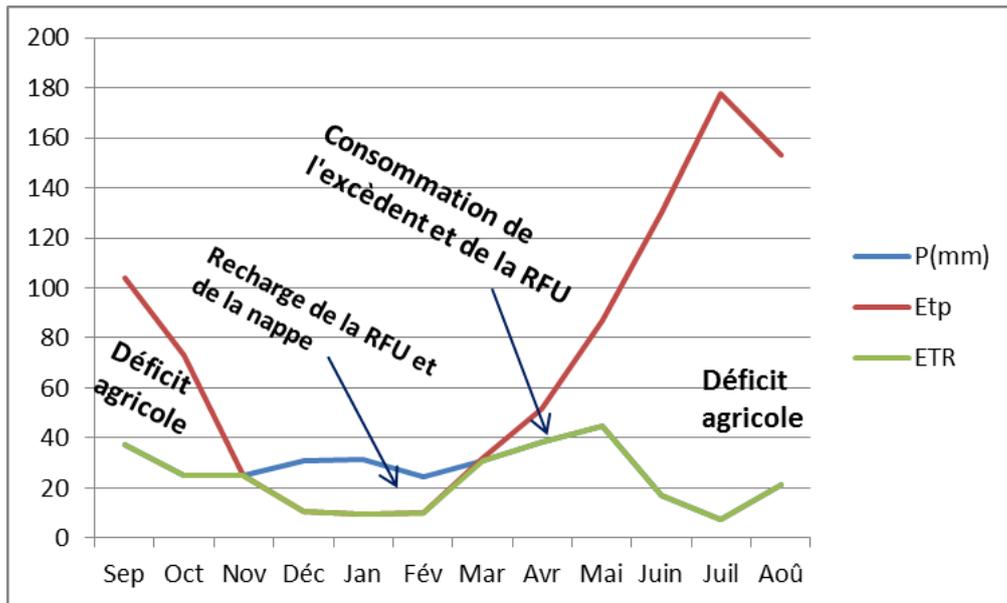


Figure N° I.9 : Représentation graphique du bilan de THORNTHWAITE

### I-II-9) – Le ruissellement :

Le calcul du ruissellement « R » se fait par la relation de TIXERONT et BERKALOF [7] :

$$R = \frac{p^3}{3(ETP)^2}$$

R : ruissellement en mm ; P : précipitation annuelle en mm ;

ETP : évapotranspiration annuelle en mm.

#### Tableau N° I.19 : Valeur de ruissellement

| P (mm)  | ETP (mm) | R       |       |
|---------|----------|---------|-------|
| 332.8mm | 834.72   | 17.63mm | 5.30% |

### I-II-10) – L'infiltration :

Ce paramètre peut être estimé à l'aide de la formule du bilan hydrologique donnée par la relation suivante [8] :  $P = ETR + R + I \rightarrow I = P - (ETR + R)$

Où :

P : précipitation en mm ; ETR : évapotranspiration (mm) ;

R : ruissellement (mm) ; I : infiltration (mm).

#### Tableau N° I.20 : Valeur d'infiltration

| P(mm) | ETR(mm) | R(mm)   | I(mm) |
|-------|---------|---------|-------|
| 332.8 | 296.75  | 17.63mm | 18.42 |

### Conclusion :

La région étudiée est caractérisée par un climat semi-aride, avec une température moyenne annuelle de 15.4°C et une précipitation moyenne annuelle de 332.8 mm.

A l'échelle saisonnière, on constate qu'on a deux saisons : une relativement pluvieuse, de Septembre à Mai et une autre sèche, pour le reste de l'année.

Les méthodes estimant l'indice d'aridité (MARTONNE et EMBERGER) s'accordent, en donnant un caractère semi-aride au climat de la région.

L'évapotranspiration potentielle est de 834.72mm par an

Selon les méthodes empiriques (THORNTHWAITE, TIXERONT-BERKALOFF ...), le ruissèlement (R) égale à 17.63 et l'infiltration (I) est égal 18.42.

**II-I) – Cadre géologique :**

La géologie est à l'origine de la nature lithologique et des formes géomorphologiques ; elle permet de comprendre la composition minéralogique et les caractéristiques des différents types de sols et de roches.

**II-I-1) – Géologie régionale :**

La région de Ain Djasser appartient au domaine externe et aux séries de l'unité Sud

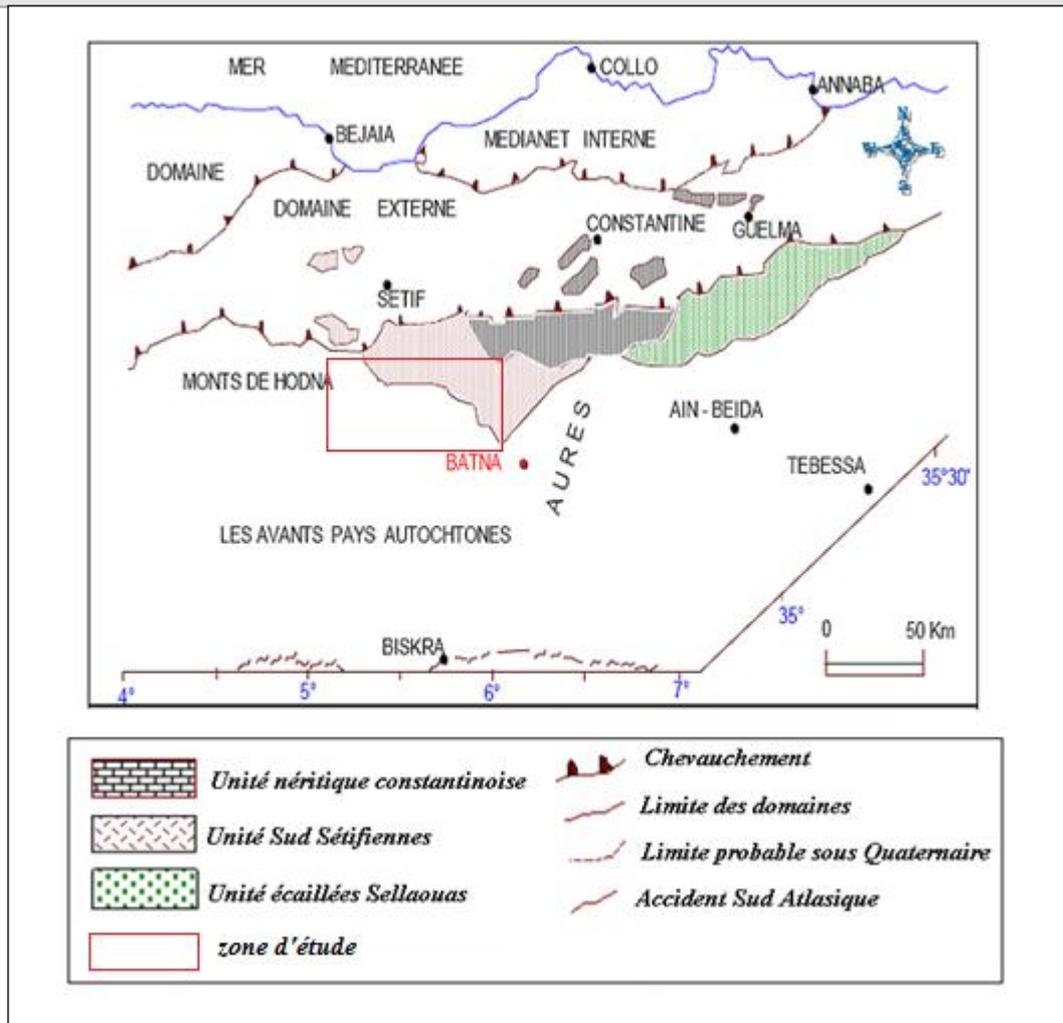


Figure N° II.1 : Esquisse structurale du Nord-Est Algérien, (d'après. Wildi, 1983) [9]

**II-II-2) – Géologie locale :****II-II-2-1) – Géologie de la plaine de Ain Djasser :**

La plaine de Ain Djasser est une vaste dépression typique des hautes plaines de l'Est algérien, est située dans la région comprise entre les Aurès et la zone tellienne, constituée essentiellement de formations sédimentaires d'âge Quaternaire et Mio-pliocène. [10]

Cette étendue plaine est entourée de reliefs en général carbonatés appartenant à l'ensemble sud sétifien d'âge Secondaire (figure N° II.2), la plaine est encadrée par les reliefs suivants :

- A l'Ouest par Djebel Agmeroual culminant à 1241m ;
- Au Sud par Djebel Tissouras et Djebel Zana ;
- Au Sud Est par Djebel Roknia ;
- A l'Est : Bled M'harba ;
- Au Nord par les collines d'Ouled Haif où affleurent d'une manière considérable les formations salées du Trias.

### II-II-2-2) – Analyse Litho Stratigraphique :

La description de la géologie de la zone d'étude est inspirée à partir de la lecture de la notice explicative de la carte géologique de Bourhzel 1/50.000 (feuille N° 145).

Les formations du Mio-plio-Quaternaire reposent sur des structures d'ère secondaire montrant une variation lithologique (figure N° II.3).

On distingue dans l'ordre chronologique et de bas en haut :

- Les formations carbonatées du Secondaire de l'ensemble sud Sétifien et le Trias exotique.
- Les formations Mio-Pliocènes continentales formées essentiellement de conglomérats.
- Les formations Quaternaires qui occupent en grande parties la plaine d'Ain Djasser.

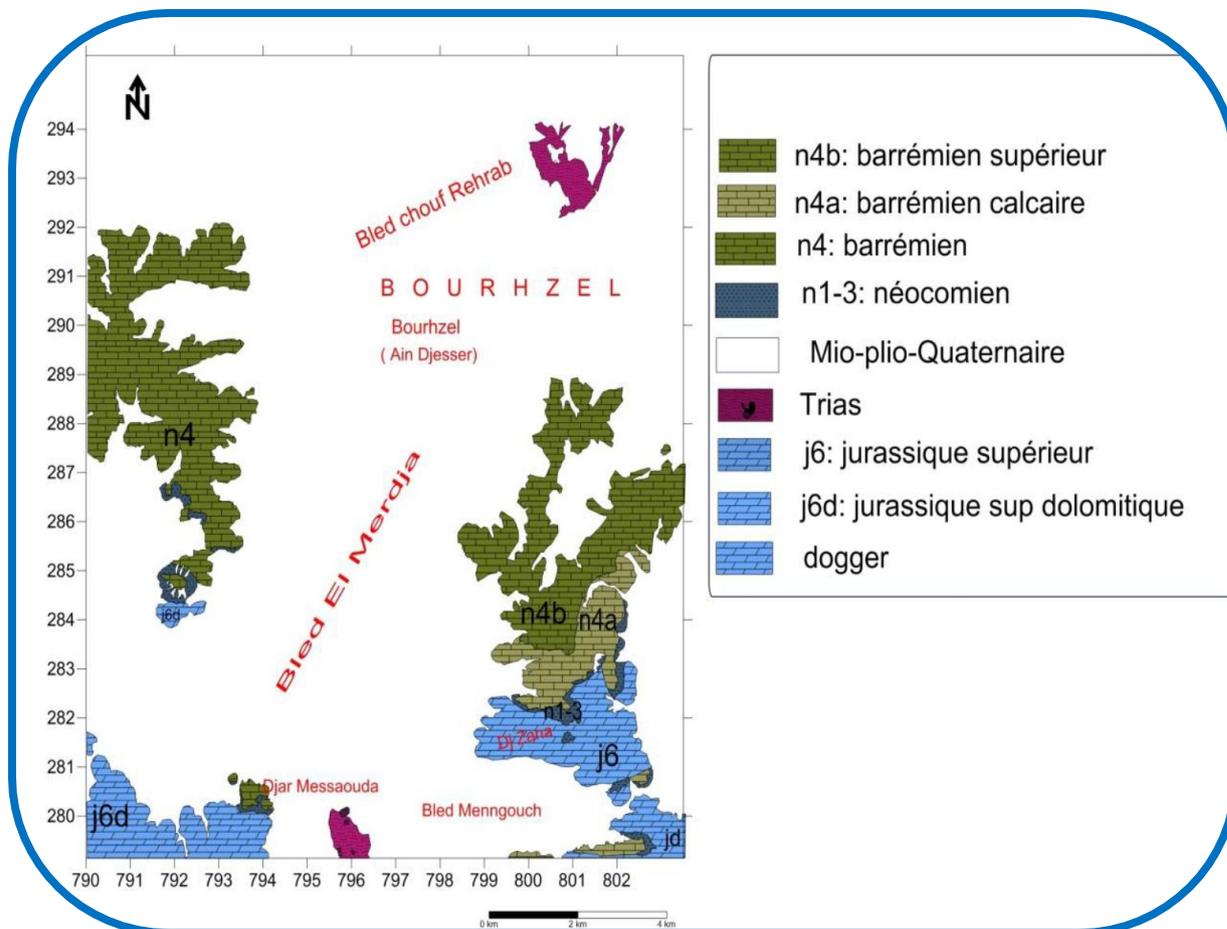


Figure N° II.3 : Les formations géologiques de la plaine de Ain Djasser-BATNA

**II-II-2-4) – Tectonique :**

Du point de vue tectonique, l'ensemble des formations sont fortement inclinées avec des pointements diapiriques du trias.

La tectonique prédominante est la tectonique atlasique des Aurès avec des structures plissées et de grandes fractures de direction Sud-Ouest, Nord Est.

Cette tectonique est rendue plus complexe par la combinaison des plis atlasiques et des plis telliens.

**II-II-2-5) – Analyse structurale (notice de la carte de Bourzhel) :**

L'ensemble Sud Sétifien est constitué essentiellement :

- Des écaillés des Djebel Agmeroual et Roknia d'âge Crétacé.
- Des écaillés des Djebel Tissouras-Messouda d'âge Jurassique.
- D'une plaine de remplissage Mio-Plio-Quaternaire.

D'une manière plus détaillée, on aura :

- Djebel Zana : c'est le flanc nord d'un ensemble anticlinale dont le flanc Ouest- Est Djebel Agmeroual probablement effondre et érodé.
- Djebel Agmeroual : c'est un bloc surélevé et faillé séparé du Belzma par un accident tectonique important

**II-II-2-6) – Aperçu sur les formations aquifères potentielles :**

La zone d'étude fait partie de l'ensemble sud sétifien formé de roches sédimentaires, où on distingue :

- Des terrains du Mio-Plio-Quaternaire de la plaine de Ain Djasser formés essentiellement de conglomérats et d'alluvions. Ces formations dont l'épaisseur moyenne dépassent 100m, constituent une structure favorable au développement de la nappe superficielle.
- Les reliefs carbonatés du Crétacé et du Jurassique qui entourent la plaine et qui sont favorables à l'existence d'une nappe profonde de grande capacité.
- La nature et la qualité des roches de cette région sont déterminantes aussi bien pour la connaissance du potentiel aquifère que pour le chimisme des eaux souterraines.

Les coupes interprétatives intègrent toutes ces conclusions.

**Conclusion :**

Cette zone appartient à l'ensemble sud Sétifien et elle est constituée de roches sédimentaires.

Litho logiquement ces terrains sont disposés en couches dans l'ordre suivant :

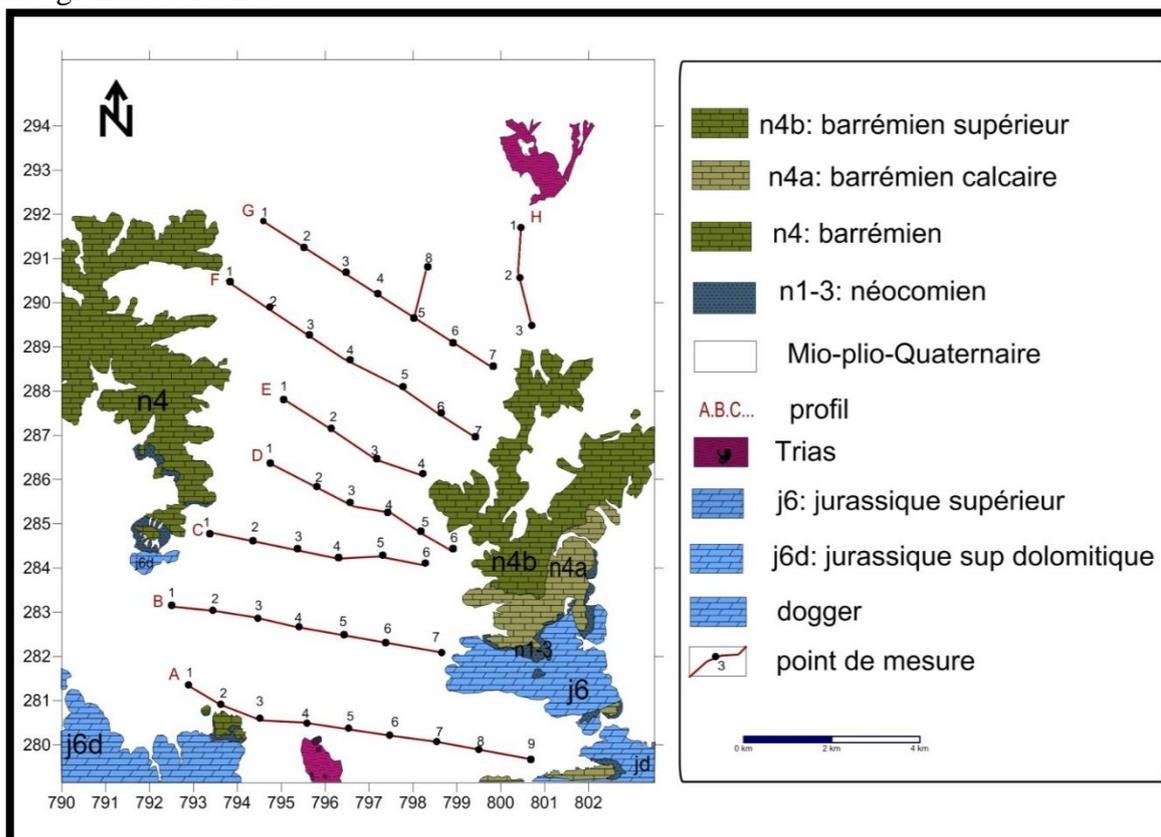
- Dans la plaine : on a les terrains détritiques du Mio-Plio-Quaternaire formés essentiellement de conglomérats et d'alluvions. Ces formations dont l'épaisseur moyenne est d'environ 100m, constituent une structure favorable au développement de la nappe superficielle.
- Sur les bordures de la plaine affleurent des reliefs montagneux carbonatés du Crétacé et du Jurassique qui sont favorables à l'existence d'une nappe profonde de grande capacité.

**II-II- Cadre Géophysique :**

Les travaux ont été réalisés du 29 novembre 1971 au 20 février 1972. Les lignes AB des sondages électriques verticales sont égales ou supérieures à 2000m. Les profils de sondages électriques sont orientés généralement Ouest- Est et sont distant de 1 km (**Figure II.4**).

L'étude géophysique réalisée avait pour objectifs de déterminer :

- La géométrie des aquifères ;
- La profondeur et le substratum ;
- Les grands accidents.



**Figure N° II.4 : Plan de situation des sondages électriques**

**a. Travaux effectués :**

**1. Répartition des sondages électriques :**

Dont les différentes longueurs de la ligne AB égale ou supérieure à 2000 m.

Environ 146 sondages électriques regroupés en profils(22) orientés Ouest-Est répartis dans la plaine d'Ain Djasser ont été exécutés.

**2. Echelle de résistivité :**

Les mesures pratiques et l'estimation statistique déduite de l'ensemble de sondages électriques, ont permis d'établir une échelle de résistivité. (**Tab II.1**)

Tableau N° II.1 : valeurs des résistivités (C.G.G 1972)

| Formations géologiques                             | Résistivité ( $\Omega\text{m}$ ) |
|--|----------------------------------|
| <b>Terrains salés des chotts.</b>                  | 0.5-2                            |
| <b>Argiles plio-quaternaires.</b>                  | 2-10                             |
| <b>Sables argileux, graviers plioquaternaires.</b> | 10-50                            |
| <b>Calcaires lacustres du pliocène</b>             | 15-50                            |
| <b>Marnes du Mio-Pliocène.</b>                     | 3-10                             |
| <b>Marnes du miocène.</b>                          | 2-5                              |
| <b>Conglomérats du miocène.</b>                    | 100-150                          |
| <b>Marnes du sénonien.</b>                         | 5-10                             |
| <b>Calcaires du cénomanien.</b>                    | 100-150                          |
| <b>Marnes du cénomanien.</b>                       | 2-5                              |
| <b>Calcaires du crétacé inférieur.</b>             | 100-300                          |
| <b>Calcaire du jurassique.</b>                     | 100-500                          |

### **II-II-1) Examen des cartes de résistivité :**

#### **II-II-1-1) Carte de résistivité en ligne AB=100 m :**

D'après la longueur de ligne adoptée et compte tenu des résistivités des terrains superficiels, la profondeur d'investigation est de l'ordre de 15 à 20 m. les valeurs de la résistivité apparente, dans ce cas sont relatives au niveau du recouvrement mio-plioquaternaire. Les lignes d'isorésistivité délimitent des plages conductrices et des plages résistantes (**Figure II.6**).

##### **a. Les plages conductrices :**

Ces plages indiquent un recouvrement marno-argileux et la présence de niveau salé. Sur cette carte nous observons deux plages formant une gouttière orientée Nord-Sud, l'une est centrée sur les sondages électriques C4, C5, D4 et E3 (Figure II.4) et indique un recouvrement essentiellement argilo-marneux avec la présence d'un niveau salé (formation à faibles résistivités).

(**Figure II.4**).

##### **b. Les plages résistantes :**

Ces plages peuvent être attribuées à l'influence en profondeur des formations calcaires qui entourent la dépression. Elles permettent ainsi de fixer à priori la limite de ces massifs qui plongent sous le recouvrement ainsi que la situation des niveaux grossiers de remplissage : tels les niveaux à graviers ou encore des calcaires pliocènes. L'étude de l'évolution des deux cartes nous permettra de distinguer les deux formations. Ainsi Djebel Tabelkha semble se poursuivre à faible profondeur plus au Nord.

#### **II-II-1-2) Carte de résistivité en ligne AB=1000 m:**

La longueur de ligne adoptée permet une profondeur d'investigation d'une moyenne allant de 100m à de 200 m. les lignes de résistivité seront nettement influencées par le substratum calcaire (**Figure II.5**)

La carte met en évidence deux fosses de remplissage, l'une axée selon une direction nord-sud à Bled El Merja et centrée sur la ville d'Ain Djasser, l'autre plus au Sud et centrée sur les sondages électriques A6 ET A7 et orienté NW-SE.

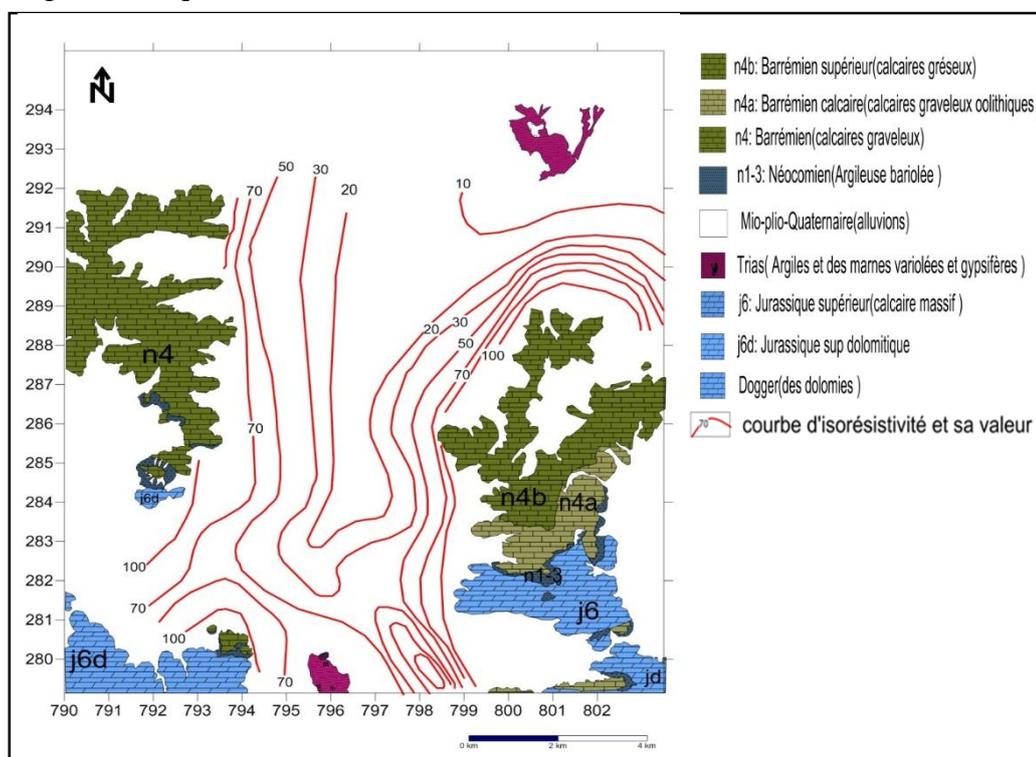


Figure N° II.5 : Carte de résistivités (AB=1000m)

