



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire



وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة العقيد الحاج لخضر – باتنة
Université Colonel Hadj Lakhdar – Batna

كلية الهندسة
Faculté des sciences de l'ingénieur
قسم: الري :Hydraulique
Département :

MEMOIRE

*En vue d'obtention du Diplôme de magistère
Option : Construction hydrotechnique et environnement.
Intitulé: Mobilisation des ressources hydriques et leurs
impacts sur l'environnement*

THEME

***Impact des retours d'eau d'irrigation sur la ressource en eau
souterraine des régions semi arides, exemple des plaines
de Tébessa, Chéria et El Ma El Abiod, Est Algérien***

Présenté par : ZEREG Salah

Devant le Jury :

| | | | |
|--------------|---------------------------|----------|----------------------|
| Président : | Dr. LAHBARI Nouredine. | MC « A » | Université - Batna |
| Rapporteur : | Dr. ROUABHIA Abdelkader | MC « A » | Université - Tébessa |
| Examineurs: | Dr. BOUDOUKHA Abderrahman | Prof. | Université - Batna |
| | Dr. BAALI Fethi | MC « A » | Université - Tébessa |

Soutenu le :30 juin 2010

الملخص

إن توسيع رقعة الأراضي الصالحة للزراعة المسقية يعتبر من التحديات الكبرى التي تواجه البلدان النامية من أجل تحقيق أمنها الغذائي لكن للسقي جانبيين سلبيين، فهو يستهلك كميات كبيرة من المياه ويمكن أن تساهم بشكل كبير في تصحر بعض المناطق في العالم خاصة منها المناطق الجافة و الشبه الجافة، على المستوى العالمي تمثل نسبة مياه السقي ما يعادل 70 بالمائة من مجموع المياه المجنّدة، وفي بلدنا الجزائر تمثل نسبة 65 بالمائة حسب إحصائيات وزارة الموارد المائية، لكن كل هذه الكمية الهائلة لا تصل كلها للنباتات لأن الكميات التي تضيع معتبرة خاصة عند اتباع أنظمة سقي تقليدية التي تعرف انتشارا واسعا عبر العالم حيث أن الإحصائيات تشير إلى أن ثلثي المساحة المسقية في العالم تستعمل الطرق التقليدية و في الجزائر يمكن أن تكون معظم المساحة تستعمل فيها هذه الطرق، فالكميات التي تضيع ولا يستغلها النبات فهي ناتجة عن التبخر من على سطح التربة أو تسرب عميق خارج منطقة الجذور مع كل الآثار على نوعية المياه التي يمكن أن تنجم عن هذا التسرب عند وصوله إلى طبقات المياه الجوفية، وهذا ما تتوق إليه هذه الدراسة التي تفرّض نفسها لتقدير أثر عودة مياه السقي على نوعية المياه الجوفية لمنطقة شبه جافة و كمثال تم اختيار ثلاث مناطق عبر ولاية تبسة، استنادا على الدراسات المنجزة سابقا التي تمثل الحالة المرجعية و مقارنتها بوضعية حالية باستخدام الوسائل و الطرق الموصى بها في هذا الميدان.

كلمات مفتاح: الهيدروكيمياء، هيدروجيولوجيا، السقي، تبسة، الشريعة، الماء الأبيض

Résumé

L'extension de la surface agricole utile (SAU) par la mise en valeur en irrigué est un défi qui stipule les pays en voie de développement pour palier à leur insécurité alimentaire, mais l'irrigation présente deux inconvénients majeurs pour les milieux aquatiques : elle est grande consommatrice d'eau et peut accélérer la désertification de certaines régions, au niveau mondial, les prélèvements en eau de l'irrigation représentent aujourd'hui environ 70 % des prélèvements totaux, en Algérie sont environ 65%, ce qui est énorme, en outre, toute cette eau ne parvient pas aux plantes car les pertes sont importantes, surtout lorsqu'il s'agit de techniques d'irrigation traditionnelles. Or, celles-ci sont employées sur les deux tiers des surfaces irriguées du globe et sur la quasi-totalité en Algérie, ces pertes sont dues soit à l'évaporation de l'eau à la surface des sols, soit à des retours à la nappe (infiltration) avec toutes les conséquences que peuvent survenir sur la qualité des eaux souterraines d'où l'intérêt de cette étude, qui se propose pour quantifier l'impact des retours d'eau d'irrigation sur la ressource en eau souterraine d'une région semi aride et prend comme exemple trois zones appartiennent à la wilaya de Tébessa, en se basant sur les travaux antérieurs qui représentent l'état initial de la zone et les confronter à un état actuel par l'utilisation des moyens et méthodes les plus connus en la matière.

Mots clés : Hydrochimie, hydrogéologie, irrigation, Tébessa, Chéria, El-Ma-el-Abiod

Abstract

The extension of the agricultural area (UAA) by increasing the irrigation, is a challenge that requires countries to developing their level food security, but irrigation has two major drawbacks to the aquatic environment: It is a major consumer of water and may accelerate the depopulation of certain regions, global water withdrawals for irrigation represent around 70% of total offtake, in Algeria are about 65%, which is huge, moreover, all that water does not reach the plants because the losses are important, especially when it comes to traditional irrigation techniques, however, they are employed on the two-thirds of the irrigated areas of the globe and almost all in Algeria, these losses are due either to evaporation of water from the soil surface, or to return flow for groundwater with all consequences that may arise on quality of this resource, that's why this study interests, which aims to quantify the impact of return flow due to irrigation excess water on groundwater resources of semi arid region and as such belong to three zones in Tébessa, based on previous work that represents initial state and comparing them to a current situation by usin the means an methods best-know in the domain.

Keywords: Hydrochimie, Hydrogeology, irrigation, Tébessa, Cheria, El-Ma-el-Abiod

Remerciements

Au terme de ce mémoire, mes remerciements s'adressent à tous ceux qui, directement ou indirectement, ont contribué à faciliter ma tâche.

Monsieur Dr. ROUABHIA Abdelkader, a bien voulu suivre et orienter ce travail. Ses encouragements et ses recommandations ont permis de finaliser ce projet. Qu'il trouve ici l'expression de ma connaissance, de mon amitié et de ma profonde gratitude.

Monsieur LAHBARI Noredine, a agréé ma demande de présider le Jury d'examen. Qu'il en soit remercié.

Mes remerciements s'adressent également à Messieurs Prof. BOUDOUKHA Abderrahman et Dr. BAALI Fethi d'avoir accepté d'évaluer ce travail.

Je n'oublis pas de remercier mes collègues du haut commissariat au développement de la steppe pour leur soutien, qu'ils m'ont prodigué durant ce parcours.

Et aussi toute l'équipe de la promo et tous amis, pour leur soutien et encouragements. Qu'ils trouvent ici mes meilleures salutations les plus distinguées.

SOMMAIRE

Pages

| | |
|------------------------------------|---|
| Introduction et problématique..... | 1 |
|------------------------------------|---|

CHAPITRE 1 : CADRE GENERAL

| | |
|-----------------------------------|---|
| 1. Introduction..... | 2 |
| 2. Contexte géographique..... | 3 |
| 2.1. Contexte topographique..... | 3 |
| 2.2. Le couvert végétal | 4 |
| 2.3. Contexte économique :..... | 6 |
| 2.4. Contexte Hydrographique..... | 6 |
| 3. Conclusion | 7 |

CHAPITRE 2 : APERÇU GEOLOGIQUE

| | |
|--|----|
| 1. Introduction | 8 |
| 2. Stratigraphie-lithologie | 9 |
| 2.1. Le secondaire..... | 9 |
| 2.1.1. Le Trias..... | 9 |
| 2.2.2. Le Crétacé..... | 9 |
| 2.2.2.1 L'Aptien | 9 |
| 2.2.2.2 Cénomanién..... | 9 |
| 2.2.2.3 Turonien | 9 |
| 2.2.2.4 Le companien | 10 |
| 2.2.2.5 Le Maestrichtien | 10 |
| 2.2. Tertiaire | 10 |
| 2.2.1. Le Danien-Eocène inférieur..... | 10 |
| 2.2.2. Eocène moyen..... | 10 |
| 2.2.3. Miocène | 10 |
| 2.2.3.1. Le Mio-pliocène | 10 |
| 2.2.3.2. Le Pliocène | 11 |
| 2.3. Le Quaternaire | 11 |
| 2.4. Les dépôts actuels..... | 11 |
| 3. Tectonique | 14 |
| 3.1. Première phase..... | 14 |
| 3.2. Deuxième phase..... | 14 |
| Conclusion..... | 18 |

CHAPITRE 3 : CLIMATOLOGIE

| | |
|--|----|
| 1. Introduction..... | 19 |
| 1. Les précipitations | 19 |
| 1.1. Equipement de la région | 19 |
| 1.2. Précipitations annuelles | 19 |
| 1.2.1. Détermination de la lame d'eau moyenne précipitée | 20 |
| 1.3. Précipitations mensuelles | 21 |
| 1.4. La neige | 22 |
| 2. Les températures | 22 |

| | | |
|--------|--|----|
| 2.1. | Température mensuelle : | 23 |
| 2.1.1. | Températures moyennes annuelles | 24 |
| 2.1.2. | Estimation des températures par le modèle de BNEDER | 24 |
| 3. | Diagramme Pluvio-thermique | 25 |
| 4. | l'indice d'aridité | 27 |
| 5. | Evapotranspiration | 28 |
| 5.1. | La formule de Penman : | 29 |
| 5.2. | Formules de FAO-Penman | 29 |
| 5.3. | Formule de L. TURC mensuelle | 32 |
| 5.4. | Formule de THORNTHWAITE | 32 |
| 5.5. | Résultats de calculs de l'ETP | 33 |
| 6. | Bilan hydrologique | 35 |
| 6.1. | Bilan simplifié selon THORNTHWAITE | 35 |
| 6.2. | Résultats de calculs du bilan hydrologique de Thornthwaite | 35 |
| 7. | Conclusion | 40 |

CHAPITRE 4 : HYDROGEOLOGIE

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | Description générale | 41 |
| 2. | Géométrie des aquifères | 45 |
| 2.1. | Plaine de Tébessa : | 45 |
| 2.2. | Plaine d'El Ma El Abiod : | 49 |
| 2.2.1. | Coupe transversale I (Nord-Sud) | 49 |
| 2.2.2. | Coupe transversale II. (Nord-Sud) | 51 |
| 2.2.3. | Coupe transversale III. (Nord-Sud) : | 52 |
| 2.3. | Plateau de Chéria : | 53 |
| 2.3.1. | Formation anti-miocène | 53 |
| 2.3.2. | Recouvrement | 54 |
| 3. | Conditions aux limites | 56 |
| 3.1. | Conditions aux limites de l'aquifère de la plaine de Tébessa | 56 |
| 3.2. | Conditions aux limites des aquifères de la plaine d'El Ma El Abiod : | 56 |
| 3.3. | Conditions aux limites des aquifères du plateau de Chéria : | 56 |
| 4. | Etudes des paramètres hydrodynamiques | 59 |
| 4.1. | Répartition des paramètres hydrodynamiques | 59 |
| 4.1.1. | Carte d'iso-Transmissivités: | 59 |
| 4.1.2. | Carte d'iso-perméabilités : | 60 |
| 5. | Piézométrie | 61 |
| 5.1. | Évolution de la Piézométrie | 61 |
| 5.2. | Etablissement des cartes piézométriques: | 63 |
| 5.3. | Inventaire des points d'eau | 64 |
| 5.4. | Carte piézométrique. Octobre 2002 | 64 |
| 5.5. | Carte piézométrique : Septembre 2003 | 65 |
| 5.6. | Carte piézométrique : Janvier 2009 | 65 |
| 6. | Conclusion : | 69 |

CHAPITRE 5 : RETOURS D'EAU D'IRRIGATION A LA NAPPE

| | |
|--|----|
| Introduction | 70 |
| 1. Evaluation des prélèvements : | 70 |
| 1.1. Pour l'alimentation en eau potable et industrie et autres : | 70 |
| 1.2. Pour l'agriculture (l'irrigation) : | 71 |
| 1.2.1. Occupation des terres : | 71 |
| 1.2.2. Estimations des besoins en eaux des cultures : | 71 |
| 2. Bilan hydrologique et recharge des nappes : | 77 |
| 3. Résultats et interprétations : | 82 |
| 4. Conclusion | 82 |

CHAPITRE 6 : HYDROCHIMIE

| | |
|--|-----|
| 1. Généralités: | 83 |
| 2. Méthodologie: | 84 |
| 2.1. Les Paramètres mesurés in situ: | 84 |
| 2.2. Les paramètres mesures en laboratoire: | 84 |
| 3. Représentation des résultats : | 85 |
| 3.1. Diagrammes | 85 |
| 3.1.1. Diagramme de Piper | 85 |
| 3.1.2. Diagramme de Schoeller-Berkalof | 86 |
| 3.1.3. Diagramme de wilcox | 86 |
| 3.2. Les Cartes | 87 |
| 4. Résultats et interprétation des analyses hydrochimiques | 87 |
| 4.1. les diagrammes | 87 |
| 4.1.1. Le Diagramme de Piper | 87 |
| 4.1.1.1. Secteur de Tébessa | 87 |
| 4.1.1.2. Secteur d'El Ma El Abiod | 89 |
| 4.1.1.3. Secteur de Cheria | 90 |
| 4.1.2. Diagramme de Shoeller-Berkalof | 91 |
| 4.1.2.1. Secteur de Tébessa | 91 |
| 4.1.2.2. Secteur d'El Ma El Abiod et de Cheria | 92 |
| 4.1.3. Diagramme de Wilcox : | 92 |
| 4.1.3.1. Secteur de Tébessa Chéria | 93 |
| 4.1.3.2. Secteur d' El Ma El Abiod | 94 |
| 4.2. Cartes Hydro chimiques : | 95 |
| 4.2.1. Distribution des Nitrates : | 95 |
| 4.2.2. Distribution des sulfates | 97 |
| 4.2.3. Distribution de la conductivité électrique à 25°C et du résidu sec: | 98 |
| 4.2.4. Aptitude des eaux à l'irrigation : | 101 |
| 4.2.4.1. La Salinité : | 101 |
| 4.2.4.2. Le Sodium : | 101 |
| 4.2.4.3. Classifications des eaux destinées à l'irrigation : | 102 |
| 5. Conclusion | 107 |
| Conclusion générale | 108 |

Chapitre : **1**

CADRE GENERAL

Introduction et problématique

L'eau est un bien précieux et le sera certainement encore plus au cours des années à venir. La protection des eaux est donc un véritable défi pour l'ensemble des acteurs concernés.

Depuis plusieurs décennies, la croissance démographique induit une forte augmentation de la consommation d'eau pour ses différents usages, notamment pour l'alimentation en eau potable et l'irrigation. Face à cette consommation croissante, la gestion des eaux souterraines et des eaux superficielles constitue un domaine particulièrement sensible.

L'irrigation présente deux inconvénients majeurs pour les milieux naturels : elle est grande consommatrice d'eau et peut accélérer la désertification de certaines régions par déstockage des réserves. Au niveau mondial, les prélèvements en eau de l'irrigation représentent aujourd'hui environ 70 % des prélèvements totaux, ce qui est énorme, la politique agricole actuelle de l'Algérie, basée sur l'extension de la surface agricole utile (SAU) irriguée a poussé les agriculteurs à mobiliser l'eau souterraine de façon intensive, avec comme corollaire une hausse de la consommation d'engrais naturel et minéral et de produits de traitement des plantes, tous vecteurs de pollution potentielle des eaux souterraines et superficielles.

Le présent travail a pour objectif de chercher l'impact des retours d'eaux d'irrigation par infiltration sur la qualité des eaux souterraines pour trois aquifères différents dans la wilaya de Tébessa à l'Est de l'Algérie, à savoir :

- L'aquifère sableux de la plaine d'El Ma El Abiod
- L'aquifère multicouches du plateau de Chéria
- L'aquifère alluvionnaire de la plaine de Tébessa

En se basant sur les travaux antérieurs qui décrivent les états initiaux des trois aquifères et les comparant à l'état actuel, cela va nous permettre de confirmer ou d'infirmer l'hypothèse d'existence d'éventuel effet des eaux d'irrigation, sur la quantité et la qualité des eaux souterraine.

1. Introduction

Entre la longitude 2°W, 13° 22 E et la latitude 18°N, 37°N s'étend l'Algérie, caractérisée par trois type de climat, à savoir un climat méditerranéen, limité a la bande parallèle à la mer Méditerranée, un climat semi aride dans la zone des hauts plateaux et un climat aride au sud, repoussant ces limites de plus en plus vers le nord, ce qui provoque la désertification progressive des régions jusqu'à la zone semi aride.

A cela s'ajoute une répartition démographique irrégulière, consommatrice d'eau et contribue a la détérioration de la ressource en eaux, en particulier de chacune de ces régions, dans ce travail nous allons situer la région d'étude et présenter à travers une discussion descriptive de ces particularités, pour mieux aborder la problématique qui va suivre.

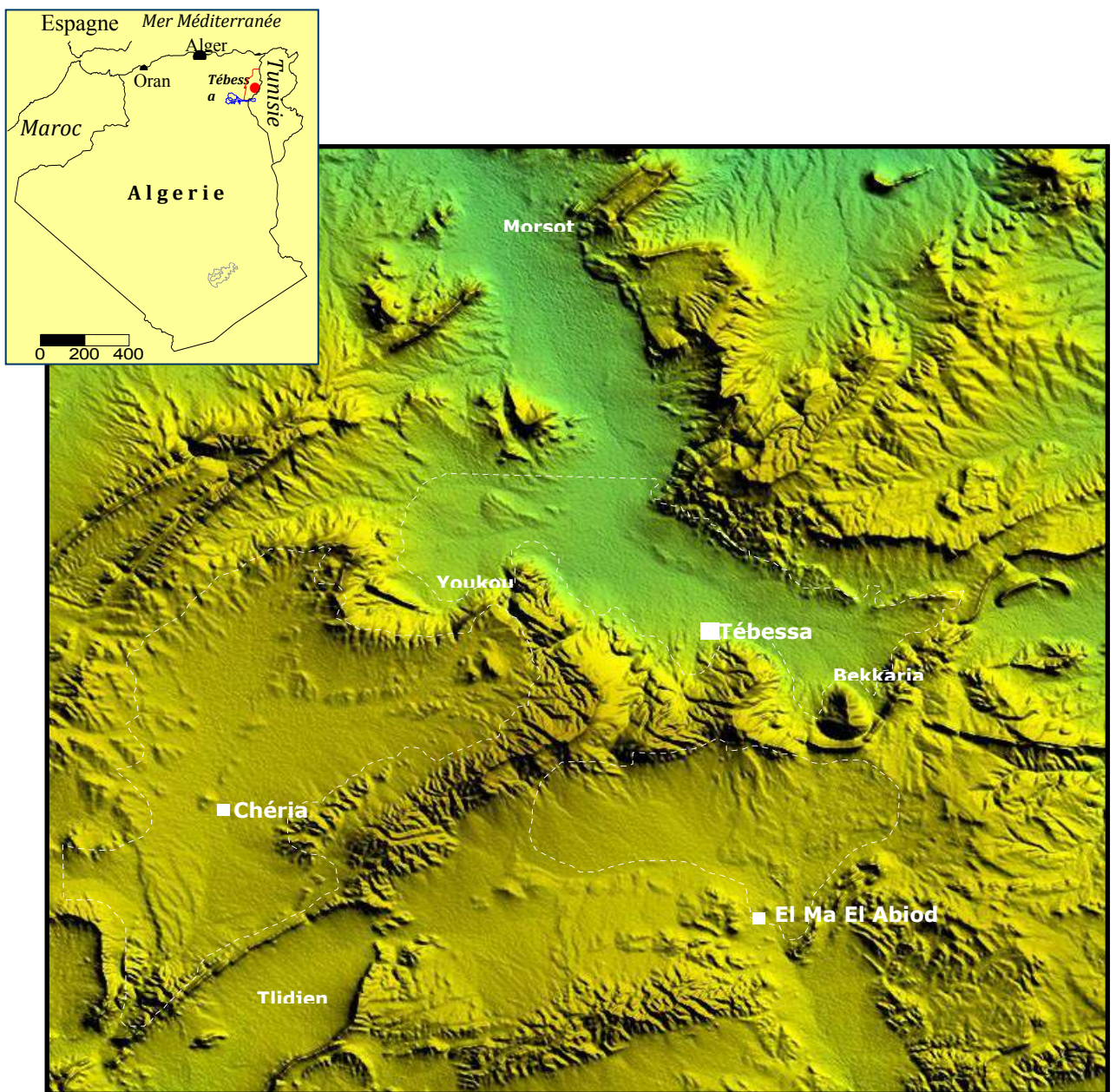


Figure 1.a- Présentation et situations des plaines objet du présent projet

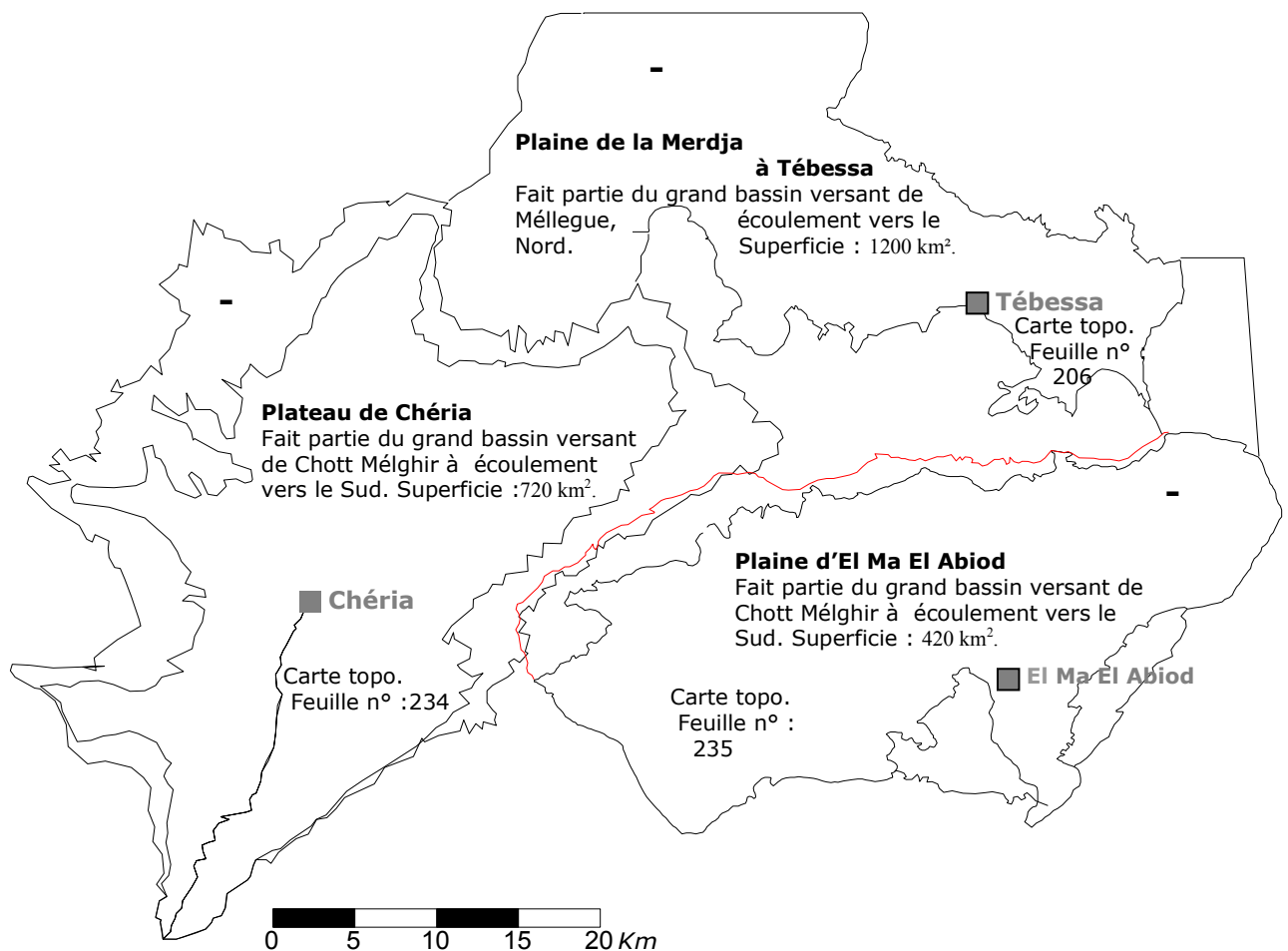


Figure 1-b- Présentation et situations des plaines objet du présent projet

2. Contexte géographique

La région d'étude se situe entre les parallèles 35° 4' 30'' et 35° 40' et entre les méridiens 7° 37' et 8° 20' à l'Est Algérien la ligne de crêtes formée par Dj. Stah, Dj. Doukkane, Dj. Anoual et Dj. Bouroumane constitue la jointure des trois plaines agissant comme ligne de partages des eaux, au sud Ouest on trouve la plaine de Chéria est limitée par Kef Ksar el-aatech, Dj Allouche et Dj. Abtine, au sud Est la plaine d'El-Ma-Labioid se limite par Dj. Boudjellal, au nord on trouve la plaine de Tébessa limitée au nord par les monts de douar Gouray de la commune de Boulhaf Eddir, et à l'Est Djebels Djebissa de la commune de Bikkaria.