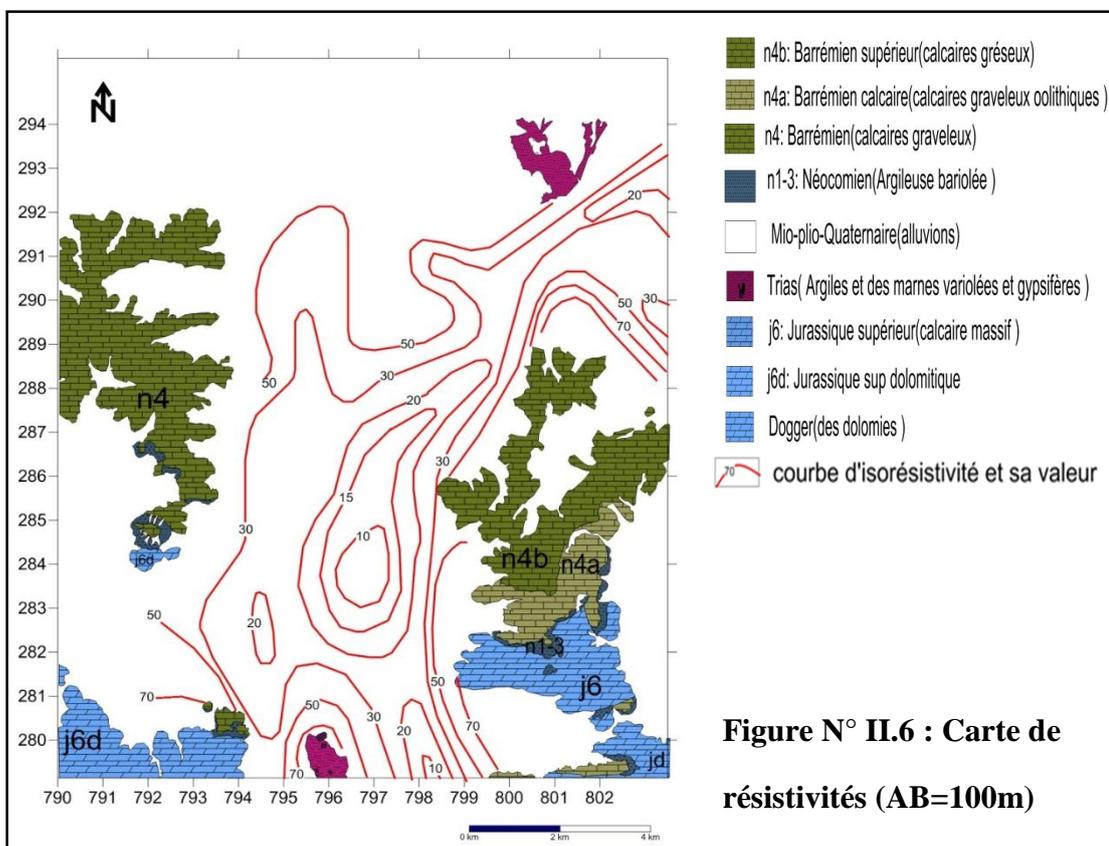
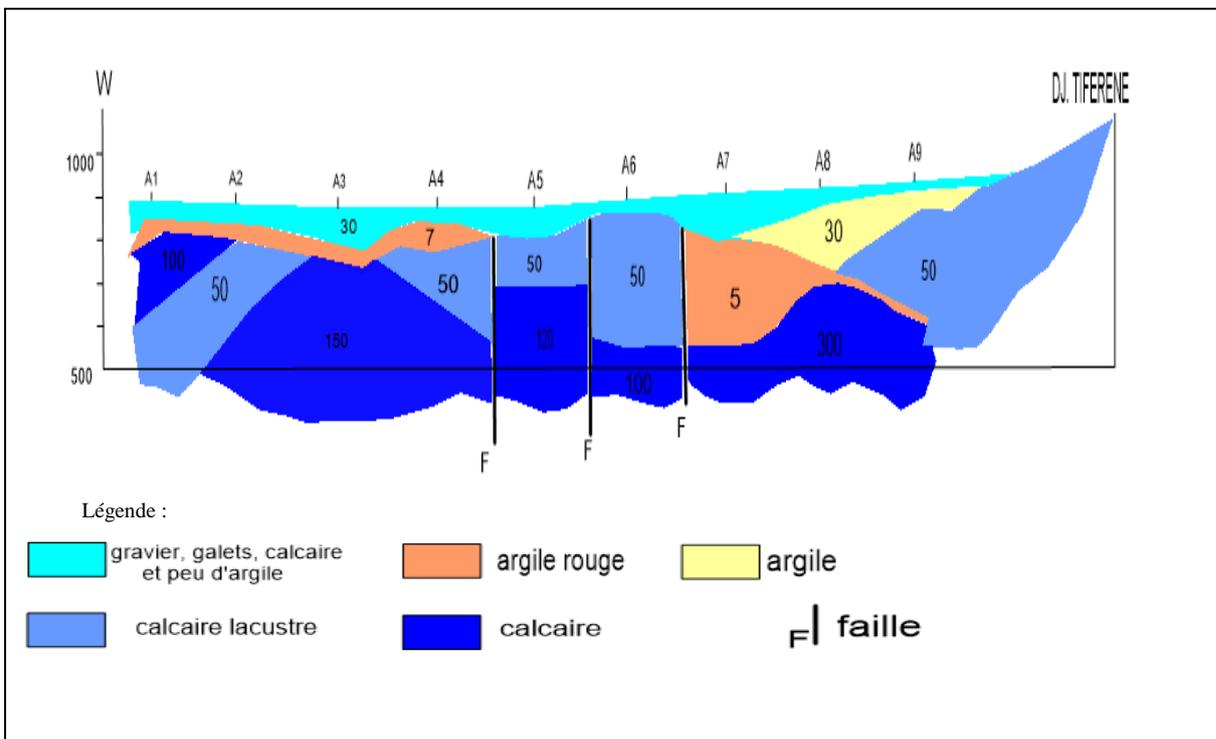


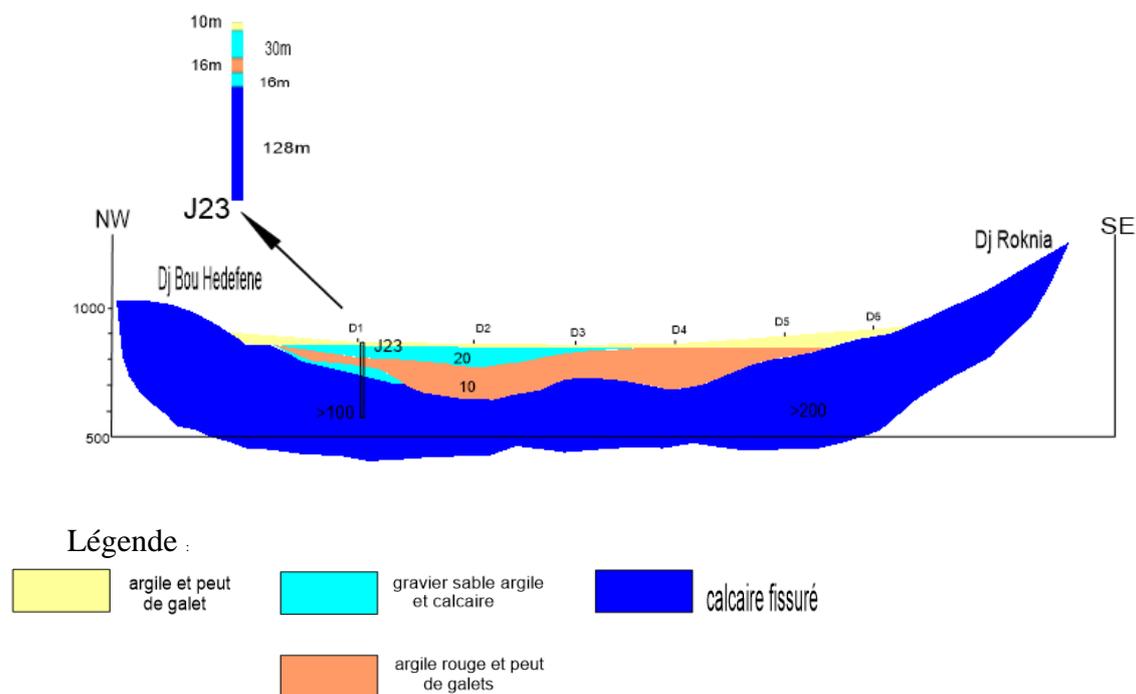
Figure N° II.6 : Carte de résistivités (AB=100m)

**II-II-1-3) Coupes géoélectriques :**

Ces coupes ont été réalisées suivant les profils de sondages électriques de A à H (Figure II.7 à 8). Nous étudierons le recouvrement renfermant l'aquifère superficiel et la géométrie du substratum du remplissage. Pour cela nous avons choisi trois coupes géoélectriques A, D et G repartis au sud, au centre et au Nord de la plaine.



**Figure N° II.7 : coupe géologique selon le profil géo-électrique A**



**Figure N° II.8 : coupe géologique selon le profil géo-électrique D**

**Profil A :**

L'épaisseur du recouvrement ne dépasse généralement pas la centaine de mètres (S.E A3, A5 et A7). Au niveau du sondage A7, il existe une intercalation d'une cinquantaine de mètres.

**Profils D et G :**

L'épaisseur maximum au niveau de ces profils est de 200 m à 300 m et centrée sur les sondages D2, D4, E2, G3 et G5.

Ce recouvrement est constitué de bas en haut :

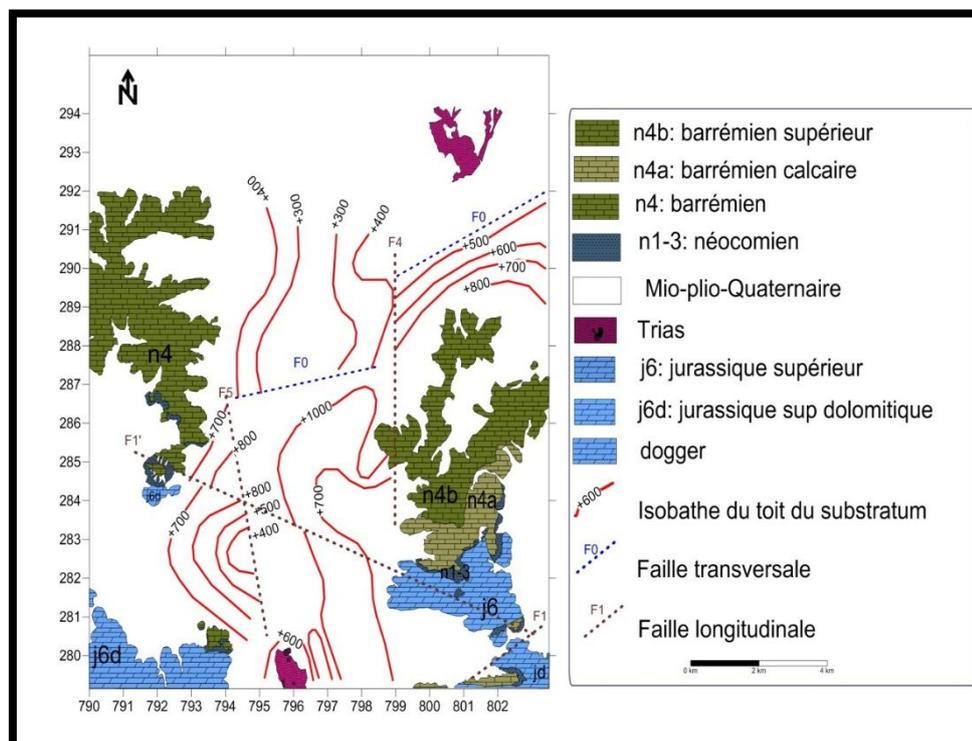
D'un horizon de résistivité de 20 à 50 ohm.m, dont l'épaisseur maximum est de l'ordre de 75 m (S.E.D2, F4, F5, G3, G4). Il s'y présente parfois des intercalations plus conductrices ayant une résistivité de 10 ohm.m (S.E.G3, G4).

**II-II-1-4) Carte du substratum :**

On appelle substratum les formations résistantes épaisses ; qui sont en général les calcaires et les dolomies du Crétacé et Jurassique. Ce substratum constitue l'aquifère karstique. Les niveaux moins résistants ainsi que les calcaires lacustres font partie de la couverture (**Figure II.9**).

La région apparaît tectoniquement très complexe et l'extrapolation entre les différents sondages électriques s'avère parfois très difficile. Nous observons une structure synforme large et calme sur les profils E et G et devient plus tourmentée le long des profils B, C et D montrant un substratum compartimenté

Il est à noter que l'accident F0 est certainement en relation étroite avec le pointement triasique marquant le contact anormal limitant l'ensemble sud sétifien et l'écaille du Djebel Hammam.



**Figure N° II.9 : Carte du substratum résistant et de la fracturation (C.G.G 1972)**

**Conclusion :**

Le remplissage mio-plio-quaternaire (couverture) est constitué essentiellement d'un matériel argilo-marneux associé à des formations détritiques (gravier et conglomérats) et à des calcaires lacustres.

En général l'épaisseur de la couverture augmente d'Ouest en Est. Nous avons pu mettre en évidence, qu'à l'Ouest le massif Agmerouel plonge sous la couverture avec un léger pendance, tandis qu'à l'Est au niveau des Djebels Roknia et Zana la pente est beaucoup plus accentuée. La tectonique (faille F4) semble être responsable de cet état de fait (rejet très important).

Dans la partie centrale de la Merdja la couverture présente un faciès essentiellement argileux avec des niveaux de surface sursalés, tandis que dans la région de Ain Djasser (S.E.G3 à G5) au droit de Draâ Klalouch et sur l'étroite bande plongeant Djebel Agmerouel les formations seront beaucoup plus graveleuses ou même conglomératiques. Ceci entraînera une localisation des puits et forages sur la bordure occidentale de la plaine alors que les points d'eau sont pratiquement inexistant à l'Est.

Du point de vue tectonique, l'étude géophysique permet de faire ressortir l'existence d'accidents tectoniques de directions NE-SW, décrochés par des accidents transversaux de directions Nord-Sud associées à des accidents de direction NW-SE.

Donc le traitement des données géophysiques nous a permis de mettre en évidence les indications suivantes :

- ✓ Un aquifère superficiel contenu dans les formations Mio-plio-quaternaire alluvionnaires, de quelques dizaines de mètres d'épaisseur avec un maximum au niveau de la localité d'Ain Djasser où il atteint entre 50 et 100 m d'épaisseur, parfois couvert par une mince dalle de calcaire lacustres. C'est la zone de remplissage argileux dans la partie de Bled El Mardja et Bled Louni avec la présence parfois de niveaux salés ;
- ✓ Un aquifère captif contenu dans les calcaires fissures dont le toit est atteint à des profondeurs variables ;
- ✓ le substratum résistant formé de calcaires a subi un certain nombre de cassures et de mouvements, qui a abouti à une structure synclinale au centre de la plaine d'Ain Djasser. Il est réduit à l'état de lambeaux en allant vers le Nord sous l'effet de l'érosion et la tectonique ;
- ✓ la présence d'une fosse d'effondrement au N-E de Ain Djasser.

### **III-I) - Hydrogéologie :**

La connaissance du contexte hydrogéologique de la plaine de Ain Djasser a été possible à partir du suivi et la disponibilité de données des forages existants .Ceci offre des informations permettant de faire une caractérisation de ce système aquifère.

Dans ce chapitre on s'intéressera au comportement hydraulique de la nappe superficielle et on étudiera essentiellement :

- La piézométrie réalisée en **Avril 2016** et sa comparaison à celle de **Juin 2013**.
- Le suivi de l'évolution piézométrique durant cette période.
- L'interprétation des résultats d'essais de pompage et l'estimation des paramètres hydrodynamiques.

### **III-I -1) - Contexte Hydrogéologique de la zone d'étude :**

La détermination des différents aquifères dans la plaine de Ain Djasser, a été faite sur l'analyse litho-stratigraphique et structurale des formations géologiques. A partir de cette analyse, le cadre hydrogéologique de la plaine permet de constater qu'on a deux aquifères :

- Aquifère superficiel d'âge Mio- Plio-Quaternaire.
- Aquifère profond d'âge jurassique et crétacé.

Nous essayons de voir dans ce qui suit les caractéristiques de ces deux grands ensembles.

#### **III-I-1-1) Aquifère superficiel d'âge Mio-Plio-Quaternaire (aquifère alluvionnaire) : [11]**

- **Description des formations aquifères :**

C'est un aquifère hétérogène constitué essentiellement par des calcaires lacustres, des conglomérats et des alluvions, avec une épaisseur de quelques dizaines de mètres qui peut atteindre dans certaines endroits **50 et 100m**, il couvre presque tout le terrain d'étude à l'exception des reliefs.

- **Alimentation :**

Généralement l'alimentation de ce type de nappe se fait directement par les précipitations sur la plaine et par les écoulements des glacis qui nappent les reliefs et par les apports des crues occasionnelles et enfin par l'aquifère profond au niveau des failles

- **Les sorties :**

Les sorties correspondent essentiellement :

- Prélèvements par pompage.
- Evaporation à partir d'exutoires.

- **Etendue des formations de la nappe superficielle :**

La morphologie et la géologie de la plaine sont favorables au développement d'une nappe superficielle dans les formations du Mio-Plio-Quaternaire. La forte demande en eau pour

L'irrigation ajoutée à la sécheresse a conduit un abaissement du niveau piézométrique suite à une surexploitation intense. Cette situation a conduit à l'approfondissement des puits suite à leur assèchement.

- **Conditions aux limites :**

Cette nappe considérée alluviale est entourée par des formations calcaires montagneuses :

- Au Sud par djebels Tissouras et Zana.
- A l'Est par djebels Tabelkha et Roknia.
- A l'Ouest par djebels Agmerouel et Bouhedfene.
- La partie Nord est limitée par Bled Chouf Rherab ou affleure le Trias salifère.

### **III-I-1-2) – Aquifère profond d'âge jurassique et crétacé (aquifère carbonaté) [12]**

- **Description des formations :**

Des formations de nature carbonatée affleurent en bordures de la plaine formant les reliefs sous forme des massifs tels que : Dj Roknia et Dj Zana. Ces formations plongent sous une grande épaisseur des formations du recouvrement Mio-Plio-Quaternaire.

- **Alimentation**

Les plus importantes zones d'alimentation se situent dans les massifs ainsi que sur les piémonts qui sont recouverts d'une faible couche d'alluvions ou dans la plaine quand il n'y a pas d'écran imperméable séparant l'aquifère superficiel ce qui permet l'infiltration des eaux météoriques.

L'alimentation se fait également par l'intermédiaire d'un réseau de fractures acheminant de grandes quantités d'eau.

- **Les sorties :**

Les exutoires naturels des aquifères karstiques sont les sources et les forages profonds. L'exploitation intense de l'aquifère a conduit au tarissement de la majorité des sources.

### **III-I-2)- Piézométrie**

La mesure du niveau des eaux souterraines est d'une importance fondamentale dans l'hydrogéologie. Le niveau des eaux souterraines de l'aquifère peut être utilisé pour la construction d'une carte piézométrique nécessaire pour la connaissance de l'extension de l'aquifère, la direction et la vitesse de l'écoulement des eaux souterraines, ainsi que leur zones d'accumulation. La mesure du niveau piézométrique des eaux souterraines est effectuée à l'aide d'une sonde à signal sonore et lumineux (lorsque la sonde atteint le niveau de l'interface Air/Eau, un contact électrique est établi entre deux tiges métalliques, déclenchant un signal). [13]

Les mesures obtenues permettent d'établir une carte piézométrique, l'étude de cette dernière nous permet de :

- Connaitre la forme de l'écoulement de la nappe.
- Le sens de l'écoulement général.
- La profondeur de la surface piézométrique.

### III-I-2-1) Inventaire des points d'eau :

L'inventaire des points d'eau est effectué par la Direction des Ressources en Eau (DRE) de la wilaya de BATNA. En mois d'Avril 2016, on a pu prendre des mesures pour 36 points d'eau (forage et puits). Ces points sont répartis sur l'ensemble de la plaine de Ain Djasser, de profondeur et diamètre variable équipés généralement de motopompes non adaptées aux caractéristiques du puits. Ils sont destinés pour l'irrigation des cultures saisonnières et à l'alimentation en eau potable.

Il faut signaler qu'on n'a pas pu mesurer le niveau statique pour l'ensemble des points à cause de différentes contraintes tel que : l'absence des propriétaires ; la crainte pour le matériel de mesure (Sonde électrique lumineuse) lorsque le forage soit défectueux ou bien en état de pompage. (Figure N° III.1)

Tableau d'inventaire (voir annexe).

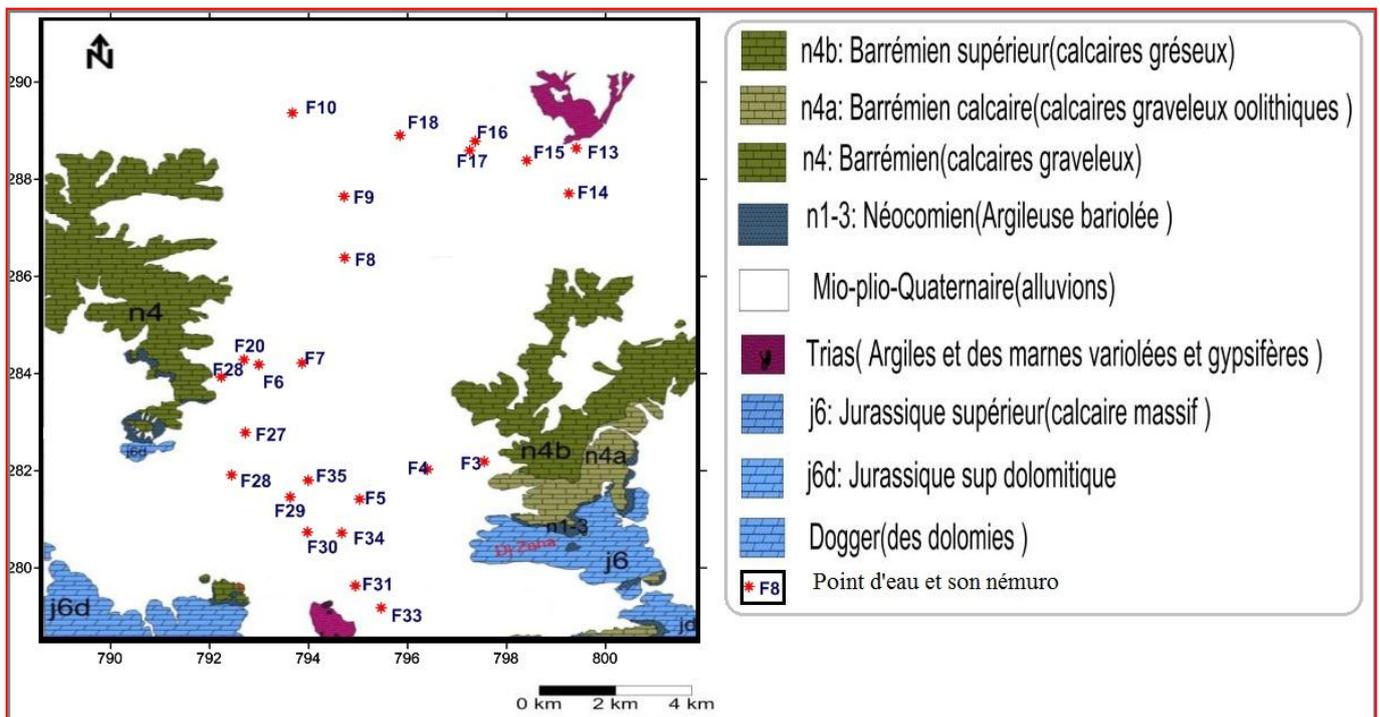


Figure N° III.1 : Carte d'inventaire des points d'eau de la plaine de Ain Djasser  
Batna Avril 2016.

### III-I-2-2) Interprétation de la carte piézométrique :

La réalisation de la carte piézométrique est établie par la méthode du krigeage, en utilisant le logiciel SURFER 10 ; à partir des mesures du niveau statique et des cotes altimétriques enregistrées par le GPS (on a eu recours à une correction des valeurs des cotes par Google Earth).

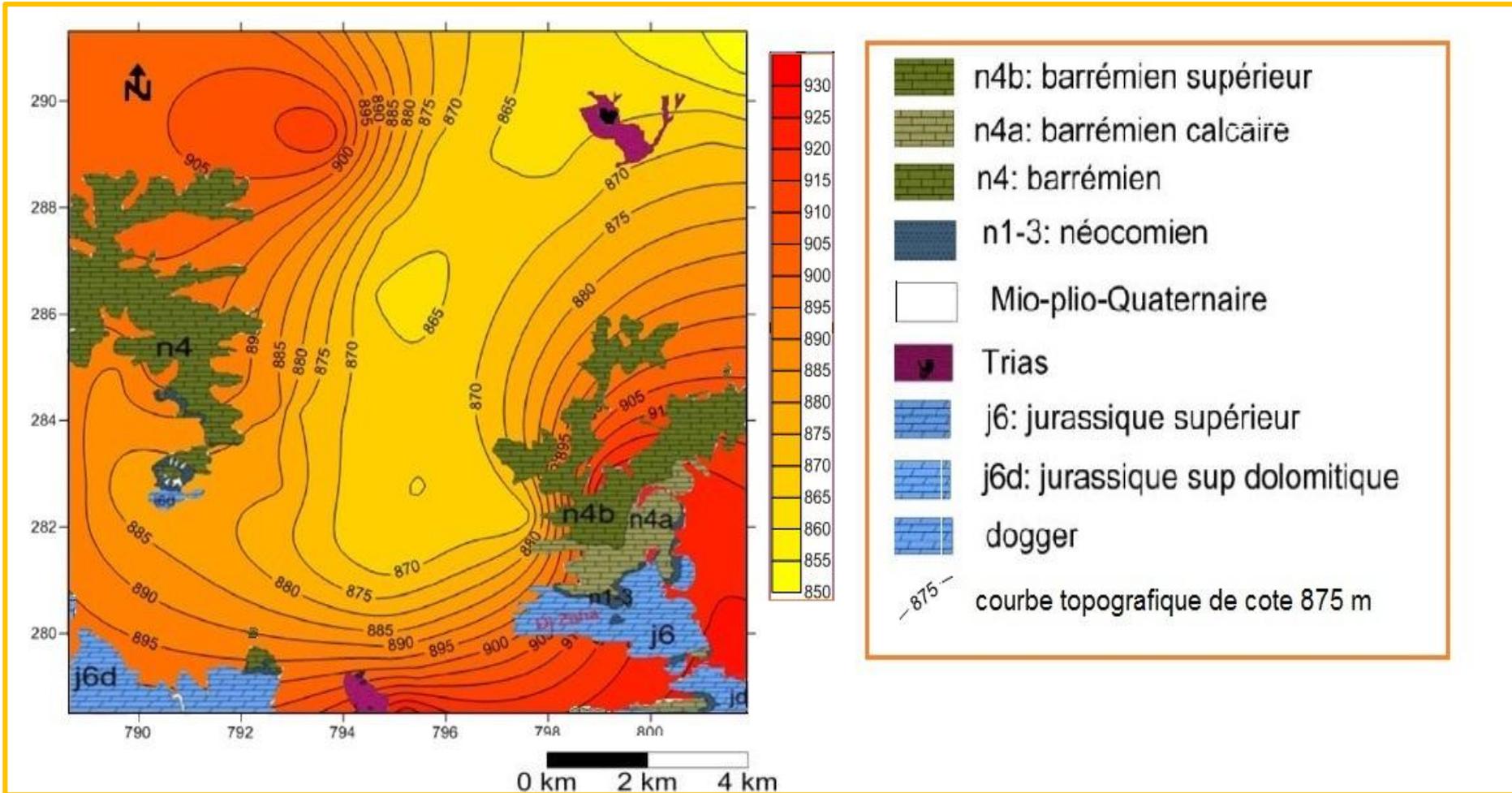


Figure N° III.2 : Carte topographique de la plaine de Ain Djasser Batna.

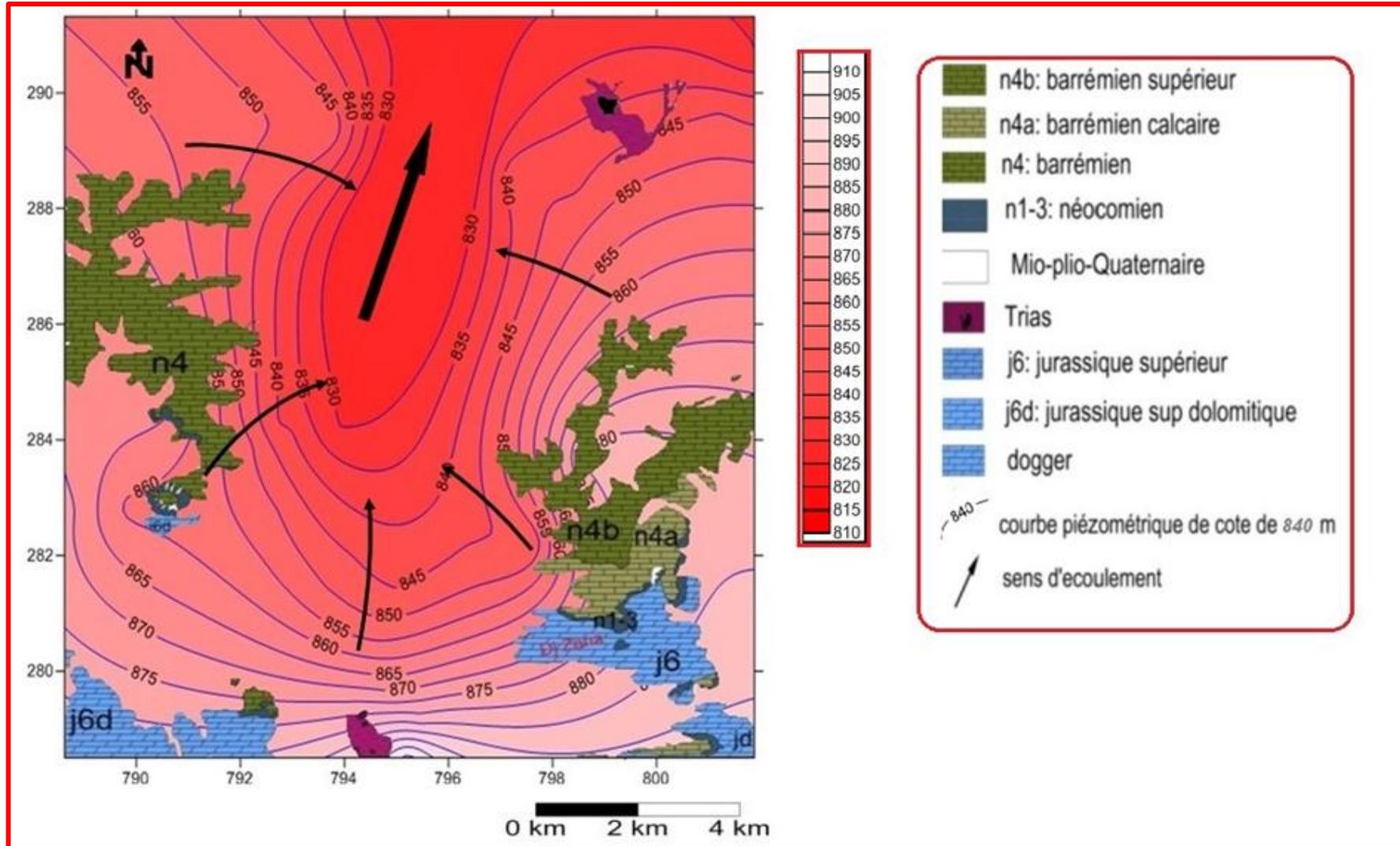


Figure N° III.3 : Carte piézométrique de la plaine de Ain Djasser Batna, Avril 2016.

- **Le sens de l'écoulement :**

La carte piézométrique réalisée sur la base des mesures effectuées sur terrain du mois d'Avril 2016 montre que l'écoulement se fait généralement de la même manière avec un axe principal qui converge vers oued Boughezel traversant la localité de Ain Djasser (du Sud vers le Nord).

- Zone Nord : les courbes sont plus ou moins serrées, l'écoulement se fait du Nord-Ouest et de l'Ouest vers la partie centrale de la plaine et de la localité de Ain Djasser avec un axe d'écoulement vers oued Boughezel.

- Zone Sud : les courbes sont plus serrées, caractérisées par des écoulements convergents à partir de l'Ouest et du sud vers la zone de Bled El Mardja considérée comme zone de drainage avec axe d'écoulement des eaux du Sud vers le Nord jusqu'à Oued Boughezel.

- A l'Est (Djebel Roknia) et l'Ouest (Djebel Agmerouel) on peut observer que l'écoulement converge vers le centre de la plaine.

De façon générale l'écoulement suit la topographie (des hautes altitudes vers les plus basses) (Figure N° III.2).

- **Le gradient hydraulique : [14]**

L'écartement des courbes piézométrique est en fonction du gradient hydraulique, des courbes serrées indiquent un gradient fort et des courbes espacées indiquent un faible gradient hydraulique.

Dans notre cas les courbes sont plus serrées à l'Est, au Sud et à l'Ouest (fort gradient) par contre au Nord-Est, le Nord-Ouest et Sud-Ouest elles sont plus ou moins espacées (faible gradient) (Figure N ° III.3)

L'écoulement est orienté généralement vers le centre de la plaine suivant l'axe principal d'écoulement traversant du sud vers le nord de la plaine.

En note que la variation de gradient hydraulique de la plaine d'Ain Djasser est dans l'intervalle [0.006 - 0.025] (source DRE Batna).

- **Conditions aux limites :**

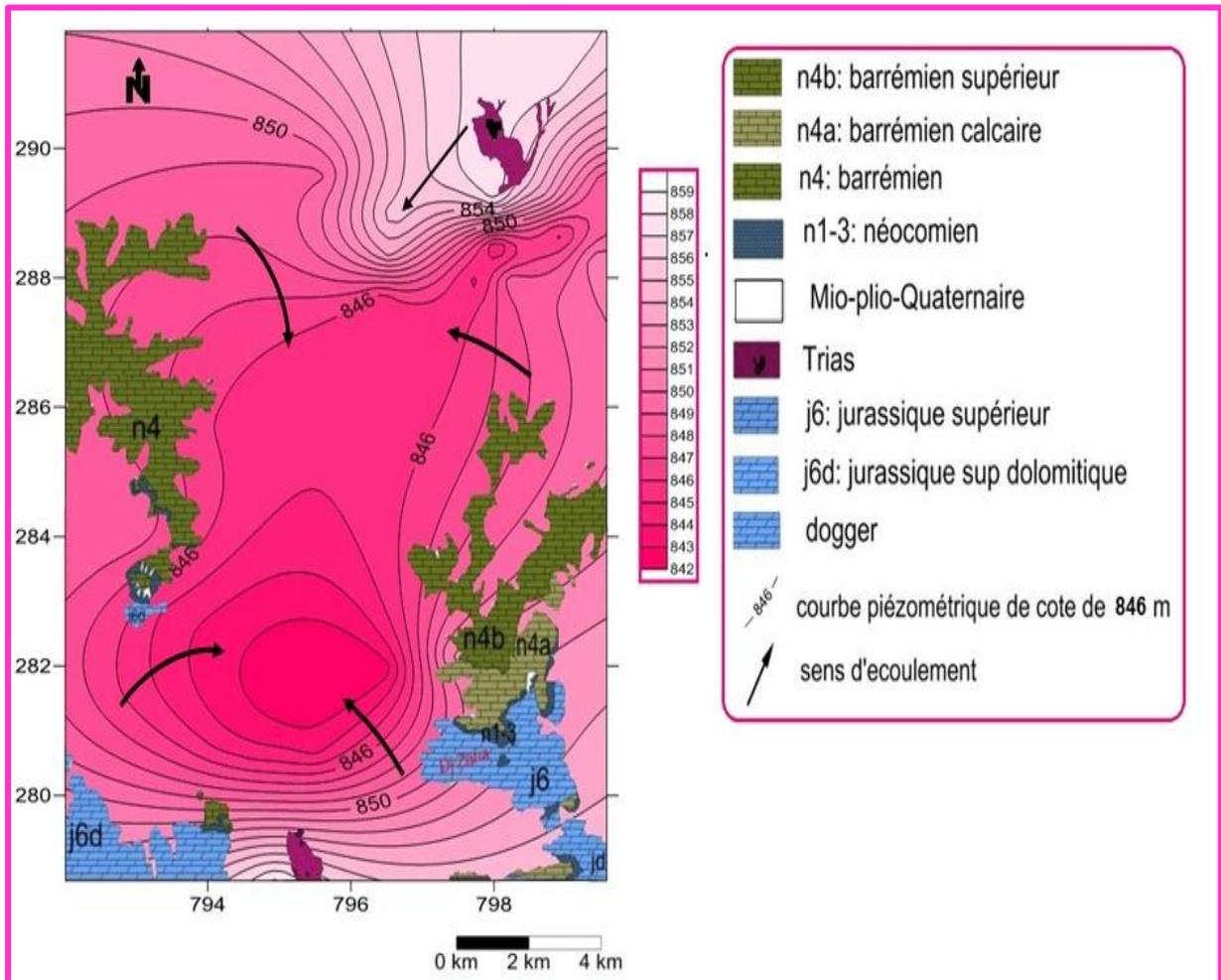
**a- Limite à flux entrant :**

Les deux aquifères (superficiel et profond) reçoivent les eaux qui proviennent des monts entourant la plaine (Agmérrouel à l'Ouest, à l'Est Roknia et au Sud Tissouras).

**b- Limite à flux sortant :**

Au Nord-Est l'écoulement est dirigé de bled Chouf Rherab vers l'exutoire.

**III-I-3) Comparaison des cartes piézométriques Juin 2013/Avril 2016**



**Figure N° III.4 : Carte piézométrique de la plaine de Ain Djasser Batna, Juin 2013 [11]**

Les deux campagnes de relevé piézométrique vont nous permettre de faire une analyse de la piézométrie de la nappe du Mio-Plio-Quaternaire et de tracer les cartes piézométriques qui nous amènent à dégager le sens d'écoulement des eaux souterraines, les principales zones d'alimentation et de drainage et de calculer le gradient hydraulique à différents endroits.

La carte piézométrique de la campagne d'Avril 2016 (Figure N° III.3) et de Juin 2013 (Figure N° III.4) montre que l'écoulement converge en général vers le centre de la plaine (Bled El Mardja).

- Au Nord de la plaine (côté d'Ouled El-Haif) le sens d'écoulement est du Nord vers le Sud.
- Au Sud, l'écoulement a deux sens :  
Le premier du Sud –Ouest vers le Nord.  
Le deuxième du Sud Est vers Dra à Klalouch.
- A l'Est (Djebel Roknia) et l'Ouest (Djebel Agmerouel) on peut observer que l'écoulement converge vers le centre de la plaine.

- Au Nord -Est de la carte l'écoulement se dirigé de Bled Chouf Rherab vers l'exutoire de la plaine.

De façon générale l'écoulement des eaux souterraines de la nappe du Mio-Plio-Quaternaire suit la topographie (des hautes altitudes des monts de Dj Zana, Dj Roknia, Dj Agmerouel, Dj Kef Oum Tiour vers les plus basses altitudes : Bled El Mardja, Bled Mengouche).

- Les zones à axes d'écoulement centripètes, constituent des zones de drainage des nappes ; ces lieux présentent l'avantage d'être toujours alimentés. Elles constituent de bons sites d'implantation des ouvrages de captage (Nord de la plaine).
- Le niveau piézométrique entre l'année précédente et cette année a rabattu à environ 3.5 m.

- Le gradient hydraulique est très variable :

A l'Est ; les courbes sont plus serrées sur la carte d'Avril 2016 (Figure N° III.3) par rapport à la carte de Juin 2013(Figure N° III.4).

A l'Ouest ; les courbes présentent la même pour les deux périodes (Figure N° III.3-Figure N° III.4).les courbes serrées renseigne sur un fort gradient

Au Sud ; aussi on a des courbes serrées indiquant un fort gradient

Ce gradient est directement lié à la perméabilité du milieu, à la vitesse d'écoulement et au débit.

#### **III-I-4) Détermination des caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère alluvionnaire :**

Pour obtenir les paramètres qui régissent le flux d'eau dans les roches, on provoque un flux d'eau Pour atteindre la formation à étudier, Le concept fondamental de l'essai de pompage est très simple : de l'eau est extraite (par pompage ou puisage) d'un puits ou d'un forage, faisant ainsi baisser le niveau d'eau. Le niveau d'eau observé pendant un certain temps ainsi que la manière dont le niveau d'eau réagit au pompage est ensuite analysée pour en tirer des informations sur les caractéristiques de performance du forage et les propriétés hydrauliques de l'aquifère. [15]

Une étude d'un aquifère par essai de pompage consiste à déterminer :

- son mode d'alimentation ;
- ses conditions aux limites ;
- sa transmissivité et son coefficient d'emmagasinement.
- l'évolution du cône de dépression de la surface piézométrique.

On obtient ces renseignements par l'interprétation des essais de pompages réalisés sur site. La détermination de la perméabilité (Transmissivité) et/ou du coefficient d'emmagasinement de l'aquifère, se fait généralement en utilisant les équations de DUPUIT npour les pompages en régime permanent ou de THEIS-JACOB pour les pompages en régime transitoire.

**III-I-4-1) Essais de pompages effectués sur la plaine de Ain Djasser :**

On a choisi trois forages situés dans la plaine de Ain Djasser pour effectuer nos essais et un autre comme piézomètre. Le tableau suivant présente les caractéristiques des quatre forages en Avril 2016, Nous avons réalisé des pompages d'essai de courtes durées, dans ces forages.

**Tableau N° III.1 : caractéristiques des forages d'essai de pompage.**

| N° d'ouvrage |            | localité                | Coordonnées |           | Cote de sol (m) | Ø du forage (cm) | NS (m) | Durée de l'essai |         |
|--------------|------------|-------------------------|-------------|-----------|-----------------|------------------|--------|------------------|---------|
|              |            |                         | X (Km)      | Y (Km)    |                 |                  |        | descente         | remonté |
| 01           | Forage 01  | Forage AEP              | 792,23437   | 283,93314 | 885             | 32               | 43     | 3h               | 5h      |
| 02           | Forage 02  | Forage Ben Sliman Ammar | 794,71467   | 287,65134 | 871             | 28               | 28.20  | 2h30min          | 4h      |
| 03           | Forage 03  | Forage Guehtar Ammar    | 793,95726   | 287,65134 | 873             | 34               | 33.94  | 3h               | 2h      |
| 04           | Piézomètre | Forage Guehtar Ammar    | 793,9524    | 281,20724 | 874             | 32               | 34.6   | 2h10min          | -       |

On note ici l'absence des piézomètres d'observation pour deux forage ainsi que l'empêchement de prendre les résultats de la remontée pour le piézomètre du a un problème de coincement de la sonde.

- **Expérimentations des pompages d'essais : [16]**

- **Essais de puits :** cet essai consiste en l'exécution de pompage par palier de débit de courte durée avec la mesure du niveau d'eau dans le puits. Cet essai permet de déterminer les caractéristique du complexe : Aquifère / Ouvrage de captage. La manière la plus rentable sans très solliciter la nappe, est de n'extraire que la réserve régulatrice afin d'éviter une surexploitation minière de la ressource. Cela n'est possible que si le débit d'exploitation est inférieur au débit critique en respectant le nombre d'heure de pompage par jour.

- **Essais de nappe :** Cet essai est réalisé en un seul palier de débit de longue durée, avec la mesure des niveaux d'eau dans le puits (rabattement) et dans des piézomètres si c'est possible. Ce type d'essai est utilisé dans le but de déterminer les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère (Transmissivité, Coefficient d'emmagasinement...). Il faut noter que l'interprétation n'est possible que si le type d'aquifère est identifié.

- **Equipement nécessaire :**

- **Sonde électrique :** la sonde piézométrique de 200 m de longueur, équipée d'un circuit électrique et d'une lampe témoin fonctionnant à piles. Le contact avec l'eau établit le courant et provoque l'allumage de la lampe, le ruban gradué permet alors une lecture très précise du niveau piézométrique soumis à des fluctuations au cours du pompage.

- **Un chronomètre** : C'est un moyen de mesure précis des intervalles de temps lors des mesures des niveaux dynamiques et des temps lors des mesures de débits.

- **Déroutement de l'essai de pompage :**

Choisissez un point de référence à partir duquel tous les relevés du niveau d'eau seront effectués, le niveau doit être stable avant le début de l'essai donc en choisit un forage celui-ci on repose au moins un jour.

Enclencher simultanément la pompe et le chronomètre.

Mesurer le niveau d'eau dans le forage toutes 30 secondes pendant les 5 premières minutes, puis toutes les minutes pendant 30 minutes, ensuite toutes les 5 minutes pendant 30 minutes, et enfin toutes les 10 minutes pendant 2 heures

Mesurer le débit de pompage juste après le début de l'essai.

A la fin de l'essai, débrancher la pompe, noter l'heure (ou redémarrer le chronomètre) et mesurer la remontée du niveau d'eau aux mêmes intervalles que ceux auxquels vous avez mesuré le rabattement. continuez jusqu'à ce que l'eau soit remontée au niveau d'avant l'essai, ou en soit proche.

### III-I-4-2) Méthode d'interprétation :

- **Méthode de THEIS : [17]**

THEIS (1935) qui fut le premier à développer les formules du régime transitoire, comprenant le temps et le coefficient d'emmagasinement. Il découvrit que lorsqu'on pompe à débit constant dans un puits parfait captant un aquifère d'extension latérale illimitée, l'influence du prélèvement de l'eau se propage vers l'extérieur avec le temps. Si en chaque point de la zone d'influence on multiplie l'abaissement de la charge hydraulique par le coefficient d'emmagasinement, et s'il l'on fait ensuite la somme de toutes les valeurs obtenues, le chiffre trouvé est égal au volume prélevé. Comme l'eau doit provenir d'une réduction de l'emmagasinement de la nappe, le niveau piézométrique continue à baisser aussi longtemps que l'aquifère reste infini. Donc, il n'existe théoriquement aucun régime permanent. Cependant, la vitesse de l'abaissement diminue constamment au fur et à mesure que la zone d'influence s'étend, et le cas échéant elle devient si faible qu'elle est négligeable, ce que l'on considère en fait comme le régime permanent.

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^{\infty} \frac{e^{-u} du}{u} \quad ; \quad s = \frac{Q}{4\pi T} W(u)$$

Avec :  $u = \frac{r^2 S}{4Tt}$

s: Rabattement en m

Q : Débit constant de pompage dans le puits en m<sup>3</sup>/s

t: Temps de pompage en seconde

r: Distance du puits d'observation à l'axe du puits de pompage en m

T: Transmissivité en m<sup>2</sup>/s    S : Coefficient d'emmagasinement sans dimension.

W(u) : fonction caractéristique de Theis.

**a- Condition d'application :**

Les conditions d'application de la méthode de THEIS sont les suivants :

- L'aquifère horizontal est homogène, isotrope, infini et d'épaisseur constante ; ses paramètres hydrauliques (transmissivité T et coefficient d'emménagement S) sont constants ;
- L'aquifère est à nappe captive ou libre si le rabattement inférieur à 30% ;
- Toute l'eau pompée provient du stockage dans l'aquifère et elle est relâchée instantanément quand la pression interstitielle varie (hypothèse du transfert instantané de la pression interstitielle aux contraintes effectives « pas d'effets de consolidation » et élasticité du matériau solide de l'aquifère) ;
- Le puits de pompage pénètre totalement l'aquifère et son diamètre est infiniment petit ;
- Le puits est pompé à débit constant ;
- L'écoulement est transitoire et respecte la loi de Darcy.

**Note :** les méthodes de Theis et Jacob sont appliquées généralement dans les milieux de porosité d'interstice tandis que nous travaillions sur un milieu carbonaté et on ne sait pas si la densité de fissure est importante au point d'être assimilée à une porosité d'interstice. Quoiqu'il semble d'après l'étude piézométrique que notre milieu fissuré continu, ce qui nous permet de faire recours à ces méthodes. [18]

**b- Mode opératoire : [19]**

- Construire une "courbe type" de la fonction de puits de Theis sur une feuille bi-logarithmique en portant les valeurs de  $W(u)$  en fonction de  $u$ , On obtient la courbe type "normale".

Cependant, il est souvent plus pratique d'utiliser la courbe "renversée", obtenue en portant les valeurs de  $W(u)$  en fonction de  $1/u$ .

- Porter de la même façon sur une autre feuille bi-logarithmique de même module les valeurs de  $s$  en fonction de  $t$ .

- Superposer la courbe d'essai à la courbe type en maintenant les axes de coordonnées respectivement parallèles entre eux et chercher la meilleure coïncidence possible entre les deux courbes.

- Choisir un point de référence arbitraire A, que l'on appellera point pivot, dans la zone de chevauchement des deux feuilles et chercher pour ce point les coordonnées  $W(u)$ ,  $1/u$ ,  $s$  et  $t$ . Remarque qu'il n'est pas nécessaire que le point pivot soit situé sur la courbe type. En fait, les calculs seront plus commodes si l'on choisit ce point de façon que  $W(u) = 1$  et  $1/u = 10$ .

- Porter les valeurs de  $W(u)$ ,  $s$  et  $Q$  dans l'équation :  $T = \frac{Q}{4\pi s} W(u)$

Et résoudre par rapport à T.

- Calculer S en remplaçant dans l'équation :  $S = \frac{4Ttu}{r^2}T$ , t et u par leur valeurs. [20]

- Application de la méthode de Theis sur quatre forages :
- ❖ Forage d'AEP El Hassi :

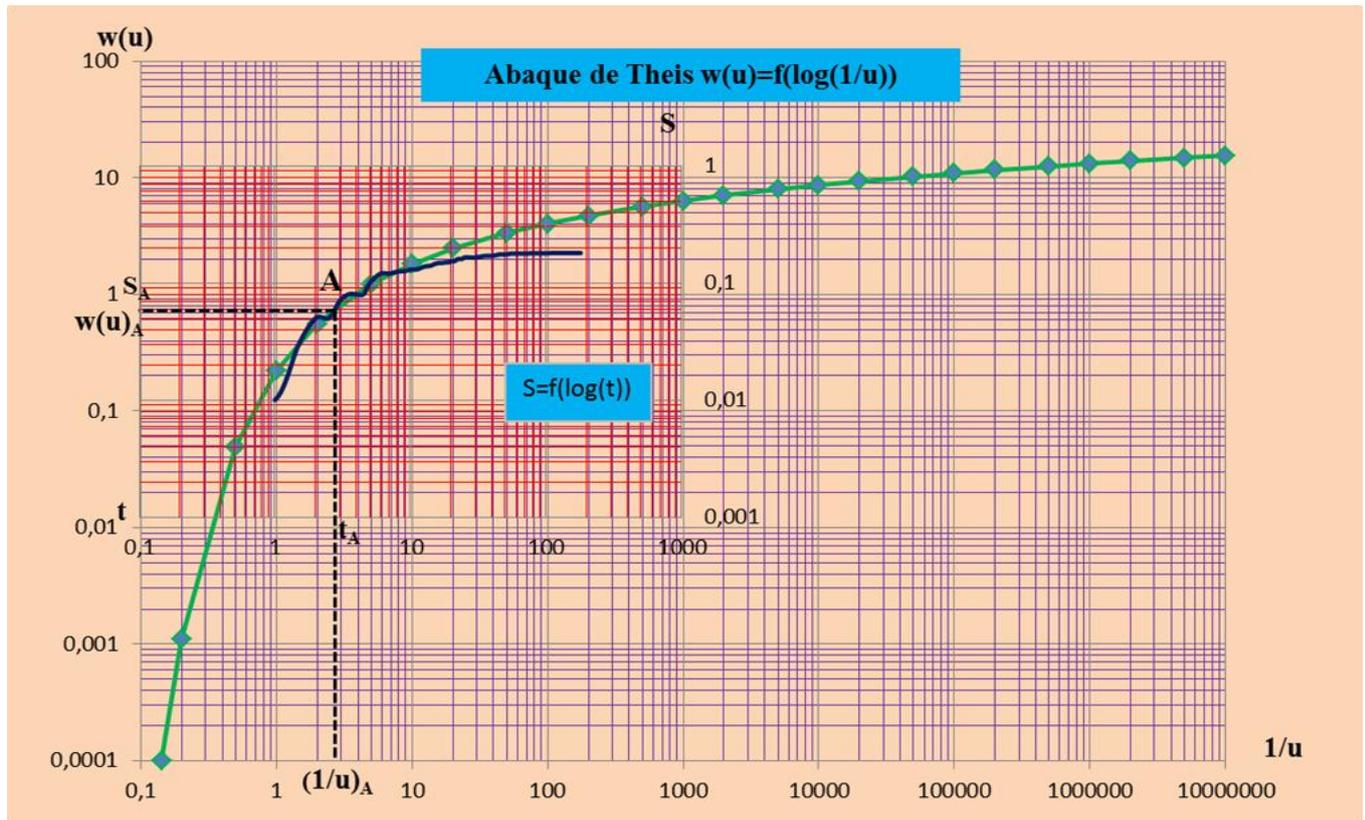


Figure N° III.5 : Application de la méthode de Theis sur le forage d'AEP El Hassi.

- On choisit un point A dans la zone de superposition des deux courbes
- Puis on lit sur la feuille d'essai les coordonnées du point pivot A, soit :  
 $s_A = 0.06\text{m}$  et  $t_A = 2.8\text{min}$ .
- Sur la feuille de courbe type, on lit les coordonnées du point (A) soit :  
 $W(u)_A = 0.8$  et  $(1/u)_A = 2.8$

Calcul de la transmissivité :

On porte ces valeurs et celle de Q dans l'équation :  $T = \frac{Q}{4\pi s} w(u)$

On obtient :  $T = 6.37 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$

Calcul de la perméabilité :

NS = 43m ; profondeur = 120m ;  $e_{\text{utile}} = \text{profondeur} - \text{NS} = 77\text{m}$

On porte ces valeurs l'équation :  $K = \frac{T}{e_{\text{utile}}}$

On obtient:  $k = 0.83 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$

❖ Forage de Ben Sliman :

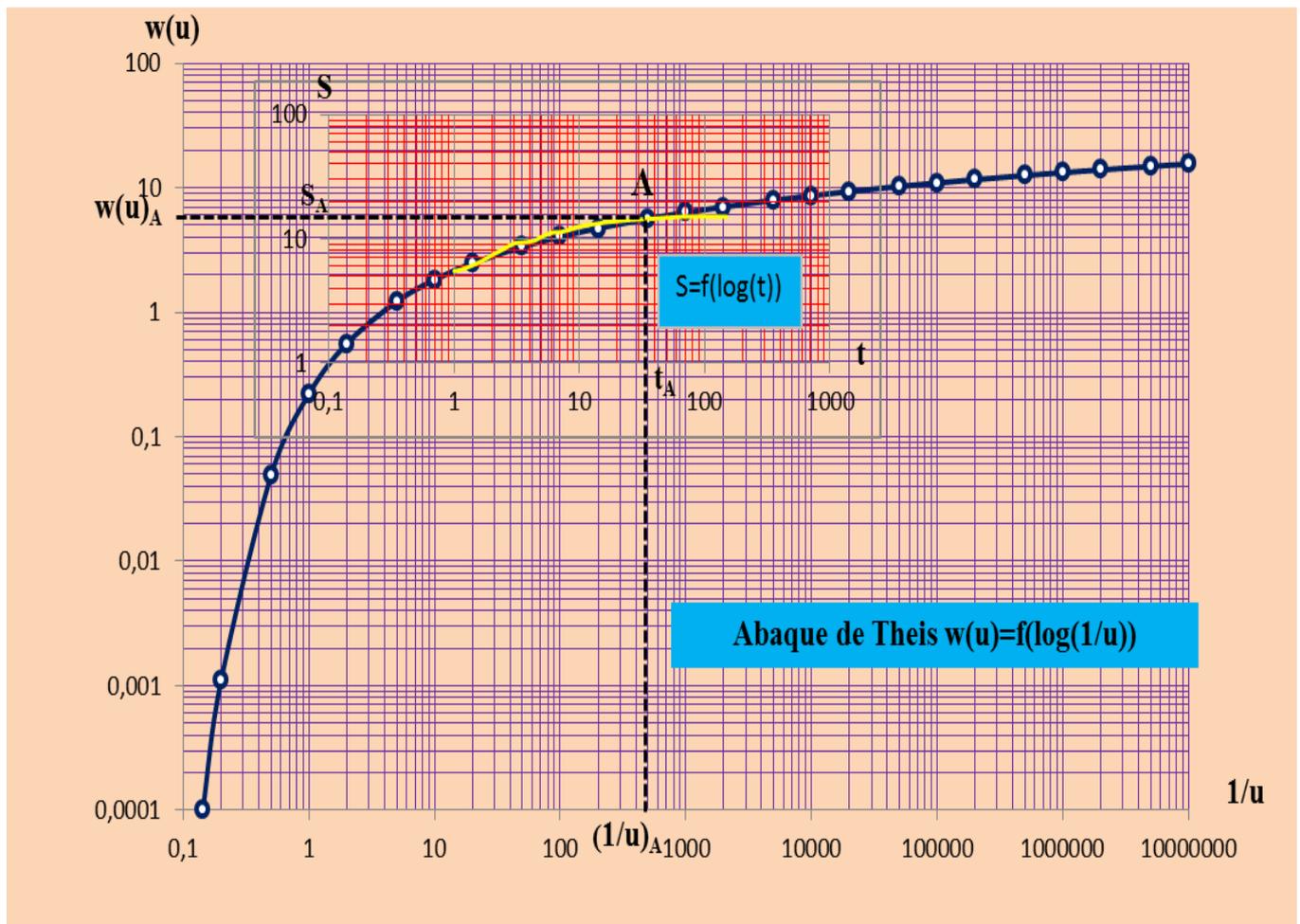


Figure N° III.6 : Application de la méthode de Theis sur le forage Ben Sliman.