2.1. Contexte topographique

La région d'étude, couvre trois plaines, composée a une topographie plus ou moins plate, sous forme de cuvettes juxtaposées et entourées les une aux autres par des massifs montagneux, l'altitude varie de 1712 m, qui est le sommet le plus haut de la région (Djebel Doukkane) à 900 m qui est l'altitude la plus basse, sur la plaine de Tebessa .

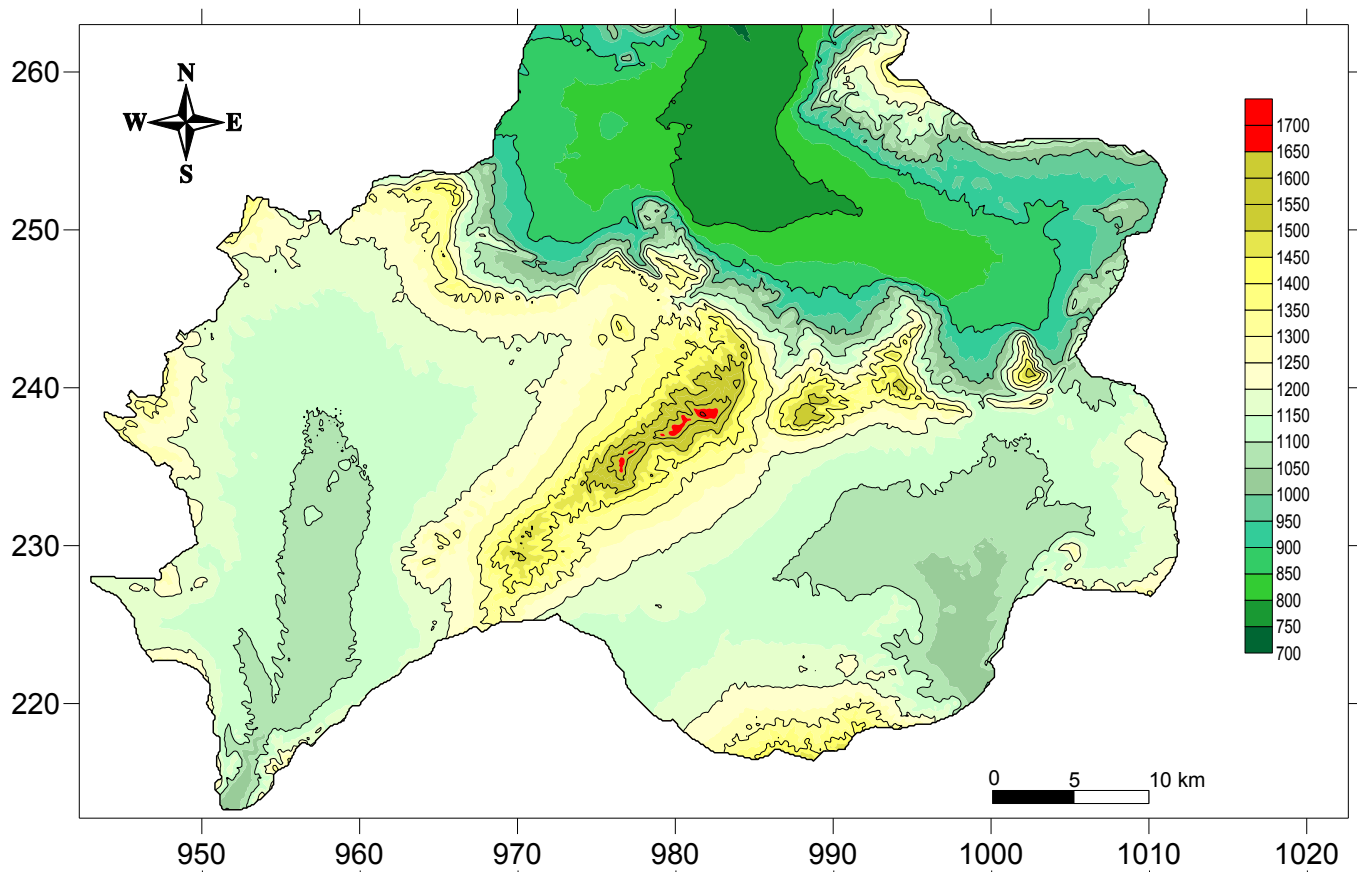


Figure 2 : Répartition des altitudes sur le territoire étudié

2.2. Le couvert végétal

Les deux cuvettes, celle de Chéria et d' El-Ma-El Abiod, font partie du bassin versant de Chott Melghir qui est un versant sud caractérisé par une végétation très claire, sous l'effet de l'exposition aux courants chauds secs pendant les périodes estivales, à l'opposé la plaine de Tébessa qui appartient au sous bassin versant de Madjerdah est caractérisée par une couverture plus ou moins importante, sous l'effet des courants marins humides.

La végétation naturelle, à base de pin d'Alep, est développée au nord de la zone d'étude et devient de plus en plus rare vers le sud jusqu'à disparition en limite sud au Dj. Boudjelal. Par opposition avec les plaines de Mellégue et les monts de Tébessa, les montagnes bordant la plaine d'El Ma El Abiod, se singularisent tout d'abord par l'absence presque totale de végétation arbustive, ne fait vraiment exception, que l'escarpement septentrional du bassin d'El Ma El Abiod, qui est recouvert d'une forêt de pins.

On peut également citer les genévriers épais du djebel Abiod et surtout des basses pentes méridionales du Djebel Arour. Partout, ailleurs, la roche ou les sols affleurent entre les touffes d'une steppe basse où domine l'Alfa.

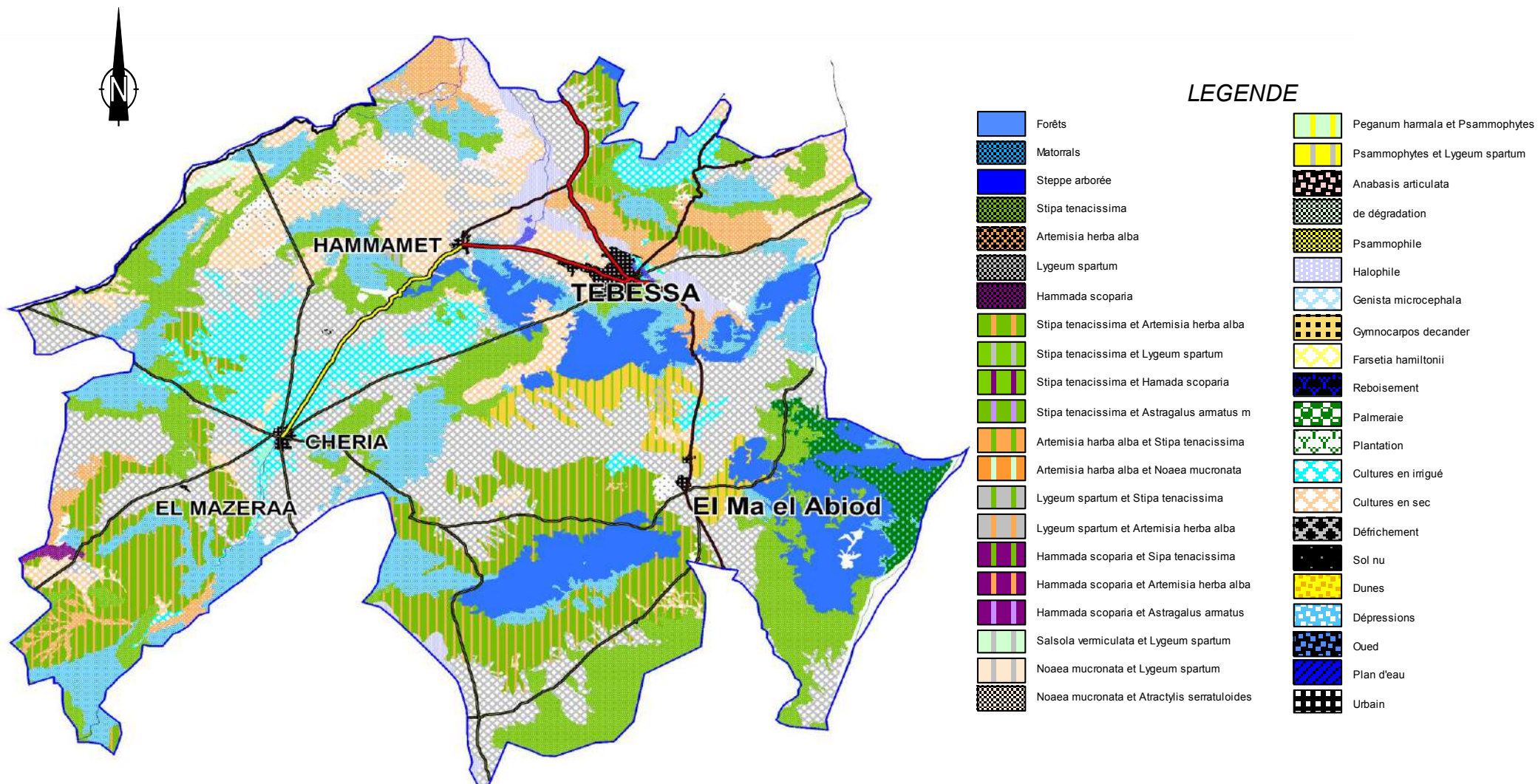


Figure 3: Carte d'occupation des terres de la région d'étude Image satellite ETM +198/36, Année 2001 (source HCDS)

2.3. Contexte économique :

La région d'étude est à forte vocation agropastorale, connue à l'échelle nationale par son cheptel ovin et ses vastes étendus de parcours steppiques, qui constituent la principale source de revenu des populations, la sécheresse qui a sévit pendant la décennie précédente a entraîné un déficit important en matière d'alimentation du cheptel, ce qui a poussé la multiplication des aires irriguées, surtout avec l'émergence du soutien agricole basée sur la mobilisation des ressources en eau souterraine, la plaine de Tébessa est limitrophe au centre urbain de Tébessa qui représente le centre économique de toute la région, El Ma El Abiod de part sa vocation agro-pastorale dénombre trois activité industrielle principalement connue par l'industrie du ciment portland (ERCE), celle du verre (SOVEST) et celle des tubes roulés (ANABIB).

Dans Toute la région d'étude, on trouve quelques vestiges archéologiques qui témoignent de conditions biogéographiques différentes du milieu, à des époques reculées.

On dénombre ainsi des sites néolithiques, dénommés escargotières, à cause de l'importance considérable des tests d'escargots d'eau douce. Ces sites se développaient en bordures des lacs existant à l'époque capsienne.

Des sites romains plus récents et plus considérables marquent le paysage, et comprennent notamment des vestiges d'anciennes huileries, rappelant l'importance de la culture de l'olivier. La richesse de la région était remarquable, puisqu'elle était appelée par les romains, la « région du blé ».

2.4. Contexte Hydrographique

Chacune des trois plaines est drainée par un Oued qui prend naissance par la confluence des ravins des piedmonts qui l'entourent :

- La plaine de Tébessa est drainé par l'Oued Kébir à écoulement vers le nord, est considéré comme limite administrative pour plusieurs communes qui les traverse, il prend naissance à l'est de la plaine entre El-Kouif (rive nord) et Bekkaria (rive sud), au centre il traverse entre la commune de Boulhaf Eddir (rive nord) et les communes de Tebessa, Hammamet et Bir D'hab (rive sud), il parcourt un long trajet pour atteindre son exutoire à la commune de El-Aouinet.

- La plaine d'El-Ma-El-Abid est drainée essentiellement par L'Oued Labiod à écoulement intermittent du nord vers le sud, formé par la confluence des Oueds El-Gloussa et Oued Ouâtât El Adjadj à l'Ouest et à l'Est par oued E'Znad et Oued Elma Lassouad, tous à écoulement non permanent.
- La plaine de Chéria est drainée par Oued Chéria aussi à écoulement intermittent vers le sud formé par un chevelu de chenaux qui prennent naissance des monts entourant la plaine

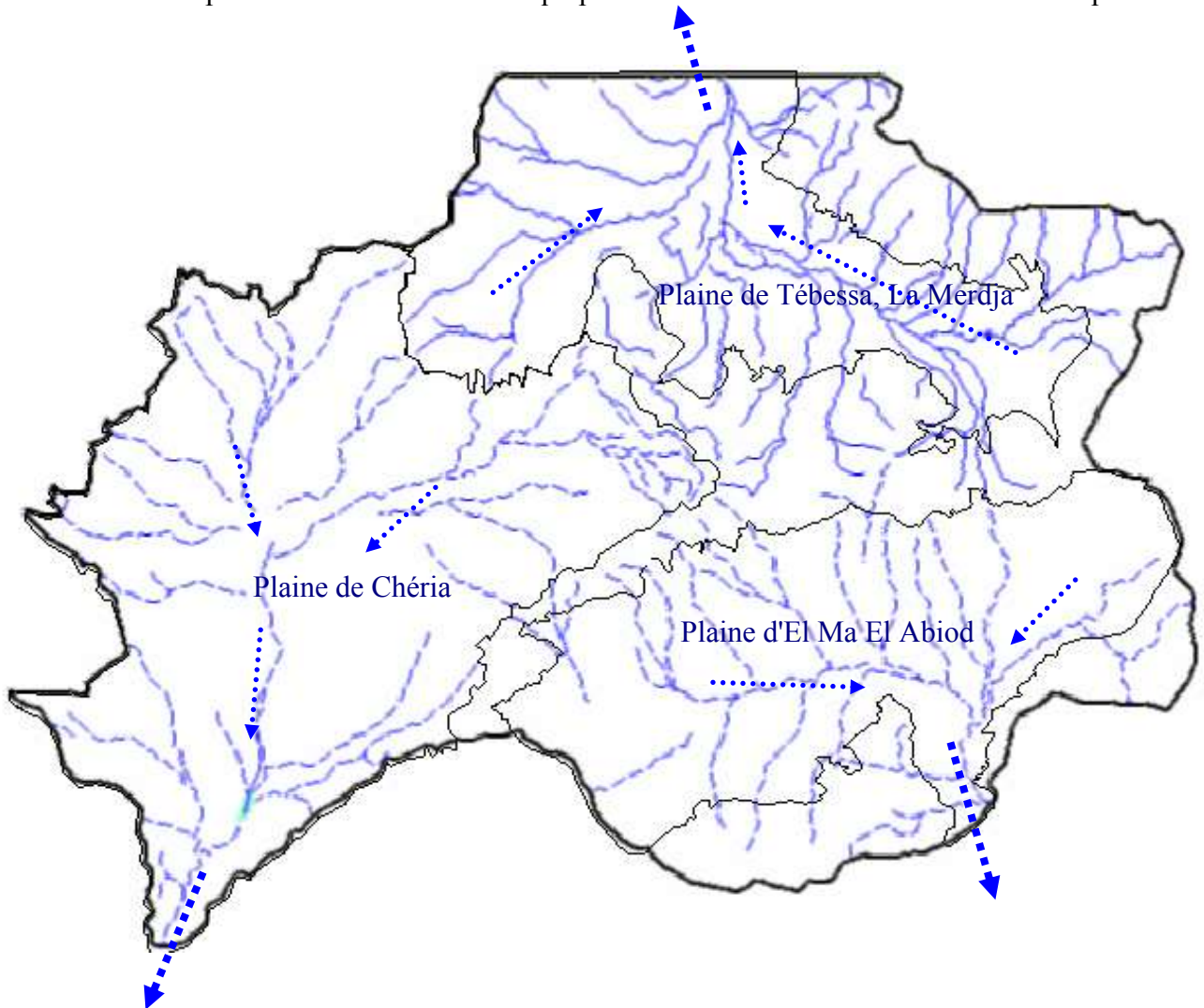


Figure 4 : Réseau hydrographique de la région d'étude

3. Conclusion

La région d'étude fait partie de l'atlas saharien, elle est à forte vocation agropastorales, avec une topographie raide en bordure et douce à l'intérieurs sous forme de plaines, la végétation est claire où les zones de parcours dominant, la mise en valeur en irriguée des terres par la mobilisation des ressources hydriques souterraine prend de l'ampleur d'une année à une autre en l'absence de suivi rigoureux par les instances concernés représentant ainsi, une menace sérieuse sur le plan quantitatif et qualitatif de ces ressources, surtout quand la zone est classé dans les zones affectées par dégradation progressive des ressources naturelles sous l'effet de la désertification.

Chapitre : **2**

APERÇU GEOLOGIQUE

1. Introduction

La région d'étude, est située à la limite de la frontière Algéro-Tunisienne et appartient dans sa majeure partie à l'Atlas Saharien (plateau de Chéria et plaine d'El Ma El Abiod). Les reliefs y sont contrastés, constitués essentiellement par des calcaires allongés selon un axe SW-NE, et séparés par des dépressions (plaines cultivées de Tébessa, Chéria et d'El Ma El Abiod) de remplissage mio-quadernaire.

Cette structure est due aux jeux de deux phases tectoniques ayant affectées la région.

| Etage | Faciès | Régime hydrogéologique |
|----------------------|---|---|
| Quaternaire | Eboulis actuels travertin déposés par les sources, alluvions anciennes croûtes calcaires dues à l'évaporation d'eau, alluvions anciennes de piedmont anguleuses ou caillouteuses matériel pendage ancien entassé. | Se trouve dans les plaines de Tébessa, Morsott Mahmel région des dômes et El Ma El Abiod son épaisseur varie de 10 m à plus que 400m , composée d'une alternance d'argile, sable fin et gravier. |
| Pliocène continental | Conglomérats a éléments bien arrondis et mauvaise héricité cimentés par des argiles à brins rouge formation prise parfois dans des côtes pulvérulentes de couleur rose saumon | C'est la limite entre le sahara et l'atlas tellien, affleurement d'une largeur faible (Khenguet sidi Nadji, Ferkane) mais une importante épaisseur au dessous du quaternaire dans la plaine saharienne, épaisseur n'est pas établie composée d'argile rouge, conglomérats et sable quartzeux. |
| Pontien | Argile et sable plus ou moins argileux lentilles de calcaires lacustres | Situé dans les régions des oueds Rheznata, Soukies et Mdila, son épaisseur varie de 100 à 300m composée d'argile et de sable très fin, d'argile sableux. |
| Miocène | Sable et graviers quartzeux blancs à traces ferrugineux parfois argiles feuilletés de couleurs vert claire | Situé dans les régions d'El Ma El Abiod, Bouchebka, plaines de dj. Boudjellaln Dj Botna et Dj Oung son épaisseur varie de moins 10 à plus de 300m composée de grès. |
| Eocène | Calcaire massif à silex en blanc épaisseur 5m de calcaire marneux blanc à la base marne et calcaire marneux à silex Marnes noirs ou jaunâtre parfois gypseuse ou pyriteuse rare petit blanc marno calcaire | Située dans les Djebels Oung, Darmoune, Guentis et Tadinart, d'une superficie très grande, son épaisseur varie de 300 à 400m, composée de marne marno-calcaire et calcaires |
| Crétacé | Calcaire massif, marne argileux verdâtre, marne à gypse Calcaire argileux en plaquettes Argile marno-calcaire dolomitique gris, marne grise à verdâtre, marno-calcaire gris mince schisteux. | Occupe une grande superficie (Nord-Ouest et centre) de la wilaya son épaisseur est très grande (1500 à 2000 m) composés de calcaire, marno-calcaire et marne, nappes captives. |
| Trias | Argile rouge à gypse Te : calcaire et calcaire dolomitiques noirs en plaquettes. M : blanc de calcaire roux dolomitique. | Se trouve dans les régions de Mesloulou, Boukhadra et Ouenza, son épaisseur est composée d'argile rouge, gypse et dolomite. |

Tableau 1: Géologie et hydrogéologie de la wilaya de Tébessa (source DHW Tébessa).

2. Stratigraphie-lithologie

On distingue deux grands ensembles :

- Les affleurements de bordures de plaines, d'âge Crétacé, constituent le premier ensemble.
- Les formations d'âge Miocène et Quaternaire, qui occupent toute les superficies des plaines étudiées, et qui constituent le second ensemble.

Ces deux ensembles constituent une série stratigraphique incomplète, (absence des formations éocènes par endroits) dont la lithologie et la répartition, sont les suivantes) :

2.1. Le secondaire

2.1.1. Le Trias

Le terrain le plus ancien de la zone étudiée affleure dans la partie sud de la plaine d'El Ma El Abiod et à l'Est de la plaine de Tébessa Il est représenté par un faciès typique de la région :

- Argile à gypse, calcaires et cargneules.
- Argiles rouges à gypses.
- Calcaires et calcaires dolomitiques noirs en plaquettes.

2.2.2. Le Crétacé

2.2.2.1 L'Aptien

Les affleurements qui datent de cet étage dans la partie Nord d'El Ma El Abiod de Dj Bouroumane à Dj Doukane et Dj Aroual ; à Djebel Bouroumane, se sont des calcaires et de dolomies d'épaisseur moyenne de 400m (aptien moyen et inférieur), surmontées par des calcaires massifs gris ou roux avec des intercalations de quelques mètres de marnes et de marno-calcaires, d'épaisseur moyenne est de 70m (aptien supérieur).

2.2.2.2. Cénomanién

Il affleure assez largement dans la partie sud-est d'El Ma El Abiod en contact tectonique avec le Trias et dans la partie Nord-Est du plateau de Chéria. C'est une série de marnes jaune parfois grise et de banc calcaires lumachelliques, l'épaisseur atteint les 560m.

2.2.2.3. Turonien

Il affleure largement au Nord d'El Ma El Abiod (Dj. Bouroumane, Dj. El-Koreiz, Tenoukla) et au Nord de la plaine de Tébessa (El-Kouif), constitué de calcaire marneux gris en petits bancs à sa base d'épaisseur ne dépasse pas les 70m. Au-dessus, c'est une assise massive de calcaires beiges et de dolomies ou de calcaires dolomitiques.

2.2.2.4. Le companien

La plus grande partie de la périphérie des 03 plaines, notamment en bordure du bourrelet montagneux qui les limite, on observe un niveau marneux épais (300 à 400 m) appartenant au Companien, constitué par des marnes grises en profondeur qui deviennent verdâtres dans sa partie superficielle.

2.2.2.5. Le Maestrichtien

A Chéria C'est une formation de calcaire tendre crayeux, représente le principal réservoir hydrogéologique de la plaine ou son épaisseur moyenne atteint 250 mètres, à El Ma El Abiod Il est localisé au nord ouest et au centre, il est caractérisé par des calcaires et marno-calcaires blancs d'une épaisseur de 67m.

2.2. Tertiaire

2.2.1. Le Danien-Eocène inférieur

Représenté par des marnes argileuses noirâtres d'une épaisseur de 100 à 150 m

2.2.2. Eocène moyen

D'une épaisseur moyenne de 50 mètres, est constitué d'une alternance de calcaire dur, de craie, de marnes plus ou moins calcaire avec divers minéraux phosphatés, d'une épaisseur moyenne de 50 m, l'ensemble de ces couches est extrêmement siliceux. La silice s'est individualisée sous forme de rognons de silex dans les bancs calcaires. C'est de manière générale, ce qui caractérise la présence de ces formations dans la région d'étude, mais il faut signaler que l'éocène à Chéria se distingue par sa karstification et le réseau dense de fissuration, qui avant 20 ans était difficile de la mentionner. A la fin du chapitre nous présentons cette remarque

2.2.3. Miocène

A El Ma El Abiod le miocène affleure largement dans la partie Est de la plaine; tandis qu'au centre de la plaine il est masqué par le Quaternaire, représenté par des grès et sables qui sont directement transgressifs sur les calcaires maestrichtiens. Ces grès sont soit tendres, soit cimentés formant des falaises (Hdjera safra). L'épaisseur maximale de la série est de 200 mètres, elle varie d'ouest en est avec deux maxima au centre de la plaine et au Nord-Est. Ce dépôt continental est exploité par de nombreuses carrières.

A Chéria on le retrouve au sud, vers l'exutoire au lieu dit Ramlia, formé aussi de sable identique à celui d'El Ma El Abiod.

2.2.3.1. Le Mio-pliocène

Au sud ouest de Chéria, cet étage est discordant et transgressif sur les calcaires de l'éocène moyen, d'une épaisseur d'une 40 aine de mètres environ, débute par des sables jaunes siliceux de 20 mètres d'épaisseur, au dessus on trouve une alternance d'argiles vertes gypseuses et de sables en lentilles.

2.2.3.2. Le Pliocène

C'est une formation qui recouvre largement les calcaires éocènes au Nord de la plaine et les calcaires Maestrichtiens du côté Nord-Est, constituée par des argiles rouges et des conglomérats sableux quartzeux, les sables quartzeux existent uniquement dans la partie Est de la plaine et peuvent atteindre 400m d'épaisseur.

2.3. Le Quaternaire

Constitué par des formations conglomératiques observées aux bords des grandes fractures d'effondrement récent.

A Chéria il est d'une épaisseur qui atteint 20m vers Ain Babouche représenté par un cailloutis fluviatile qui forme un vaste plateau limité au sud ouest par un talus (Draa Feidh El-Mahri), à l'est par le marécage de Chéria, la surface du plateau est encroutée de tufs calcaires, le quaternaire affleure sur les parties hautes du plateau

A El Ma El Abiod la formation du Quaternaire recouvre largement la totalité de la plaine. L'épaisseur est très réduite ne dépassant pas une dizaine de mètres. Le Quaternaire est constitué en général de faciès anciens (conglomérats, croûte calcaire) et de faciès récents (éboulis limoneux).