$s_A = 17 \text{ m}$  ;  $t_A = 34 \text{ min}$  ;  $W(u)_A = 6$  ;  $(1/u)_A = 492$ .

Calcul de la transmissivité :

On porte ces valeurs et celle de Q dans l'équation :

$$T = \frac{Q}{4\pi s} w(u)$$

On obtient :  $T = 0.197 * 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$

Calcul de la perméabilité :

$NS = 28.20 \text{ m}$  ; profondeur = 70 m ;  $e_{\text{utile}} = \text{profondeur} - NS = 41.8 \text{ m}$

On porte ces valeurs dans l'équation :  $K = \frac{T}{e_{\text{utile}}}$

On obtient:  $k = 4.71 * 10^{-6} \text{ m/s}$ .

❖ Forage de Guehtar :

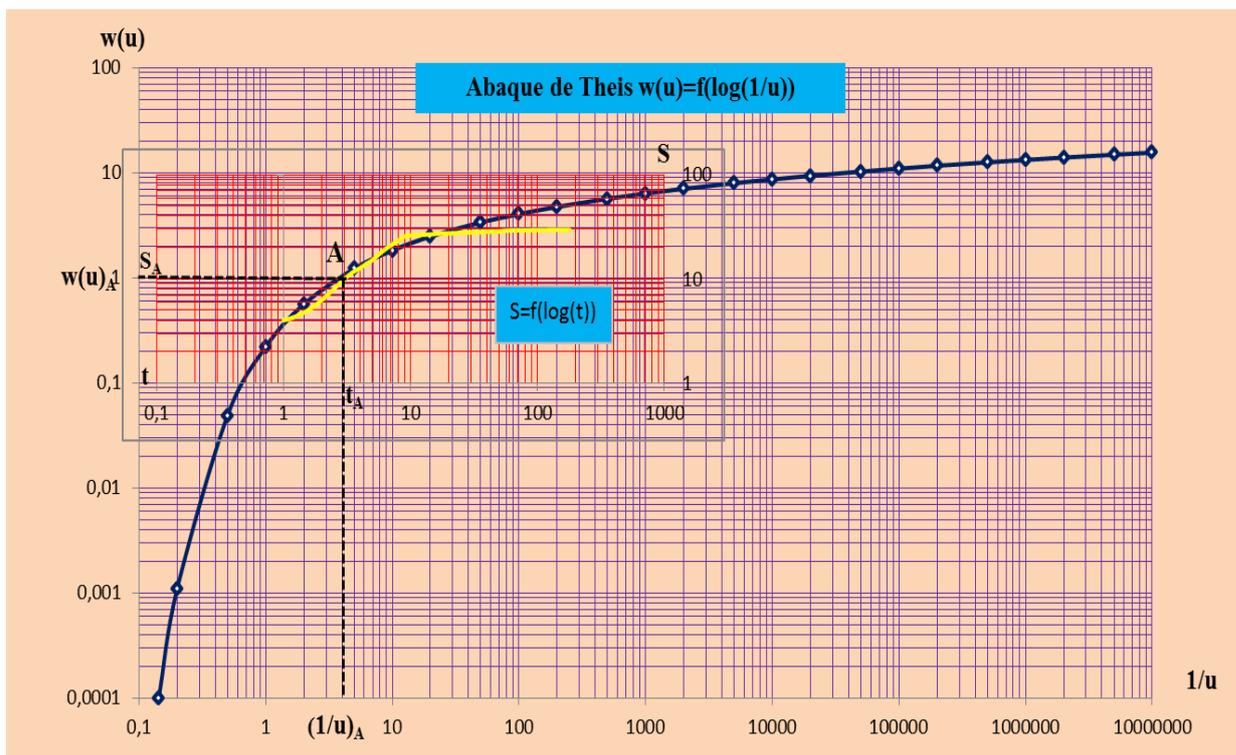


Figure N° III.7 : Application de la méthode de Theis sur le forage Guehtar.

$s_A = 10 \text{ m}$  ;  $t_A = 3 \text{ min}$  ;  $W(u)_A = 1$  ;  $(1/u)_A = 4$ .

Calcul de la transmissivité :

On porte ces valeurs et celle de Q dans l'équation :  $T = \frac{Q}{4\pi s} w(u)$

On obtient :  $T = 6.37 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Calcul de coefficient d'emménagement :

On porte ces valeurs et celle de Q dans l'équation :  $S = 4T \left(\frac{t}{r^2}\right) u$  On obtient :  $S = 0.011$

Calcul de la perméabilité :

$NS = 33.94 \text{ m}$  ; profondeur = 80 m ;  $e_{\text{utile}} = \text{profondeur} - NS = 46.06$

On porte ces valeurs l'équation :  $K = \frac{T}{e_{\text{utile}}}$  On obtient :  $k = 1.38 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ .

Tableau N° III.2 : Valeurs de T (m<sup>2</sup>/s) K (m/s) et S calculés par la méthode de Theis

| Nom de l'ouvrage            | Q (m <sup>3</sup> /s) 10 <sup>-3</sup> | s <sub>A</sub> (m) | t <sub>A</sub> (min) | W(u) <sub>A</sub> | (1/u) <sub>A</sub> | T (m <sup>2</sup> /s)  | K (m/s) (*10 <sup>-5</sup> ) | S (*10 <sup>-3</sup> ) |
|-----------------------------|--|--------------------|----------------------|-------------------|--------------------|------------------------|------------------------------|------------------------|
| Forage AEP                  | 6                                      | 0.06               | 2.8                  | 0.8               | 2.8                | 6.37*10 <sup>-3</sup>  | 8.3                          | -                      |
| Forage BenSliman            | 7                                      | 17                 | 34                   | 6                 | 492                | 0.197*10 <sup>-3</sup> | 0.471                        | -                      |
| Forage Guehtar              | 8                                      | 10                 | 3                    | 1                 | 4                  | 6.37*10 <sup>-5</sup>  | 0.138                        | 11                     |
| Forage Guehtar (piézomètre) | -                                      | 0.1                | -                    | -                 | -                  | -                      | -                            | -                      |

• **L'approximation de COOPER-JACOB :**

**1- Méthode de Jacob (descente) : [21]**

La méthode de JACOB (COOPER et JACOB, 1946) s'appuie elle aussi sur la formule de THEIS ; cependant les conditions de son application sont plus restrictives que celles de la méthode de THEIS ou de CHOW. Quand le temps de pompage augmente et par simplification le développement en série de l'équation de THEIS se réduit à la formule de JACOB et s'écrit :

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^\infty \frac{e^{-y}}{y} dy = \frac{Q}{4\pi T} W(u)$$

On peut remplacer la fonction exponentielle intégrale par un développement en série convergente. Ainsi, le rabattement s s'écrit

$$s = \frac{Q}{4\pi T} (-0.5772 - \ln u + u - \frac{u^2}{2 \cdot 2!} + \frac{u^3}{3 \cdot 2!} - \frac{u^4}{4 \cdot 2!} + \dots)$$

A partir de  $u = \frac{r^2 S}{4Tt}$  on voit que u décroît quand le temps de pompage augmente.

Ainsi, pour de grandes valeurs de t et/ou de faibles valeurs de r, les termes à droite de In u dans la série de l'équation ci-dessus deviennent négligeables, et si  $u < 0,01$ , le rabattement peut s'exprimer sous la forme asymptotique

$$s = \frac{Q}{4\pi T} (-0.5772 - \ln \frac{r^2 S}{4Tt})$$

Après arrangement et passage au logarithme décimal, cette Equation se réduit à

$$s = \frac{2.3Q}{4\pi T} \log \frac{2.25 T t}{r^2 S}$$

Par conséquent, si l'on porte le rabattement s en fonction du logarithme du temps t, on obtient une ligne droite. On prolonge cette ligne jusqu'à l'axe des abscisses, et le point d'intersection a pour coordonnées  $s = 0$  et  $t = t_0$ .

Si l'on porte ces valeurs dans l'équation précédente, on obtient :  $0 = \frac{0.183Q}{T} \log \frac{2.25 T t_0}{r^2 S}$

Et comme  $\frac{2.3Q}{4\pi T} \neq 0$ , il s'ensuit que  $\frac{2.25 T t_0}{r^2 S} = 1$  Soit,  $S = \frac{2.25 T t_0}{r^2}$

Si maintenant  $t/t_0=10$ , d'où  $\log t/t_0=1$  on peut remplacer s par  $\Delta s$ , c'est à dire par la différence de rabattement par cycle log de temps, ce qui donne :  $T = \frac{2.3Q}{4\pi \Delta s}$

**a- Conditions d'applications : [22]**

La méthode de JACOB s'applique quand :

- Les conditions nécessaires pour la validité de la solution de THEIS sont respectées.
- Les temps de pompage sont élevés et/ou la distance au faible.

**b- Mode opératoire : [23]**

- Porter les valeurs du rabattement "s" en fonction du temps correspondant "t" et tracer sur un papier semi-logarithmique la droite passant par les points obtenus.
- Prolonger la droite jusqu'à l'axe des temps où s = 0, et lire la valeur de t0.
- Calculer la pente de la droite, c'est à dire la différence de rabattement Δs par cycle log de temps.

$$a = \frac{\Delta_1 - \Delta_2}{\log t_2 - \log t_1}$$

Pour un cycle logarithmique :  $\log 100 - \log 10 = 1 \rightarrow a = \Delta \text{ cycle}$

$$\Delta \text{ cycle} = 0.183 \frac{Q}{T} \Rightarrow T = 0.183 \frac{Q}{\Delta_c}$$

$$\Delta = 0 = \frac{0.183Q}{T} \log \frac{2.25Tt_0}{r^2S} / \frac{0.183Q}{T} \neq 0$$

$$\log \frac{2.25Tt_0}{r^2S} = 0 \Rightarrow \frac{2.25Tt_0}{r^2S} = 1 \Rightarrow S = \frac{2.25Tt_0}{r^2S}$$

- Porter les valeurs de Q et de Δs dans l'équation et résoudre par rapport à T. Connaissant T et t0 calculer S à partir de l'équation :  $T = \frac{0.183 Q}{\Delta_s}$ ;  $S = \frac{2.25 t_0 T}{r^2}$

**2- Méthode de Jacob (courbe de remonté) : [24]**

Une fois le pompage terminé, le niveau d'eau cesse de descendre pour remonter vers sa position initiale. On mesure la remontée par le rabattement résiduel "s", c'est à dire la différence entre le niveau initial de l'eau avant le pompage et le niveau mesuré à un certain moment "t" de la remontée ; "t" représente le temps écoulé depuis l'arrêt du pompage.

Les résultats de la remontée permettent ainsi le calcul de la transmissivité et sont donc un moyen de contrôle des résultats de l'interprétation de l'essai durant la période de pompage. En outre, la remontée présente l'avantage d'être débarrassée des fluctuations de débits pompage. Ceci fait que les variations de rabattements dues aux fluctuations du débit ne se retrouvent plus à la remontée.

**a- Conditions d'applications : [25]**

L'application de la formule de JACOB nécessite la constante de débit pendant la remontée. Les rabattements observés après l'arrêt de pompage résultent donc :

- D'un rabattement (s1) qui est du à la poursuite fictive de pompage à un débit Q et pendant un temps (t).
- A un rabattement (s2) qui est dû à une injection fictive qui se produit à partir de l'arrêt de pompage (t').

Ces rabattements sont dits : **rabattements résiduels.**

$$\Delta s' = s_1 - s_2 \Rightarrow s = \frac{0.183Q}{T} \log \frac{2.25Tt}{r^2S} - \frac{0.183Q}{T} \log \frac{2.25Tt'}{r^2S}$$

$$\Rightarrow s = \frac{0.183}{T} \log \frac{t}{t'} \text{ Avec :}$$

s : rabattements après l'arrêt de pompage (m). t : temps compté depuis le début de pompage (s). t' : temps compté depuis l'arrêt de pompage (s). T : transmissivité (m<sup>2</sup>/s).

**b- Mode opératoire : [26]**

- Porter les valeurs de (s') en fonction de (t/ t') sur un papier semi-logarithmique et tracer la droite passant par les points obtenus.
- Calculer la pente de la droite, c'est à dire la différence de rabattement  $\Delta s'$  par cycle log de temps.
- Porter les valeurs de Q et de  $\Delta s'$  dans l'équation et résoudre par rapport à T :  $T = \frac{0.183 Q}{\Delta s'}$

**Remarque :** le coefficient d'emmagasinement n'apparaît pas dans cette expression, on ne peut donc pas le calculer lors de la remontée.

• **Application de la méthode de Cooper-Jacob sur quatre forages :**

❖ **Forage d'AEP El Hassi :**

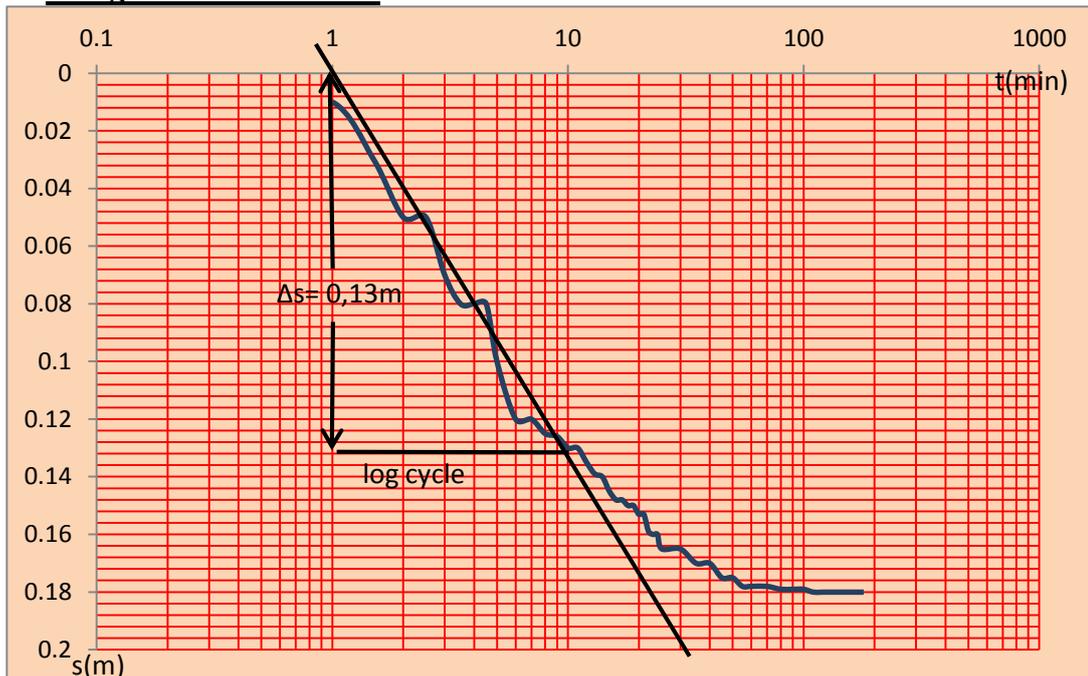


Figure N° III.8 : application de la méthode de JACOB sur le forage d'AEP El Hassi (durant la descente).



Figure N° III.9 : application de la méthode de JACOB sur le forage d'AEP El Hassi (durant la remontée).



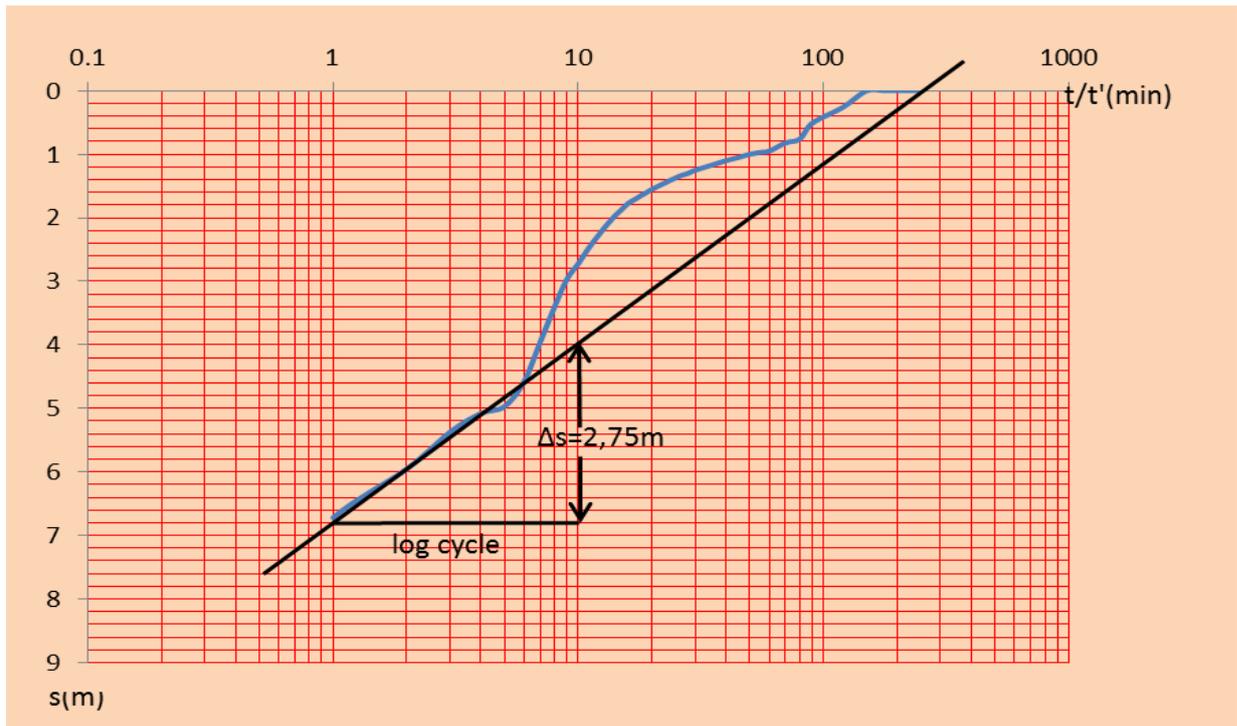


Figure N° III.11 : application de la méthode de JACOB sur le forage de Ben Sliman (durant la remontée).

**Application numérique :**

**Calcul des paramètres hydrodynamiques T, Set K :**

➤ **DURANT LA DESCENTE :**

Calcul de la transmissivité :  $Q=7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$   $t_0=0.15 \text{ min}=9 \text{ sec.}$   $T = \frac{0.183Q}{s_2 - s_1}$

On prend un cycle logarithmique entre 1 et 10 :

$s_1=5.5 \text{ m}$  ;  $s_2=12 \text{ m}$  ;  $\Delta s=6.5 \text{ m}$

$T=0.197 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s.}$

Calcul de la perméabilité :

$NS=28.20 \text{ m}$  ; profondeur = 70 m ;  $e_{\text{utile}} = \text{profondeur} - NS = 41.8 \text{ m}$

On porte ces valeurs l'équation :  $K = \frac{T}{e_{\text{utile}}}$  On obtient :  $k = 4.71 \cdot 10^{-6} \text{ m/s.}$

➤ **DURANT LA REMONTE :**

Calcul de la transmissivité :  $T = \frac{0.183Q}{s_1 - s_2}$

On prend un cycle logarithmique entre 1 et 10 :

$s_1=6.75 \text{ m}$  ;  $s_2=4 \text{ m}$  ;  $\Delta s'=2.75 \text{ m}$

$T=0.47 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s.}$  **Calcul  $T_{\text{moy}}$  :**  $T_{\text{moy}} = (T_1 + T_2)/2$

$T_{\text{moy}} = [(0.197 + 0.47) \cdot 10^{-3}]/2$   $T_{\text{moy}} = 0.33 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s.}$

Calcul de la perméabilité :

$ND=15.06 \text{ m}$  ; profondeur = 70 m ;  $e_{\text{utile}} = \text{profondeur} - ND = 54.94 \text{ m}$

On porte ces valeurs l'équation :  $K = \frac{T}{e_{\text{utile}}}$  On obtient :  $k = 8.55 \cdot 10^{-6} \text{ m/s.}$

❖ Forage de Guehtar :

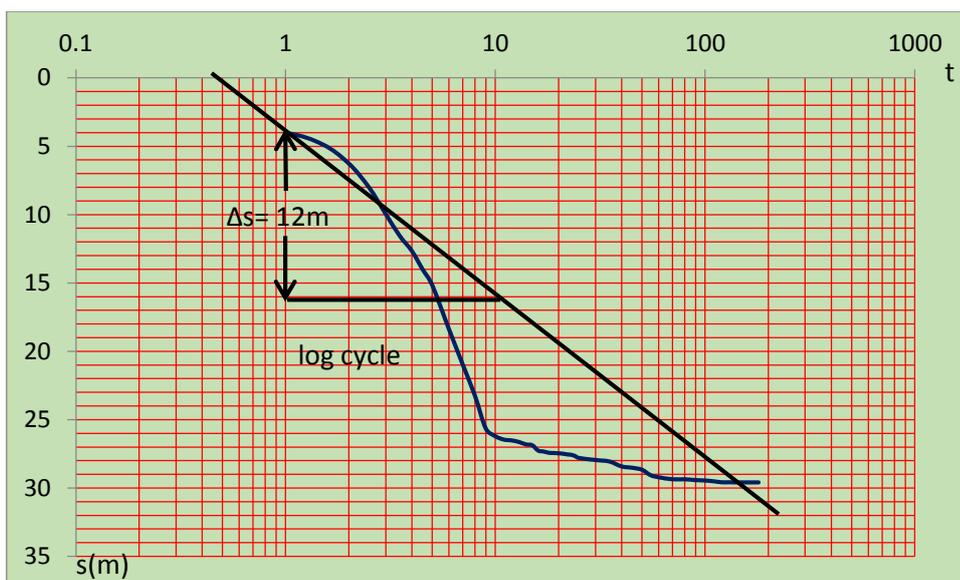


Figure N° III.12 : application de la méthode de JACOB sur le forage de Guehtar (durant la descente).

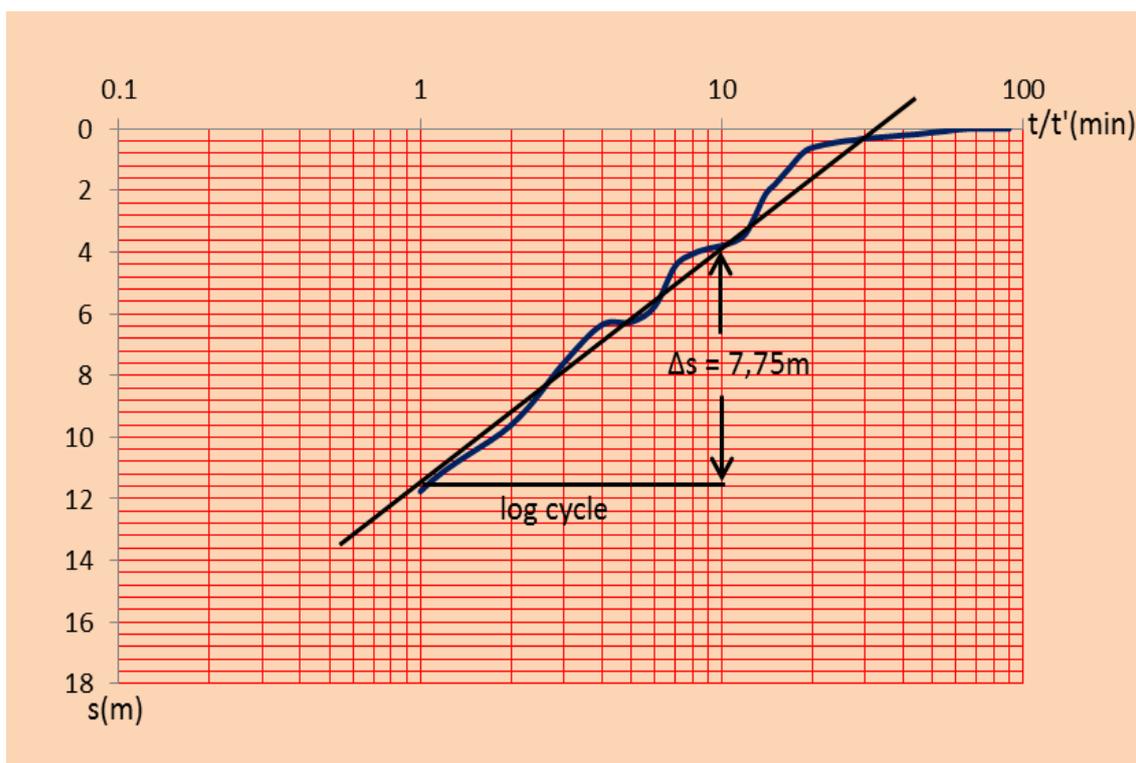


Figure N° III.13 : application de la méthode de JACOB sur le forage de Guehtar (durant la remontée).

**Application numérique :**

**Calcul des paramètres hydrodynamiques T, Set K :**

➤ **DURANT LA DESCENTE :**

**Calcul de la transmissivité :**

$Q=8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$      $t_0=0.5 \text{ min} = 30 \text{ sec.}$      $T = \frac{0.183Q}{s_2-s_1}$

On prend un cycle logarithmique entre 1 et 10 :

$s_1= 4 \text{ m}$  ;  $s_2= 16\text{m}$  ;     $\Delta s=12\text{m}$      $T=1.22 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s.}$

**Calcul de la perméabilité :**

$NS =33.94\text{m}$  ;    profondeur =80 m ;     $e_{\text{utile}}= \text{profondeur} - NS = 46.06$

On porte ces valeurs l'équation :     $K = \frac{T}{e_{\text{utile}}}$     On obtient :  $k = 2.64 \cdot 10^{-6} \text{ m/s.}$

**Calcul du coefficient d'emmagasinement :**

On porte ces valeurs et celle de Q dans l'équation :     $S = \frac{2.25 T t_0}{r^2}$

On obtient :  $S=0.13 \cdot 10^{-4}$

➤ **DURANT LA REMONTE :**

**Calcul de la transmissivité :**     $T = \frac{0.183Q}{s_1-s_2}$

On prend un cycle logarithmique entre 1 et 10 :

$s_1= 11.75 \text{ m}$ ;     $s_2= 4 \text{ m}$ ;     $\Delta s'=7.75$      $T= 19 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s.}$

**Calcul  $T_{\text{moy}}$  :**     $T_{\text{moy}}= (T_1+ T_2)/2$

$T_{\text{moy}}= [(1.22+1.9) \times 10^{-4}]/2$      $T_{\text{moy}}= 1.56 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s.}$

**Calcul de la perméabilité :**

$ND =63.53\text{m}$  ;    profondeur =90 m ;     $e_{\text{utile}}= \text{profondeur} - ND = 16.47$

On porte ces valeurs l'équation :     $K = \frac{T}{e_{\text{utile}}}$     On obtient :  $k = 1.15 \cdot 10^{-5} \text{ m/s.}$

Les valeurs de Transmissivité, Coefficient d'emmagasinement et Perméabilité obtenues par l'application de la méthode de Jacob sur les forages disponibles sont mentionnées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau N° III.3 : Valeurs de T, k et S calculés par l'approximation logarithmique de Jacob.**

| Nom de l'ouvrage            | Q (m³/s) 10 <sup>-3</sup> | Essai descente |                        |                       |                       | Essai remonté |                       |                       | T <sub>moy</sub> (m²/s) |
|-----------------------------|---------------------------|----------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
|                             |                           | Δs (m)         | T (m²/s)               | K (m/s)               | S                     | Δs'(m)        | T (m²/s)              | K (m/s)               |                         |
| Forage AEP                  | 6                         | 0.13           | 8.45*10 <sup>-3</sup>  | 1.09*10 <sup>-4</sup> | -                     | 0.045         | 24.4*10 <sup>-3</sup> | 3.18*10 <sup>-4</sup> | 16.4*10 <sup>-3</sup>   |
| Forage BenSliman            | 7                         | 6.5            | 0.197*10 <sup>-3</sup> | 4.71*10 <sup>-6</sup> | -                     | 2.75          | 0.47*10 <sup>-3</sup> | 8.55*10 <sup>-6</sup> | 0.33*10 <sup>-3</sup>   |
| Forage Guehtar              | 8                         | 15             | 1.22*10 <sup>-4</sup>  | 2.12*10 <sup>-6</sup> | 0.13*10 <sup>-4</sup> | 7.75          | 1.9*10 <sup>-4</sup>  | 2.64*10 <sup>-6</sup> | 1.56*10 <sup>-4</sup>   |
| Forage Guehtar (piézomètre) | -                         | 0.99           | -                      | -                     | -                     | -             | -                     | -                     | -                       |

Les valeurs de perméabilité dans l'ensemble de forage sont de l'ordre de  $10^{-6}$  m/s, traduisant que le terrain est semi perméable (voir annexe).