2.4. Les dépôts actuels

Sur la plaine de Tébessa, les dépôts actuels, sont constituée par :

- Un cailloutis calcaire peu important dans le lit d'Oued Kébir.
- Des limons d'Oued Kébir qui remplissent le lit majeur.
- Des limons fins associés à des niveaux de cailloutis anguleux déposés dans toutes les régions de basse altitude.
- Croûte calcaire blanchâtre d'une épaisseur d'un mètre environ et parfois plus, présente à travers toute la plaine.
- Brèches et cailloutis anguleux d'épandage anciens aux pieds des massifs calcaires d'une épaisseur de quelques mètres.

A Chéria, ils se présentent sous deux formes :

- Le colmatage des bas fonds sur la partie amont de la plaine de Chéria qui peuvent atteindre plus de 50m de puissance, formés par des cailloutis et petits galets enrobés dans le limon, le marécage de Chéria est occupé par une alternance d'argile et des niveaux de cailloutis.
- Les alluvions des piedmonts qui occupent toutes la périphérie de la plaine formés essentiellement par des cailloutis calcaires, provenant de l'altération des reliefs calcaires du Maestrichtien.

A El Ma El Abiod, Le dépôt le plus récent est constitué par des couches limoneuses qui occupent la majorité du bas fond de la cuvette. Cette formation se charge de plus en plus en sels, qui deviennent visible au niveau de petits marais temporaires au niveau d'Oglat Chaachaa, où pendant la saison chaude, le sel arrive jusqu'à la surface en formant des cristaux.

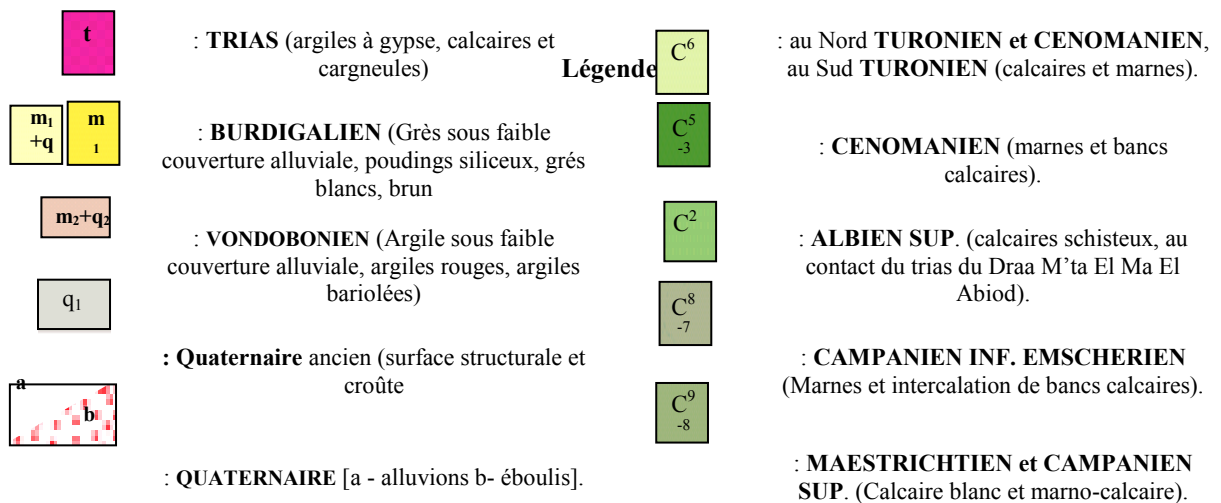
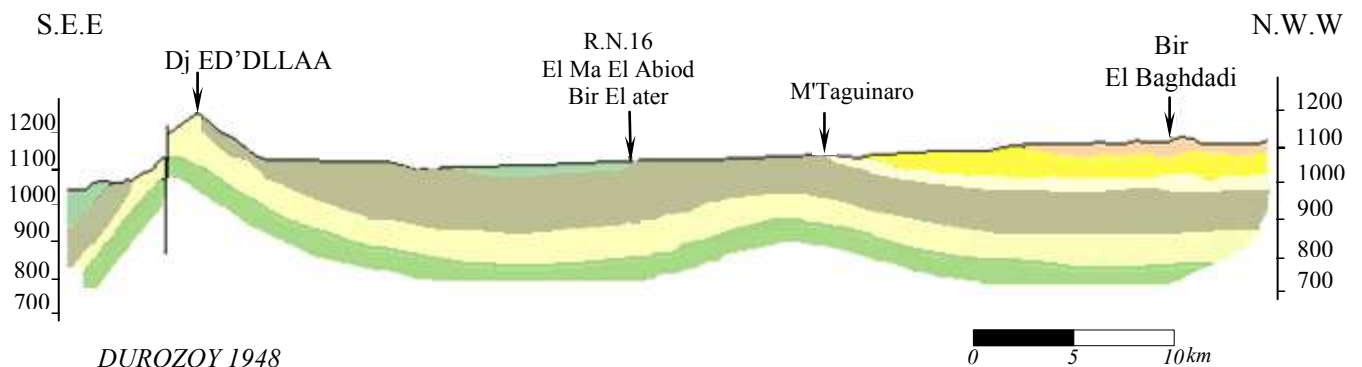
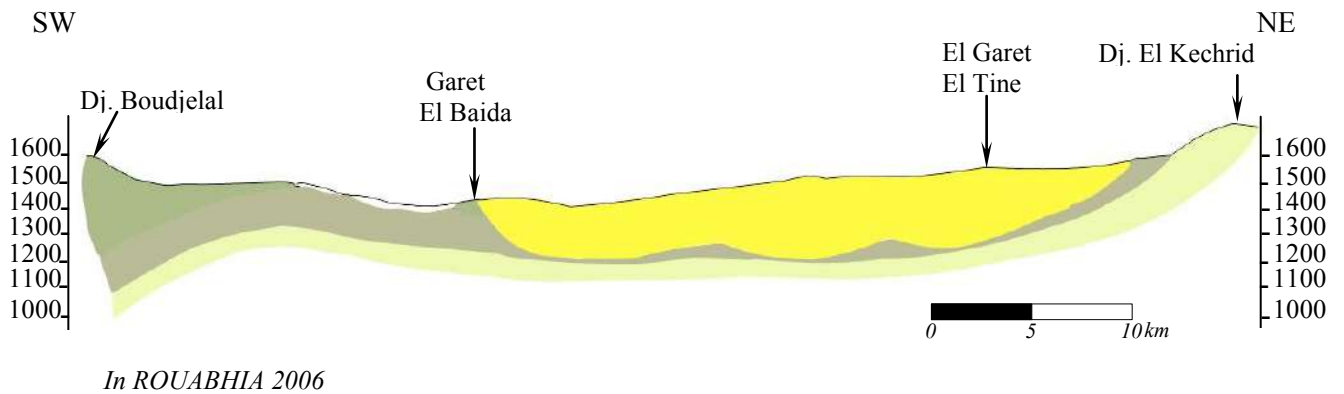
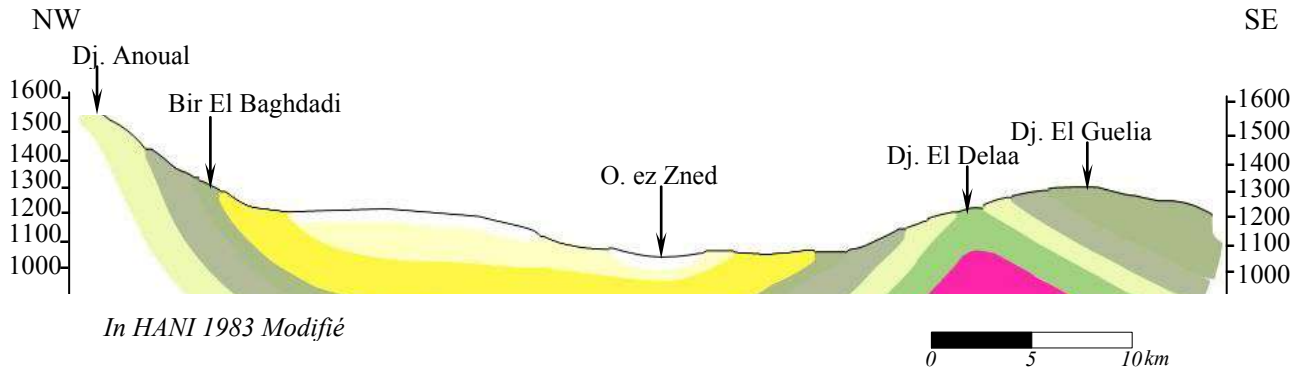


Figure 5: Coupes géologiques.

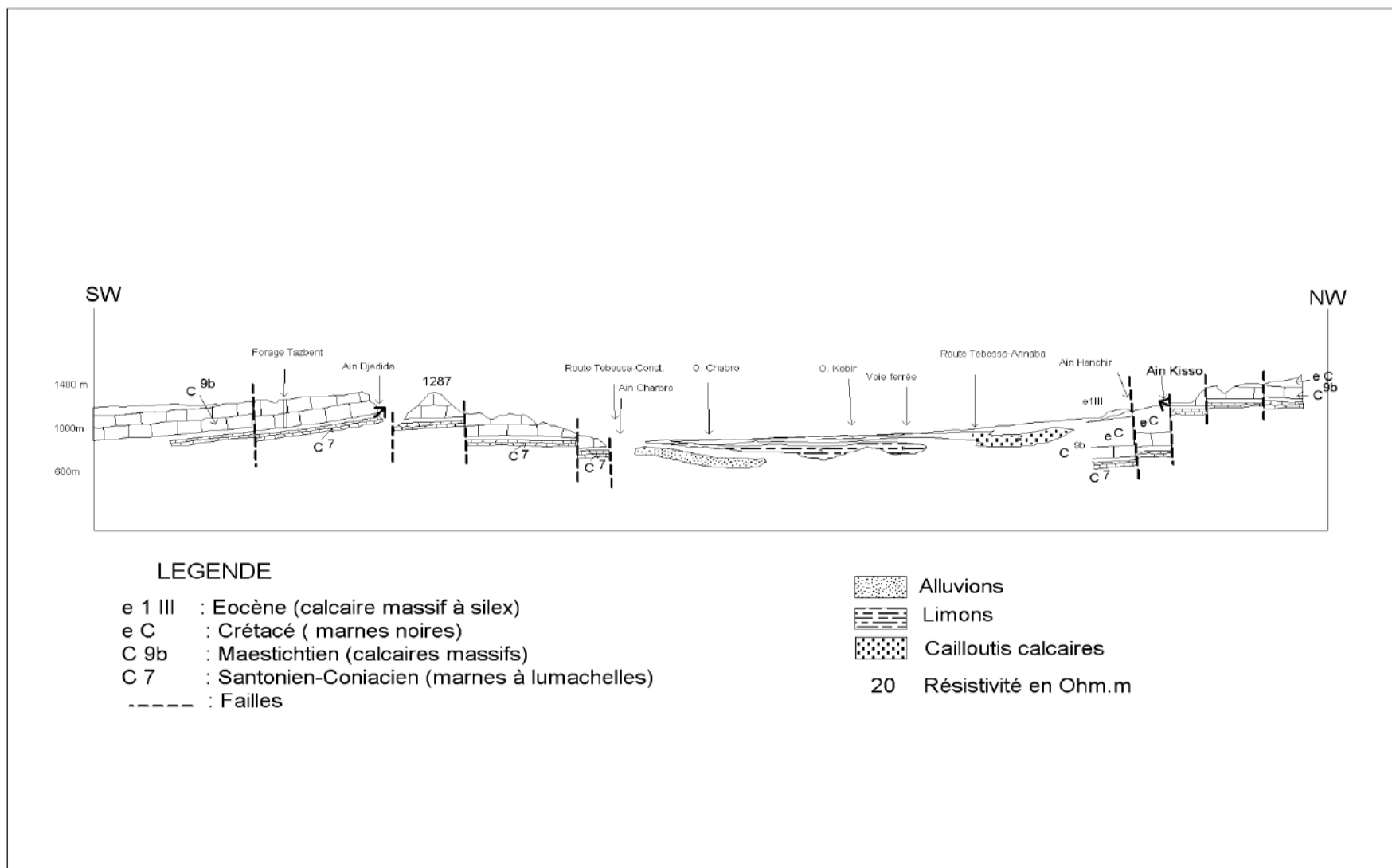


Figure 6: Coupe géologique schématique de la plaine de Tébessa (in Djabri L. 1987)

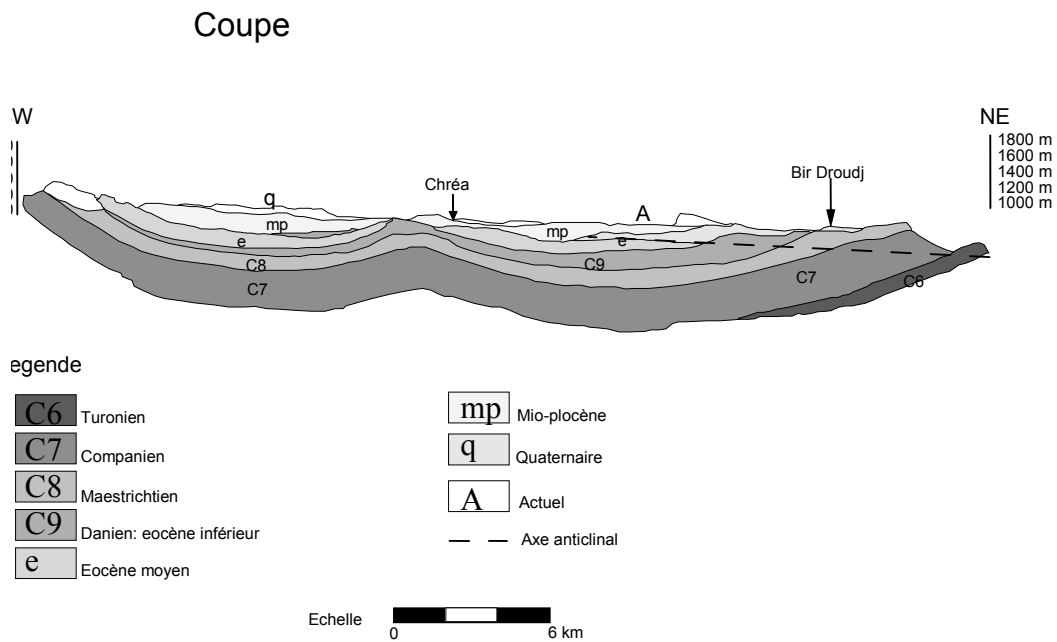


Figure 7: Coupe géologique sur le plateau de Cheria, (in Baali F. 2007)

3. Tectonique

La structure tectonique de la région d'étude a dû s'édifier suite à la manifestation de deux phases orogéniques M. Villa 1977

3.1. Première phase

Elle se manifeste dès la fin du Crétacé supérieur et inférieur. Son paroxysme se situe entre le Lutétien supérieur et le Miocène inférieur. Il s'agit bien de la phase atlasique qui constitue très certainement la phase principale de plissement dans la région d'étude. R. Laffite (1949) l'identifie par son étude sur l'Aurès comme étant la phase orogénique majeure dans l'Atlas Saharien. C'est durant cette phase qu'il y a eu les plissements de couverture de direction SW-NE, qui donnent les grands axes anticlinaux (Dj. Bouroumane).

Le diapirisme du Trias a dû commencer durant cette phase tectonique qui a continuée jusqu'au villafranchien inclus.

3.2. Deuxième phase

Cette phase est postérieure aux plissements précédents. Elle est responsable d'une tectonique cassante, marquée par des mouvements du socle L. D. VISSE (1956) considère, après les mouvements datant de cette phase, que les grands bassins délimités par les chaînes montagneuses anticlinales furent soumis certainement à des mouvements d'affaissement, donnant naissance aux différentes plaines (Tébessa, d'El Ma El Abiod et de Chéria).

Le plateau de Chéria est reconnu par deux systèmes de fractures d'âge post-Miocène, l'un d'une orientation Est-Ouest et le second Nord-Ouest Sud-Est, les fractures Est-Ouest intéressent surtout les affleurements anciens au niveau des crêtes et affectent les flexures

Sahariennes et semblent être en relation avec les accidents profonds générateurs de ces structures, par contre les fractures Nord-Ouest Sud-Est, affectent toute la chaîne de Dj. Labiod, Dj. Oung et Dj. Oum El Kemmakem caractérisées par des rejets moins importants par rapport aux fractures sus indiquées.

La faille de Tnoukla et les failles de direction NW-SE orthogonales à ces plissements datent de cette époque.

Dans la région d'El Ma El Abiod on reconnaît deux directions structurales dominantes qui se manifestent dans les accidents tectoniques : plissements, flexures, allongements de bassins et cassures. Elles se reflètent dans la morphologie topographique et partiellement dans l'hydrographie. Les deux directions sont SW-NE et E-W.

Les plis sont typiques de ceux reconnus généralement dans l'Atlas Saharien. Ils sont de type isopaque, donc leur provenance est du niveau structural moyen. Ils sont souvent serrés, dressés en plans verticaux, ce qui traduit un fort raccourcissement de la couverture sédimentaire. Le socle, étant plus rigide, n'a pu être raccourci comme la couverture. Il s'agit donc d'une tectonique de couverture.

Remarque sur l'éocène à Chéria

Une modélisation inverse de mesures de la résistivité par des trainées de Wenner on permet de confirmer la superposition des aquifères déjà décrite et de confirmer la karstification dans la région, des travaux de Fehi Ch et al. 2010 ont montrés la position de karst sur le site où se trouvent des affaissements karstiques

La section inversée présentée ci-dessous est construite avec la topographie réelle de la surface du sol.

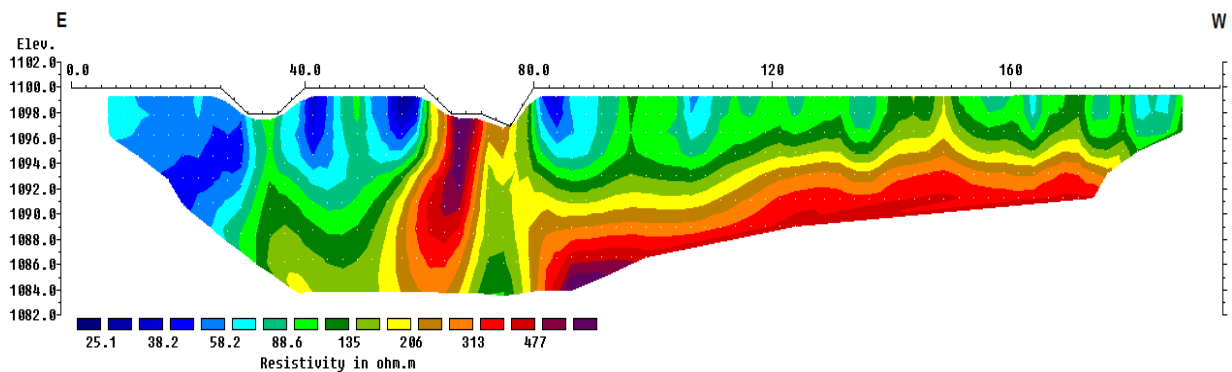


Figure 8 : Modèle géo-électrique obtenu après inversion des résistivités.

Le modèle obtenu après inversion des résistivités, montre d'importantes variations de la résistivité le long du profil étudié. Parmi ces variations, on s'intéresse particulièrement aux zones très résistives représentées par les couleurs rouge à mauve de la palette de couleur utilisée. Cet intérêt est justifié par le fait que les deux cavités reconnues sur le site de Mchentel sont vides (c'est à dire remplies d'air) et devraient, par conséquent, engendrer des variations positives de résistivité. Il est fort possible que la couleur bleu à vert clair correspond aux alluvions. Les résistivités des alluvions varient entre un minimum de 20

Ohm.m à un maximum de 100 Ohm.m. La limite entre les alluvions et le bedrock constitué de calcaires d'âge éocène peut être attribuée à la couleur verte foncée. Les couleurs jaune à rouge correspondent aux calcaires (100 à 600 Ohm.m) proprement dit tandis que la couleur mauve correspond aux cavités. Comme entre, les stations 60 et 70, la cavité communique avec la surface et a une couleur mauve, on peut attribuer les hautes résistivités centrées sous la station 90 à une nouvelle cavité en cours de formation.

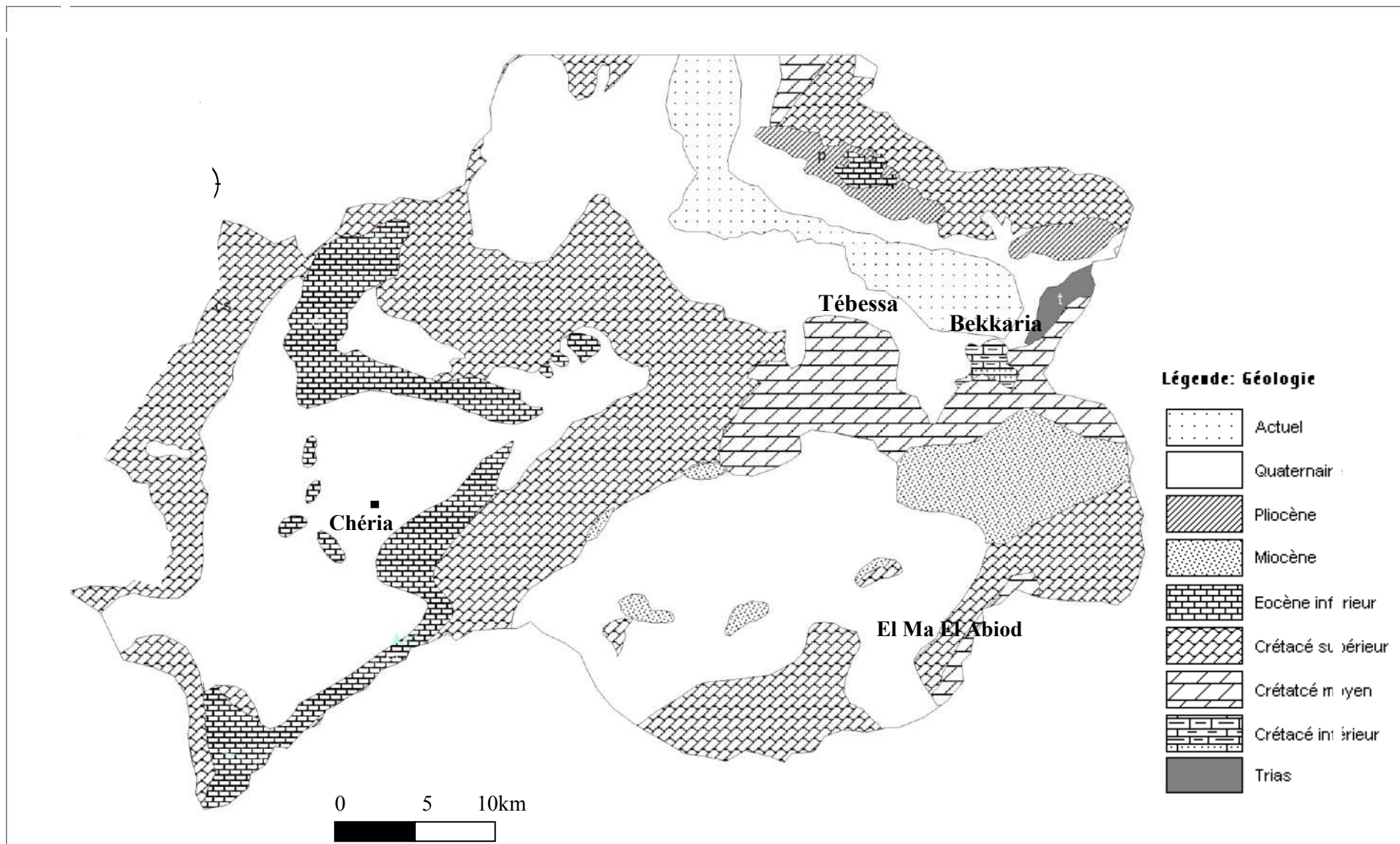



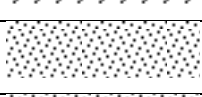
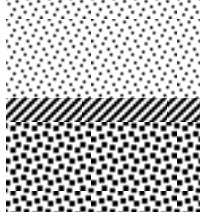
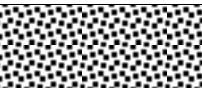

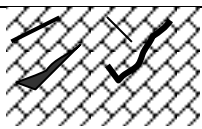


Figure 9: Esquisse géologique de la région d'étude.

Conclusion

Le présent aperçu géologique a permis de dresser un état récapitulatif sous la forme du tableau ci-dessous qui illustre les formations géologiques les plus importantes sur le plan intérêt hydrogéologique :

| Zone | Age | Epaisseur | Intérêt hydrogéologique | Lithologie | Faciès géologique |
|----------------|---------------|---------------|----------------------------------|---|--|
| El Ma El Abiod | Crétacé | Plus de 100m | Alimentation du système aquifère |  | Calcaire |
| | Miocène | Environ 50m | Aucun |  | Marnes |
| | | Plus de 50m | aquifère |  | Grés |
| | | 40 – 250m | aquifère |  | sables |
| Tébessa | Quaternaire | Jusqu'à 200 m | aquifère |  | Alluvions (alternance cailloutis calcaire-marne) |
| Chéria | Quaternaire | 40 m | Aquifère à sec |  | Alluvios fluviatiles |
| | Maestrichtien | 250 m | Importants en bordure du plateau |  | Calcaires fissurés |
| | Eocène | 50 à 60 | Réservoir de la région |  | Calcaires fissurés et karstifiés |

Géologie et intérêt hydrogéologique de région d'étude.

Chapitre : **3**

CLIMATOLOGIE

1. Introduction

Dans cette partie, nous nous sommes intéressés aux principaux facteurs, indispensables pour l'établissement du bilan hydrique, tels que, les précipitations, la température et l'évapotranspiration. Les trois plaines se trouvent dans la zone du climat méditerranéen semi aride. Celui-ci est caractérisé par un maximum pluvieux principal en automne et un autre, moins important, au printemps. L'été est une longue période sèche et chaude avec des orages parfois violents, Cette région souffre alors d'un important déficit en eau car se conjuguent rareté des pluies, intensité de l'évaporation et augmentation des besoins de l'agriculture. L'agriculture n'est donc envisageable que grâce à un important apport d'eau d'irrigation. On a pris alors les données des stations météorologiques de la région qui sont installées.

1. Les précipitations

1.1. Equipement de la région

La région d'étude est contrôlée de plus d'une douzaine de stations, parmi lesquelles nous nous sommes intéressés que par huit dont nous disposons suffisamment de données, le tableau 2, ci-dessous donne leurs principales caractéristiques.

| Station | Code | Coordonnées | | Altitude (m) | Appareil | Mis en service |
|-----------------|----------|-------------|---------|--------------|----------|----------------|
| | | X | Y | | | |
| El Ma El Abiod | 06.28.02 | 997.620 | 225.150 | 1030 | PV/PG | 01.01.74 |
| Mcht. E'Zouiria | 06.28.07 | 997.750 | 230.000 | 1058 | PV | 01.03.74 |
| Ain Khangha | 06.28.06 | 985,250 | 236,850 | 1330 | PV | 02.11.73 |
| Ouled M'Hamed | 06.28.04 | 980,850 | 235.000 | 1335 | PV | 01.09.73 |
| Chéria | 06.23.01 | 959,200 | 231,100 | 1087 | PV+PG | 1971 |
| Bir Mokaddem | 06.23.03 | 946,300 | 242,600 | 1156 | PV | 1972 |
| Ain Troubia | 06.23.07 | 963,250 | 250,910 | 1252 | PV | 1972 |
| Ain Babouche | 06.23.08 | 954,100 | 241,800 | 1175 | PV | 1974 |
| Tébessa | 12.03.01 | 991.900 | 247.200 | 890 | | 1943 |

Tableau 2 : Caractéristiques des stations pluviométriques.

1.2. Précipitations annuelles

La précipitation est un facteur fondamental pour caractériser le climat d'une région. L'étude des variations des précipitations annuelles dans notre région montre une grande variation dans le temps et dans l'espace à l'échelle de 15 années (1993-2008).

Le tableau3 suivant donne les valeurs moyennes annuelles des pluviométries mesurées par les stations sur indiquées :

| Stations | Précipitation moyenne annuelle (mm) |
|----------------|-------------------------------------|
| EL Ma EL Abiod | 204.37 |
| E'Zouiria | 229.68 |
| Ouled M'Hamèd | 220.03 |
| El Khangua | 241.15 |
| Bir Mokadem | 123.5 |
| Ain Troubia | 237.6 |
| Ain Babouche | 169.9 |
| Chéria | 305.7 |
| Tébessa | 331.6 |

Tableau 3 : Précipitations moyennes annuelles par station (1993–2008)

1.2.1. Détermination de la lame d'eau moyenne précipitée

Ils existent plusieurs méthodes qui permettent l'estimation des précipitations moyennes à l'échelle d'un bassin versant parmi lesquelles on cite la moyenne arithmétique, moyenne utilisant le polygone de THIESSEN, et la moyenne qui fait appel aux isohyètes. Les travaux antérieurs ont montré qu'il existe une légère différence qui semble insignifiante (réf. Rouabhia a. 2004) pour l'emploi d'une telle ou telle méthode dans la région étudiée, c'est pour cette raison nous allons nous contenter d'utiliser la méthode la plus simple et rapide qui est la moyenne arithmétique des précipitations des stations, pour chaque sous bassin versant dont elles appartiennent.

Moyenne arithmétique des précipitations

| Sous bassins | Oued Chéria 06.23 | | | | Oued Oum Ksob 06.28 | | | | 12.03 |
|--------------|-------------------|-----------|----------------|------------|---------------------|-------------|--------------|--------|-------|
| | El Ma El Abiod | E'Zouiria | O led. M'Hamèd | A. Khengua | Bir Mokadem | Ain Troubia | Ain Babouche | Chéria | |
| 1993/2008 | 198,1 | 233,2 | 201,8 | 233,6 | 123,5 | 237,6 | 169,9 | 305,7 | 331.6 |
| Moy (mm) | 216.7 | | | | 209.2 | | | | 331.6 |

Tableau 4 : Précipitations moyennes annuelles par sous-bassin versant, (1993–2008)

Nous remarquons sur le tableau4 que la plaine la plus arrosée sur la période considérée est celle de Tébéssa avec une lame de 331.6 mm avec un écart de 25.9 mm par rapport à la moyenne annuelle de la plaine de Chéria (305.7 mm) et 133.5 par rapport à celle d'El Ma El Abiod (198.1), ce dernier est très important malgré que les deux plaines sont limitrophes et la distance qui sépare les deux stations pluviométriques n'est que 22.7 km. La carte ANRH des précipitations annuelles pour une période de trente ans allant de 1965 à 1995 (cf. figure10) fait apparaître que la région étudiée se situe entre les deux isohyètes 200 et 300 mm et l'isohyète 250 mm semble être le plus représentatif de la région, cette valeur est très proche de la moyenne calculée à l'échelle des trois sous-bassins versants qui est de l'ordre de 252.5mm.

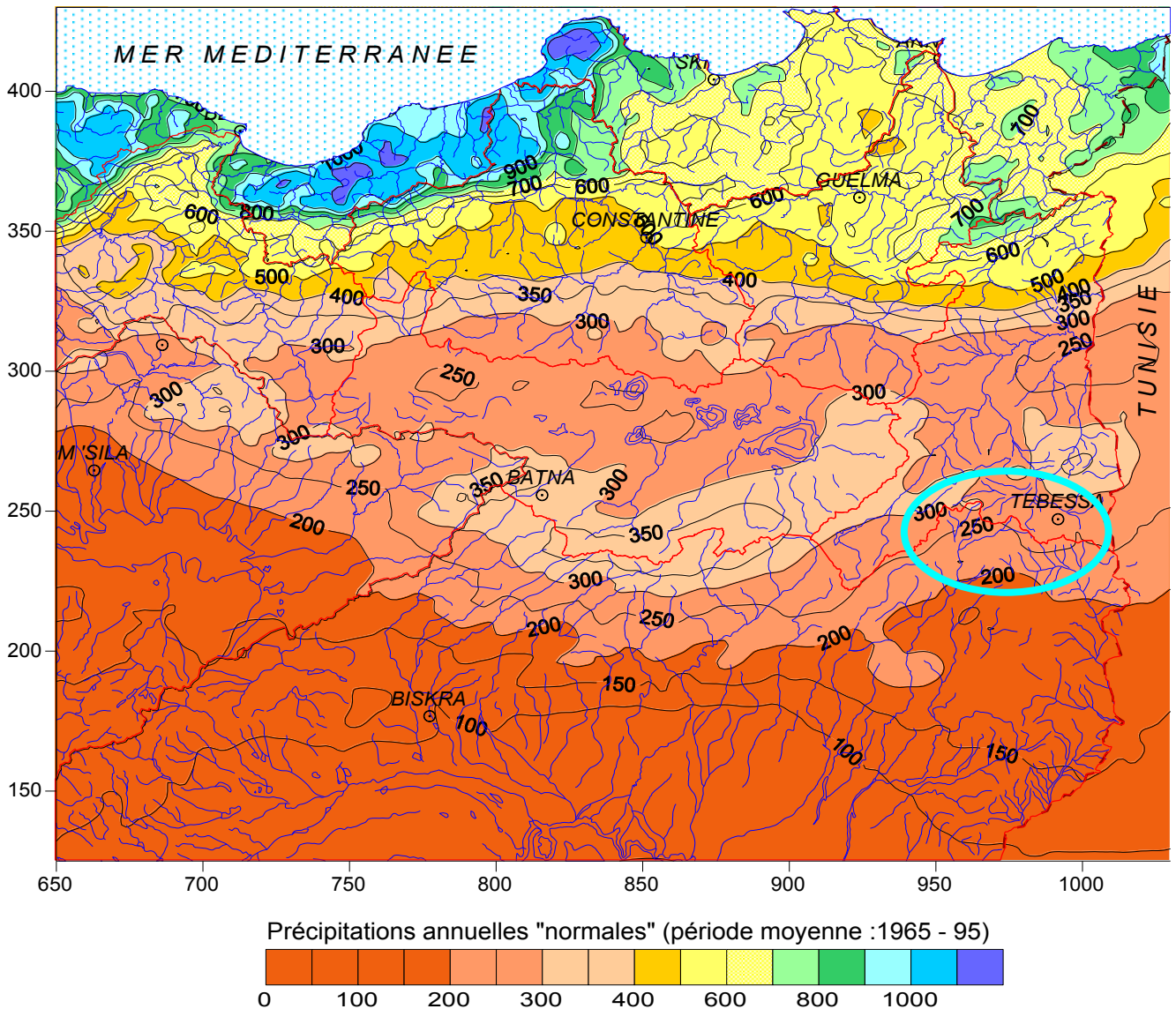


Figure10: Carte des précipitations annuelles du Nord-Est de l'Algérie - ANRH

1.3. Précipitations mensuelles

Pour mettre un aperçu sur la variation des précipitations mensuelles à l'échelle de la région nous avons choisis trois stations représentatives sur le plan situation géographique qui sont celle de Tébessa, El Ma El Abiod et de Chéria, le tableau5 suivant, illustre les précipitations moyennes mensuelles pour chaque station sur 15 années d'observation allant de 1993 à 2008:

| Station | SEP | OCT | NOV | DEC | JAN | FEV | MAR | AVR | MAI | JUI | JUIL | AOU | TOT | MAX | min |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|
| Tébessa | 46,50 | 29,17 | 33,21 | 24,71 | 30,43 | 18,28 | 39,04 | 27,26 | 38,68 | 24,73 | 14,51 | 33,07 | 359,6 | 46,50 | 14,51 |
| El-Malab. | 21,90 | 32,00 | 19,60 | 12,82 | 16,88 | 8,50 | 18,65 | 13,92 | 18,51 | 24,13 | 9,40 | 7,84 | 204,2 | 32,00 | 7,84 |
| Chéria | 33,90 | 34,20 | 25,90 | 18,80 | 24,40 | 20,50 | 31,60 | 17,50 | 34,20 | 30,90 | 10,90 | 22,90 | 305,7 | 34,20 | 10,90 |
| Moyenne | 34,10 | 31,79 | 26,24 | 18,78 | 23,90 | 15,76 | 29,76 | 19,56 | 30,46 | 26,59 | 11,60 | 21,27 | 289,8 | 34,10 | 11,60 |

Tableau 5: Distribution mensuelle des précipitations annuelles.

On y observe que les précipitations maximales sont marquées au mois de septembre avec une moyenne de 34.1 mm, alors que le mois le plus sec est juillet avec 11.60 mm, nous remarquons aussi une tendance dans la répartition des précipitations, à travers presque toute l'année sauf pour les mois d'août et septembre, existe une variation considérable d'une station à une autre, ceci est dû au caractère violent et intense durant cette période de l'année qui est une caractéristique typique du climat méditerranéen. La figure ci-dessous donne les moyennes mensuelles des pluies cumulées de 1993 à 2008, qui fait apparaître une variation nette des précipitations d'un mois à l'autre, elles atteignent leur maximum en septembre puis diminuent pour atteindre le premier minimum en février, puis reprennent avec un deuxième maximum en mars pour atteindre le deuxième minimum en mois de juillet.

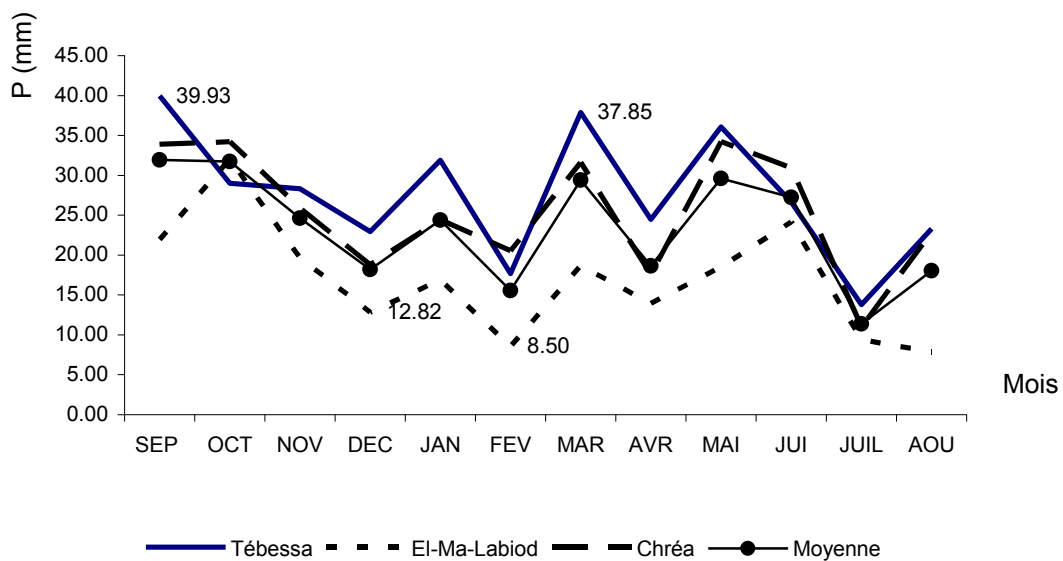


Figure 11: Variation annuelle des précipitations moyennes mensuelles

1.4. La neige

Les précipitations solides (neige), sur le versant Nord peuvent être importantes. Il n'existe malheureusement pas de relevés récents systématiques. D'après SELTZER la région se situe dans la zone d'enneigement moyen au sol de 5 à 10 jours par année

Ce phénomène a un rôle important, si on considère la superficie des crêtes qui bordent les différentes plaines, la fonte de la neige favorise au maximum l'infiltration des eaux au sous sol par rapport au ruissellement de surface, ce qui représente un apport considérable en matière de recharge des nappes souterraines.

2. Les températures

Ce paramètre est un facteur très important dans l'évaluation du déficit d'écoulement, qui entre dans l'estimation du bilan hydrologique. Le climat méditerranéen se traduit par des étés chauds et des hivers doux. La température moyenne annuelle est environ 16 C°.

Le tableau ci-dessous donne les températures moyennes mensuelles pour une période de 15 ans (1993-2008). On note que la température moyenne mensuelle la plus élevée est celle du mois de juillet (26.7°C) alors que la température la plus basse est celle du mois de janvier (6.0 °C), avec une moyenne annuelle de 15.8 °C.

Les stations d'El Ma El Abiod et celle de Chéria n'étant pas équipées de stations de relevé des températures (maxima et minima), seules les données de la station de Tébessa sont disponibles, pour ce faire nous avons opté de faire une extrapolation à partir des données disponibles (Tébessa), avec des modèles qui reposent sur le gradient des températures (la température est inversement proportionnelle à l'altitude). Ils existent beaucoup de modèles qui permettent l'estimation des températures d'une région donnée, à partir d'une autre station avoisinante, parmi lesquels nous avons choisis d'utiliser le modèle de BNEDER (bureau national d'étude pour le développement rural) partant du principe qu'il a été fondé sur la base des données appartenant au même pays sur le plan géographique.

2.1. Température mensuelle :

Les températures moyennes mensuelles sur une période de 15 années (1993–2008) enregistrées à la station de Tébessa, représentés dans le tableau ci-dessous, font apparaître un hiver doux et un été chaud et des grands écarts entre les minimas et les maximas, surtout en été ce qui est une caractéristique typique du climat méditerranéen semi aride.

| T°/Mois | SEP | OCT | NOV | DEC | JAN | FEV | MAR | AVR | MAI | JUI | JUIL | AOU | TOTAL | min | Max | Moy |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|
| Maximum | 29,1 | 21,7 | 16,0 | 11,5 | 10,2 | 12,2 | 16,0 | 20,7 | 25,1 | 31,0 | 34,7 | 34,0 | 262,2 | 10,2 | 34,7 | 21,9 |
| minimum | 16,0 | 11,2 | 6,6 | 3,0 | 1,8 | 2,6 | 4,6 | 7,2 | 11,3 | 15,8 | 18,7 | 18,3 | 117,1 | 1,8 | 18,7 | 9,8 |
| Moyenne | 22,6 | 16,5 | 11,3 | 7,3 | 6,0 | 7,4 | 10,3 | 14,0 | 18,2 | 23,4 | 26,7 | 26,2 | 189,7 | 6,0 | 26,7 | 15,8 |
| Ecart | 13,1 | 10,5 | 9,4 | 8,5 | 8,4 | 9,6 | 11,4 | 13,5 | 13,8 | 15,2 | 16,0 | 15,7 | 145,1 | 12,1 | 13,1 | 10,5 |

Tableau 6 : distribution des températures moyennes mensuelles à la station de Tébessa (1993–2008).

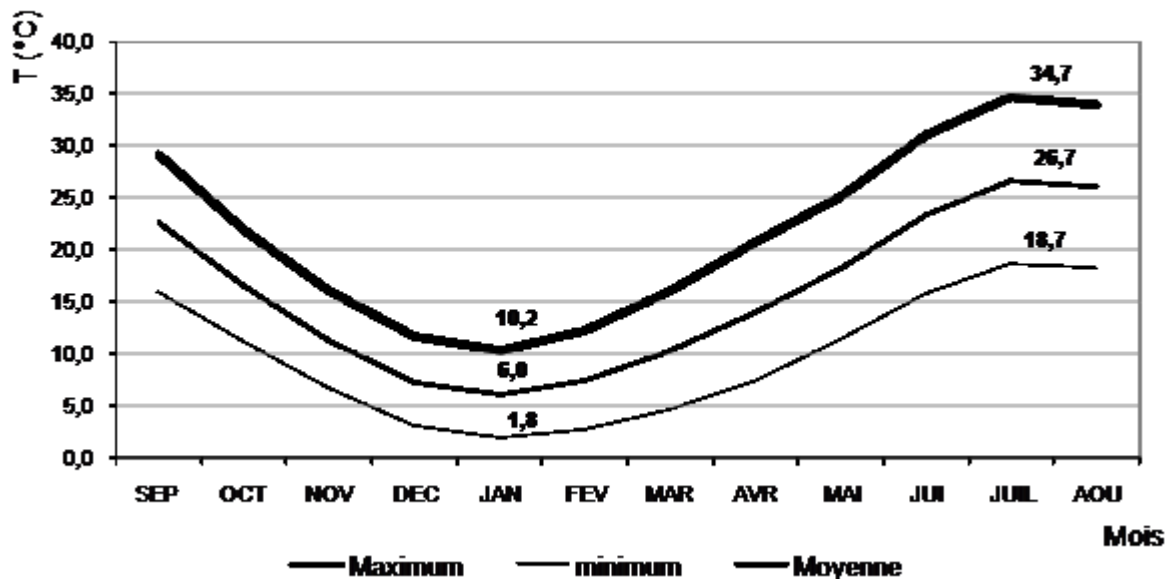


Figure12: Variation mensuelle des températures à la station de Tébessa (Source FAO).

2.1.1. Températures moyennes annuelles

A l'échelle annuelle, les variations sont peu importantes et relativement stables, cependant on peut apprécier une augmentation générale des températures, à l'échelle d'une période de 25 années (1983-2008) d'observation à la station de Tébessa, traduisant le réchauffement climatique qui a sévit depuis plus d'une décennie à travers la planète.

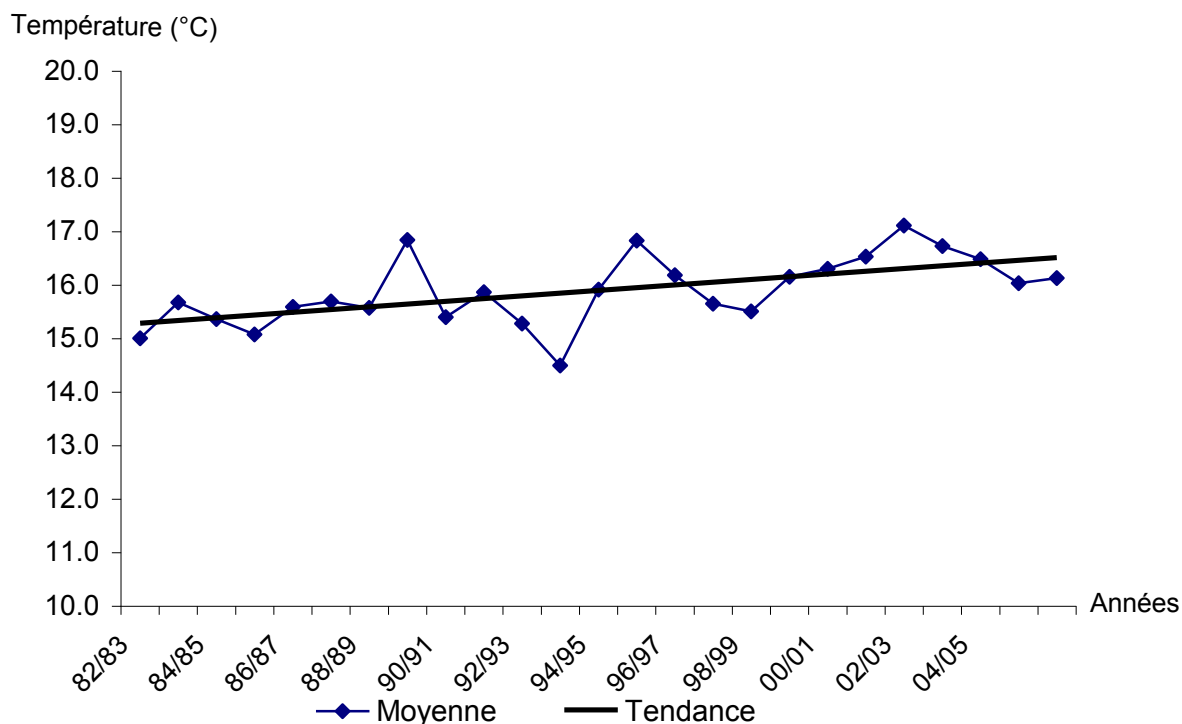


Figure 13 : Variation interannuelle des températures à la station de Tébessa (1983-2008)

2.1.2. Estimation des températures par le modèle de BNEDER

Le modèle se base sur des études expérimentales des différents types de climats sur le territoire Algérien, le BNEDER a mis en œuvre des formules empiriques permettant l'estimation de la température

$$T = T_m - 0.73 * \left(\frac{h - h_m}{100} \right) \quad \text{Où : } \begin{array}{l} T : \text{Température à estimer et se trouvant à l'altitude } h \\ T_m : \text{Température à la station de référence d'altitude } h_m. \end{array}$$

Cette formule repose sur l'hypothèse que la variation de la température est inversement proportionnelle à la variation de l'altitude.

| Station | SEP | OCT | NOV | DEC | JAN | FEV | MAR | AVR | MAI | JUI | JUIL | AOU | TOTAL | MAX | min | Moy |
|--|------|------|------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|-------|------|-----|------|
| Tébessa | 22,6 | 16,5 | 11,3 | 7,3 | 6,0 | 7,4 | 10,3 | 14,0 | 18,2 | 23,4 | 26,7 | 26,2 | 189,7 | 26,7 | 6,0 | 15,8 |
| El-Ma-Lab. | 20,9 | 14,8 | 9,7 | 5,6 | 4,4 | 5,8 | 8,7 | 12,3 | 16,6 | 21,8 | 25,1 | 24,5 | 170,3 | 25,1 | 4,4 | 14,2 |
| Chéria | 20,5 | 14,4 | 9,3 | 5,2 | 4,0 | 5,4 | 8,3 | 11,9 | 16,2 | 21,4 | 24,7 | 24,1 | 165,3 | 24,7 | 4,0 | 13,8 |
| Moyenne | 21,3 | 15,2 | 10,1 | 6,0 | 4,8 | 6,2 | 9,1 | 12,7 | 17,0 | 22,2 | 25,5 | 24,9 | 175,1 | 25,5 | 4,8 | 14,6 |
| Altitudes des Stations : El Ma El Abiod h=1030m Tébessa : 809m Chéria : 1087m | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tableau 7 : Estimation des températures moyennes mensuelles par le modèle de BNEDER.

3. Diagramme Pluvio-thermique

Il a été mis au point par f. bagnouls et gausson. Pour eux la période sèche est celle où le total moyen des précipitations du mois est inférieur ou égal au double de la température moyenne ($P < 2T$) et vis versa, sur ce principe le diagramme est établis en portant les précipitations et les températures en fonction des mois de l'année, tout en prenant en considération que sur l'échelle des ordonnées $P=2*T$.

L'établissement des diagrammes pluvio-thermique pour chacune des stations, nous révèle que les périodes sèches emportent sur les périodes humides (2 à 4 mois humides contre 8 à 10 mois secs), la plaine de Tébessa est la plus humide et celle d'El Ma El Abiod est la plus sèche tandis que Chéria elle se situe entre les deux, donc un diagramme pluvio-thermique moyen est envisageable (figure 17), qui fait ressortir six mois humides (Octobre à mars) et six mois secs (avril à septembre) avec la remarque que l'écart entre les températures et les précipitations et d'autant plus grand durant les périodes sèches, par rapport à celui des périodes humides.