### **III-I-4-3) Interprétation des résultats des essais :**

On remarque que :

- ❖ les forages (AEP, Guehtar) à une descente qui montre deux parties :
  - La première correspond à l'effet de capacité du forage caractérisant la vidange de l'ouvrage.
  - La deuxième partie correspond à une augmentation régulière du rabattement en fonction du temps.

Par contre les forages (Ben Sliman ; piézomètre) à une augmentation régulière de rabattement au cours de temps, mais l'ensemble de ces forages à une remontée régulière. (Voir annexe).

- ❖ Le piézomètre a un rabattement lent par rapport au forage ( $r=25$ m) lors la descente.

Le tableau suivant présente les résultats des Transmissivités en ( $m^2/s$ ) calculées par les différentes méthodes.

**Tableau N° III.4 : Résultats des essais de pompage obtenus par les différentes méthodes.**

| Nom de l'ouvrage | THEIS                 | JACOB                 |                      |
|------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
|                  |                       | Descente              | remontée             |
| Forage AEP       | $6.37 \cdot 10^{-3}$  | $8.45 \cdot 10^{-3}$  | $24.4 \cdot 10^{-3}$ |
| Forage BenSliman | $0.197 \cdot 10^{-3}$ | $0.197 \cdot 10^{-3}$ | $0.47 \cdot 10^{-3}$ |
| Forage Guehtar   | $0.637 \cdot 10^{-4}$ | $1.22 \cdot 10^{-4}$  | $1.9 \cdot 10^{-4}$  |

Les résultats obtenus par deux méthodes (Theis/Jacob) montrent que presque toute les valeurs de transmissivité sont de l'ordre de  $10^{-3} m^2 /s$ , traduisant ainsi le même comportement hydrodynamique pour le centre de l'aquifère, tandis que pour le forage N° 01 qui se trouve en bordure Sud -Ouest de la plaine, où on obtient une transmissivité nettement plus élevée ( $6.37 \cdot 10^{-3} m^2/s$ ), et un rabattement de 18 cm, ce qui traduise la bonne réalimentation de l'aquifère dans cet endroit.

### **Conclusion :**

Dans cette étude hydrogéologique on s'intéresse à l'aquifère superficiel se trouvant dans les formations du Mio-Plio-Quaternaire alluvionnaires.

L'analyse de la carte piézométrique indique un écoulement de façon générale vers le centre de la plaine (Bled el -Mardja et DraàKlalouche).

La comparaison entre la carte piézométrique de juin 2013 celle de Avril 2016 montre que le niveau piézométrique de cette dernière s'est rabattu (presque 3.5m).

L'alimentation des deux nappes (superficiel et profond) est assurée essentiellement par les massifs calcaires entourant la plaine (Roknia à l'Est, Agmérœuel à l'Ouest, au sud Tissouras et Zana).

Les valeurs du gradient hydraulique sont variables, plus fort que les courbes sont plus serrées.

Les résultats obtenus par deux méthodes (Theis/Jacob) montrent que toutes les valeurs de transmissivité sont de l'ordre de  $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ , traduisant ainsi le même comportement hydrodynamique pour le centre de l'aquifère, tandis que pour le forage N° 01 qui se trouve en bordure Sud -Ouest de la plaine, où on obtient une transmissivité nettement plus élevée ( $6.37 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ ), et un rabattement de 18cm, ce qui traduit la bonne réalimentation de l'aquifère dans cet endroit.

Les valeurs de perméabilité dans l'ensemble de forage sont de l'ordre de  $10^{-6} \text{ m/s}$ , traduisant que le terrain est semi perméable.

Les rabattements dans les autres forages sont considérables pour le forage N°03 où il atteint 29 m et le forage N°02 où il atteint 15 m dans une courte durée (90min), expliquant la surexploitation de l'aquifère.

Sur l'ensemble des forages, le débit de pompage ne dépassant pas 8 l/s, mais on a trouvé les rabattements sont importants par rapport au temps, donc l'aquifère ne peut pas supporter au-delà de cet débit.

### **III-II) - Hydrochimie :**

On sait que les caractéristiques chimiques des eaux souterraines sont presque toujours influencées par la nature physico-chimique du terrain constituant leurs aquifères. De plus la vitesse de circulation dans l'aquifère est un facteur important, suivant lequel Les contacts eaux et sol peuvent être court ou long, diminuant ou augmentant l'importance des échanges ioniques entre les eau et le terrain qui les contient, par ailleurs on sait que la perméabilité d'un aquifère est un facteur important agissant sur la vitesse de circulation de la nappe contenue suivant sa pente . Nous exposons dans ce chapitre les caractéristiques physico- chimiques de la nappe aquifère superficiel se trouvant dans les formations du Mio-Plio Quaternaire dans la région d'Ain Djasser.

Ce chapitre est basé sur la présentation et l'interprétation des différents résultats collectés sur le terrain et ceux obtenus en laboratoire (l'A.N.R.H DE Constantine et l'A.D.E de Batna). Il s'appuie sur les différents tableaux, graphiques, cartes piézométriques et diagrammes Hydrochimiques réalisés. [27]

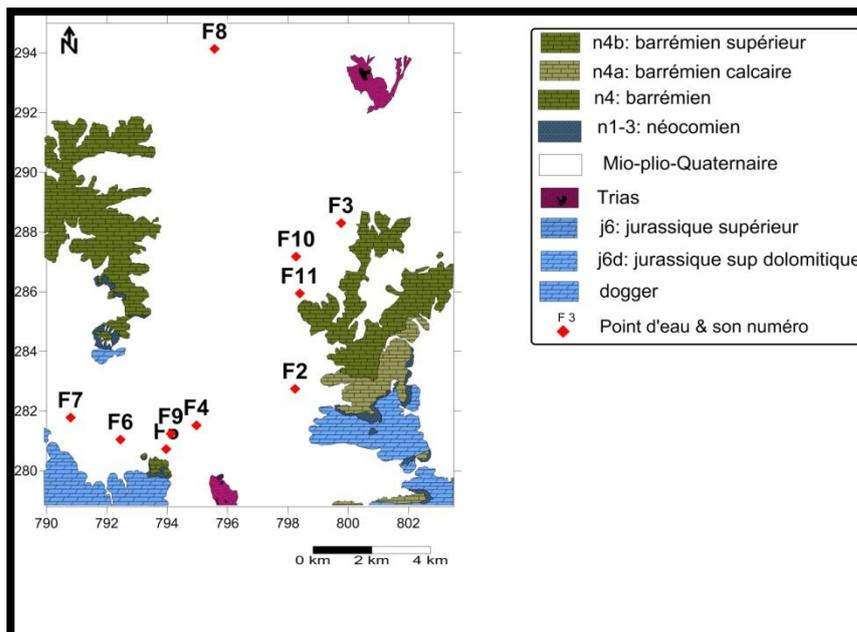


Figure N° III.14 : Carte de localisation des forages échantillonnés

**III-II-1) Cartographie hydrochimique et comparaison aux normes Algériennes de potabilité : [28]**

Les normes algériennes, qui sont présentée dans le Tableau suivant :

**Tableau N° III.5 : Normes Algériennes de potabilité (source ADE Batna)**

| Paramètre                           | Valeur         | Unité        |
|-------------------------------------|----------------|--------------|
| <b>Paramètres Physico-Chimiques</b> |                |              |
| <b>TEMPÉRATURE</b>                  | <b>25</b>      | <b>°C</b>    |
| <b>PH</b>                           | <b>6.5-8.5</b> |              |
| <b>Conductivité</b>                 | <b>2800</b>    | <b>µS/cm</b> |
| <b>Résidu sec (180°C)</b>           | <b>2000</b>    | <b>mg/l</b>  |
| <b>Calcium</b>                      | <b>200</b>     | <b>mg/l</b>  |
| <b>Magnésium</b>                    | <b>150</b>     | <b>mg/l</b>  |
| <b>Sodium</b>                       | <b>200</b>     | <b>mg/l</b>  |
| <b>Potassium</b>                    | <b>20</b>      | <b>mg/l</b>  |
| <b>Chlorure</b>                     | <b>600</b>     | <b>mg/l</b>  |
| <b>Sulfates</b>                     | <b>400</b>     | <b>mg/l</b>  |
| <b>Dureté total</b>                 | <b>500</b>     | <b>mg/l</b>  |
| <b>Substances Indésirables</b>      |                |              |
| <b>Nitrates</b>                     | <b>50</b>      | <b>mg/l</b>  |
| <b>Nitrites</b>                     | <b>0.1</b>     | <b>mg/l</b>  |

**III-II-1-1) Les paramètres physico-chimique :**

• **Température :**

Ce paramètre est très important de connaître, car il permet de différencier les eaux qui circulent près de la surface de celles qui circulent en profondeur, et donc la qualité de l'eau.

La quasi-totalité des eaux de la plaine d'Ain Djasser présentent une température qui varie entre 15.7°C et 19.8°C, avec une moyenne 18.08°C (**Tableau N° III.6**).

Ces températures ne dépassent pas la norme algérienne de potabilité (25°C).

**Tableau N° III.6 : variation de température**

| Statistique | Nb    | Minimum | Maximum | Moyenne | Ecart-type (n) | C v  |
|-------------|-------|---------|---------|---------|----------------|------|
| T C°        | 11.00 | 15.70   | 19.80   | 18.08   | 1.14           | 0.06 |

• **Potentiel d'hydrogène (pH) :**

Il exprime la concentration en ion H<sup>+</sup> d'une solution, c'est-à-dire l'alcalinité ou l'acidité d'une eau.

Par définition le pH est le logarithme décimal de l'inverse de la concentration H :

**pH = - Log [H<sup>+</sup>].**

L'échelle du pH varie de 0 à 14 en fonction de la force ionique, si :

↳ [H<sup>+</sup>] < [OH<sup>-</sup>] ⇒ pH > 7 : l'eau est **basique**.

↳ [H<sup>+</sup>] > [OH<sup>-</sup>] ⇒ pH < 7 : l'eau est **acide**.

↳ [H<sup>+</sup>] = [OH<sup>-</sup>] ⇒ pH = 7 : l'eau est **neutre**.

Dans notre région d'étude, le pH mesuré varie entre 6,93 et 7,65 :

- l'eau est acide pour les points : 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10.
- l'eau est basique pour le autre forage : 11.
- l'eau est presque neutre pour les autres forages : 8 et 9.

**Tableau N° III.7 : variation de potentiel d'hydrogène**

| Statistique | Nb    | Minimum | Maximum | Moyenne | Ecart-type (n) | C v  |
|-------------|-------|---------|---------|---------|----------------|------|
| pH          | 11.00 | 6.93    | 7.65    | 7.23    | 0.19           | 0.03 |

Un pH de la région est acceptable et ne dépasse pas les normes (6.5, 8.5), par tous les points prélevés. Les résultats des analyses ont montrés que les eaux de la région présentent un PH de (6.93) comme minimum et un PH de (7.65) comme maximum et Cv 3%. La Carte du pH montre que tous les points d'eau se trouvent dans l'intervalle de la norme de potabilité. (**Fig. III.15**)

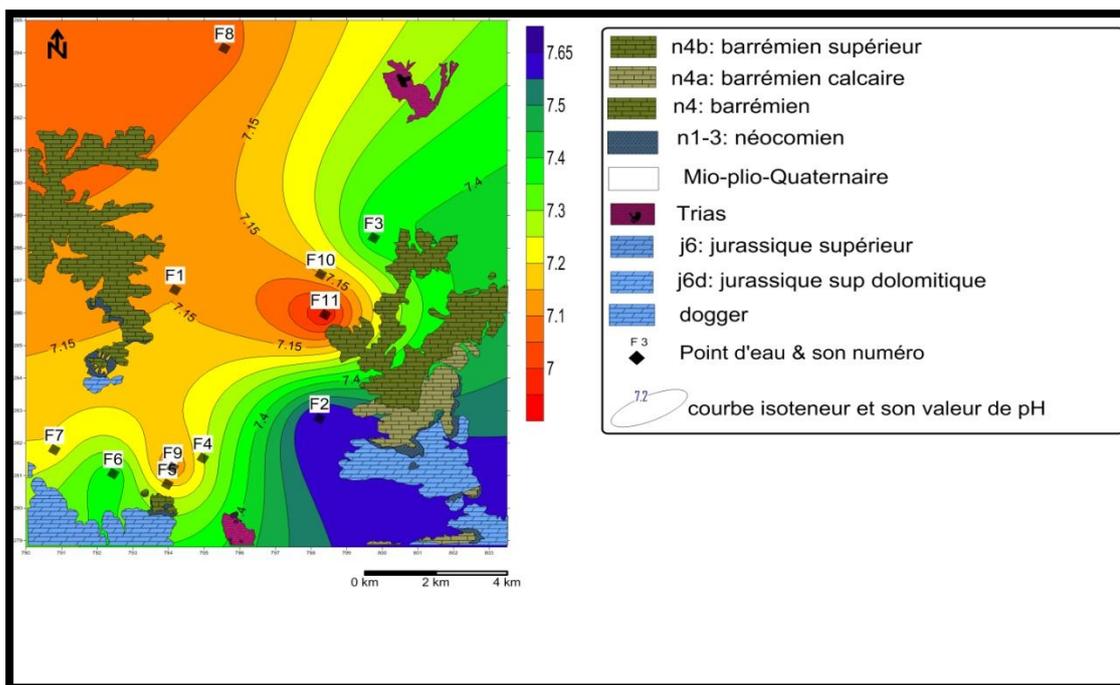


Figure N° III.15 : Carte du pH

• **Dureté (Titre Hydrotimétrique TH) :**

Les valeurs de la dureté mesurée, pour tous les échantillons prélevés dans les nappes de la région d'étude, sont classées en valeurs minimales et maximales dans le (tab. III.8)

Tableau N° III.8 : variation de dureté (TH)

| Statistique | Nb    | Minimum | Maximum | Moyenne | Ecart-type (n) | C v  |
|-------------|-------|---------|---------|---------|----------------|------|
| TH F°       | 11.00 | 33.85   | 85.24   | 45.75   | 13.64          | 0.30 |

D'après les normes de potabilité des eaux Algérien, on remarque que pour tous les échantillons prélevés, le titre hydrotimétrique minimal 33.85°F et maximal 85.24°F ; ce qui montre que les eaux de la plaine d'Ain Djasser selon la carte (fig. III.16) et le (tab. III.8), nous peu dire que les eaux de qualité Assez douce à dure.

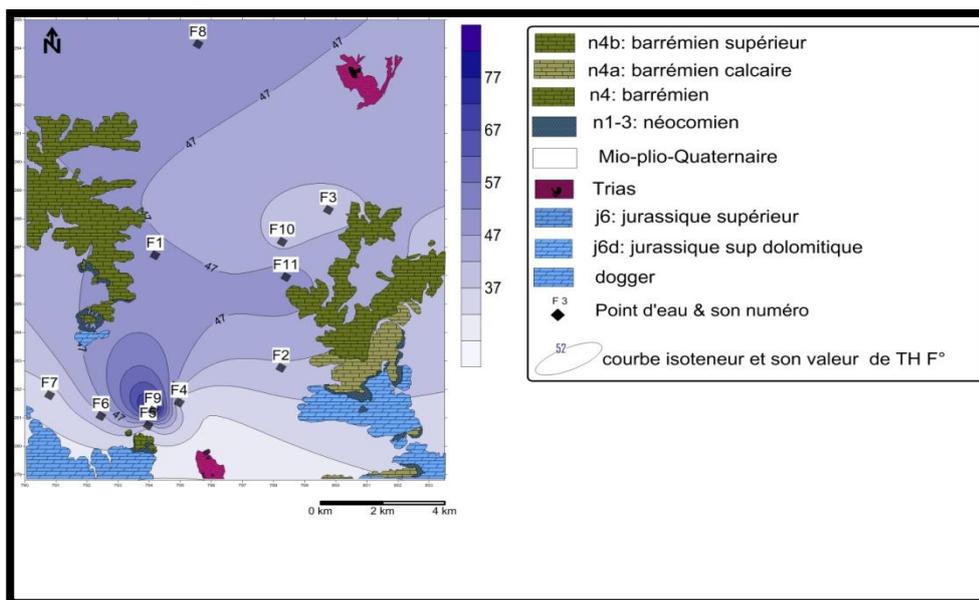


Figure N° III.16 : Carte de Dureté TH

• **Titre alcalimétrique complet(TAC) :**

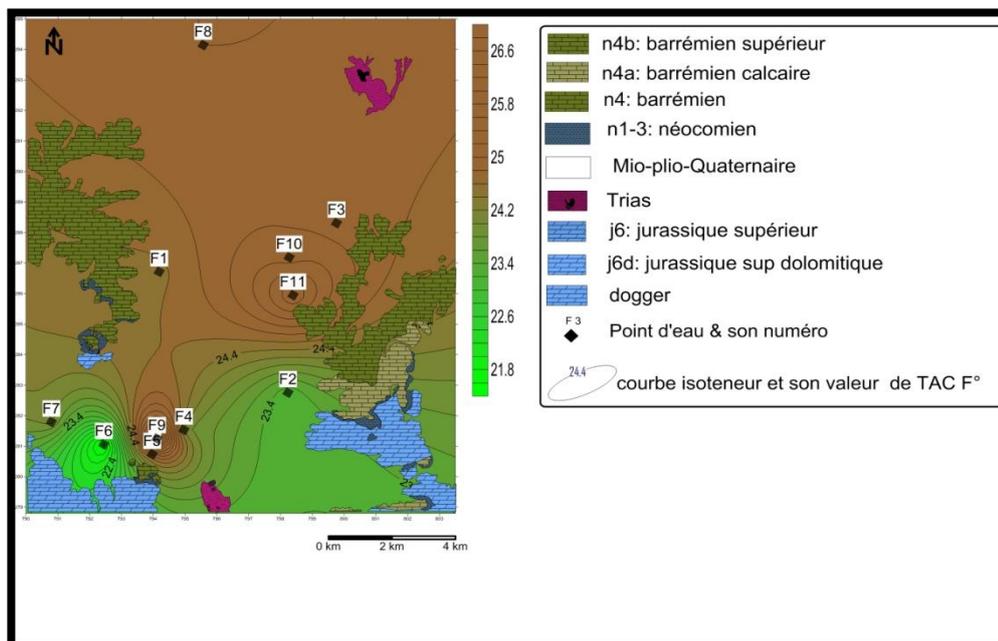
Le titre alcalimétrique complet (TAC) correspond à la somme des teneurs en ions hydroxyde, bicarbonate et carbonate exprimé en degré français (°F).

$$TAC = [HCO_3^-] + [CO_3^{2-}] + [OH^-]$$

**Tableau N° III.9 :** Titre alcalimétrique complet (TAC) de la région

| Statistique | Nb    | Minimum | Maximum | Moyenne | Ecart-type (n) | C v  |
|-------------|-------|---------|---------|---------|----------------|------|
| TAC F°      | 11.00 | 21.39   | 27.04   | 24.54   | 1.37           | 0.06 |

Les résultats des analyses des forages dans la région la plaine d'Ain Djasser (**fig.III.17 et tab. III.9**) ces eaux possèdent une TAC°F supérieure à 24.2°F, dans le centre de la plaine et le Nord par contre, le Sud ces eaux donnent une TAC °F inférieure à 22.6°F et Cv avec 6%.



**Figure N° III.17 :** Carte de Titre alcalimétrique complet (TAC) de la région

• **La conductivité électrique :**

- Elle dépend de la concentration totale et la nature des ions présents dans l'eau.
- Elle donne une estimation approchée de la minéralisation des eaux.

**Tableau N° III.10 :** variation de conductivité CE (µS/cm)

| Statistique | Nb    | Minimum | Maximum | Moyenne | Ecart-type (n) | C v  |
|-------------|-------|---------|---------|---------|----------------|------|
| CE (µm/cm)  | 11.00 | 798.00  | 3110.00 | 1470.27 | 731.60         | 0.50 |

Les résultats des analyses ont montrés que les eaux de la région présentent une CE (µS/cm) de (789µS/cm) comme minimum et une CE de (3110µS/cm) comme maximum, et Cv de 50% forte .(**tab. III.10**)

A partir de la carte (**fig. III.18**), Les zones où les teneurs sont inférieures à 1000µS/cm, cela laisse penser à des zones de circulation relativement rapides surtout au centre de la plaine. Les valeurs de la conductivité obtenues augmentent suivant les grands axes d'écoulement.

Cependant, il sera impératif de dire que malgré des valeurs aussi élevées, les conductivités que présente la majorité des échantillons sont inférieures à la norme algérienne qui fixe

une valeur maximale de 2800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . On peut dire que pour les échantillons indiqués précédemment, cette élévation de la conductivité est liée à la géologie des terrains traversés riches en sels minéraux, induisant une forte minéralisation de l'eau.

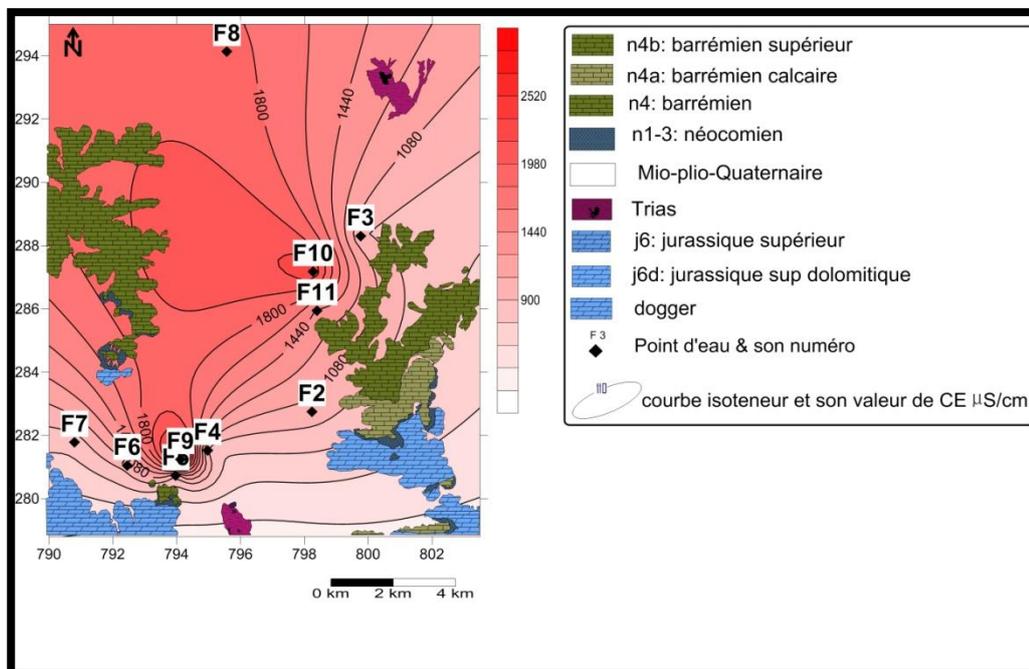


Figure N° III.18 : Carte de répartition avec la conductivité électrique CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )

- Résidu sec (RS) :

Exprimé en milligramme par litre (mg/l), il représente la minéralisation totale de l'eau, c'est-à-dire la totalité des sels dissous et la matière organique contenus dans l'eau, obtenue par pesées après dessiccation de l'échantillon à 110°C. L'examen de la carte (Fig. III.19) montre que les fortes concentrations se situent dans la zone centrale (>1180 mg/l) et une partie au Sud.

On remarque que ces concentrations ne dépassent pas la norme algérienne de potabilité (2000 mg/l).

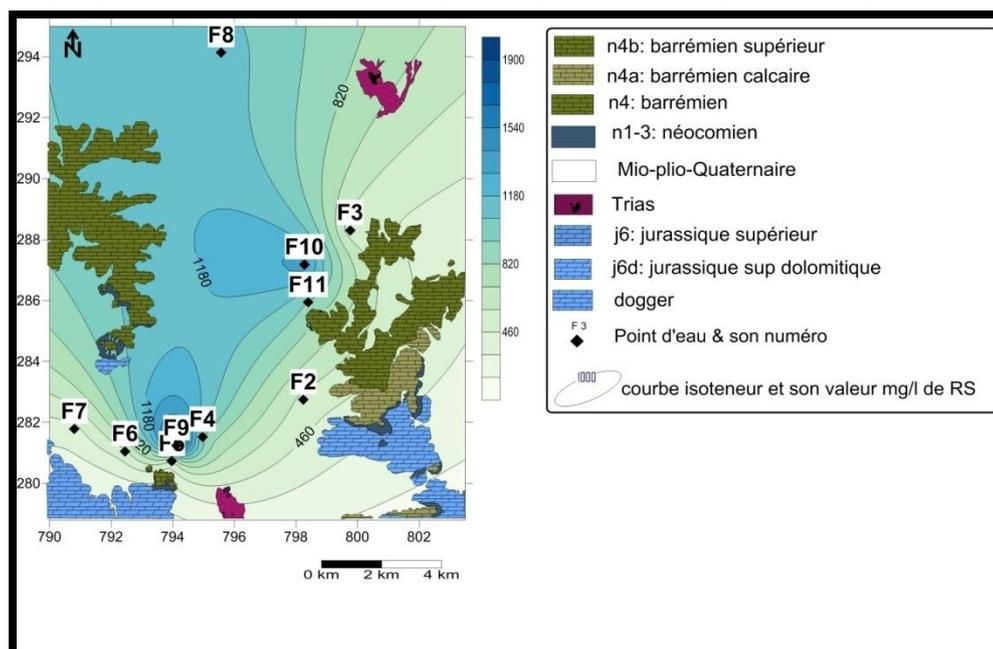


Figure N° III.19 : Carte de la RS

• Carte du calcium (Ca<sup>++</sup> mg/l) :

Cet élément est fréquent dans les roches sédimentaires, il provient essentiellement de la dissolution des roches carbonatées suite à la présence du gaz carbonique.

Le calcium peut provenir également des formations gypsifères (CaSO<sub>4</sub> : 2H<sub>2</sub>O), qui sont facilement solubles.