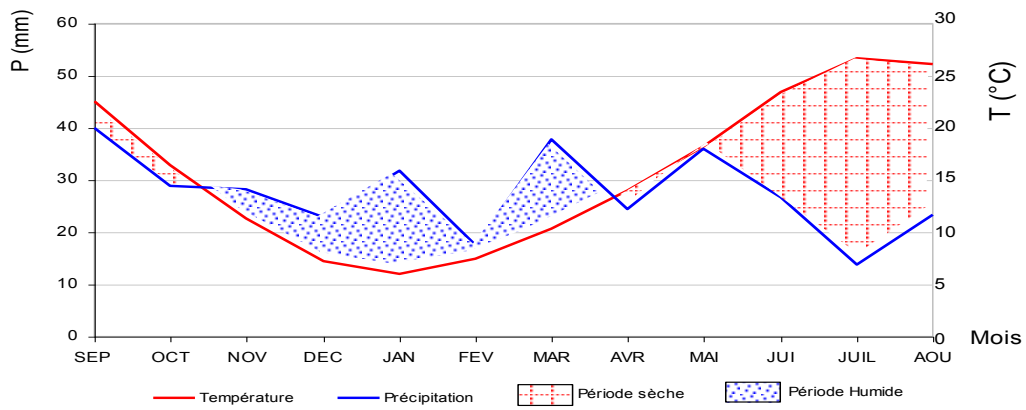


Figure14: Diagramme pluviothermique de la station de Tébessa

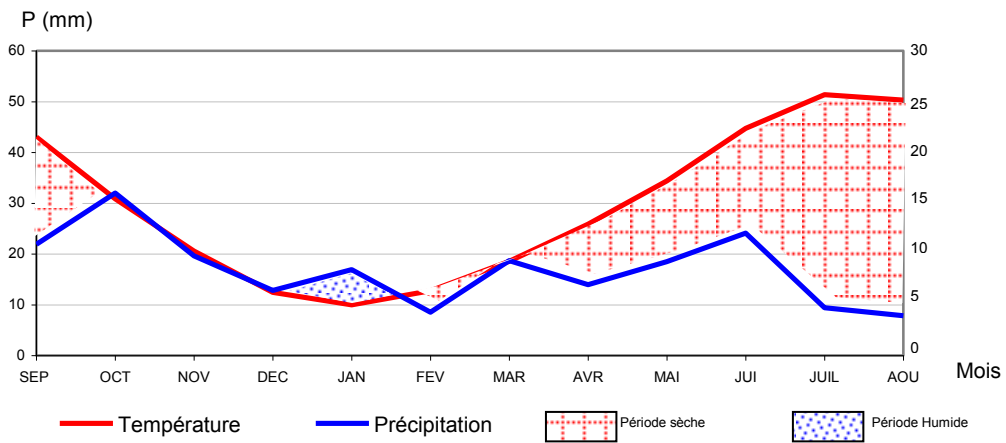


Figure15: Diagramme pluviothermique de station d'El Ma El Abiod.

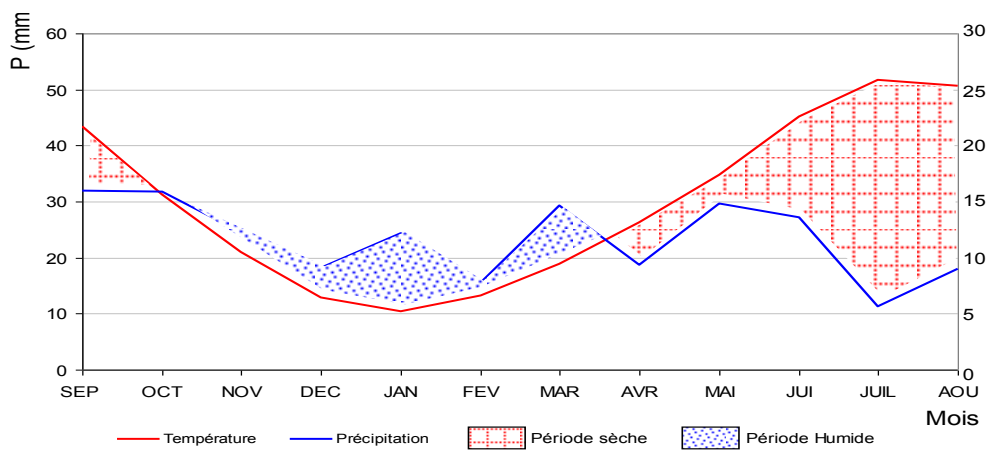


Figure16: Diagramme pluviothermique de station de Chéria

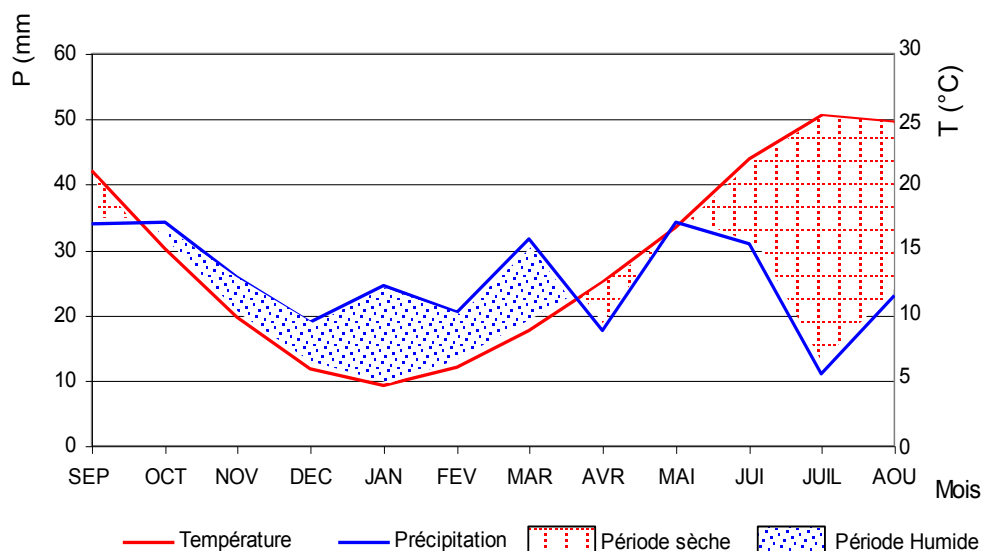


Figure17: Diagramme pluvio-thermique moyen.

4. L'indice d'aridité

L'indice de l'aridité est un indicateur quantitatif du degré du manque d'eau, présent à un endroit donné (John E. Oliver. 2006). On va calculer cet indice (i) par la formule de DE MARTONNE.

$$\text{Indice d'aridité} : I = \frac{P}{T + 10}$$

P : précipitation moyenne annuelle (mm).

T : température moyenne annuelle (C°).

- I < 5 : climat hyperaride
- 5 < I < 7,5 : climat désertique
- 7,5 < I < 10 : climat steppique
- 10 < I < 20 : climat semi-aride
- 20 < I < 30 : climat tempère.

Le tableau 8 montre la température moyenne annuelle, la précipitation moyenne annuelle, et l'indice d'aridité calculés pour les stations de Tébessa, El Ma El Abiod et Chéria pour la période considérée de 1993 à 2008. Nous remarquons à travers les valeurs obtenues de l'indice d'aridité que la région appartient au climat semi aride, ce qui est conforme à ce qui est connu pour la zone.

| Station | Température (°C) | Précipitation (mm) | Indice d'aridité (I) | Climat |
|----------------|------------------|--------------------|----------------------|------------|
| Tébessa | 15,4 | 331,6 | 13.0 | Semi aride |
| El Ma El Abiod | 16,6 | 204,2 | 7.7 | steppique |
| Chéria | 15,8 | 305,7 | 11.8 | Semi aride |
| Moyenne | 15,9 | 289,8 | 11.2 | Semi aride |

Tableau 8 : Résultats du calcul de l'indice d'aridité pour la zone d'étude.

5. Evapotranspiration

L'évapotranspiration est la somme de l'eau utilisée, dans une région donnée, par la croissance de la végétation pour sa transpiration et la constitution de ses tissus et de l'eau évaporée du sol, de la neige, de la pluie retenue par le feuillage et cela dans un temps donné (H. Schoeller, 1962). Donc, l'évapotranspiration est définie comme étant l'ensemble des pertes par transformation de l'eau en vapeur, autrement dit, c'est la somme de l'évaporation (phénomène physique), et la transpiration de la couverture végétale (phénomène biologique).

Les facteurs qui conditionnent l'évapotranspiration sont nombreux et mal connus, on en citera quelques uns, à savoir :

· Les facteurs climatiques :

- La température de l'air.
- La vitesse et turbulence du vent.
- Le degré d'insolation.
- L'humidité relative de l'air.
- · Les facteurs géographiques :
- L'état de la surface évaporante du sol.
- L'altitude.
- · Les facteurs biologiques :
- Les espèces végétales.
- La profondeur des racines.

On peut distinguer trois notions dans l'évapotranspiration (André Musy 2005)

- l'évapotranspiration de référence (ET₀) ou évapotranspiration potentielle (ETP), est défini comme l'ensemble des pertes en eau par évaporation et transpiration d'une surface de gazon de hauteur uniforme, couvrant totalement le terrain, en pleine période de croissance, recouvrant complètement le sol et abondamment pourvue en eau.
- L'évapotranspiration maximale (ETM) d'une culture donnée est définie à différents stades de développement végétatif, lorsque l'eau est en quantité suffisante et que les conditions agronomiques sont optimales (sol fertile, bon état sanitaire, ...).
- L'évapotranspiration réelle (ETR) est la somme des quantités de vapeur d'eau évaporées par le sol et par les plantes quand le sol est à son humidité spécifique actuelle et les plantes à un stade de développement physiologique et sanitaire réel.

5.1. La formule de Penman :

La forme générale de l'équation de Penman est :

$$ET_0 = \frac{R_n \cdot \Delta + \frac{\rho \cdot c_p \cdot \Delta e}{r_a}}{\lambda(\Delta + \gamma)}$$

Où :

ET_0 : évapotranspiration de référence calculée par la relation de Penman [mm/s],

R_n : rayonnement net [W/m²],

Δ : pente de la courbe de pression de vapeur à la température moyenne de l'air [kPa/C°],

ρ : densité de l'air à pression constante [kg/m³],

c_p : capacité thermique de l'air humide [kJ/kg/C°],

Δe : différence entre la pression de vapeur saturante e_s [kPa] et la pression de vapeur effective dans l'air e_a [kPa] ($\Delta e = e_s - e_a$),

r_a : Résistance aérodynamique [s/m] (descripteur météorologique traduisant le rôle des turbulences atmosphériques dans le processus d'évaporation),

λ : Chaleur latente de vaporisation de l'eau [MJ/kg],

γ : Constante psychrométrique [kPa/C°].

Cette formule est une des plus rigoureuses, à condition d'introduire la valeur correcte de tous les paramètres; ce qui n'est pas aisé compte tenu la difficulté de réunir tous les paramètres nécessaires, ce qui est le cas pour la région étudiée, c'est pour cette raison la formule de Penman fait l'objet de plusieurs modifications visant à la rendre simple comme la formule de Turc, FAO-Penman, ...

Dans ce contexte nous avons opté l'utilisation de trois formules empiriques afin d'en dégager les différences susceptibles d'exister pour l'emploi de telle ou telle formule.

5.2. Formules de FAO-Penman

Une assemblée d'experts et de chercheurs a été organisée par la FAO en 1990 avec la collaboration de la Commission Internationale pour l'Irrigation et le Drainage et l'Organisation Météorologique Mondiale, pour réviser les méthodologies de la FAO quant à la

détermination des besoins en eau des cultures et ébaucher la révision et l'actualisation des procédures employées.

Le panel d'experts recommanda l'adoption de la méthode combinée de Penman-Monteith comme nouvelle procédure standard pour le calcul de l'évapotranspiration de référence et indiqua les procédures pour calculer les différents paramètres. La méthode FAO Penman-Monteith fut développée en définissant la culture de référence comme une culture hypothétique, d'une hauteur supposée de 0.12 m, avec une résistance de surface de 70 s.m-1 et un albédo de 0.23, très proche de l'évapotranspiration d'une grande surface de gazon de hauteur uniforme, en croissance active, avec un approvisionnement en eau convenable. La méthode surmonte les limitations de la méthode de Penman utilisée antérieurement par la FAO, et donne des résultats plus cohérents avec les données observées mondialement d'utilisation réelle de l'eau par les cultures. (www.fao.org).

À partir de l'équation originale de Penman-Monteith et des équations de la résistance aérodynamique et de surface, la méthode FAO Penman-Monteith pour estimer ETo peut être exprimée:

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

où:

- **ETo** évapotranspiration de référence [mm jour-1],
- **Rn** rayonnement net à la surface de la culture [MJ m-2 jour-1],
- **G** densité de flux de chaleur dans le sol [MJ m-2 jour-1],
- **T** température journalière moyenne de l'air à une hauteur de 2 m [°C]
- **U2** vitesse du vent à une hauteur de 2 m [m s-1],
- **es** pression de vapeur saturante [kPa],
- **ea** pression de vapeur réelle [kPa],
- **es-ea** déficit de pression de vapeur saturante [kPa],
- Δ pente de la courbe de pression de vapeur saturante [kPa °C-1],
- γ constante psychrométrique [kPa °C-1].

L'évapotranspiration de référence, ETo, fournit un standard auquel:

- l'évapotranspiration à différentes périodes de l'année ou d'autres régions peut être comparée;
- l'évapotranspiration d'autres cultures peut être reliée.

L'équation utilise des mesures climatologiques standard de rayonnement solaire (insolation), température de l'air, humidité et vitesse du vent. Pour assurer la précision des calculs, les mesures climatiques doivent être faites à 2 m (ou converties à cette hauteur) au-dessus d'une surface vaste de gazon couvrant le sol et non limitée en eau.

En raison des simplifications dans la formulation et des erreurs dans la mesure des données, on ne peut atteindre une prédiction parfaite de l'évapotranspiration pour toutes situations climatiques par aucune équation basée sur des données climatiques. Il est probable que des instruments de précision, en conditions environnementales et biologiques parfaitement contrôlées, puissent montrer occasionnellement une déviation entre l'équation FAO Penman-Monteith et des mesures réelles d'ETo d'un gazon. Cependant, l'assemblée d'experts s'accorda pour utiliser la définition de la référence hypothétique sur laquelle est basée l'équation FAO Penman-Monteith, comme définition de l'ETo d'un gazon lors de la détermination des coefficients culturaux.

L'équation FAO Penman-Monteith est une représentation proche et simple des facteurs physiques et physiologiques gouvernant le processus d'évapotranspiration. En utilisant la définition FAO Penman-Monteith pour ETo, les coefficients culturaux peuvent être calculés en chaque site de recherche en reliant l'évapotranspiration mesurée de la culture (ETc) avec ETo calculée, à savoir $Kc = ETc/ETo$. Dans l'approche du coefficient cultural, les différences de couvert végétal et de résistance aérodynamique par rapport à la culture hypothétique de référence sont prises en compte par le coefficient cultural lui-même. Le facteur Kc représente un regroupement des différences physiques et physiologiques entre les cultures et la définition de référence.

Seule la station de Tébessa dispose des données suffisantes pour le calcul de l'ETP par cette formule, extraites de la base de données du site internet de la FAO.

| Mois | Tmax (°C) | Tmin (°C) | Humid % | Vitesse du vent (km/jrs) | Insolation (h) | Radiation (MJ/m2.jour) | T° moyenne |
|-------|-------------|------------|-----------|--------------------------|----------------|------------------------|-------------|
| S | 29,1 | 16,0 | 53 | 138 | 8,9 | 19,4 | 22,55 |
| O | 21,7 | 11,2 | 63 | 147 | 7,1 | 14,1 | 16,45 |
| N | 16,0 | 6,6 | 69 | 147 | 6,5 | 10,8 | 11,3 |
| D | 11,5 | 3,0 | 73 | 173 | 6,2 | 9,3 | 7,25 |
| J | 10,2 | 1,8 | 71 | 147 | 6,3 | 10,1 | 6 |
| F | 12,2 | 2,6 | 68 | 190 | 6,8 | 12,9 | 7,4 |
| M | 16,0 | 4,6 | 65 | 156 | 7,6 | 16,9 | 10,3 |
| A | 20,7 | 7,2 | 56 | 156 | 8,3 | 20,5 | 13,95 |
| M | 25,1 | 11,3 | 56 | 156 | 8,9 | 22,8 | 18,2 |
| J | 31,0 | 15,8 | 49 | 147 | 10,5 | 25,6 | 23,4 |
| J | 34,7 | 18,7 | 44 | 156 | 11,3 | 26,5 | 26,7 |
| A | 34,0 | 18,3 | 47 | 130 | 10,6 | 24,2 | 26,15 |
| Année | 21,9 | 9,8 | 60 | 154 | 8,3 | 17,8 | 15,8 |

Tableau 9 : Caractéristiques climatiques enregistrées à la station de Tébessa.
Source (www.fao.org)

5.3. Formule de L. TURC mensuelle

La formule de Turc, qui dérive en la simplifiant de la formule de Penman, ne nécessite que la connaissance des températures de l'air et de la radiation globale ou de la durée d'insolation. Cette formule est la suivante :

$$ETP = 0,40 \cdot \frac{T}{T + 15} (I_g + 50) \quad \text{où :}$$

T : Température moyenne mensuelle en C° du mois considéré, (sous abri).

I_g : rayonnement solaire global (cal.cm-2.j-1), mesuré au pyranomètre .

* Si l'humidité relative de l'air pendant le mois considéré est inférieure à 50%, on introduit un terme de correction : k

$$K = 1 + \frac{(50 - hr)}{70} \quad : \text{hr est l'humidité relative.}$$

Ce terme sera ensuite multiplié par l'ETP du mois.

- Si l'on ne dispose pas d'un pyranomètre pour mesurer I_g, ce paramètre peut être estimé à partir des mesures de la durée d'insolation donnée par l'héliographe.

$$I_g = I_g A \cdot (0,18 + 0,62 \cdot \frac{h}{H})$$

- H durée théorique d'insolation en heures par mois.

- h durée réelle d'insolation en heures par mois.

- I_gA: rayonnement extraterrestre (cal.cm-2.j-1) donné par les tables d'Angot, d'après la formule d'Angström, fonction de la latitude et de la saison

5.4. Formule de THORNTHWAITE

L'évapotranspiration potentielle selon THORNTHWAITE basée essentiellement sur la température est donnée par la formule :

$$ETP = 16 \cdot \left(\frac{10T}{I}\right)^\alpha F(\lambda) \quad \text{en (mm)}$$

$$\alpha = \frac{16}{100} I + 0,5 \quad \text{ou : } i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1,514} \quad \text{et} \quad I = \sum_{j=1}^{j=12} i_j$$

T : températures moyennes mensuelles en °C

I : indice thermique annuel

i : indice thermique mensuel

F (λ) : facteur de correction intégrant la durée d'insolation et le nombre de jours du mois.

Cette formule est bien adaptée aux climats à précipitations régulières (océanique, équatorial), mais ne convient pas aux climats à saison sèche marquée (J. Mudry, 2000) tel est le cas de notre région d'étude

5.5.Résultats de calculs de l'ETP

| Mois | P (mm) | T (°C) | ETP_THORT | ETP_TURC | ETP_PENM |
|-------|--------|--------|-----------|----------|----------|
| S | 39,9 | 22,6 | 109,6 | 129,2 | 135,0 |
| O | 29,0 | 16,5 | 55,8 | 84,5 | 89,9 |
| N | 28,3 | 11,3 | 24,4 | 55,3 | 54,0 |
| D | 22,9 | 7,3 | 10,8 | 36,7 | 39,0 |
| J | 31,9 | 6,0 | 8,2 | 34,3 | 39,0 |
| F | 17,6 | 7,4 | 12,4 | 48,7 | 50,4 |
| M | 37,8 | 10,3 | 28,4 | 75,7 | 80,6 |
| A | 24,5 | 14,0 | 53,4 | 106,1 | 114,0 |
| M | 36,0 | 18,2 | 96,0 | 133,3 | 145,7 |
| J | 26,6 | 23,4 | 147,8 | 169,8 | 174,0 |
| J | 13,8 | 26,7 | 184,6 | 198,8 | 204,6 |
| A | 23,3 | 26,2 | 166,2 | 145,9 | 179,8 |
| Année | 331,6 | 15,8 | 861,6 | 1218 | 1306,0 |

Tableau 10 : Résultats de calcul de l'ETP par les formules de Thontwaite, Turc et FAO-Penman à station de Tébessa.

| Mois | P (mm) | T (°C) | ETP_THORT | ETP_TURC |
|-------|--------|--------|-----------|----------|
| S | 21,9 | 21,5 | 104,8 | 126,8 |
| O | 32,0 | 15,4 | 53,6 | 81,9 |
| N | 19,6 | 10,3 | 23,2 | 52,4 |
| D | 12,8 | 6,2 | 9,8 | 33,0 |
| J | 16,9 | 5,0 | 7,2 | 29,9 |
| F | 8,5 | 6,4 | 11,3 | 44,0 |
| M | 18,7 | 9,3 | 26,8 | 71,0 |
| A | 13,9 | 12,9 | 51,2 | 101,9 |
| M | 18,5 | 17,2 | 92,2 | 129,8 |
| J | 24,1 | 22,4 | 141,2 | 166,8 |
| J | 9,4 | 25,7 | 175,6 | 196,0 |
| A | 7,8 | 25,1 | 158,2 | 143,8 |
| Année | 204,2 | 14,8 | 855,2 | 1177,7 |

Tableau 11 : Résultats de calcul de l'ETP par les formules de Thontwaite, Turc à station d'El Ma El Abiod.

| Mois | P (mm) | T (°C) | ETP_THORT | ETP_TURC |
|------|--------|--------|-----------|----------|
| S | 33,9 | 21,1 | 102,9 | 125,8 |
| O | 34,2 | 15,0 | 57,1 | 80,8 |
| N | 25,9 | 9,9 | 26,6 | 51,1 |
| D | 18,8 | 5,8 | 11,3 | 31,4 |
| J | 24,4 | 4,6 | 8,5 | 28,0 |
| F | 20,5 | 6,0 | 12,4 | 42,0 |
| M | 31,6 | 8,9 | 27,1 | 69,0 |
| A | 17,5 | 12,5 | 49,0 | 100,2 |
| M | 34,2 | 16,8 | 84,5 | 128,3 |
| J | 30,9 | 22,0 | 129,5 | 165,5 |
| J | 10,9 | 25,3 | 163,7 | 194,8 |
| A | 22,9 | 24,7 | 148,0 | 142,9 |

Tableau 12 : Résultats de calcul de l'ETP par les formules de Thontwaite, Turc à station de Chéria.

Au vu des résultats obtenus par l'usage des différentes formules pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle à l'échelle de notre région d'étude mentionnés dans les tableaux 10,11 et 12, qui sont représentés par les figure18 et 19 nous remarquons que :

- L'allure de la variation de l'ETP est identique dans le temps et dans l'espace ceci est dû au fait que les températures des deux stations El Ma El Abiod et Chéria sont extrapolées à partir de celles de Tébessa d'une part et leur appartenance au même étage bioclimatique d'autre part.
- Les formules de Turc et FAO-Penman donnent des valeurs semblables par rapport à celles de Thorntwaite à l'échelle mensuel et annuel, ces dernières semble être sous estimées.

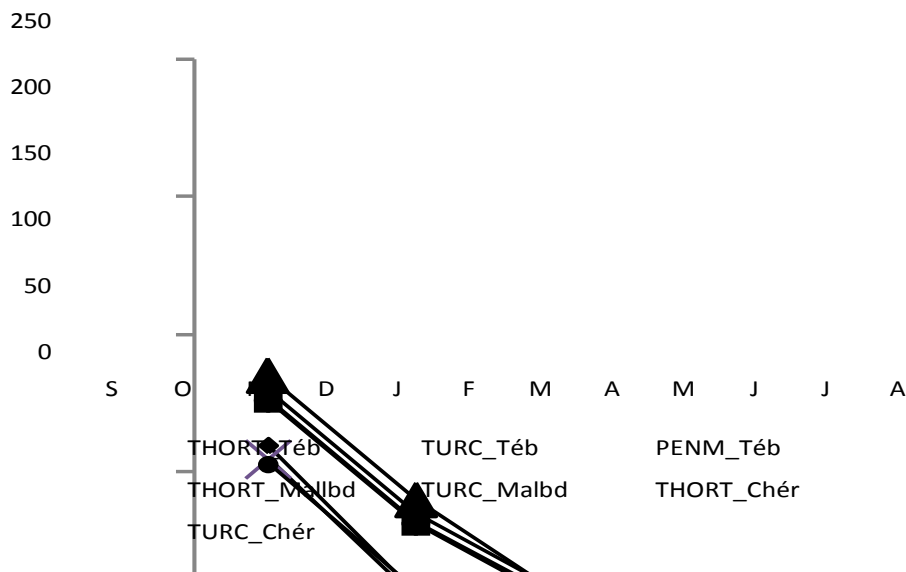


Figure18: Variation mensuelle de l'évapotranspiration potentielle à l'échelle des trois stations (Tébessa, El Ma El Abiod et Chéria) calculée par les trois méthodes (Thorntwaite, Turc) et FAO-Penman (Tébessa)

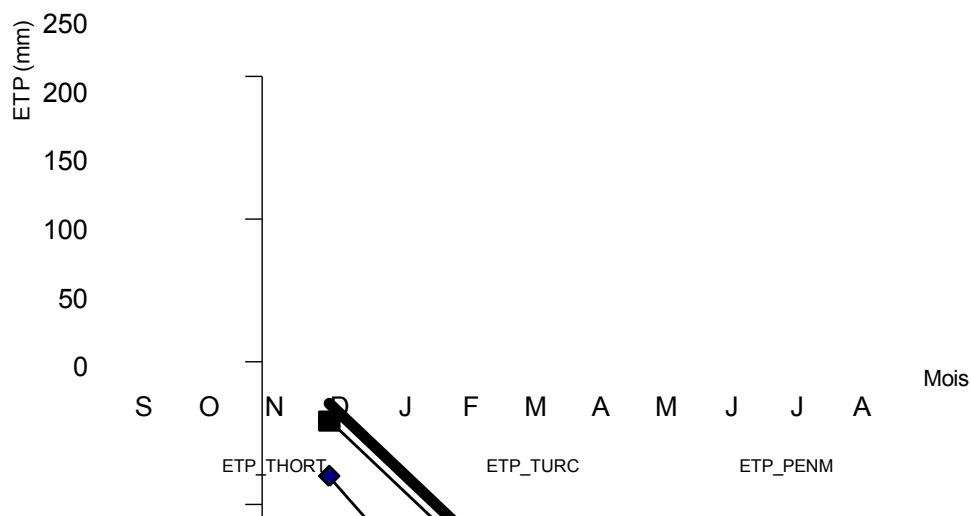


Figure 19: Variation mensuelle de l'évapotranspiration potentielle à l'échelle d'une station (de Tébessa) calculée par les trois méthodes (Thorntwaite, Turc et FAO-Penman)

6. Bilan hydrologique

6.1. Bilan simplifié selon THORNTHWAITE

Cette méthode est basée sur la notion de réserve en eau facilement utilisable (notée par la suite RFU). On admet que le sol est capable de stocker une certaine quantité d'eau (la RFU); cette eau peut être reprise pour l'évaporation par l'intermédiaire des plantes. La quantité d'eau stockée dans la RFU est bornée par 0 (la RFU vide) et RFU max (capacité maximale de la RFU qui est de l'ordre de 0 à 200 mm suivant les sols et sous-sols considérés, avec une moyenne de l'ordre de 100 mm). On admet que la satisfaction de l'Etp a la priorité sur l'écoulement, c'est-à-dire qu'avant qu'il n'y ait d'écoulement, il faut avoir satisfait le pouvoir évaporant ($E_{tp} = E_{tr}$). Par ailleurs, la complétion de la RFU est également prioritaire sur l'écoulement (J.P. Laborde, 2000)

On établit ainsi un bilan à l'échelle mensuelle, à partir de la pluie du mois P, de l'Etp et de la RFU.

- Si $P > E_{tp}$, alors :
 - $E_{tr} = E_{tp}$
 - il reste un excédent ($P - E_{tp}$) qui est affecté en premier lieu à la RFU, et, si la RFU est complète, à l'écoulement Q

- Si $P < E_{tp}$:

On évapore toute la pluie et on prend à la RFU (jusqu'à la vider) l'eau nécessaire pour satisfaire l'Etr soit :

- $E_{tr} = P + \min(RFU, E_{tp} - P)$
- $RFU = 0$ ou $RFU + P - E_{tp}$

- si $RFU = 0$,

La quantité ($D_a = E_{tp} - E_{tr}$) représente le déficit agricole, c'est-à-dire sensiblement la quantité d'eau qu'il faudrait apporter aux plantes pour qu'elles ne souffrent pas d'un manque d'eau.

6.2. Résultats de calculs du bilan hydrologique de Thorntwaite

Dans cette partie on considère que :

- Les paramètres hydro climatiques mesurés aux trois stations considérées sont représentatifs de toute la zone étudiée.
- le bilan hydrologique sera établi dans cette section sans prise en compte des apports artificiels (irrigation) et y seront abordés plus loin dans le chapitre hydrogéologie dans le contexte retours d'eau et recharge des nappes.

En utilisant l'ETP moyenne mensuelle calculée par les 3 formules (Thornthwaite, Turc, Penman) pour la période 1993-2008, On y voit ce qui suit :

- Que le bilan hydrique (BH) est déficitaire quel que soit la formule utilisée.
- Que le bilan avec ETP de Turc et celle de Penman sont semblables et donnent des valeurs très proches.
- Le bilan avec ETP de Thornthwaite est différent et donne un déficit agricole (Def) plus faible parce que l'ETP par cette formule a été sous-estimée comparativement à celles de Penman et Turc.

| Mois | ETP Thornt | P | BH | RFU | ETR | Def | Exc |
|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|------------|
| | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) |
| septembre | 107,5 | 39,9 | -67,6 | 0,0 | 39,9 | 67,6 | 0,0 |
| octobre | 59,5 | 29,0 | -30,5 | 0,0 | 29,0 | 30,5 | 0,0 |
| novembre | 28,0 | 28,3 | 0,3 | 0,3 | 28,0 | 0,0 | 0,0 |
| décembre | 12,5 | 22,9 | 10,4 | 10,7 | 12,5 | 0,0 | 0,0 |
| janvier | 9,7 | 31,9 | 22,2 | 32,9 | 9,7 | 0,0 | 0,0 |
| février | 13,5 | 17,6 | 4,1 | 37,0 | 13,5 | 0,0 | 0,0 |
| mars | 28,7 | 37,8 | 9,1 | 46,1 | 28,7 | 0,0 | 0,0 |
| avril | 51,1 | 24,5 | -26,6 | 19,5 | 51,1 | 0,0 | 0,0 |
| mai | 88,0 | 36,0 | -52 | 0,0 | 55,6 | 32,4 | 0,0 |
| juin | 135,6 | 26,6 | -109 | 0,0 | 26,6 | 109,0 | 0,0 |
| juillet | 172,1 | 13,8 | -158,3 | 0,0 | 13,8 | 158,4 | 0,0 |
| Août | 155,5 | 23,3 | -132,2 | 0,0 | 23,3 | 132,2 | 0,0 |
| TOTAL | 861,7 | 331,6 | -530,1 | 146,5 | 331,6 | 530,0 | 0,0 |

Tableau 13 : Bilan hydrologique pour ETP de Thornthwaite à la station de Tébessa

| Mois | ETP Turc | P | BH | RFU | ETR | Def | Exc |
|--------------|---------------|--------------|---------------|------------|--------------|--------------|------------|
| | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) |
| septembre | 129,2 | 39,9 | -89,3 | 0,0 | 39,9 | 89,3 | 0,0 |
| octobre | 84,5 | 29,0 | -55,5 | 0,0 | 29,0 | 55,5 | 0,0 |
| novembre | 55,3 | 28,3 | -27 | 0,0 | 28,3 | 27,0 | 0,0 |
| décembre | 36,7 | 22,9 | -13,8 | 0,0 | 22,9 | 13,8 | 0,0 |
| janvier | 34,3 | 31,9 | -2,4 | 0,0 | 31,9 | 2,4 | 0,0 |
| février | 48,7 | 17,6 | -31,1 | 0,0 | 17,6 | 31,1 | 0,0 |
| mars | 75,7 | 37,8 | -37,9 | 0,0 | 37,8 | 37,8 | 0,0 |
| avril | 106,1 | 24,5 | -81,6 | 0,0 | 24,5 | 81,6 | 0,0 |
| mai | 133,3 | 36,0 | -97,3 | 0,0 | 36,0 | 97,3 | 0,0 |
| juin | 169,8 | 26,6 | -143,2 | 0,0 | 26,6 | 143,2 | 0,0 |
| juillet | 198,8 | 13,8 | -185 | 0,0 | 13,8 | 185,0 | 0,0 |
| Août | 145,9 | 23,3 | -122,6 | 0,0 | 23,3 | 122,7 | 0,0 |
| TOTAL | 1218,3 | 331,6 | -886,7 | 0,0 | 331,6 | 886,7 | 0,0 |

Tableau 14 : Bilan hydrologique pour ETP de TURC à la station de Tébessa

| Mois | ETP Thornt | P | BH | RFU | ETR | Def | Exc |
|--------------|--------------|--------------|---------------|-------------|--------------|--------------|------------|
| | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) |
| septembre | 102,9 | 21,9 | -81 | 0,0 | 21,9 | 81,0 | 0,0 |
| octobre | 57,1 | 32,0 | -25,1 | 0,0 | 32,0 | 25,1 | 0,0 |
| novembre | 26,6 | 19,6 | -7 | 0,0 | 19,6 | 7,0 | 0,0 |
| décembre | 11,3 | 12,8 | 1,5 | 1,5 | 11,3 | 0,0 | 0,0 |
| janvier | 8,5 | 16,9 | 8,4 | 9,8 | 8,5 | 0,0 | 0,0 |
| février | 12,4 | 8,5 | -3,9 | 6,0 | 12,4 | 0,0 | 0,0 |
| mars | 27,1 | 18,7 | -8,4 | 0,0 | 24,6 | 2,5 | 0,0 |
| avril | 49,0 | 13,9 | -35,1 | 0,0 | 13,9 | 35,0 | 0,0 |
| mai | 84,5 | 18,5 | -66 | 0,0 | 18,5 | 66,0 | 0,0 |
| juin | 129,5 | 24,1 | -105,4 | 0,0 | 24,1 | 105,4 | 0,0 |
| juillet | 163,7 | 9,4 | -154,3 | 0,0 | 9,4 | 154,3 | 0,0 |
| Août | 148,0 | 7,8 | -140,2 | 0,0 | 7,8 | 140,2 | 0,0 |
| TOTAL | 820,6 | 204,2 | -616,4 | 17,3 | 204,2 | 616,5 | 0,0 |

Tableau 15 : Bilan hydrologique pour ETP de Thornthwaite à la station d'El Ma El Abiod.

| Mois | ETP Turc | P | BH | RFU | ETR | Def | Exc |
|--------------|---------------|--------------|---------------|------------|--------------|--------------|------------|
| | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) |
| septembre | 126,8 | 21,9 | -104,9 | 0,0 | 21,9 | 104,9 | 0,0 |
| octobre | 81,9 | 32,0 | -49,9 | 0,0 | 32,0 | 49,9 | 0,0 |
| novembre | 52,4 | 19,6 | -32,8 | 0,0 | 19,6 | 32,8 | 0,0 |
| décembre | 33,0 | 12,8 | -20,2 | 0,0 | 12,8 | 20,2 | 0,0 |
| janvier | 29,9 | 16,9 | -13 | 0,0 | 16,9 | 13,0 | 0,0 |
| février | 44,0 | 8,5 | -35,5 | 0,0 | 8,5 | 35,5 | 0,0 |
| mars | 71,0 | 18,7 | -52,3 | 0,0 | 18,7 | 52,4 | 0,0 |
| avril | 101,9 | 13,9 | -88 | 0,0 | 13,9 | 88,0 | 0,0 |
| mai | 129,8 | 18,5 | -111,3 | 0,0 | 18,5 | 111,3 | 0,0 |
| juin | 166,8 | 24,1 | -142,7 | 0,0 | 24,1 | 142,7 | 0,0 |
| juillet | 196,0 | 9,4 | -186,6 | 0,0 | 9,4 | 186,6 | 0,0 |
| Août | 143,8 | 7,8 | -136 | 0,0 | 7,8 | 136,0 | 0,0 |
| TOTAL | 1177,4 | 204,2 | -973,2 | 0,0 | 204,2 | 973,2 | 0,0 |

Tableau 16 : Bilan hydrologique pour ETP de TURC à la station d'El Ma El Abiod.

| Mois | ETP Thornt | P | BH | RFU | ETR | Def | Exc |
|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|------------|
| | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) |
| septembre | 101,0 | 33,9 | -67,1 | 0,0 | 33,9 | 67,1 | 0,0 |
| octobre | 56,2 | 34,2 | -22 | 0,0 | 34,2 | 22,0 | 0,0 |
| novembre | 26,0 | 25,9 | -0,1 | 0,0 | 25,9 | 0,1 | 0,0 |
| décembre | 10,8 | 18,8 | 8 | 8,0 | 10,8 | 0,0 | 0,0 |
| janvier | 8,0 | 24,4 | 16,4 | 24,3 | 8,0 | 0,0 | 0,0 |
| février | 11,8 | 20,5 | 8,7 | 33,0 | 11,8 | 0,0 | 0,0 |
| mars | 26,4 | 31,6 | 5,2 | 38,2 | 26,4 | 0,0 | 0,0 |
| avril | 48,1 | 17,5 | -30,6 | 7,6 | 48,1 | 0,0 | 0,0 |
| mai | 83,1 | 34,2 | -48,9 | 0,0 | 41,8 | 41,3 | 0,0 |
| juin | 127,1 | 30,9 | -96,2 | 0,0 | 30,9 | 96,2 | 0,0 |
| juillet | 160,4 | 10,9 | -149,5 | 0,0 | 10,9 | 149,5 | 0,0 |
| Août | 145,0 | 22,9 | -122,1 | 0,0 | 22,9 | 122,1 | 0,0 |
| TOTAL | 803,9 | 305,7 | -498,2 | 111,1 | 305,7 | 498,4 | 0,0 |

Tableau 17 : Bilan hydrologique pour ETP de Thornthwaite à la station de Chéria

| Mois | ETP Turc | P | BH | RFU | ETR | Def | Exc |
|--------------|---------------|--------------|---------------|------------|--------------|--------------|------------|
| | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) |
| septembre | 125,8 | 33,9 | -91,9 | 0,0 | 33,9 | 91,9 | 0,0 |
| octobre | 80,8 | 34,2 | -46,6 | 0,0 | 34,2 | 46,6 | 0,0 |
| novembre | 51,1 | 25,9 | -25,2 | 0,0 | 25,9 | 25,2 | 0,0 |
| décembre | 31,4 | 18,8 | -12,6 | 0,0 | 18,8 | 12,6 | 0,0 |
| janvier | 28,0 | 24,4 | -3,6 | 0,0 | 24,4 | 3,6 | 0,0 |
| Février | 42,0 | 20,5 | -21,5 | 0,0 | 20,5 | 21,5 | 0,0 |
| Mars | 69,0 | 31,6 | -37,4 | 0,0 | 31,6 | 37,4 | 0,0 |
| Avril | 100,2 | 17,5 | -82,7 | 0,0 | 17,5 | 82,7 | 0,0 |
| Mai | 128,3 | 34,2 | -94,1 | 0,0 | 34,2 | 94,1 | 0,0 |
| Juin | 165,5 | 30,9 | -134,6 | 0,0 | 30,9 | 134,6 | 0,0 |
| Juillet | 194,8 | 10,9 | -183,9 | 0,0 | 10,9 | 183,9 | 0,0 |
| Août | 142,9 | 22,9 | -120 | 0,0 | 22,9 | 120,0 | 0,0 |
| TOTAL | 1159,8 | 305,7 | -854,1 | 0,0 | 305,7 | 854,1 | 0,0 |

Tableau 18 : Bilan hydrologique pour ETP de TURC à la station de Chéria.

A l'issu des résultats obtenus du calcul du bilan hydrologique de THORNTWAITE, à travers la région étudiée nous remarquons que l'emploi de telle ou telle formule pour l'estimation de l'ETP ; donne un bilan hydrologique déficitaire (BH négatif) induisant un déficit agricole important et considérable sur toute la longueur de l'année, la figure20 illustre sous forme de graphique le bilan hydrologique en utilisant l'ETP de TURC qui confirme les résultats chiffrés précédents surtout en matière de l'importance du déficit hydrique à l'échelle des trois plaines dans le temps et dans l'espace.

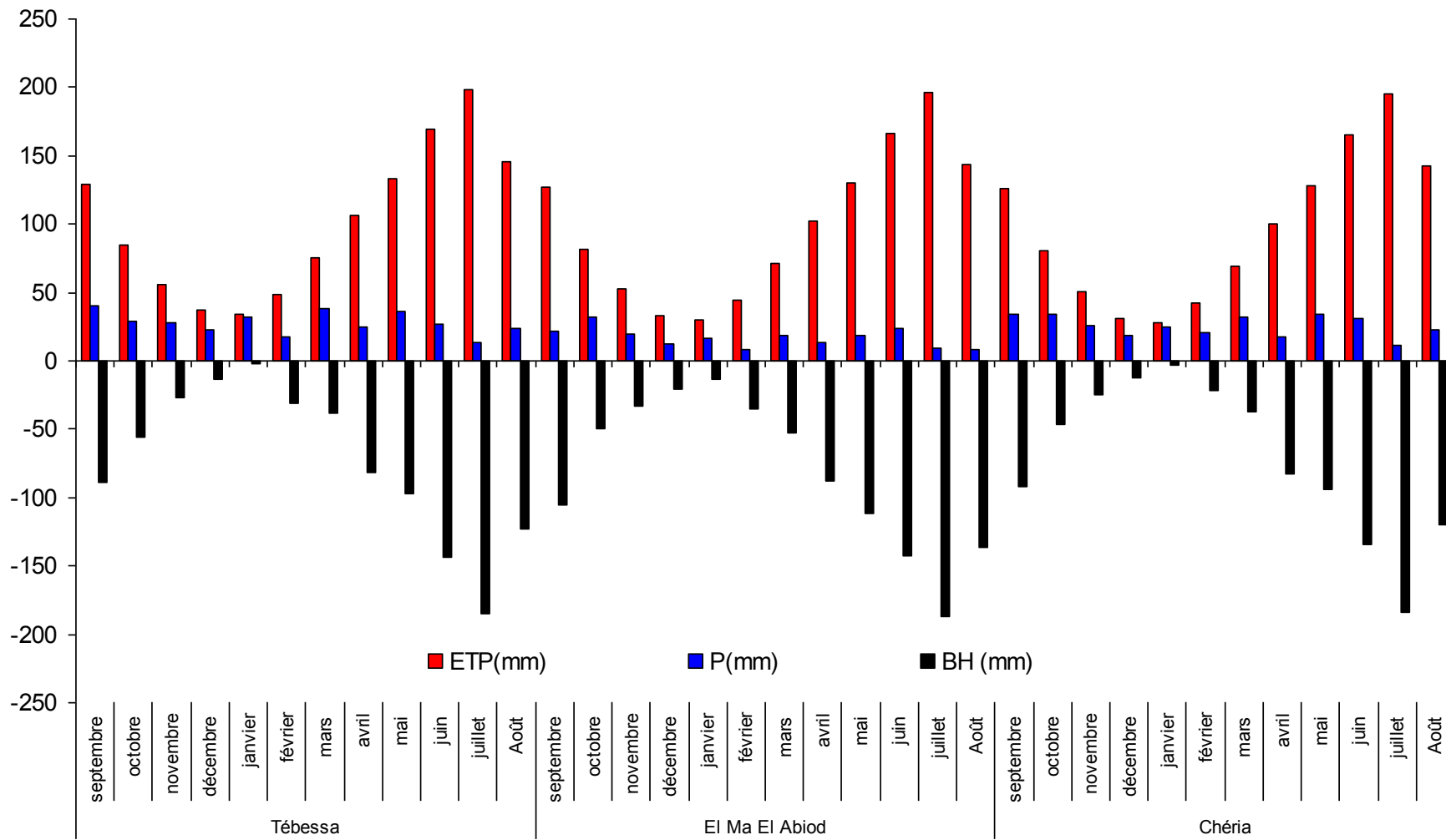


Figure 20: Bilan hydrique avec ETP de TURC, à travers la région étudié.

7. Conclusion

A travers l'étude climatique à l'échelle de la région étudiée nous avons remarqué que les précipitations sont très variables dans le temps et stables dans l'espace, les températures présentent une légère augmentation progressive ; traduisant le réchauffement climatique qui constitue l'ordre du jour actuel des météorologues du monde entier, la région fait partie de l'étage bioclimatique semi aride ; confirmée par le calcul de l'indice d'aridité de Martonne, à travers le diagramme pluvio-thermique les périodes sèches sont plus longues et emportent beaucoup sur les périodes humides, l'évapotranspiration potentielle est importante à l'échelle de la région est fait plus que quatre fois l'évapotranspiration réelle traduisant un déficit agricole très important à l'issue du calcul du bilan hydrologique.

Chapitre : **4**

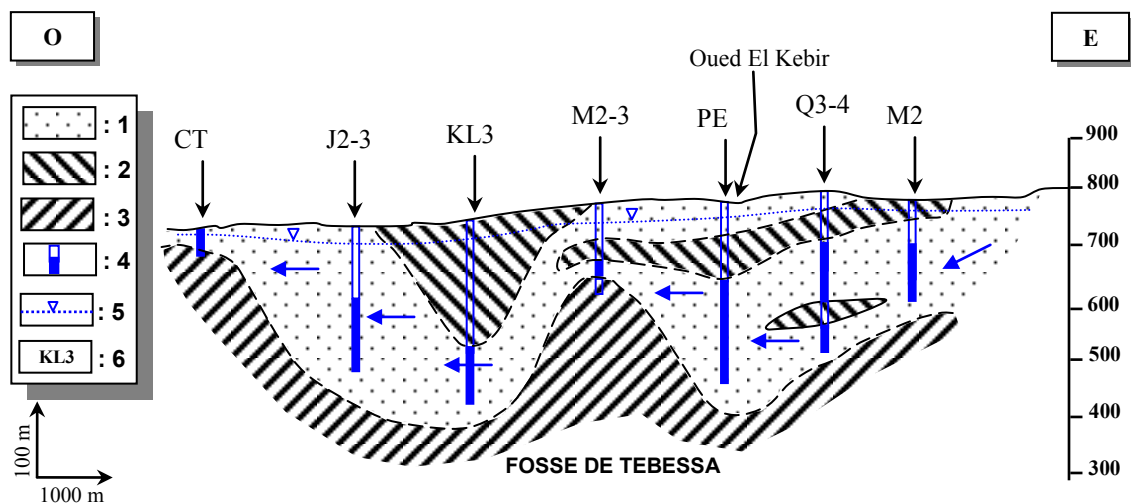
HYDROGEOLOGIE

1. Introduction

Sur la base des cartes et les coupes géologiques, combinés avec les colonnes stratigraphiques des forages réalisés à travers la région, leurs profondeurs, l'altitude topographique, et la mesure des niveaux piézométriques ; des coupes hydrogéologiques et des cartes piézométriques ont été établis afin de comprendre le mécanisme de circulation de l'eau souterraine, dans les différents systèmes aquifères.

1. Description générale

D'après l'esquisse géologique (Figure 09), et on se référant aux travaux de Djabri.L 1987 et Rouabhia 2004 et 2009 le système aquifère de la plaine de Tébessa est formé essentiellement par un manteau alluvial d'âge quaternaire, composé d'une alternance d'argile et de sables ou de cailloutis calcaires d'une épaisseur qui varie entre 10 et 400 m, encaissé dans un bassin d'effondrement d'âge plio-quaternaire, ouverte vers le Nord-Ouest, les calcaires Turoniens, Maestrichtiens et Campaniens constituant les reliefs en bordures Nord Est et Sud de la plaine, forment également d'importants aquifères.



1 : zone perméable (marno calcaire, cailloutis calcaires, grès et gravier). 2 : zone imperméable (argiles et marnes). 3 : substratum marneux. 4 : partie crépinée du sondage. 5 : niveau piézométrique. 6 : nom du forage

Figure21 : Coupe hydrogéologique à travers la plaine de la Merdja. Rouabhia et al. 2009

Par contre le système aquifère de la plaine d'EL Ma El Abiod, est encaissé dans un bassin versant d'effondrement d'âge mio-pliocène, dont la structure lithologique horizontale et verticale est peu variée.

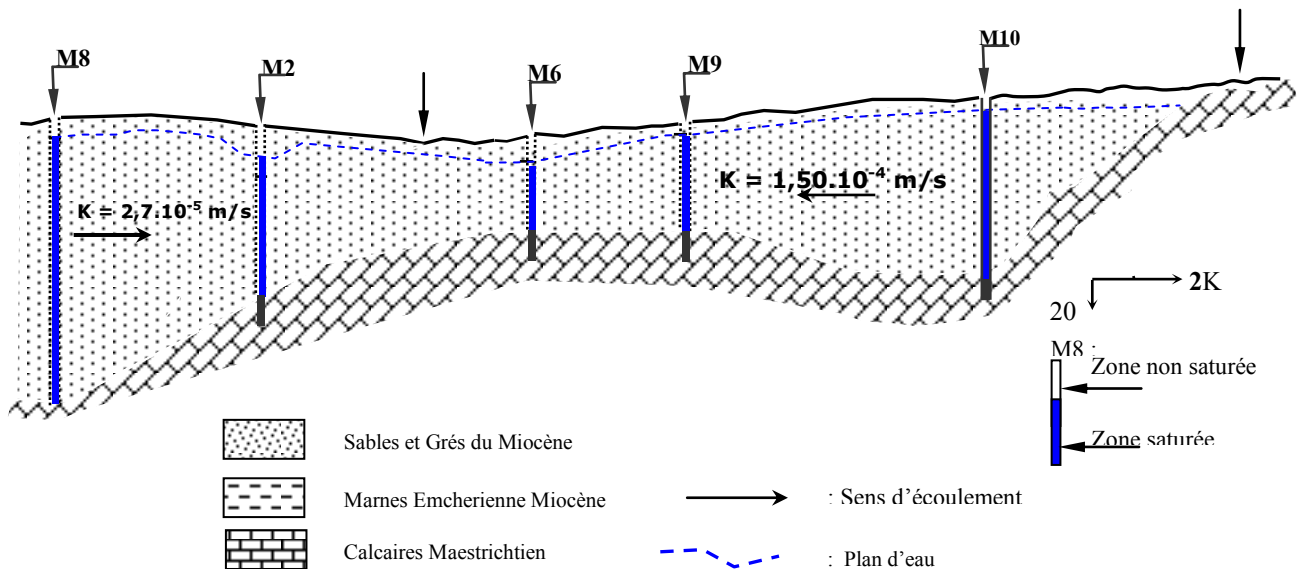


Figure 22 : Coupe hydrogéologique à travers la plaine d'El Ma El Abiod
Rouabhia et al. 2009

Les formations calcaires affleurant au nord et au sud, plongent en direction de la plaine sous le remplissage quaternaire, La structure générale de la plaine d'El MA EL Abiod montre deux familles d'unités aquifères de profondeurs différentes, la première, de faible profondeur et très étendue, se rencontre dans les formations alluviales récentes ; constituées d'argiles remaniées avec du sable et des cailloutis, la deuxième se trouve dans les formations miocènes, grès, sables et graviers à plus grandes profondeurs ; elle est exploitée par une dizaine de forage et une centaine de puits et constitue le principal réservoir de la plaine.