Tableau N° III.11 : variation de calcium Ca<sup>++</sup> (mg/l)

| Statistique      | Nb    | Minimum | Maximum | Moyenne | Ecart-type (n) | C v  |
|------------------|-------|---------|---------|---------|----------------|------|
| Ca <sup>++</sup> | 11.00 | 70.32   | 168.76  | 100.10  | 26.84          | 0.27 |

Les teneurs de calcium varient entre 70,32 mg/l comme minimum et (168.76 mg/l) comme maximum et ne dépasse pas la norme algérienne de potabilité (200mg/l) (tab. III.11 ).

La carte de calcium montre la prédominance de calcium dans le centre du secteur d'étude avec des valeurs supérieure à 110 mg/l. (fig. III.20).

Dans la zone d'étude, le Calcium provient des massifs entourant la plaine.

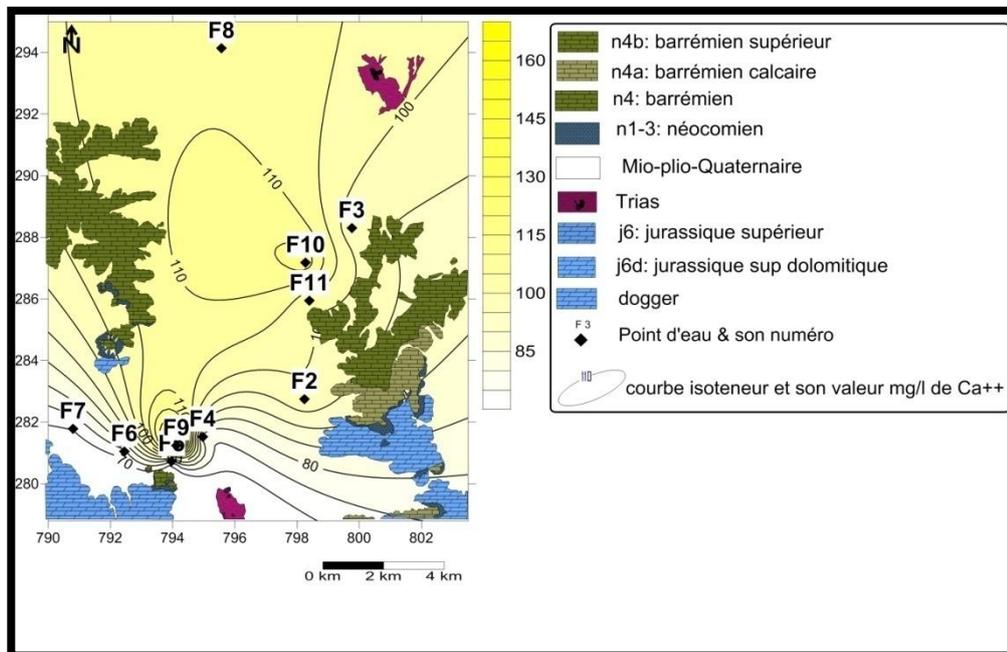


Figure N° III.20 : Carte de calcium Ca<sup>++</sup> (mg/l)

• Carte du Magnésium (Mg<sup>++</sup>mg/l) :

C'est aussi un élément de la dureté totale. La mise en solution de cet ion prend beaucoup de temps. Il provient de l'attaque des formations dolomitiques par le gaz carbonique, de la dissolution de MgSO<sub>4</sub> dans les terrains gypseux entraînant le magnésium et aussi des minéraux ferromagnésiens.

Tableau N° III.12 : variation de Magnésium Mg<sup>++</sup> (mg/l)

| Statistique      | Nb    | Minimum | Maximum | Moyenne | Ecart-type (n) | C v  |
|------------------|-------|---------|---------|---------|----------------|------|
| Mg <sup>++</sup> | 11.00 | 25.08   | 104.82  | 50.47   | 19.98          | 0.40 |

Les résultats des analyses ont montrés que les eaux de cette région présentent un  $Mg^{++}$  (mg/l) de (25.08mg/l) comme minimum et un  $Mg^{++}$  de (104.82mg/l) comme maximum et une moyenne de 50.47 mg/l et un Cv de l'ordre de 4%. On remarque que ces concentrations ne dépassent pas la norme algérienne de potabilité (150 mg/l). (Tab. III.12).

La carte montre que les valeurs minimales occupent la partie centrale de la région étudiée et les valeurs maximales se placent de part et d'autre, le Magnésium provient des massifs Dolomitique dans la plaine. (Fig. III.21).

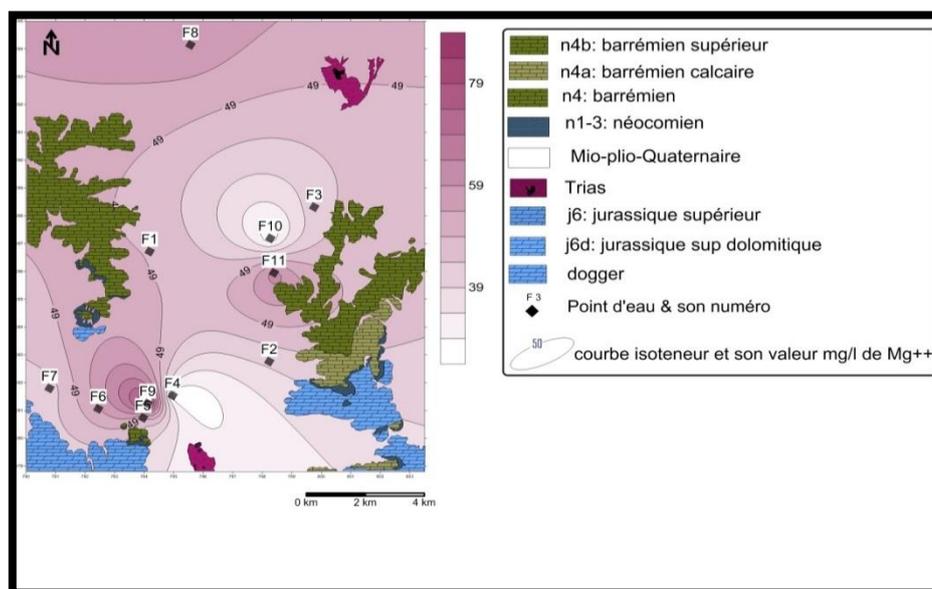


Figure N° III.21 : Carte isoteneur de Magnésium  $Mg^{++}$  (mg/l)

• Carte du Sodium ( $Na^+$  mg/l) :

Le sodium est le plus abondant des éléments alcalins. Ses composés largement répandus dans la nature, représentent 26g/kg de la croûte terrestre.

L'existence de cet élément est liée, essentiellement, à la dissolution de l'Halite.

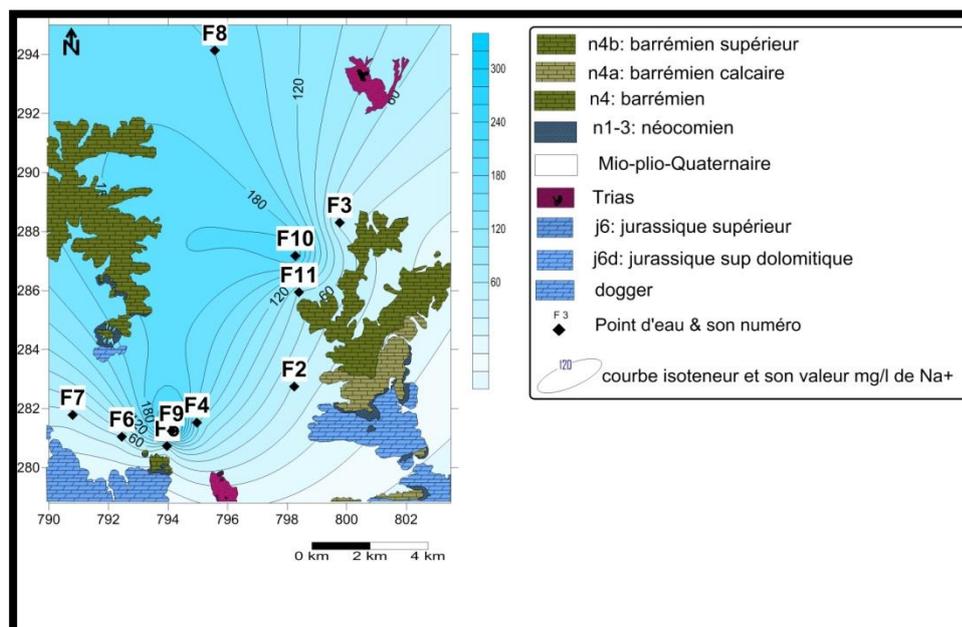


Figure N° III.22 : Carte de Sodium  $Na^+$  (mg/l)

D'après la carte (Fig. III.22), les fortes teneurs des Na<sup>+</sup> (sup à 180 mg/l) se situent dans le centre de la zone étudiée, les autres teneurs se trouvent de part et d'autre.

• **Carte du Potassium (K<sup>+</sup> mg/l) :**

Le Potassium provient de l'altération des formations silicatées (Gneiss, Schiste), des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques.

La carte montre que les valeurs minimales occupent la partie centrale de la région étudiée et le Nord-Ouest, les valeurs maximales se placent de part et d'autre (Fig. III.23).

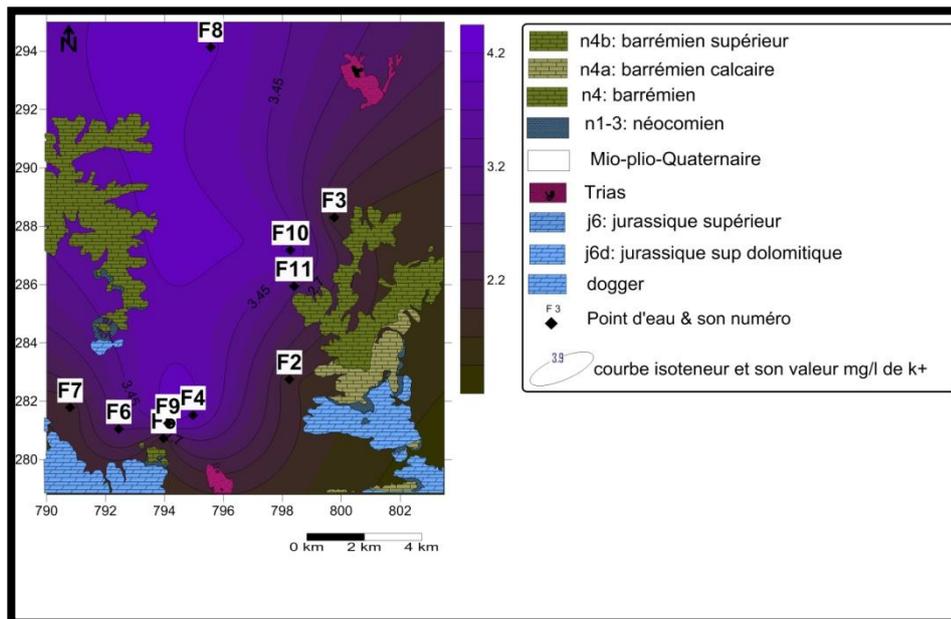


Figure N° III.23 : Carte de Potassium K<sup>+</sup> (mg/l)

• **Carte du chlorure (Cl<sup>-</sup> mg/l) :**

Les chlorures peuvent avoir une origine multiple. Les valeurs de Cl<sup>-</sup> varient entre 59.17 (mg/l) comme minimum et (479.91mg/l) comme maximum. (Tab. III.13), cette valeur ne dépassant pas la norme algérienne avec un Cv d'ordre de 73%.

Tableau N° III.13 : variation de chlorure Cl<sup>-</sup> (mg/l)

| Statistique     | Nb    | Minimum | Maximum | Moyenne | Ecart-type (n) | Cv   |
|-----------------|-------|---------|---------|---------|----------------|------|
| Cl <sup>-</sup> | 11.00 | 59.17   | 479.91  | 186.47  | 136.59         | 0.73 |

A partir de la carte (fig. III.24), la concentration élevée localisée dans le centre de la plaine. Ils sont toujours présents dans les eaux naturelles mais à des proportions variables. Ils proviennent essentiellement :

- de la dissolution des sels naturels par le lessivage des terrains salifères ;
- des rejets des eaux usées d'origine domestique et industrielle.

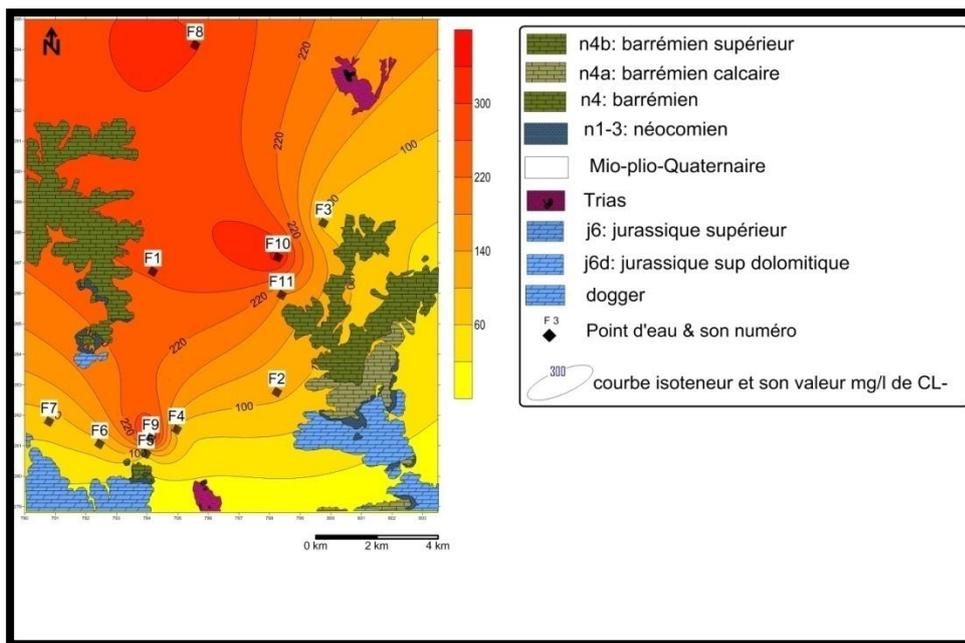


Figure N° III.24 : Carte de chlorure Cl<sup>-</sup> (mg/l)

• Carte du Sulfate (So<sub>4</sub><sup>2-</sup> mg/l) :

La teneur en sulfate (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) dans l'eau est liée aux composés alcalins de la minéralisation.

Tableau N° III.14 : variation de chlorure Cl<sup>-</sup> (mg/l)

| Statistique                   | Nb    | Minimum | Maximum | Moyenne | Ecart-type (n) | C v  |
|-------------------------------|-------|---------|---------|---------|----------------|------|
| So <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | 11.00 | 42.47   | 171.78  | 85.10   | 44.74          | 0.53 |

Les teneurs de Sulfate varient entre 42.47 mg/l comme minimum et 171.78mg/l comme maximum et ne dépasse pas la norme algérienne de potabilité (400mg/l) (tab. III.14).

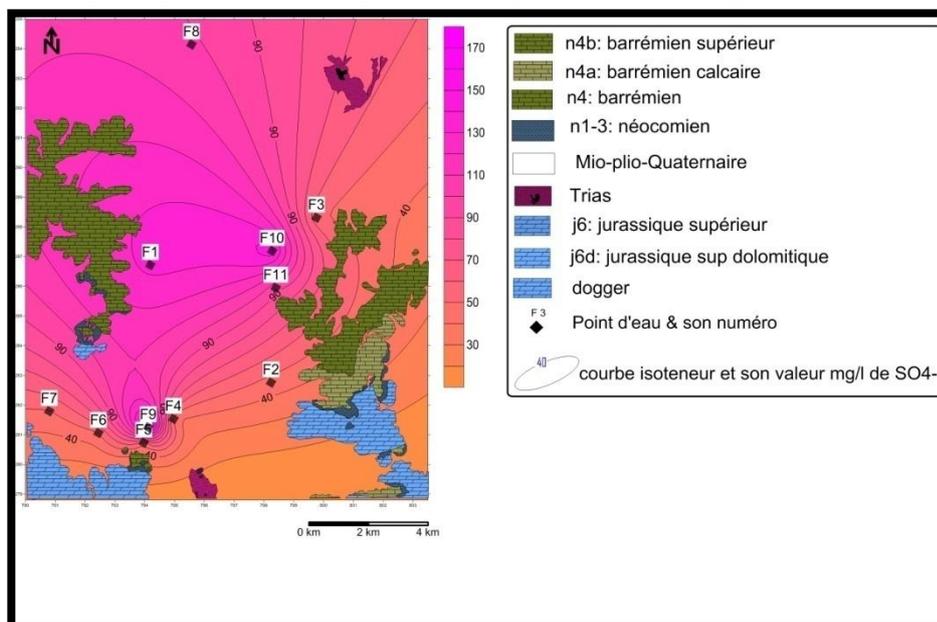


Figure N° III.25 : Carte isoteneur la de Sulfate So<sub>4</sub><sup>2-</sup> (mg/l)

• **Carte du bicarbonate (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> mg/l) :**

Les Bicarbonates résultent de l'équilibre physico-chimique entre : « La roche – l'eau et le gaz carbonique » selon l'équation générale suivante :

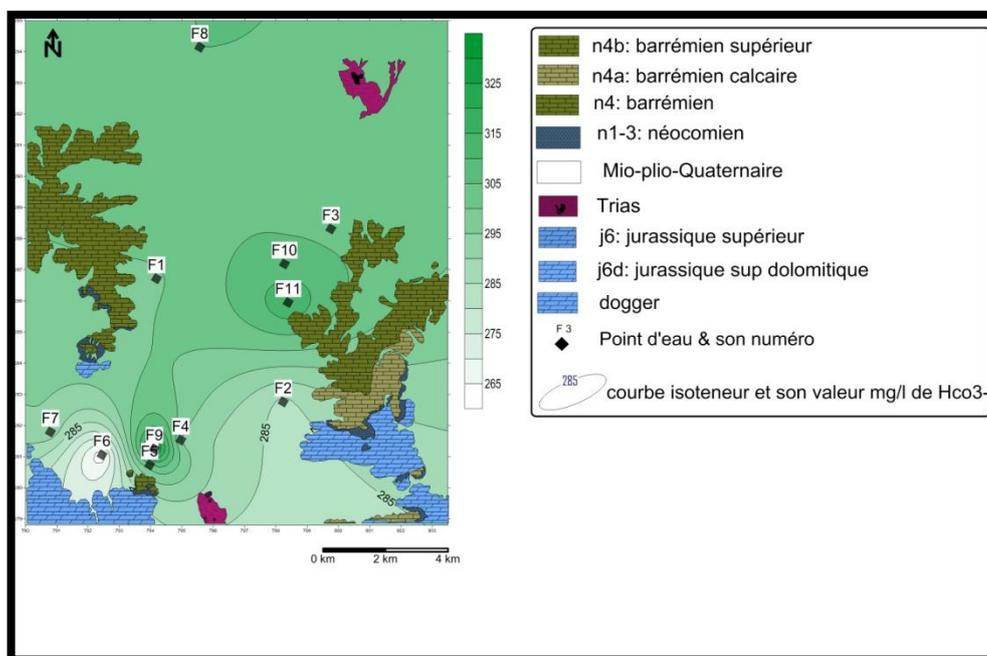


Les teneurs en Bicarbonates observées dans les eaux (Tableau N° III.15 ) indiquent des valeurs relativement élevées et dépassant les normes algériennes, qui fixent les concentrations maximales à (30 mg/l). Sa teneur dans les eaux étudiées est comprise entre (260.94 et 329.85 mg/l) avec un écart type qui égal à (16.73 mg/l) et un Cv 6%.

**Tableau N° III.15 : variation de bicarbonate HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l)**

| Statistique | Nb    | Minimum | Maximum | Moyenne | Ecart-type (n) | C v  |
|-------------|-------|---------|---------|---------|----------------|------|
| Hco3-       | 11.00 | 260.94  | 329.85  | 299.45  | 16.73          | 0.06 |

La forte concentration des bicarbonates est située dans le centre de la plaine et le Nord par contre, le Sud ces eaux donnent une HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l) inférieure à 280 et Cv avec 6%.(fig. III.26).



**Figure N° III.26 : Carte de bicarbonate HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>(mg/l)**

• **Carte du Nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> mg/l) :**

Ils 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 teneurs maximales sont observées (39.21mg/l) qui est inférieure à la norme de potabilité (50mg/l), là où on a une activité intense de l'agriculture. D'après la carte (Fig. III.27), et (Tab.III.16).

**Tableau N° III.16 : variation de Nitrate No<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l)**

| Statistique | Nb    | Minimum | Maximum | Moyenne | Ecart-type (n) | C v  |
|-------------|-------|---------|---------|---------|----------------|------|
| No3-        | 11.00 | 5.01    | 39.21   | 21.05   | 8.54           | 0.41 |

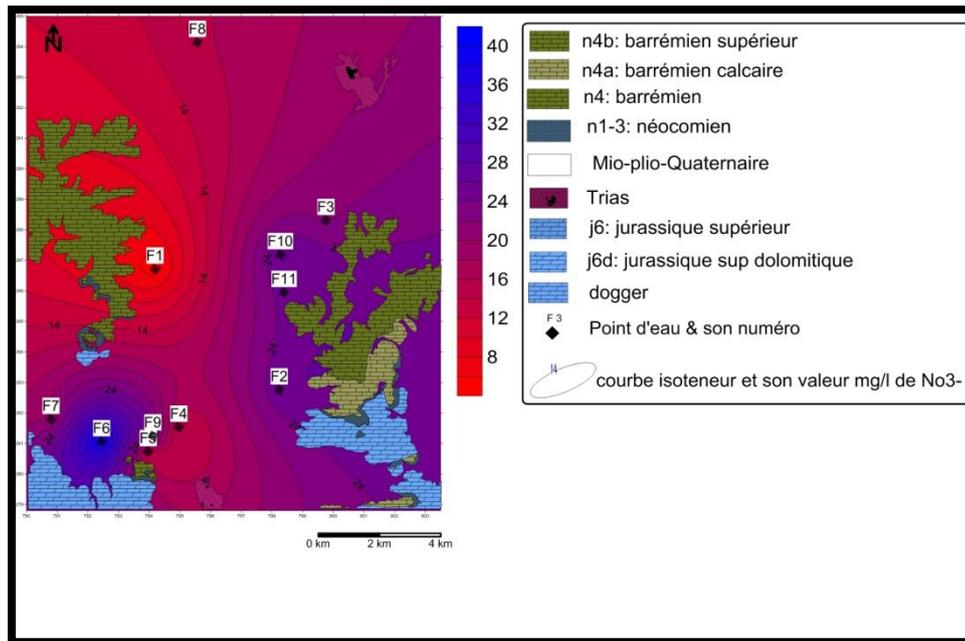


Figure N° III.27 : Carte de Nitrate  $\text{No}_3^-$  (mg/l)

**III-II-2) Aptitude des eaux à l’irrigation : [29]**

La qualité chimique des eaux influée directement sur le rendement des terres agricoles, une étude chimique des eaux pour l’irrigation est indispensable pour mettre en évidence le danger que présentent certains éléments chimiques pour les plantes et les sols. La qualité de l’eau pour l’irrigation est déterminée par :

**III-II-2-1) Sodium Adsorption Ratio (S.A.R): [30]**

Le S.A.R est un indice qui mesure le danger que représente l’existence d’une teneur donnée en sodium dans l’eau. 
$$\text{SAR} = \text{Na}^+ / \sqrt{(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})/2}$$

- Où Na, Ca, Mg sont exprimés en meq/l.

Les résultats montrés dans le tableau suivant (Tab.VI.16).

**Tableau N° III.17 : Résultats du SAR**

| nom | SAR        | CE ( $\mu\text{m}/\text{cm}$ ) |
|-----|------------|--------------------------------|
| f1  | 5.59049969 | 2040                           |
| f2  | 1.12030288 | 1014                           |
| f3  | 0.87804955 | 914                            |
| f4  | 2.08719863 | 817                            |
| f5  | 1.14263509 | 885                            |
| f6  | 1.22338716 | 988                            |
| f7  | 1.09016499 | 798                            |
| f8  | 4.35925366 | 1870                           |
| f9  | 4.60144443 | 3110                           |
| f10 | 6.93477181 | 2330                           |
| f11 | 2.07914006 | 1407                           |

La combinaison du SAR et de la conductivité électrique de l'eau permet la classification (selon Le diagramme de Riverside **Figure.VI.21**) de l'eau à l'irrigation comme suivantes :

Englobe : les eaux de forage 9 présentant un danger de salinité élevé et un faible danger d'alcalinité. Elles sont mauvaises à l'irrigation.

Les eaux des forages 10 Présentant un danger de salinité moyenne et un moyen danger d'alcalinité. Elles sont mauvaises à l'irrigation.

Les restes des forages presque un danger de salinité moyenne et un faible danger d'alcalinité. Elles sont mauvaises à l'irrigation. [31]

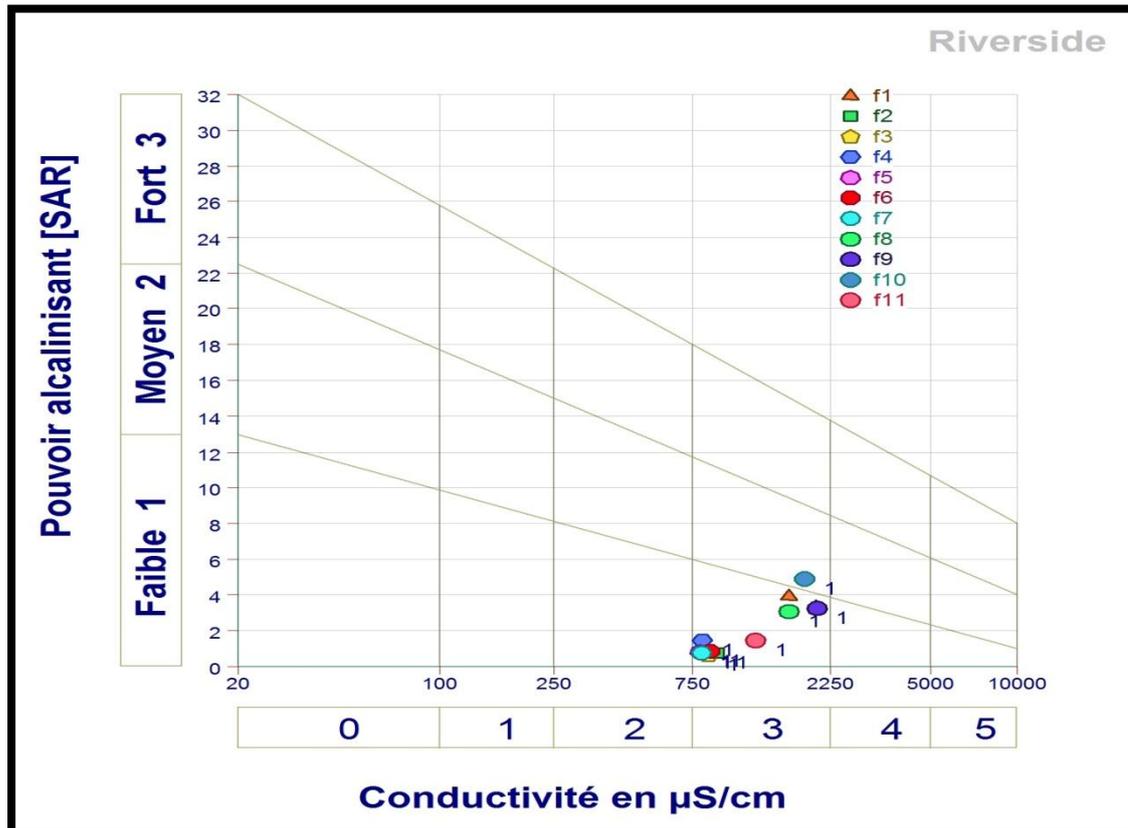


Figure N° III.28 : Diagramme de classification des eaux d'irrigation de Riverside

**Conclusion :**

Cette étude Hydrochimique a permis de mettre en évidence l'hétérogénéité de la plupart des paramètres physico-chimiques ayant une influence sur l'évolution et la qualité des eaux.

Le pH mesuré varie de 6.93 jusqu'à 7.65 est acceptable et ne dépasse pas les normes de potabilité des eaux Algérien.

## CONCLUSION GENERALE

L'objectif de cette étude **hydrogéologique** et **hydrochimique** était de la reconnaissance des ressources en eaux souterraines et leur qualité dans la région d'**Ain Djasser**.

La région de **Ain Djasser** est une région relativement plane à très faible pente, appartenant au sous bassin **07-02** du bassin versant **07** des hautes plaines constantinoises, elle est soumise à un climat **semi-aride** influencé par les courants humides de la méditerrané en hiver et chauds du Sahara en été.

La zone d'étude fait partie de l'ensemble sud sétifien formé de roches sédimentaires, où on distingue :

- Des terrains du **Mio-Plio-Quaternaire** de la plaine d'Ain Djasser formés essentiellement de conglomérats et d'alluvions. Ces formations dont l'épaisseur moyenne dépasse **100m**, (**nappe superficielle**).

- Les reliefs **carbonatés** du Crétacé et du Jurassique qui entourent la plaine et qui sont favorables à l'existence d'une nappe **profonde** de grande capacité.

L'étude géophysique ceci a permis de mettre en évidence la superposition de deux aquifères :

- Aquifère superficiel objet de l'étude contenu dans les formations du Mio-Plio-Quaternaire.
- Aquifère profond des calcaires fissurés.

L'étude climatologique a donné : Les précipitations maximales sont enregistrées au mois de **Mai** avec une valeur de **44.64 mm** et la précipitation minimale est enregistrée au mois de **Juillet** avec une valeur de **7.53 mm**. Avec de température moyenne annuelle de **15.4mm**.

Les indices climatiques ont confirmé l'appartenance de la zone d'étude au climat semi-aride. Influencé par les courants humides de la méditerrané en hiver et chauds du Sahara en été. Quant au bilan hydrologique ; on constate qu'il est déficitaire.

L'étude de la piézométrie montre que la direction de l'écoulement des eaux souterraines est orientée :

- le premier de direction W - E vers Dj Zana et Dj Roknia.
- le deuxième de direction NW-SE vers Dj. Agmerouel et Dj. Kef Oum Tiour.

La comparaison entre la carte piézométrique de **Juin 2013** celle d'**Avril 2016** montre que le niveau piézométrique de cette dernière s'est rabattu (presque à **3.5m**).

On signale que la variation du gradient hydraulique dans la plaine de Ain Djasser est dans l'intervalle [**0.006 ; 0.025**] (Source **DRE Batna**).

Les valeurs de la perméabilité sont de l'ordre de  **$10^{-6}$  m/s**, traduisant que le terrain est **semi perméable**.

Enfin du fait des rabattements considérables enregistrés ceci peut expliquer une **surexploitation** de l'aquifère.

L'interprétation des données Hydrochimiques ont montré que l'hétérogénéité de la plupart des paramètres physico-chimiques.

Le pH mesuré varie de **6.93** jusqu'à **7.65** est acceptable et ne dépasse pas les les normes de potabilité des eaux Algérien.

## *Référence Bibliographie*

- [1] : Joël Charre, 1997, Dessine- moi un climat Que penser du diagramme ombrotgermique ?, Mapped Monde 2/1997, P29-P31.
- [2] : Roger Coque, 1998, Géomorphologie, Edition 5, PP 502.
- [3] : H. Chamayou, 1993, Eléments de Bioclimatologie, Agence de coopération culturelle et Technique avec la collaboration du Consiel international de la langue française, PP 283.
- [4] : Jacques Kessler, Alain Perrier et Christian de Pescara, 1990, La Météo agricole, PP 318.
- [5] : Richard G. Allen, Luis S. Pereira, Dirk Raes et Martin Smith, 1998, «Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements, FAO Irrigation and drainage, N° 56
- [6] : Turc, L. 1961, Evaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle, P13-P49
- [7] : PNUD, 1987, Erosion et transport solide en zones semi-arides Projet RAB, PP152
- [8] : Albinet, M. & Marggat, J., 1970, Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine, Bull, BRGM, 2° série, 3(4), P13-P22.
- [9] : Belkhiri K., 2005, Contrôle Rapide des Structures en Relation avec les Risques, mémoire de magister Département d'hydraulique Université Hadj Lakhder Batna, PP116.
- [10] : VILLA Jean Marie, 1980, La chaîne Alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens. Thèse de doctorat sciences naturelles université pierre et Marie Curie Paris VI, PP 651
- [11] : DERGHAL TAREK, 2013, Etude Hydrodynamique De La Plaine de Ain Djasser (EST ALGERIEN), Thèse de Master II En Hydrogéologie Département Des Sciences De La Terre Et De L'Univers, Université Hadj Lakhder Batna, PP60.
- [12] : LEBCHEK SOUMIA, 2013, Etude Hydrodynamique De La Plaine de Zana El Beida (Est Algérien), Thèse de Master II En Hydrogéologie Département Des Sciences De La Terre Et De L'Univers, Université Hadj Lakhder Batna, PP 65.
- [13] : Belaaloui Kamel, 1993, Irrigation par aspiration à partir de deux forages « F2 F3 Ain Djasser, Diplôme d'Ingénieur d'Etat, Département d'Hydraulique, Université de Batna, PP57.

## *Référence Bibliographie*

- [14] : Amiour Mehdi, 1999, Etude de l'Etat Hydro dynamique de l'aquifère alluvionnaire de la plaine d'El Madher (conséquences de la sécheresse), Diplôme de Magister, Département d'Hydraulique, Université de Batna, PP 61.
- [15] : ROBERT P.CHAPUIS, 2007, Guide des essais de pompage et leurs interprétations le service de l'aménagement et des eaux souterraines du ministère de développement durable, Québec, PP111.
- [16] : Fezza Mohamed Mustafa, 2002, Exploitation des eaux souterraines à l'aide de forage : suivi du forage de Zana à Batna, Master, Département d'Hydraulique, Université de Batna PP103.
- [17] : Bodelle J., Margat J., 1980, L'eau souterraine en France paris : Masson, PP 207.
- [18] : Bourdarot G., 1996, Essais de puits : méthodes d'interprétation, Publication de l'institut français du pétrole paris, Edition TECHNIP, PP 350.
- [19] : Bremond R., 1965, Contribution à l'interprétation des mesures de débit et de rabattement dans les nappes souterraines, paris : Gauthier-Villars, PP118.
- [20] : Carlier, 1986, Hydraulique générale et appliqué, collection de la direction des études et recherches d'électricité de France, Paris : Eyrolles, PP 567.
- [21] : Cassan Maurice, 1980, Aide-mémoire d'hydraulique souterraine, Paris : presse des ponts et chaussée, PP193.
- [22] : Cassan Maurice, 1980, Les essais d'eau dans la reconnaissance des sols, Paris : Eyrolles, PP275.
- [23] : Cassan Maurice, 1988, Les essais in-situ en mécanique des sols.Tome1 : réalisation et interprétation, Paris : Eyrolles, PP 587.
- [24] : Castany Gilbert, 1982, Principe et méthode de l'hydrogéologie, Dunod Université, Paris : Bordas, PP237.
- [25] : Daviau F., 1986, Interprétation des essais de puits, les méthodes nouvelles, publication de l'institut français du pétrole, Paris : Edition TECHNIP, PP173.
- [26] : Genetier Bernard, 1984, La pratique des pompages d'essai en hydrogéologie, manuels & méthodes N°9, Orléans : BRGM, PP132.

## *Référence Bibliographie*

[27] : DALILA ZIANI, 2009, Impact de la pollution agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraine De l'aquifère de Ain Djasser, PP129.

[28] : DIB IMENE, 2009, l'impact de l'activité agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de la plaine de Gadaine-Ain yaghout (Est Algérien), Thèse de Magister, Département d'hydraulique Université Hadj Lakhder Batna, PP127.

[29] : Debieche T.H., 2002, Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle, Thèse de doctorat, Université de France comté, PP199.

[30] : DJEMMAL SAMIR, 2001, L'EFFET DE LA SEBKHA SUR LA QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES DANS LA PARTIE SUD-EST DE SETIF CAS DU GUIDJAL, PP74.

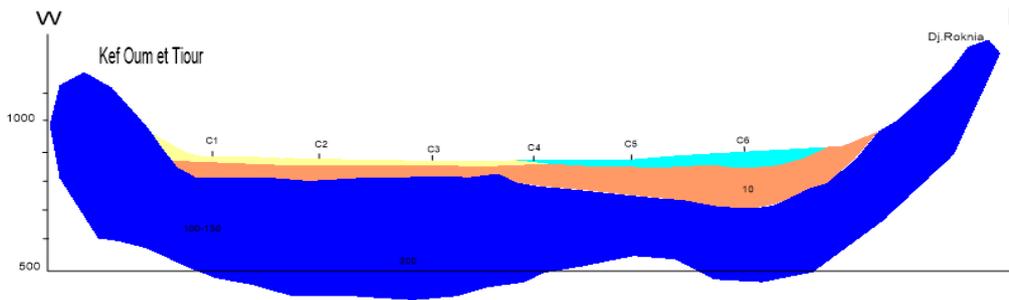
[31] : ATHAMENA M, 2006, Etude des ressources thermales de l'ensemble Sud sétifien. Algérie, Mémoire Magistère Université Batna, PP161.

[32] : JJ. Collin, 2004, Les eaux souterraines, connaissance et gestion, Edition BRGM, PP176.

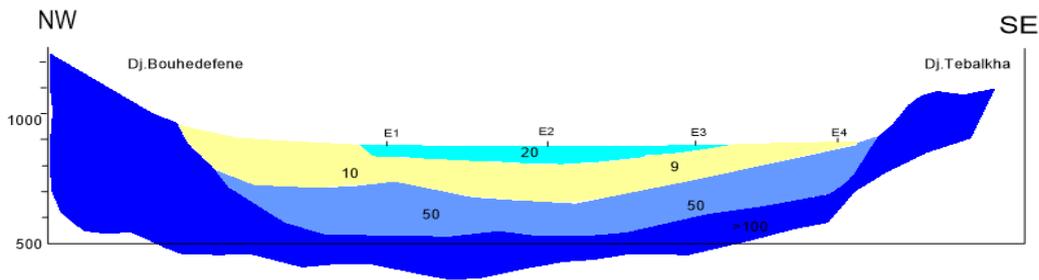
[33]: G.P. Kruseman, N.A. De Ridder, 1973, Analysis and Evaluation of Pumping Test Data, ILRI Wageningen, 2<sup>nd</sup> edition, PP228.

# ANNEXES

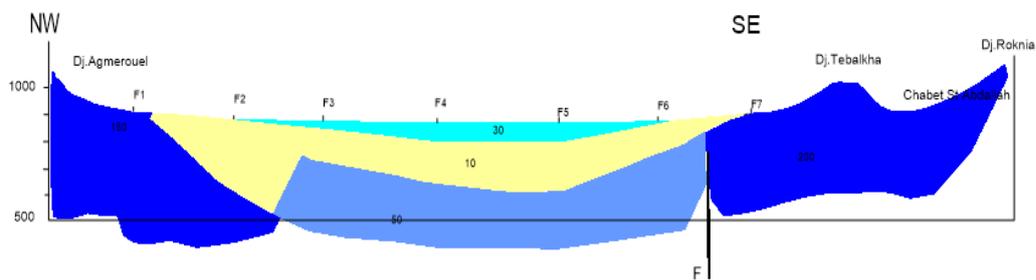
## Les coupes géologiques selon les profils géo-électriques



Coupe géologique selon le profile géo-électrique C

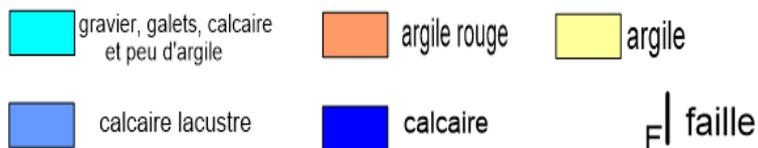


Coupe géologique selon le profile géo-électrique E

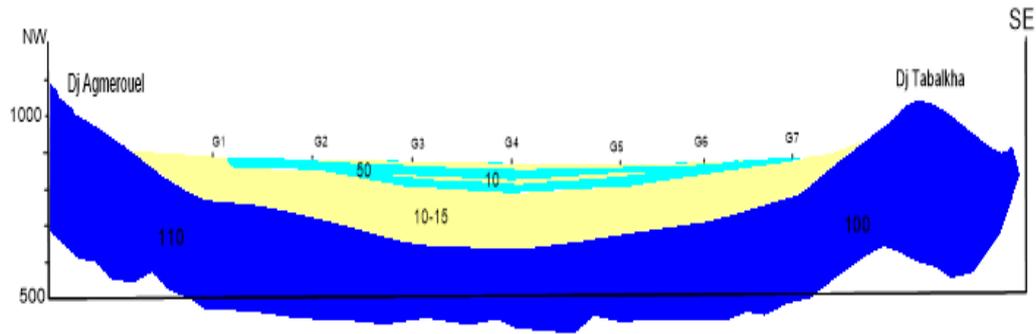


Coupe géologique selon le profile géo-électrique F

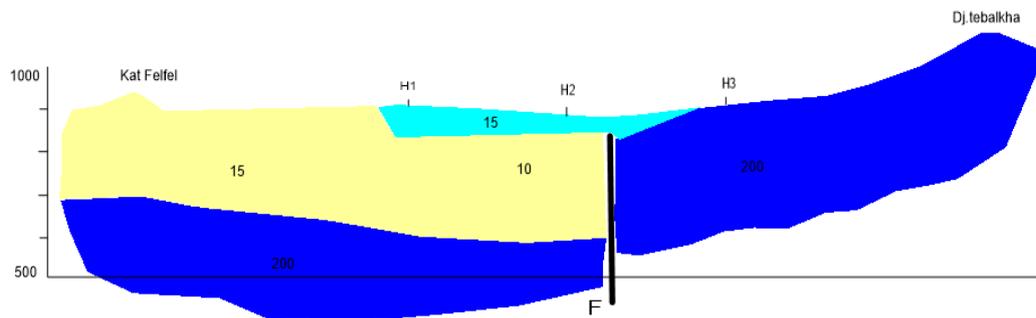
### Légende :



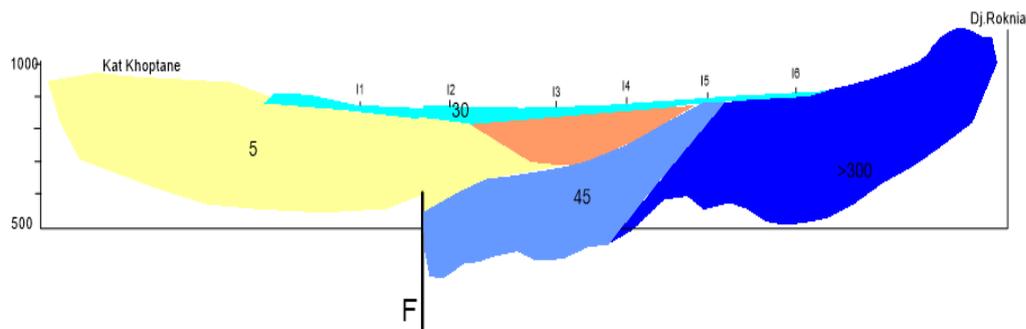
# ANNEXES



**Coupe géologique selon le profile géo-électrique G**



**Coupe géologique selon le profile géo-électrique H**



**Coupe géologique selon le profile géo-électrique I**

**Légende :**

- |   |  |  |
|---|--|--|
|  gravier, galets, calcaire et peu d'argile |  argile rouge |  argile |
|  calcaire lacustre                         |  calcaire     |  faille |

## ANNEXES

### Points d'inventaire :

| Forage | Nom                         | X                | Y                | X         | Y        | Z   | T°   | Cond (µs) | Sal (0/00) | Tds (mg/l) | NS    | NP     |
|--------|-----------------------------|------------------|------------------|-----------|----------|-----|------|-----------|------------|------------|-------|--------|
| 1      | Ouazani Laid                | N35° 48' 23,783" | E06°00' 16,636"  | 798,66068 | 283,7017 | 902 | 17,9 | 930       | 0,5        | 449        | 20    | 882    |
| 2      | Bougroura Said              | N35° 47' 49,176" | E06°00' 33,628"  | 799,1231  | 282,6506 | 928 | 18,2 | 834       | 0,4        | 404        | 48,5  | 879,5  |
| 3      | Keloula Messoud             | N35° 47' 36,075" | E05°59' 30,272"  | 797,54733 | 282,1934 | 867 | 16,5 | 941       | 0,5        | 449        | 21,5  | 845,5  |
| 4      | Ben Dhib Ahmed              | N35° 47' 32,119" | E05°58' 44,392"  | 796,40039 | 282,0328 | 868 | 18,5 | 907       | 0,4        | 439        | 22,5  | 845,5  |
| 5      | Lahssen Salh                | N35° 47' 13,717" | E05°57' 49,001"  | 795,0297  | 281,4195 | 867 | 22,7 | 1156      | 0,6        | 566        | 23    | 844    |
| 6      | Ben Hassir Bakir            | N35° 48' 45,810" | E05°56' 31,656"  | 792,99473 | 284,1904 | 876 | 19,7 | 795       | 0,4        | 381        | 36,5  | 839,5  |
| 7      | Moquée Etakoua (Ziza Msika) | N35° 48' 45,893" | E05°57' 06,402"  | 793,86615 | 284,222  | 871 | 19,5 | 816       | 0,4        | 392        | 40,5  | 830,5  |
| 8      | Forage AEP AIN DJASSER      | N35° 49' 55,299" | E05°57' 43,567"  | 794,72677 | 286,3902 | 864 | 23,5 | 1362      | 0,7        | 665        | 44    | 820    |
| 9      | Ben Slimane Abdeallah       | N35° 50' 36,223" | E05°57' 44,767 " | 794,71467 | 287,6513 | 871 | 25,9 | 1607      | 0,5        | 797        | 51,5  | 819,5  |
| 10     | Amrane Merzouk              | N35° 51' 33,063" | E05°57' 05,535 " | 793,67262 | 289,3686 | 915 | 24,4 | 2,55ms    | 1,3        | 1260       | 64,5  | 850,5  |
| 11     | Litim Elhadj                | N35° 52' 09,236" | E06°02' 34,490"  | 801,88036 | 290,7615 | 852 | 19,8 | 3,14ms    | 1,6        | 1520       | 22    | 830    |
| 12     | Ben Ali Moussa              | N35° 51' 31,127" | E06°02' 06,417"  | 801,21691 | 289,564  | 868 | -    | -         | -          | -          | 21,8  | 846,2  |
| 13     | Lehssen Houssine            | N35° 51' 03,235" | E06°00' 53,167"  | 799,40997 | 288,6425 | 870 | 22,5 | 2,56ms    | 1,3        | 1226       | 23,5  | 846,5  |
| 14     | Ben Ali Ahmed               | N35°50' 33,229"  | E06°00' 45,919"  | 799,25968 | 287,7124 | 875 | -    | -         | -          | -          | 21,9  | 853,1  |
| 15     | Fahem Moussa                | N35°50' 56,190"  | E06°00' 12,875"  | 798,40722 | 288,3913 | 866 | 22,5 | 2,56ms    | 1,4        | 1256       | 24    | 842    |
| 16     | Nekab Saleh                 | N35°51' 10,267"  | E05°59' 31,951"  | 797,3666  | 288,79   | 864 | 21   | 2,26ms    | 1,5        | 1150       | 24,5  | 839,5  |
| 17     | Kerach Aissa Ben Saleh      | N35°51' 03,043"  | E05°59' 27,209"  | 797,25523 | 288,5635 | 866 | 19,2 | 2,63ms    | 1,4        | 1260       | 26    | 840    |
| 18     | Kerach Aissa Ben Ali        | N35°51' 15,815"  | E05°58' 31,454"  | 795,84424 | 288,9097 | 867 | 23,2 | 2,37ms    | 1,1        | 1160       | 53    | 814    |
| 19     | Aarouni Lhadj               | N35°52' 35,260"  | E05°57' 44,370"  | 794,58199 | 291,3163 | 883 | 22,2 | 2,68ms    | 1,1        | 1080       | 53,14 | 829,86 |
| 20     | Ben Hasira Mohammed         | N35°48' 49,367"  | E05°56' 19,781"  | 792,69323 | 284,29   | 888 | 22   | 793       | 0,4        | 383        | 48    | 840    |
| 21     | AEP                         | N35°48' 38,285"  | E05°56' 01,035"  | 792,23437 | 283,9331 | 885 | 21,9 | 810       | 0,4        | 391        | 35    | 850    |

## ANNEXES

|    |                                    |                 |                 |           |          |     |      |      |     |     |       |        |
|----|------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------|----------|-----|------|------|-----|-----|-------|--------|
| 22 | Merah Bachir                       | N35°49' 13,496" | E05°54' 52,167" | 790,47118 | 284,9602 | 899 | 22   | 800  | 0,4 | 385 | 30    | 869    |
| 23 | Merah Leala                        | N35°49' 11,752" | E05°54' 15,258" | 789,54726 | 284,876  | 889 | 22,1 | 890  | 0,4 | 429 | 24    | 865    |
| 24 | Merah Amar                         | N35°48' 05,435" | E05°53' 35,724" | 788,62266 | 282,8014 | 894 | 21,9 | 900  | 0,4 | 435 | 23,9  | 870,1  |
| 25 | Khenfoug Lekhmissi                 | N35°47' 58,514" | E05°54' 08,113" | 789,44218 | 282,615  | 885 | 22,2 | 878  | 0,4 | 425 | 22,4  | 862,6  |
| 26 | Bouhnef<br>mohammed Ben<br>Djmouai | N35°48' 05,175" | E05°54' 23,946" | 789,83263 | 282,8331 | 881 | 22,5 | 915  | 0,4 | 444 | 22,9  | 858,1  |
| 27 | Moquée<br>Enour(elhassi)           | N35°48' 00,643" | E05°56' 18,946" | 792,72216 | 282,789  | 881 | 22,3 | 816  | 0,4 | 394 | 31    | 850    |
| 28 | Bougfa Esaleh                      | N35°47' 32,628" | E05°56' 06,736" | 792,4445  | 281,9162 | 877 | 21,9 | 744  | 0,4 | 357 | 24,5  | 852,5  |
| 29 | Fercha Abd Elaziz                  | N35°47' 16,574" | E05°56' 53,289" | 793,62894 | 281,4608 | 872 | 22,1 | 824  | 0,4 | 398 | 23    | 849    |
| 30 | Bougffa Moussa                     | N35°46' 52,830" | E05°57' 06,165" | 793,9764  | 280,7404 | 876 | 21,9 | 778  | 0,4 | 374 | 23,7  | 852,3  |
| 31 | Beroual Samir                      | N35°46' 15,957" | E05°57' 43,191" | 794,94347 | 279,6361 | 892 | 22,1 | 598  | 0,3 | 288 | 22,05 | 869,95 |
| 32 | Gehtar Ahmed                       | N35°45' 38,905" | E05°57' 52,821" | 795,22336 | 278,5033 | 929 | 21,9 | 1189 | 0,6 | 576 | 22,1  | 906,9  |
| 33 | Lakhal Salam                       | N35°46' 00,631" | E05°58' 03,365" | 795,46557 | 279,1812 | 904 | 22   | 1814 | 0,9 | 893 | 22    | 882    |
| 34 | Moquée Etaouba<br>(braoula)        | N35°46' 51,484" | E05°57' 33,695" | 794,66857 | 280,7221 | 874 | 21,9 | 702  | 0,3 | 337 | 23    | 851    |
| 35 | Boucharb Maamar                    | N35°47' 27,354" | E05°57' 08,232" | 793,99278 | 281,8052 | 869 | 21,8 | 817  | 0,4 | 393 | 22    | 847    |

## ANNEXES

### Points d'inventaire juin 2013 :

| x        | y        | np     | cond | sal | tds  |
|----------|----------|--------|------|-----|------|
| 797,4079 | 282,1771 | 851,1  | -    | -   | -    |
| 796,4886 | 281,955  | 842,45 | -    | -   | -    |
| 794,6146 | 280,6129 | 844,7  | 750  | 0,4 | 316  |
| 795,507  | 280,6674 | 843,8  | 741  | 0,4 | 356  |
| 795,4134 | 278,8147 | 856,1  | 1162 | 0,6 | 566  |
| 794,9481 | 278,6789 | 858,2  | 796  | 0,4 | 383  |
| 794,1425 | 280,7574 | 844,8  | -    | -   | -    |
| 792,9047 | 281,647  | 845,7  | 1065 | 0,5 | 514  |
| 793,4679 | 282,7601 | 844,6  | 893  | 0,4 | 437  |
| 792,0099 | 283,4823 | 848,55 | 829  | 0,4 | 398  |
| 793,0113 | 284,1783 | 848,9  | 817  | 0,4 | 395  |
| 794,1784 | 285,6968 | 845,85 | 860  | 0,4 | 413  |
| 798,2151 | 287,2661 | 847,6  | 7180 | 3,9 | 3820 |
| 796,4251 | 287,7173 | 845,6  | 7851 | 0,9 | 910  |
| 796,5466 | 288,3595 | 853,3  | 1533 | 0,8 | 749  |
| 795,619  | 289,5983 | 848,85 | -    | -   | -    |
| 796,2496 | 289,8014 | 852,65 | 2260 | 1,2 | 1130 |
| 796,5665 | 288,9613 | 855,5  | -    | -   | -    |
| 798,0185 | 289,2169 | 857,35 | 2420 | 1,2 | 1200 |
| 798,7301 | 289,2503 | 852,8  | 3470 | 1,8 | 1760 |
| 799,5745 | 289,5102 | 848,07 | -    | -   | -    |
| 799,096  | 288,7479 | 846,8  | 4640 | 2,5 | 2420 |
| 799,408  | 288,2838 | 850,7  | 3250 | 1,2 | 1640 |
| 798,8878 | 288,6699 | 845,7  | 2510 | 1,3 | 1250 |
| 798,0352 | 288,4992 | 843,9  | 2410 | 1,2 | 1200 |
| 797,7487 | 287,9192 | 844,66 | 4030 | 2,4 | 2070 |
| 798,2193 | 287,9561 | 848,75 | 4180 | 2,1 | 2090 |
| 798,9943 | 291,8147 | 857,9  | 1441 | 0,7 | 695  |
| 798,8706 | 290,9505 | 857,25 | 1420 | 0,7 | 693  |

**Tableau Valeurs de perméabilité selon G. Castagny, 1992.**

| k en m/s               | 10                 | 1 | 10 <sup>-1</sup> | 10 <sup>-2</sup> | 10 <sup>-3</sup>         | 10 <sup>-4</sup> | 10 <sup>-5</sup> | 10 <sup>-6</sup> | 10 <sup>-7</sup> | 10 <sup>-8</sup> | 10 <sup>-9</sup> | 10 <sup>-10</sup> | 10 <sup>-11</sup> |
|------------------------|--------------------|---|------------------|------------------|--------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| Granulométrie homogène | gravier pur        |   |                  | sable pur        |                          | sable très fin   |                  |                  | limons           |                  | argile           |                   |                   |
| Granulométrie variée   | gravier gros&moy   |   | gravier et sable |                  | sable et limons argileux |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                   |                   |
| degrés de perméabilité | TRES BONNE - BONNE |   |                  |                  | MAUVAISE                 |                  |                  |                  |                  |                  | NULLE            |                   |                   |
| type de formation      | PERMEABLE          |   |                  |                  | SEMI-PERMEABLE           |                  |                  |                  |                  |                  | IMPERMEABLE      |                   |                   |