Les deux nappes sont libres, mais la nappe miocène devient captive sur un étendu faible à l'Est.

A Cheria on reconnaît une superposition de trois couches qui forment le système aquifère, en premier on rencontre les calcaires Maestrichtiens d'un intérêt hydrogéologique uniquement en bordure, suivis par les calcaires éocènes qui constituent le principal réservoir hydrogéologique du plateau, et en fin l'aquifère des alluvions quaternaire ; formés par des cailloutis fluviatiles, de colmatage, de bas fonds, alluvions de piémont, actuellement à sec vu la sécheresse qui a sévi pendant les deux dernières décennies, ainsi que la surexploitation des ressources hydriques.

Quatre terrains susceptibles d'être aquifère: aquifère des calcaires maestrichtiens, des calcaires éocènes, du remplissage de Mio-Plio-Quaternaire.

L'aquifère des calcaires éocènes

C'est l'aquifère principal de Chéria. Il a été reconnu par de nombreux forages spécialement ; autour de la ville de Chéria et fait l'objet d'une importante exploitation pour l'alimentation en eau potable et pour l'irrigation. La perméabilité est donnée par des fissures et un karst bien développé autour de la ville.

Les caractéristiques des forages qui ont traversé ou touché les calcaires Eocène, ont permis d'établir les remarques suivantes.

- les zones fissurées se rencontrent en général dans les 100 premiers mètres de l'éocène et les zones karstifiées sont encore plus localisées dans les 50 premiers mètres.
- Pour la géophysique le même problème pour les calcaires maestrichtiens (pas de différence de résistivités entre les calcaires fissurés et compacts) par contre pour le carottage électrique longue normale semble donner des résistivités de l'ordre de 200 ohm.m pour les calcaires fissurés et 400 à 600 ohm.m pour les calcaires non fissurés.

L'aquifère Mio-Plio-Quaternaire

Particulièrement cet aquifère rassemble deux aquifère:

- l'aquifère des niveaux sableux du Miocène : Le petit nombre de forages exécutés dans cet aquifère (523 et 524) rend les informations moins importantes. Le niveau compris entre 53 et 80 m est attribué aux graviers et sables quartzeux du Miocène.
- L'aquifère des alluvions quaternaires et actuelles. D'après la définition de Lambert on pouvait les classer en cailloutis fluviaux, de colmatage, de bas fonds, alluvions de piémont. Ces formations occupent la majeure partie du plateau de Chéria. Elles jouent dans la partie Nord, le rôle d'alimentation des calcaires maestrichtiens et éocènes par infiltration.

Cet aquifère est devenu actuellement sans intérêt, vu la sécheresse qui a sévi pendant les deux dernières décennies, ainsi que la surexploitation des ressources hydriques, ce volet sera traité ci-après.

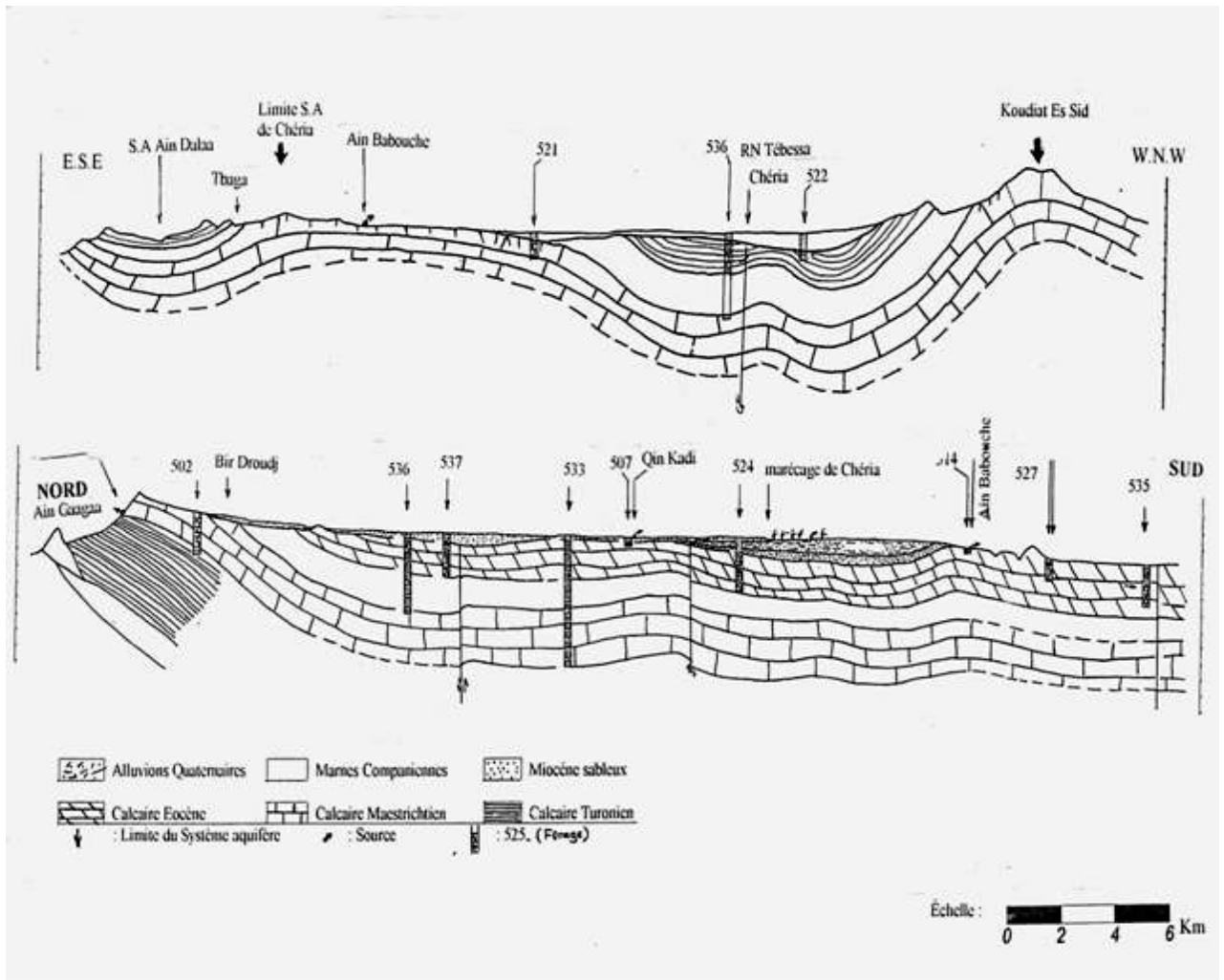


Figure 23: Coupe hydrogéologique à travers le plateau de Chéria (In Baali F. 2004).

2. Géométrie des aquifères

Sur la base des données de forages réalisés dans la zone d'étude ; qui sont disponibles au niveau de la direction de l'hydraulique de la wilaya de Tebessa, conjointement aux études géophysiques et différents travaux menés par Djabri L. 1987 sur la plaine de Tebessa, Rouabhia A. 2004 & 2006 sur la plaine d'El Ma El Abiod et Baali F. 2004 pour le plateau de Chéria, on a récupéré les informations géologiques des trois terrains, afin de dresser une caractérisation bien déterminée, des limites et du remplissage des différents réservoirs aquifères

2.1. Plaine de Tébessa :

Au vu des profils géophysiques issue de l'étude du CGG 1971 réinterprétés par GOLE et RICARD en 1975, on constate une alternance des couches résistantes avec des couches non résistantes. Sur chacun des profils on donne la répartition spatiale des résistivités regroupées en trois horizons P1, P2 et P3 qui se suivent et se superposent d'une manière irrégulière (Djabri L., 1997) : (figure n°24)

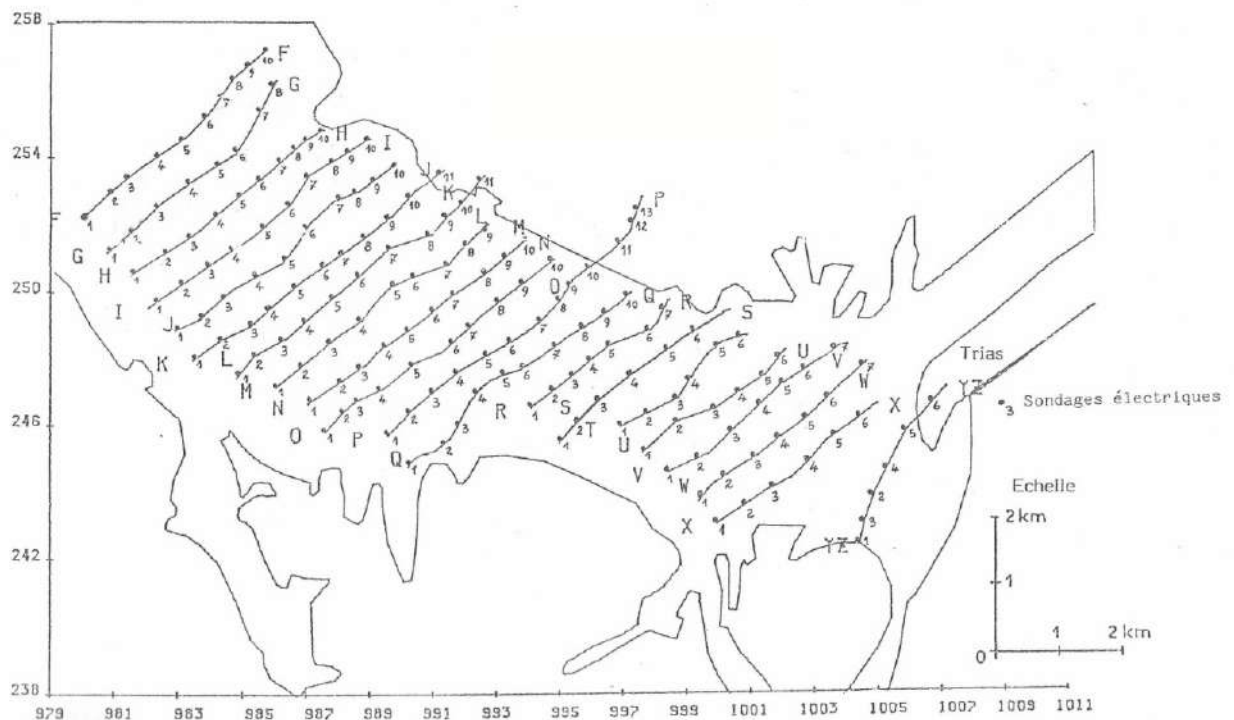


Figure 24: Localisation des profils électriques à la plaine de Tébessa (in Djabri L. 1987)

- A Ain Chabro : on constate que les zones résistantes (perméables) minces au centre (125 m) deviennent épaisses (227 m) et bien marquées sur les bordures de la plaine, sur les profils géophysiques on trouve rarement la succession P1,P2,P3 mais on trouve surtout P3 ce qui nous permet de dire qu'il s'agit probablement de cailloutis calcaires ou de galets.

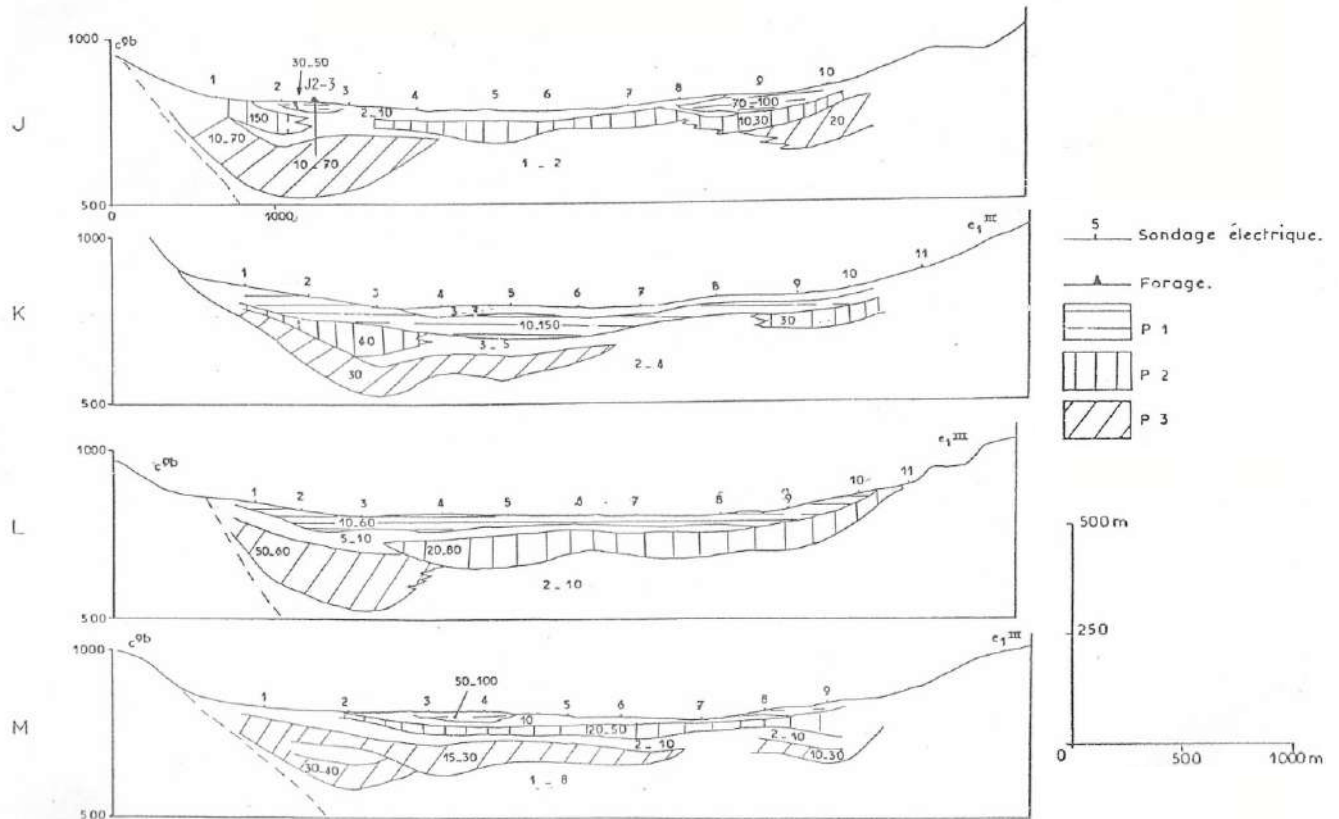


Figure 25: Coupes géo_électriques à travers la plaine de Tébessa selon les profils (J,K,L et M) (in Djabri L. 1987).

- A Tébessa : dans cette partie la succession des trois horizons existe, la géologie est représentée par des cailloutis calcaires, des graviers calcaires ou des sables, dans la partie centrale on observe des résistivités très basses pouvant s'expliquer par l'existence d'un niveau évaporitique.

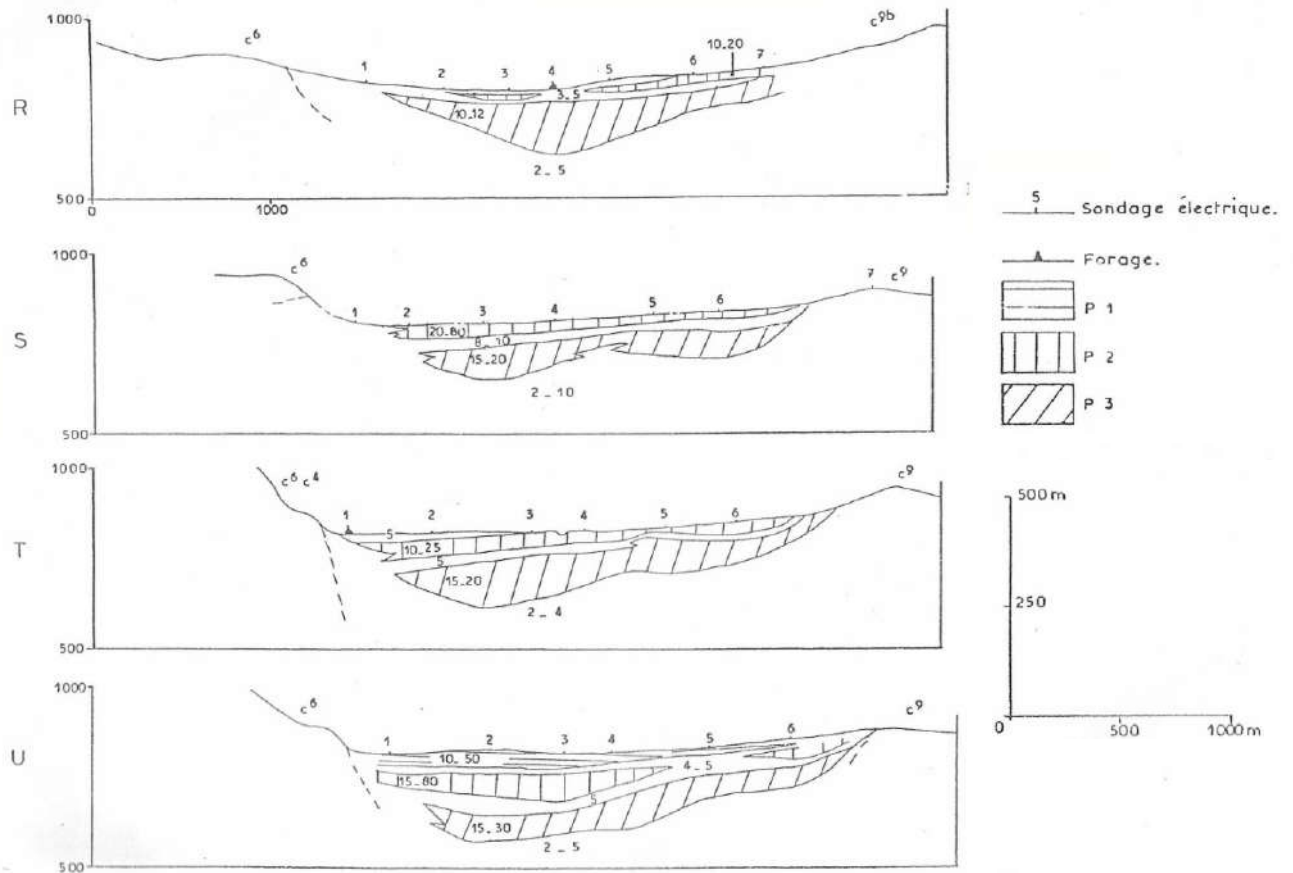


Figure 26: Coupes géo_électriques à travers la plaine de Tébessa selon les profils (R,S,T et U) (in Djabri L. 1992).

- A Bekkaria : comme à Tébessa la succession des trois horizons est bien marquée, représentés sous forme d'électro-bancs, du point de vue géologique on distingue des calcaires, des sables, des graviers et des galets.

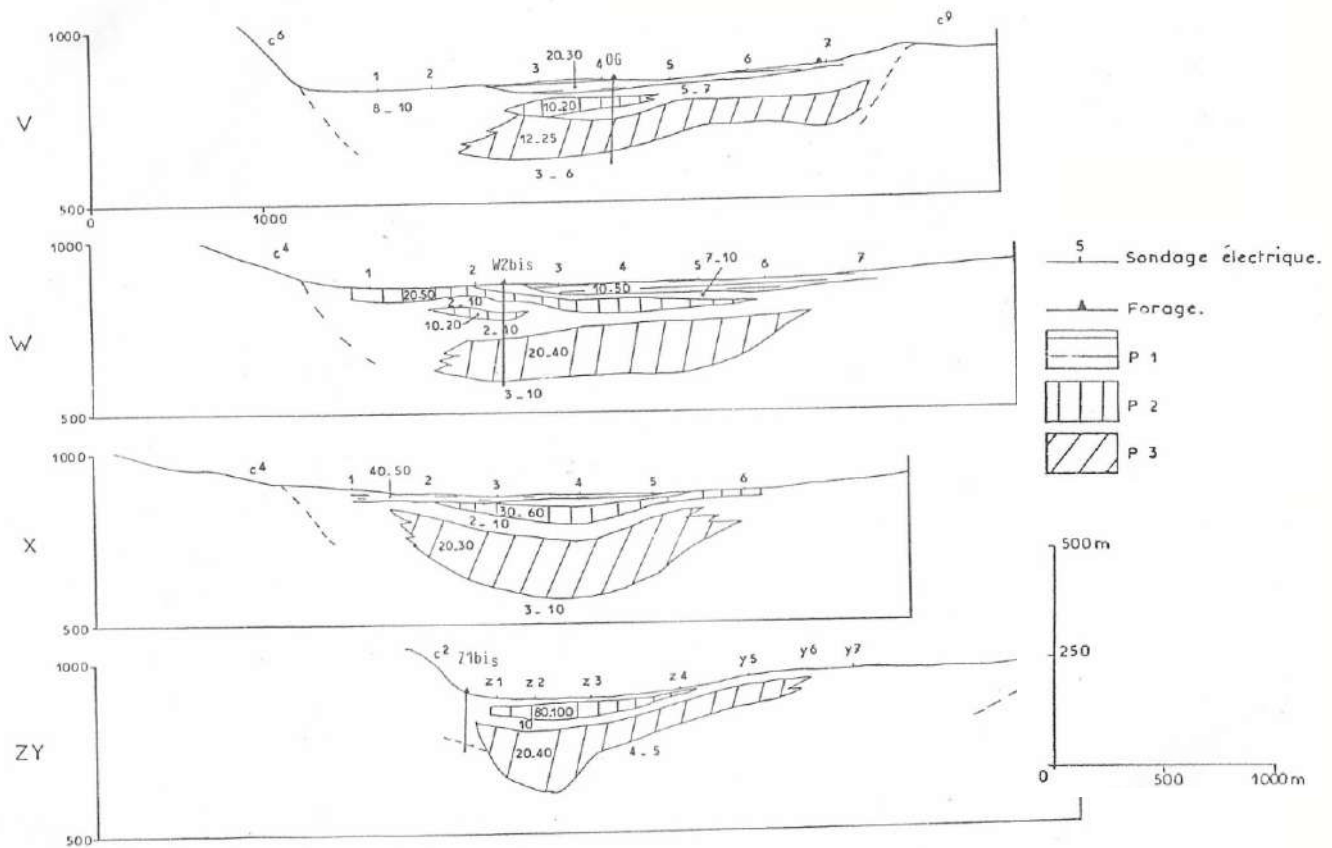


Figure 27: Coupes géo_électriques à travers la plaine de Tébessa selon les profils (V,W et X)

2.2. Plaine d'El Ma El Abiod :

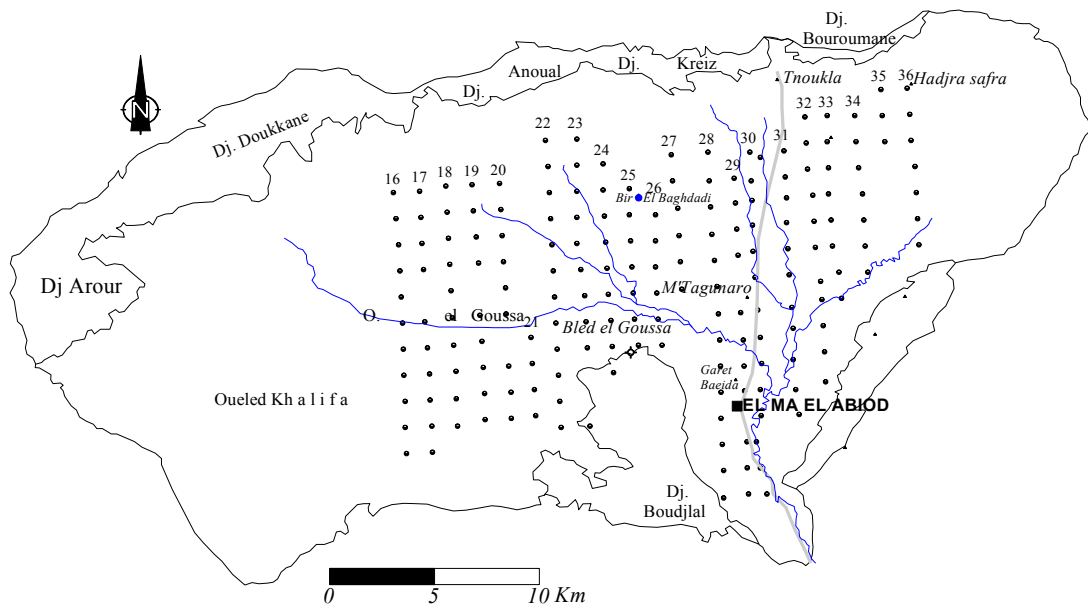


Figure 28 : Carte de position des sondages électriques 2006

Sur la base des résultats de mesures paramétriques en comparaison avec les coupes stratigraphiques des forages situés dans le même périmètre, les plages concernant les différentes formations ont été déterminées :

- Alluvions, et formations quaternaires : 20 à 150 Ω m.
- Argiles : 2 à 15 Ω m.
- Argiles sableuses : 20 à 60 Ω m.
- Sables et graviers : 50 à 250 Ω m.
- Grès ou calcaires : plus de 200 Ω m.