## ANNEXES

### Forage AEP d'El Hassi:

| Essai de pompage 1    | X=N35°48'38.285" |        | y=E05°56'01.035" |       | z=885 | Ns= 43  | Profondeur=120m |          |      |
|-----------------------|------------------|--------|------------------|-------|-------|---------|-----------------|----------|------|
| Forage AEP d'El Hassi | Descente         |        |                  |       |       | Remonté |                 |          |      |
| date                  | Heure            | Minute | prof (m)         | s (m) | Q     | Heure   | minute          | Prof (m) | S(m) |
| 30/04/2015            | 8h:30            | 0      | 43               | 0     | 6 l/s | 11h:30  | 0               | 43,18    | 0,18 |
|                       |                  | 0.5    | 43,01            | 0,01  |       |         | 0,5             | 43,15    | 0,15 |
|                       |                  | 1      | 43,01            | 0,01  |       |         | 1               | 43,1     | 0,1  |
|                       |                  | 1.5    | 43,03            | 0,03  |       |         | 2               | 43,09    | 0,09 |
|                       |                  | 2      | 43,05            | 0,05  |       |         | 3               | 43,09    | 0,09 |
|                       |                  | 2.5    | 43,05            | 0,05  |       |         | 4               | 43,09    | 0,09 |
|                       |                  | 3      | 43,07            | 0,07  |       |         | 5               | 43,09    | 0,09 |
|                       |                  | 3.5    | 43,08            | 0,08  |       |         | 6               | 43,09    | 0,09 |
|                       |                  | 4      | 43,08            | 0,08  |       |         | 7               | 43,09    | 0,09 |
|                       |                  | 4.5    | 43,08            | 0,08  |       |         | 8               | 43,09    | 0,09 |
|                       |                  | 5      | 43,1             | 0,1   |       |         | 9               | 43,09    | 0,09 |
|                       |                  | 6      | 43,12            | 0,12  |       |         | 10              | 43,09    | 0,09 |
|                       |                  | 7      | 43,12            | 0,12  |       |         | 11              | 43,09    | 0,09 |
|                       |                  | 8      | 43,125           | 0,125 |       |         | 12              | 43,09    | 0,09 |
|                       |                  | 9      | 43,126           | 0,126 |       |         | 13              | 43,09    | 0,09 |
|                       |                  | 10     | 43,13            | 0,13  |       |         | 14              | 43,09    | 0,09 |
|                       |                  | 11     | 43,13            | 0,13  |       |         | 15              | 43,09    | 0,09 |
|                       |                  | 12     | 43,135           | 0,135 |       |         | 16              | 43,09    | 0,09 |
|                       |                  | 13     | 43,139           | 0,139 |       |         | 17              | 43,09    | 0,09 |
|                       |                  | 14     | 43,14            | 0,14  |       |         | 18              | 43,09    | 0,09 |
|                       |                  | 15     | 43,145           | 0,145 |       |         | 19              | 43,09    | 0,09 |

## ANNEXES

|  |  |     |        |       |       |  |     |       |      |
|--|--|-----|--------|-------|-------|--|-----|-------|------|
|  |  | 16  | 43,148 | 0,148 |       |  | 20  | 43,09 | 0,09 |
|  |  | 17  | 43,148 | 0,148 |       |  | 22  | 43,09 | 0,09 |
|  |  | 18  | 43,15  | 0,15  |       |  | 24  | 43,09 | 0,08 |
|  |  | 19  | 43,15  | 0,15  |       |  | 26  | 43,08 | 0,07 |
|  |  | 20  | 43,153 | 0,153 |       |  | 28  | 43,07 | 0,04 |
|  |  | 21  | 43,153 | 0,153 |       |  | 30  | 43,04 | 0,04 |
|  |  | 22  | 43,159 | 0,159 |       |  | 35  | 43,04 | 0,04 |
|  |  | 23  | 43,16  | 0,16  |       |  | 40  | 43,04 | 0,03 |
|  |  | 24  | 43,16  | 0,16  |       |  | 45  | 43,03 | 0,03 |
|  |  | 25  | 43,165 | 0,165 |       |  | 50  | 43,03 | 0,03 |
|  |  | 30  | 43,165 | 0,165 |       |  | 55  | 43,03 | 0,02 |
|  |  | 35  | 43,17  | 0,17  |       |  | 60  | 43,02 | 0,02 |
|  |  | 40  | 43,17  | 0,17  |       |  | 70  | 43,02 | 0,01 |
|  |  | 45  | 43,175 | 0,175 | 6 l/s |  | 80  | 43,01 | 0,01 |
|  |  | 50  | 43,175 | 0,175 |       |  | 90  | 43,01 | 0,01 |
|  |  | 55  | 43,178 | 0,178 |       |  | 120 | 43,01 | 0,01 |
|  |  | 60  | 43,178 | 0,178 |       |  | 150 | 43,01 | 0    |
|  |  | 70  | 43,178 | 0,178 |       |  | 180 | 43    | 0    |
|  |  | 80  | 43,179 | 0,179 |       |  | 240 | 43    | 0    |
|  |  | 90  | 43,179 | 0,179 |       |  | 300 | 43    | 0    |
|  |  | 100 | 43,179 | 0,179 |       |  |     |       |      |
|  |  | 110 | 43,18  | 0,18  |       |  |     |       |      |
|  |  | 120 | 43,18  | 0,18  |       |  |     |       |      |
|  |  | 130 | 43,18  | 0,18  |       |  |     |       |      |
|  |  | 140 | 43,18  | 0,18  |       |  |     |       |      |
|  |  | 150 | 43,18  | 0,18  |       |  |     |       |      |
|  |  | 160 | 43,18  | 0,18  |       |  |     |       |      |
|  |  | 170 | 43,18  | 0,18  |       |  |     |       |      |
|  |  | 180 | 43,18  | 0,18  |       |  |     |       |      |

## ANNEXES

### Forage Ben Sliman Ammar:

| Essai de pompage 2      | X=N35°50'36.223'' | y=E05°57'44.767'' | z=871    | Ø=28cm | Ns= 28.20 | Profodeur=70m |        |          |       |
|-------------------------|-------------------|-------------------|----------|--------|-----------|---------------|--------|----------|-------|
| Forage Ben Sliman Ammar | Descente          |                   |          |        |           | Remonté       |        |          |       |
| date                    | Heure             | Minute            | prof (m) | s (m)  | Q         | Heure         | minute | Prof (m) | S(m)  |
| 04/05/2015              | 8h:30             | 0                 | 28,2     | 0      | 7 l/s     | 11h:30        | 0      | 43.26    | 15,06 |
|                         |                   | 0.5               | 33,4     | 5,2    |           |               | 0,5    | 36.10    | 7,9   |
|                         |                   | 1                 | 33,7     | 5,5    |           |               | 1      | 34.92    | 6,72  |
|                         |                   | 1.5               | 34,5     | 6,3    |           |               | 2      | 34.15    | 5,95  |
|                         |                   | 2                 | 35,6     | 7,4    |           |               | 3      | 33.57    | 5,37  |
|                         |                   | 2.5               | 36,5     | 8,3    |           |               | 4      | 33.28    | 5,08  |
|                         |                   | 3                 | 37,4     | 9,2    |           |               | 5      | 33.17    | 4,97  |
|                         |                   | 3.5               | 37,54    | 9,34   |           |               | 6      | 32.78    | 4,58  |
|                         |                   | 4                 | 37,7     | 9,5    |           |               | 7      | 32.15    | 3,95  |
|                         |                   | 4.5               | 37,98    | 9,78   |           |               | 8      | 31.60    | 3,4   |
|                         |                   | 5                 | 38,6     | 10,4   |           |               | 9      | 31.16    | 2,96  |
|                         |                   | 6                 | 39,41    | 11,21  |           |               | 10     | 30.92    | 2,72  |
|                         |                   | 7                 | 39,5     | 11,3   |           |               | 11     | 30.68    | 2,48  |
|                         |                   | 8                 | 39,9     | 11,7   |           |               | 12     | 30.49    | 2,29  |
|                         |                   | 9                 | 40,4     | 12,2   |           |               | 13     | 30.32    | 2,12  |
|                         |                   | 10                | 40,8     | 12,6   |           |               | 14     | 30.18    | 1,98  |
|                         |                   | 11                | 41       | 12,8   |           |               | 15     | 30.07    | 1,87  |
|                         |                   | 12                | 41,18    | 12,98  |           |               | 16     | 29.97    | 1,77  |
|                         |                   | 13                | 41,35    | 13,15  |           |               | 17     | 29.91    | 1,71  |
|                         |                   | 14                | 41,48    | 13,28  |           |               | 18     | 29.85    | 1,65  |

## ANNEXES

|  |  |     |       |       |  |  |     |       |      |
|--|--|-----|-------|-------|--|--|-----|-------|------|
|  |  | 15  | 41,63 | 13,43 |  |  | 19  | 29.80 | 1,6  |
|  |  | 16  | 41,76 | 13,56 |  |  | 20  | 29.75 | 1,55 |
|  |  | 17  | 41,85 | 13,65 |  |  | 22  | 29.67 | 1,47 |
|  |  | 18  | 41,92 | 13,72 |  |  | 24  | 29.60 | 1,4  |
|  |  | 19  | 41,98 | 13,78 |  |  | 26  | 29.54 | 1,34 |
|  |  | 20  | 42,05 | 13,85 |  |  | 28  | 29.50 | 1,3  |
|  |  | 21  | 42,12 | 13,92 |  |  | 30  | 29.45 | 1,25 |
|  |  | 22  | 42.19 | 13,99 |  |  | 35  | 29.37 | 1,17 |
|  |  | 23  | 42.26 | 14,06 |  |  | 40  | 29.30 | 1,1  |
|  |  | 24  | 42.30 | 14,1  |  |  | 45  | 29.25 | 1,05 |
|  |  | 25  | 42.36 | 14,16 |  |  | 50  | 29.20 | 1    |
|  |  | 30  | 42.55 | 14,35 |  |  | 55  | 29.17 | 0,97 |
|  |  | 35  | 42.66 | 14,46 |  |  | 60  | 29.15 | 0,95 |
|  |  | 40  | 42.76 | 14,56 |  |  | 70  | 29.02 | 0,82 |
|  |  | 45  | 42.91 | 14,71 |  |  | 80  | 28.96 | 0,76 |
|  |  | 50  | 43    | 14,8  |  |  | 90  | 28.71 | 0,51 |
|  |  | 55  | 43.10 | 14,9  |  |  | 120 | 28.46 | 0,26 |
|  |  | 60  | 43.20 | 15    |  |  | 150 | 28.20 | 0    |
|  |  | 70  | 43.30 | 15,1  |  |  | 180 | 28.20 | 0    |
|  |  | 80  | 43.33 | 15,13 |  |  | 240 | 28.20 | 0    |
|  |  | 90  | 43.35 | 15,15 |  |  | 300 |       |      |
|  |  | 100 | 43.36 | 15,16 |  |  |     |       |      |
|  |  | 110 | 43.26 | 15,06 |  |  |     |       |      |
|  |  | 120 | 43.26 | 15,06 |  |  |     |       |      |
|  |  | 130 | 43.26 | 15,06 |  |  |     |       |      |
|  |  | 140 | 43.26 | 15,06 |  |  |     |       |      |
|  |  | 150 | 43.26 | 15,06 |  |  |     |       |      |
|  |  | 160 | 43.26 |       |  |  |     |       |      |

## ANNEXES

### Forage Gehtar Ammar:

| Essai de pompage 3  | X=N35°47'08.89" | y=E05°57'06.06" | z=873  | Ø=34cm   | Ns= 33.94 | Profondeur=80m |        |        |          |       |
|---------------------|-----------------|-----------------|--------|----------|-----------|----------------|--------|--------|----------|-------|
| Forage Gehtar ammar | Descente        |                 |        |          |           | Remonté        |        |        |          |       |
|                     | date            | Heure           | Minute | prof (m) | s (m)     | Q              | Heure  | minute | Prof (m) | S(m)  |
| 05/05/2015          | 10h:00          | 0               | 33.94  | 0        |           |                | 13h:00 | 0      | 63.53    | 29,59 |
|                     |                 | 0.5             | 37.68  | 3,74     |           |                |        | 0,5    | 63.53    | 29,59 |
|                     |                 | 1               | 37.96  | 4,02     |           |                |        | 1      | 49.50    | 15,56 |
|                     |                 | 1.5             | 38.80  | 4,86     |           |                |        | 2      | 45.7     | 11,76 |
|                     |                 | 2               | 40.20  | 6,26     |           |                |        | 3      | 43.55    | 9,61  |
|                     |                 | 2.5             | 41.96  | 8,02     |           |                |        | 4      | 41.52    | 7,58  |
|                     |                 | 3               | 43.89  | 9,95     |           |                |        | 5      | 40.30    | 6,36  |
|                     |                 | 3.5             | 45.50  | 11,56    |           |                |        | 6      | 40.21    | 6,27  |
|                     |                 | 4               | 46.60  | 12,66    | 8l/s      |                |        | 7      | 39.70    | 5,76  |
|                     |                 | 4.5             | 47.95  | 14,01    |           |                |        | 8      | 38.40    | 4,46  |
|                     |                 | 5               | 49.10  | 15,16    |           |                |        | 9      | 38       | 4,06  |
|                     |                 | 6               | 52.29  | 18,35    |           |                |        | 10     | 37.83    | 3,89  |
|                     |                 | 7               | 54.93  | 20,99    |           |                |        | 11     | 37.73    | 3,79  |
|                     |                 | 8               | 57.20  | 23,26    |           |                |        | 12     | 37.60    | 3,66  |
|                     |                 | 9               | 59.58  | 25,64    |           |                |        | 13     | 37.35    | 3,41  |
|                     |                 | 10              | 60.15  | 26,21    |           |                |        | 14     | 36.70    | 2,76  |
|                     |                 | 11              | 60.40  | 26,46    |           |                |        | 15     | 36.05    | 2,11  |
|                     |                 | 12              | 60.46  | 26,52    |           |                |        | 16     | 35.75    | 1,81  |
|                     |                 | 13              | 60.58  | 26,64    |           |                |        | 17     | 35.44    | 1,5   |
|                     |                 | 14              | 60.75  | 26,81    |           |                |        | 18     | 35.15    | 1,21  |
|                     |                 | 15              | 60.81  | 26,87    |           |                |        | 19     | 34.86    | 0,92  |

## ANNEXES

|  |  |     |       |       |       |  |     |       |      |
|--|--|-----|-------|-------|-------|--|-----|-------|------|
|  |  | 16  | 61.20 | 27,26 |       |  | 20  | 34.65 | 0,71 |
|  |  | 17  | 61.27 | 27,33 |       |  | 22  | 34.55 | 0,61 |
|  |  | 18  | 61.36 | 27,42 |       |  | 24  | 34.45 | 0,51 |
|  |  | 19  | 61.38 | 27,44 |       |  | 26  | 34.38 | 0,44 |
|  |  | 20  | 61.40 | 27,46 |       |  | 28  | 34.33 | 0,39 |
|  |  | 21  | 61.43 | 27,49 |       |  | 30  | 34.30 | 0,36 |
|  |  | 22  | 61.48 | 27,54 |       |  | 35  | 34.25 | 0,31 |
|  |  | 23  | 61.51 | 27,57 |       |  | 40  | 34.20 | 0,26 |
|  |  | 24  | 61.60 | 27,66 |       |  | 45  | 34.15 | 0,21 |
|  |  | 25  | 61.74 | 27,8  |       |  | 50  | 34.11 | 0,17 |
|  |  | 30  | 61.89 | 27,95 |       |  | 55  | 34.06 | 0,12 |
|  |  | 35  | 62    | 28,06 |       |  | 60  | 34.02 | 0,08 |
|  |  | 40  | 62.36 | 28,42 |       |  | 70  | 33.97 | 0,03 |
|  |  | 45  | 62.46 | 28,52 |       |  | 80  | 33.94 | 0    |
|  |  | 50  | 62.60 | 28,66 |       |  | 90  | 33.94 | 0    |
|  |  | 55  | 63    | 29,06 |       |  | 120 | 33.94 | 0    |
|  |  | 60  | 63.15 | 29,21 | 8 l/s |  | 150 |       |      |
|  |  | 70  | 63.30 | 29,36 |       |  | 180 |       |      |
|  |  | 80  | 63.30 | 29,36 |       |  | 240 |       |      |
|  |  | 90  | 63.36 | 29,42 |       |  | 300 |       |      |
|  |  | 100 | 63.39 | 29,45 |       |  |     |       |      |
|  |  | 110 | 63.45 | 29,51 |       |  |     |       |      |
|  |  | 120 | 63.52 | 29,58 |       |  |     |       |      |
|  |  | 130 | 63.52 | 29,58 |       |  |     |       |      |
|  |  | 140 | 63.53 | 29,59 |       |  |     |       |      |
|  |  | 150 | 63.53 | 29,59 |       |  |     |       |      |
|  |  | 160 | 63.58 | 29,59 |       |  |     |       |      |
|  |  | 170 | 63.58 | 29,59 |       |  |     |       |      |
|  |  | 180 | 63.58 | 29,59 |       |  |     |       |      |

## ANNEXES

### Forage Guehtar Ammar (piézomètre) :

| Essai de pompage 4  | X=N35°47'08'' | y=E05°57'05.83'' |          | z=874 | Profondeur=90m | Ns= 34.6 | Ø=32cm |          |      |
|---------------------|---------------|------------------|----------|-------|----------------|----------|--------|----------|------|
| Forage Gehtar ammar | Descente      |                  |          |       | Remonté        |          |        |          |      |
| date                | Heure         | Minute           | prof (m) | s (m) | Q              | Heure    | minute | Prof (m) | S(m) |
| 05/05/2015          | 10h:00        | 0                | 34.6     | 0     |                | 13h:00   | 0      |          |      |
|                     |               | 0.5              | 34.62    | 0,02  |                |          | 0,5    |          |      |
|                     |               | 1                | 34.64    | 0,04  |                |          | 1      |          |      |
|                     |               | 1.5              | 34.66    | 0,06  |                |          | 2      |          |      |
|                     |               | 2                | 34.69    | 0,09  |                |          | 3      |          |      |
|                     |               | 2.5              | 34.71    | 0,11  |                |          | 4      |          |      |
|                     |               | 3                | 34.74    | 0,14  |                |          | 5      |          |      |
|                     |               | 3.5              | 34.77    | 0,17  |                |          | 6      |          |      |
|                     |               | 4                | 34.8     | 0,2   |                |          | 7      |          |      |
|                     |               | 4.5              | 34.84    | 0,24  |                |          | 8      |          |      |
|                     |               | 5                | 34.87    | 0,27  |                |          | 9      |          |      |
|                     |               | 6                | 34.93    | 0,33  |                |          | 10     |          |      |
|                     |               | 7                | 34.99    | 0,39  |                |          | 11     |          |      |
|                     |               | 8                | 35.04    | 0,44  |                |          | 12     |          |      |
|                     |               | 9                | 35.10    | 0,5   |                |          | 13     |          |      |
|                     |               | 10               | 35.14    | 0,54  |                |          | 14     |          |      |
|                     |               | 11               | 35.18    | 0,58  |                |          | 15     |          |      |
|                     |               | 12               | 35.23    | 0,63  |                |          | 16     |          |      |
|                     |               | 13               | 35.27    | 0,67  |                |          | 17     |          |      |
|                     |               | 14               | 35.30    | 0,7   |                |          | 18     |          |      |
|                     |               | 15               | 35.33    | 0,73  |                |          | 19     |          |      |

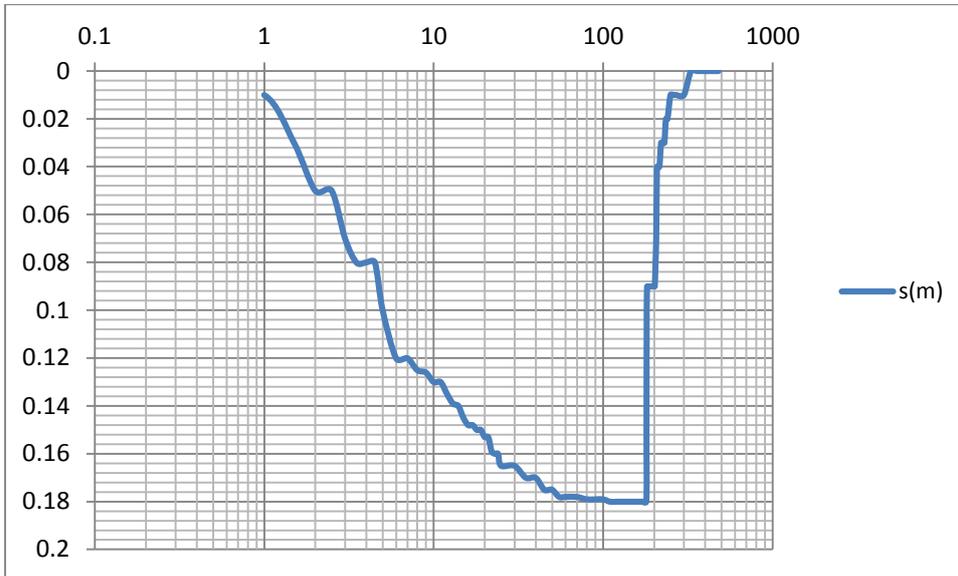
## ANNEXES

|  |  |     |       |      |  |  |     |  |  |
|--|--|-----|-------|------|--|--|-----|--|--|
|  |  | 16  | 35.36 | 0,76 |  |  | 20  |  |  |
|  |  | 17  | 35.39 | 0,79 |  |  | 22  |  |  |
|  |  | 18  | 35.41 | 0,81 |  |  | 24  |  |  |
|  |  | 19  | 35.44 | 0,84 |  |  | 26  |  |  |
|  |  | 20  | 35.46 | 0,86 |  |  | 28  |  |  |
|  |  | 21  | 35.48 | 0,88 |  |  | 30  |  |  |
|  |  | 22  | 35.56 | 0,96 |  |  | 35  |  |  |
|  |  | 23  | 35.58 | 0,98 |  |  | 40  |  |  |
|  |  | 24  | 35.61 | 1,01 |  |  | 45  |  |  |
|  |  | 25  | 35.62 | 1,02 |  |  | 50  |  |  |
|  |  | 30  | 35.65 | 1,05 |  |  | 55  |  |  |
|  |  | 35  | 35.71 | 1,11 |  |  | 60  |  |  |
|  |  | 40  | 35.76 | 1,16 |  |  | 70  |  |  |
|  |  | 45  | 35.83 | 1,23 |  |  | 80  |  |  |
|  |  | 50  | 35.90 | 1,3  |  |  | 90  |  |  |
|  |  | 55  | 35.98 | 1,38 |  |  | 120 |  |  |
|  |  | 60  | 36    | 1,4  |  |  | 150 |  |  |
|  |  | 70  | 36    | 1,4  |  |  | 180 |  |  |
|  |  | 80  | 36    | 1,4  |  |  | 240 |  |  |
|  |  | 90  | 36    | 1,4  |  |  | 300 |  |  |
|  |  | 100 | 36    | 1,4  |  |  |     |  |  |
|  |  | 110 | 36    | 1,4  |  |  |     |  |  |
|  |  | 120 | 36    | 1,4  |  |  |     |  |  |
|  |  | 130 | 36    |      |  |  |     |  |  |
|  |  | 140 |       |      |  |  |     |  |  |

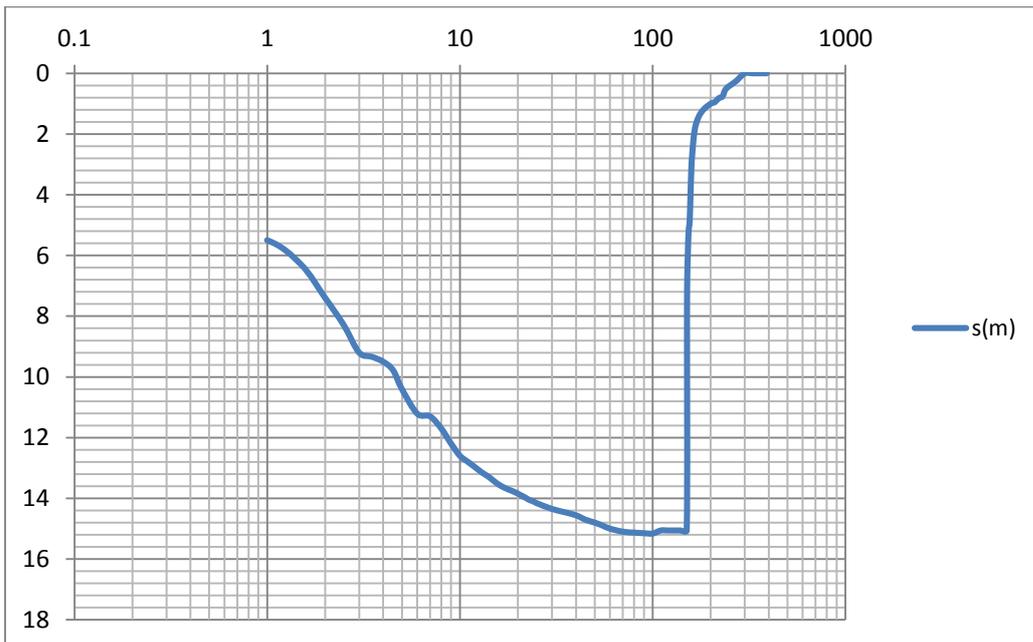
# ANNEXES

## COURBE DE RABATTEMENT :

Forage AEP El Hassi :

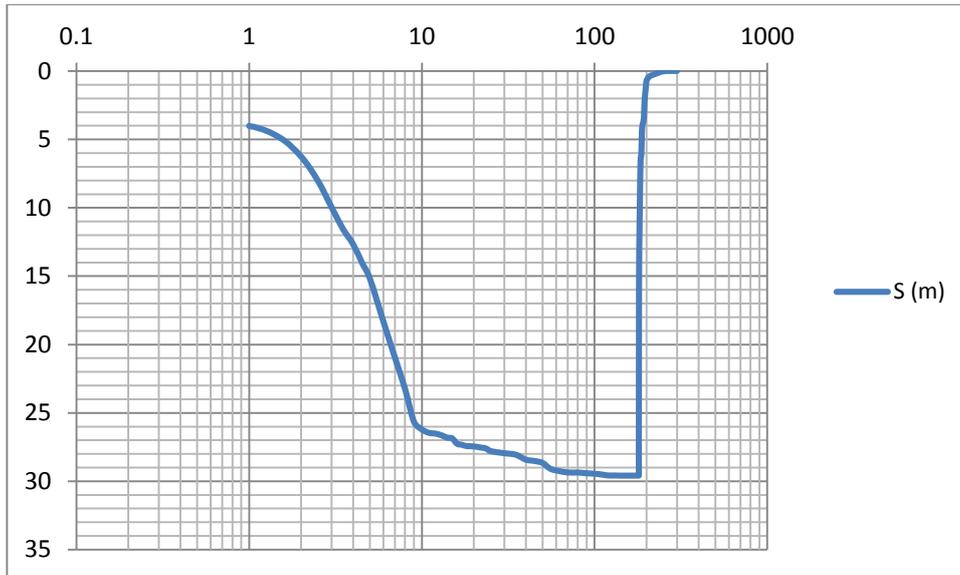


Forage : Ben Sliman.



# ANNEXES

## Forage : Guehtar Ammar



## Forage : Guehtar Ammar(Piezometre)