Les valeurs de résistivité des formations décrites, ne sont pas toujours vraies, les calcaires fissurés se manifestent par la même résistivité que les grès, et les formations altérées disposent généralement d'une résistivité égale à celle des sables ou des graviers.

Trois profils géoélectriques, ont été établis pour répondre à cette question :

Les profils géoélectriques ont été réalisés à partir des profils géophysiques et suivant l'alignement des forages hydrogéologiques

2.2.1. Coupe transversale I (Nord-Sud)

Traversée par les forages M7, M5, M4, M15 la coupe est représentée par quatre horizons pratiquement homogènes, de résistivités variables, sauf le dernier horizon. De part sa faible résistivité (3 à 7 Ω m), il constitue un substratum conducteur, au contraire des horizons supérieurs qui sont résistants.

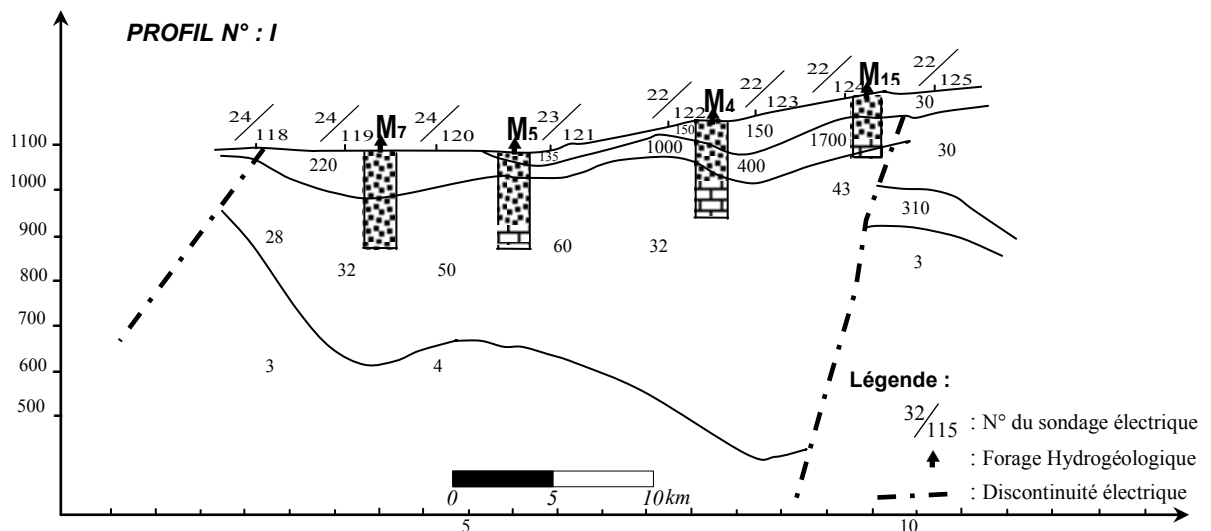


Figure 29 : Coupe géoélectrique transversale I. passant par les forages M₇, M₅, M₄, et M₁₅.

Le premier horizon d'une puissance maximale de 85m n'est pas continu au long du profil. Sa résistivité varie de 90Ωm à 150Ωm. Cette variation s'explique par l'hétérogénéité dans la composante de la couche géologique. La lecture des logs stratigraphiques fait ressortir la variation de ces différents faciès géologiques, où on a une alternance de couches argileuses, de sables gros à fins avec graviers et argiles sableuses. La variation des épaisseurs de ces couches fait augmenter ou diminuer la résistivité de cet horizon, ce qui explique les résultats enregistrés par la prospection électrique.

Le deuxième horizon, continu le long du profil, est représenté par des résistivités allant de 220Ωm pour atteindre 1700Ωm, son épaisseur varie de 35m à 120m. La corrélation stratigraphique des forages avec les résistivités obtenues, exprime bien les résultats enregistrés. La formation rencontrée dans ce cas précis est représentée par des grès consolidés.

Au troisième horizon résistant, une diminution de la résistivité est observée, due à la variation lithologique des couches. En effet, on note la présence de deux formations géologiques distinctes ; il s'agit des argiles sableuses du Miocène et des calcaires marneux du Maestrichtien. Les résistivités obtenues corrélées à la stratigraphie des forages sont analogues, le tableau suivant schématise cette similitude :

| Forages | Lithologie | Résistivité (P. électrique) |
|----------------------|---|---|
| M₄ | 0 – 87m : argiles et argiles sableuses 87- 150m : sables argileux avec passées argileuses 150-164m : sables moyens | 0 – 50m : R= 150Ωm 50-100m : R= 400Ωm >100m : R= 32Ωm |
| M₅ | 0 - 29 : alternance d'argile et de grès 29 – 61m : sables argileux et grès 61 –156m : alternance d'argile et de sable | 00-25m : R= 135Ωm 25 – 65m : R=330Ωm >65m :R= 60Ωm |

Tableau 19 : Lithologie et résistivités des forages M₄ et M₅ à la plaine d'El Ma El Abiod.

2.2.2. Coupe transversale II. (Nord-Sud)

La coupe est traversée par trois forages M10, M9, M6. Elle est caractérisée par trois horizons discontinus et hétérogènes.

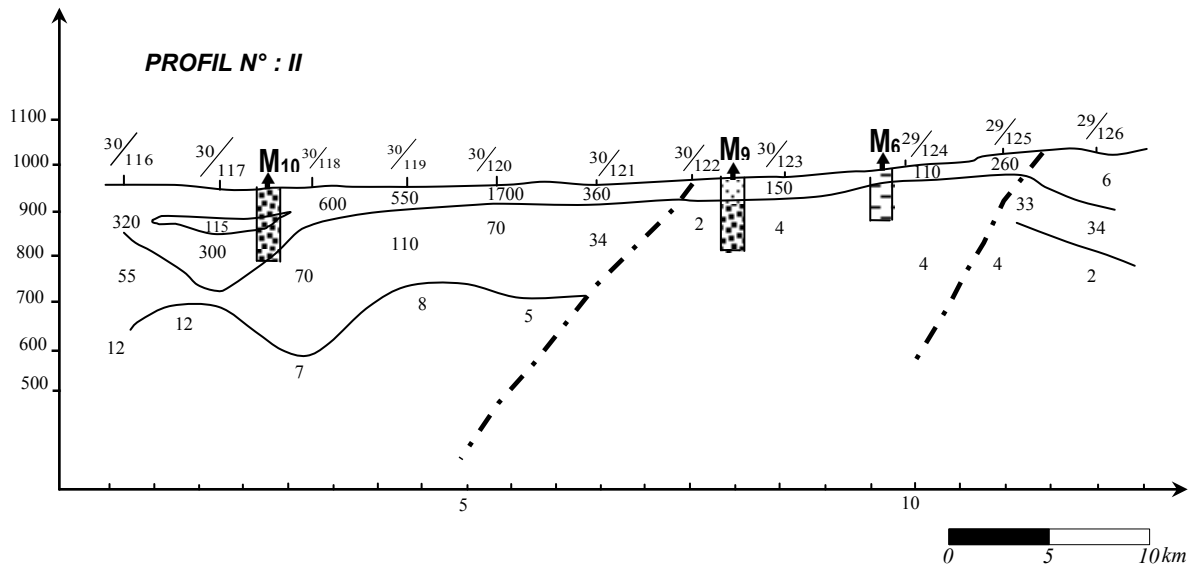


Figure 30 : Coupe géoélectrique transversale II. Passant par les forages M₁₀, M₉, et M₆.

Le premier horizon est composé par une formation résistante dont la résistivité varie de 110 à 600Ωm avec une épaisseur assez régulière sur tout le long du profil, égale à 85m. Cependant, au niveau du flanc Nord, le profil a tendance à se transformer en une structure bombée (allure synclinale) avec une épaisseur de 175m.

Le deuxième horizon, résistant, est continu sur tout le long du profil. Il disparaît en plein milieu de la zone étudiée et sur son flanc sud. Il est remplacé par un horizon conducteur, dont les résistivités vont de 50 à 110Ωm et une épaisseur de 200m.

Le troisième horizon, conducteur, constitue le mur de ces formations géologiques. Il est représenté par des résistivités qui varient de 2 à 16Ωm. Ce profil est également marqué par deux discontinuités électriques mettant en relief la présence de deux failles.

Le tableau qui suit donne une corrélation entre la lithologie et la prospection électrique.

| Forages | Lithologie | Résistivité (P. électrique) |
|-----------------|--|---|
| M ₆ | 0 – 16m : gravier, calcaire argileux 16- 20m : argile et graviers | 0 – 20m : R= 110Ωm >20m : R= 160Ωm |
| M ₉ | 0 – 5m : Argiles 05 – 45m : Argile, sables argileux | 00-55m : R= 140Ωm >55m :R= 60Ωm |
| M ₁₀ | 0 – 152m : Grès avec variation de faciès dépendant de la grosseur des graviers et une faible présence d'argiles. | 00-150m : R= 140Ωm 150 - 350m : :R= 70Ωm |

Tableau 20:Lithologie et résistivités des forages M₆, M₉ et M₁₀ à la plaine d'El Ma El Abiod.

2.2.3. Coupe transversale III. (Nord-Sud) :

Cette coupe présente les mêmes caractéristiques que la coupe II, elle est traversée par les forages M1, P23, M6. La corrélation entre la géologie et les opérations de sondage est présentée dans le tableau qui suit :

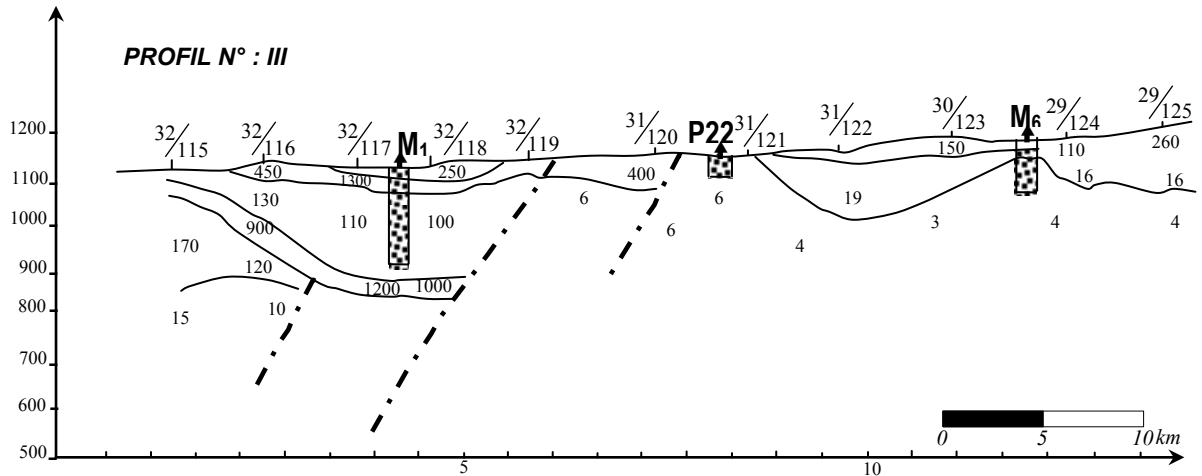


Figure 31 : Coupe géoélectrique transversale III. Passant par les forages M₁, P₂₃, et M₆.

| Forages | Lithologie | Résistivité (P. électrique) |
|-----------------|--|---|
| M ₁ | 0 – 125m : sable argileux, les grains sont plus fins au niveau du toit. 125- 200m : marnes grises | 0 – 55m : R= 250 à 1500Ωm 55 –285m : R= 100Ωm 285 - 325m : R= 1000Ωm >325m : R= 10Ωm |
| P ₂₃ | 0 – 7m : Argiles sableuses 07 – 41m : Sable à grains moyen. | 00- 40m : R= 19 -60Ωm >40m :R= 6Ωm |
| M ₆ | 0 – 16m : Gravier, calcaire argileux graviers 16 – 20m : argiles et graviers | 00-20m : R= 110Ωm >20m :R= 16Ωm |

Tableau 21:Lithologie et résistivités des forages M₁, P₂₃ et M₆ à la plaine d'El Ma El Abiod.

2.3. Plateau de Chéria :

La reconnaissance de la géométrie du plateau de Chéria est basée principalement sur la prospection géoélectrique, menée par la société TRANSAKTA-GEOMETAL en 1971 et la CGG en 1970 (figure 32), Ceci a permis de définir les formations susceptibles d'être aquifères.

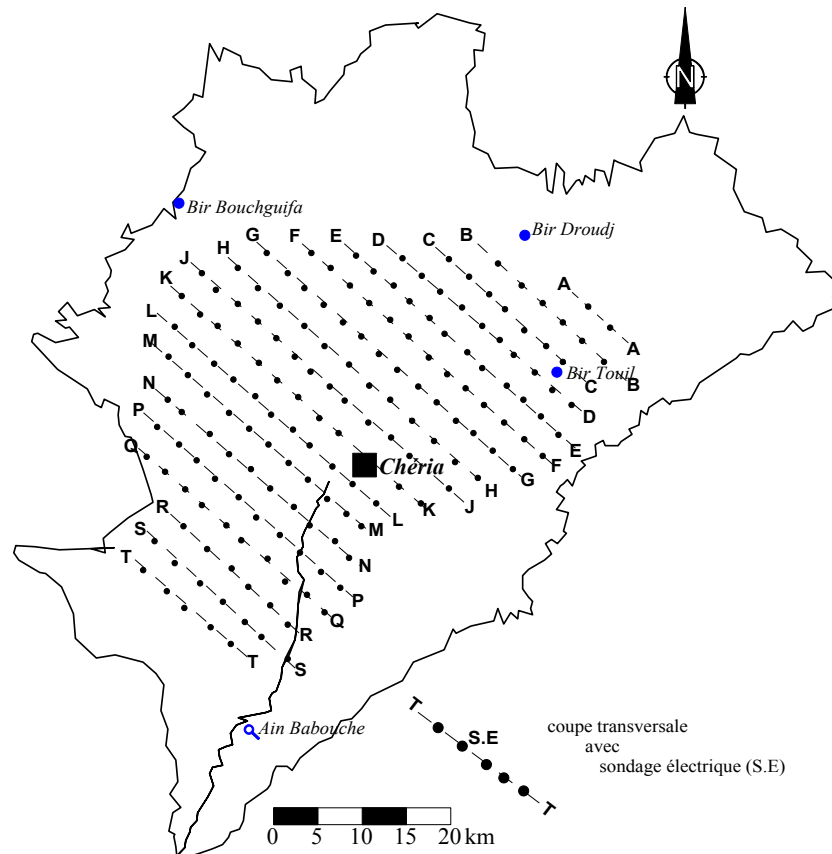


Figure 32 : Localisation des profils électriques au plateau de Chéria (In Baali F. 2007)

La prospection géoélectrique suscitée recouvre une superficie de 790 km² représenté par 291 sondages électriques, disposés suivants des profils Nord-Ouest Sud-Est et espacés de 1km, les sondages eux-mêmes distant de 1km. Lors de cette campagne les lignes d'injection AB ont été de 2000m (68 S.E), 3000m (64 S.E), 4000m (158 S.E) (d'après le rapport géophysique modifié).

Coupes géoélectriques

L'étude a permis d'établir des coupes géoélectriques et d'en dégager les interprétations décrivant la structure du sous sol du plateau de Chéria.

2.3.1. Formation anti-miocène

Dans la zone Nord les coupes de B à L sont particulièrement simples. Elles traduisent bien la structure synclinale de l'éocène, du Danien et du Maestrichtien. Dans cette zone les épaisseurs sont respectivement constantes (200 à 250 m) pour des résistivités de l'ordre de 200 à 300 ohm.m (figure 33).

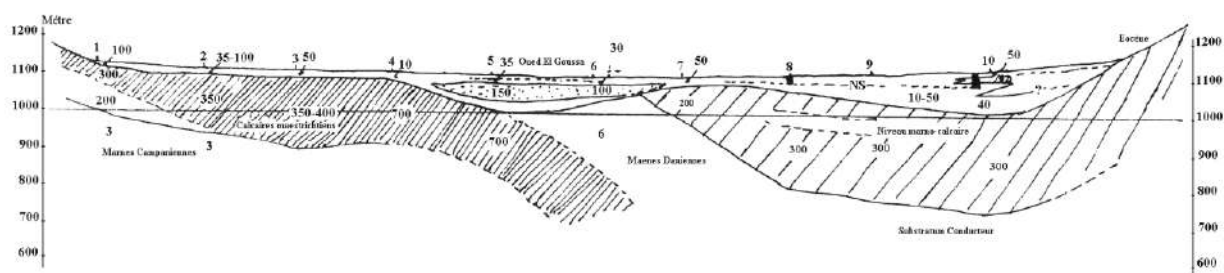


Figure 33: Coupes géo_électriques à travers le plateau de Chéria profil H.

Les calcaires se terminent en biseau vers l'Ouest, (profil N) et leur épaisseur est parfois inférieure à 100 m (figure 34). Les marnes daniennes se trouvent réduites en épaisseur (ordre de 100 m) ce qui peut paraître très faible, d'autant plus qu'au sud (200 sur profil S et T).

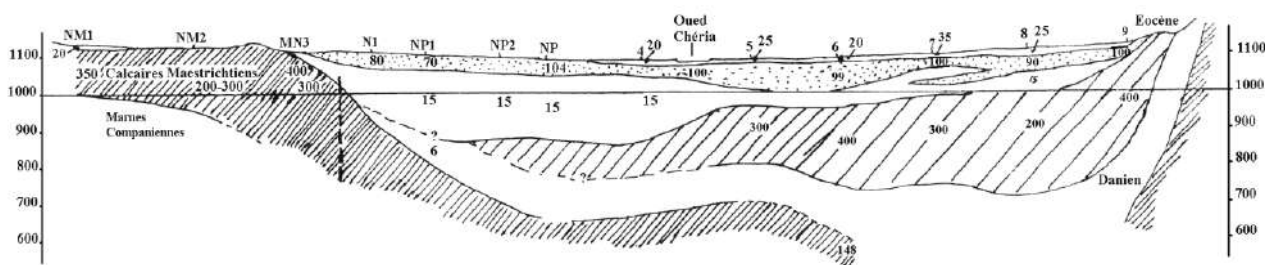


Figure 34: Coupes géo_électriques à travers le plateau de Chéria profil N.

2.3.2. Recouvrement

Le remplissage continental dans la partie Nord est constitué généralement de trois niveaux.

- Un niveau superficiel dont la résistivité en général est comprise entre 20 et 40 ohm.m.
- Un niveau résistant (70 – 100 ohm.m) correspondant à des éléments grossiers (galets plus ou moins symétriques). Ce niveau est développé d'avantage le long de la bordure Est du bassin et semble provenir de destruction du massif (profils D, E, F, G et H). L'épaisseur pourrait atteindre 30 – 40 m (figure 35).

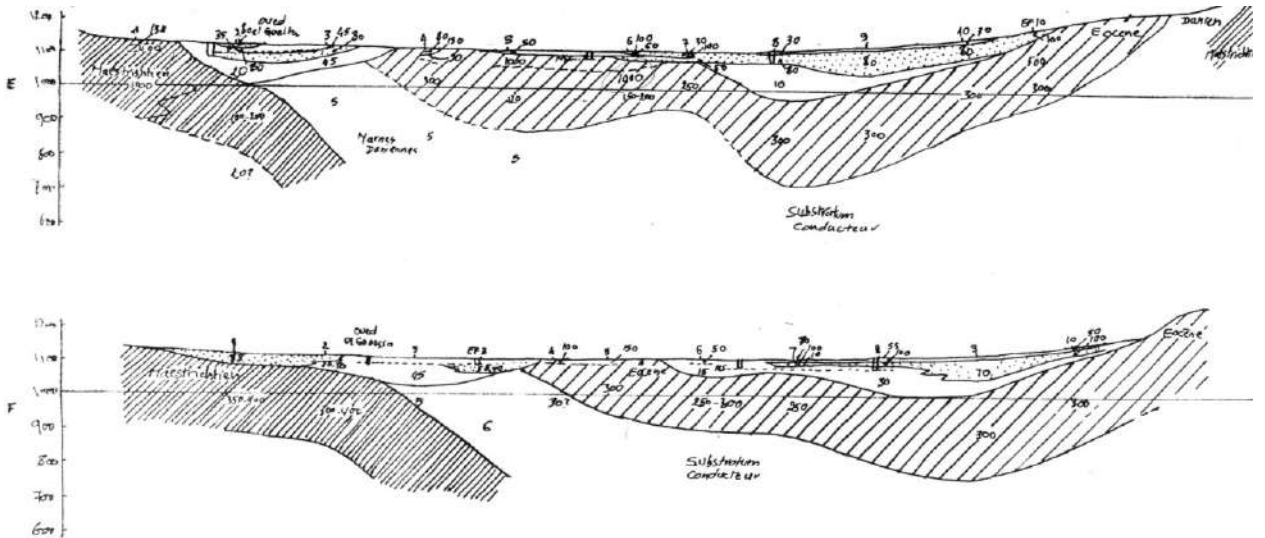


Figure 35: Coupes géo_électriques à travers le plateau de Chéria profil E et F.

- un troisième niveau plus conducteur, (10-20 ohm.m) souvent épais et constitue le remplissage principale au cœur du synclinal. Le remplissage des plaines dépasse par fois la centaine de mètre (Oued el Guelta, el Goussa à l'Ouest). En surface existe également en surface un niveau grossier. Au sondage électrique M5 le niveau résistant (150 ohm.m) peut être attribué aussi à un remplissage alluvionnaire (figure36), qu'à des éboulis provenant des calcaires maestrichtiens.

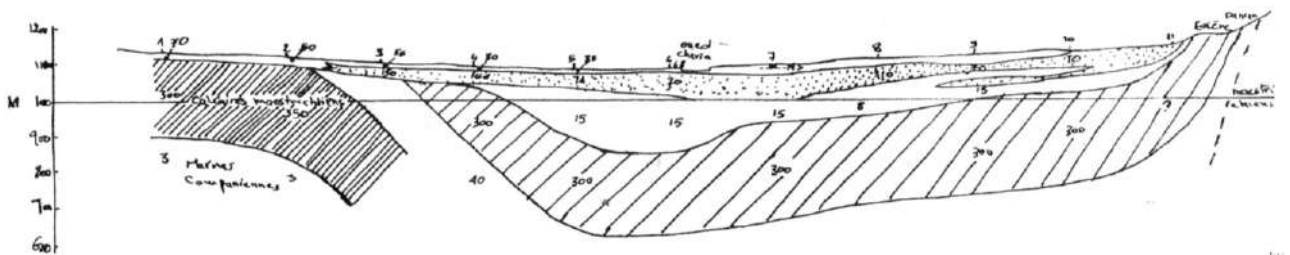


Figure 36: Coupes géo_électriques à travers le plateau de Chéria profil M.

3. Conditions aux limites

Pour comprendre le fonctionnement hydraulique on examine les conditions aux limites des différents aquifères, ainsi que les relations entre les nappes, la figure 37 représente une synthèse des travaux antérieurs menés par Djabri L. 1987, Baali F. 2004 et Rouabhia A. 2009, qui représente les conditions aux limites des trois terrains objet de la présente étude.

3.1. Conditions aux limites de l'aquifère de la plaine de Tébessa

La plaine de Tébessa dite la Merdja est caractérisée par une limite à flux entrant à l'Est, au Nord et au Sud-Est. Une limite à flux sortant est située à l'Ouest. Au sud, la limite est à flux entrant. L'étude piézométrique fait ressortir deux sous-bassins hydrogéologiques, ouest et est séparés par une ligne de partage des eaux dans le sens NE-SO. A l'Est l'écoulement prend la direction Est-ouest, au centre on note la présence de dépressions dues au pompage intensif dans les puits et les forages (Rouabhia A. 2009).

3.2. Conditions aux limites des aquifères de la plaine d'El Ma El Abiod :

Nappe alluviale :

Au Nord, la nappe alluviale vient en contact avec les calcaires d'âge secondaire qui constituent une limite perméable par leur nature et par le pendage plongeant de leurs couches vers la plaine.

Au Sud, en contact avec les formations calcaires, les eaux de précipitations atmosphériques de ce versant ruissellent en surface et alimentent en partie la nappe alluviale, en plus des pluies efficaces qui tombent directement sur son impluvium.

Les argiles et les marnes constituent en profondeur le substratum imperméable, de ce fait les eaux d'infiltration s'écoulent en aval en direction de la nappe miocène.

Nappe miocène :

Elle est alimentée principalement à partir:

- du massif calcaire du Nord (Dj. Bouroumane) au niveau de Hdjar E'sefra au contact des grès miocènes, du fait que le pendage des couches calcaires est orienté vers la plaine.
- des précipitations tombant directement sur l'étendue des grès affleurant ; dans la zone Est et à l'Ouest.
- de la nappe alluviale lorsque les deux nappes sont en contact, le système de failles favorise la transition vers la nappe miocène.

3.3. Conditions aux limites des aquifères du plateau de Chéria :

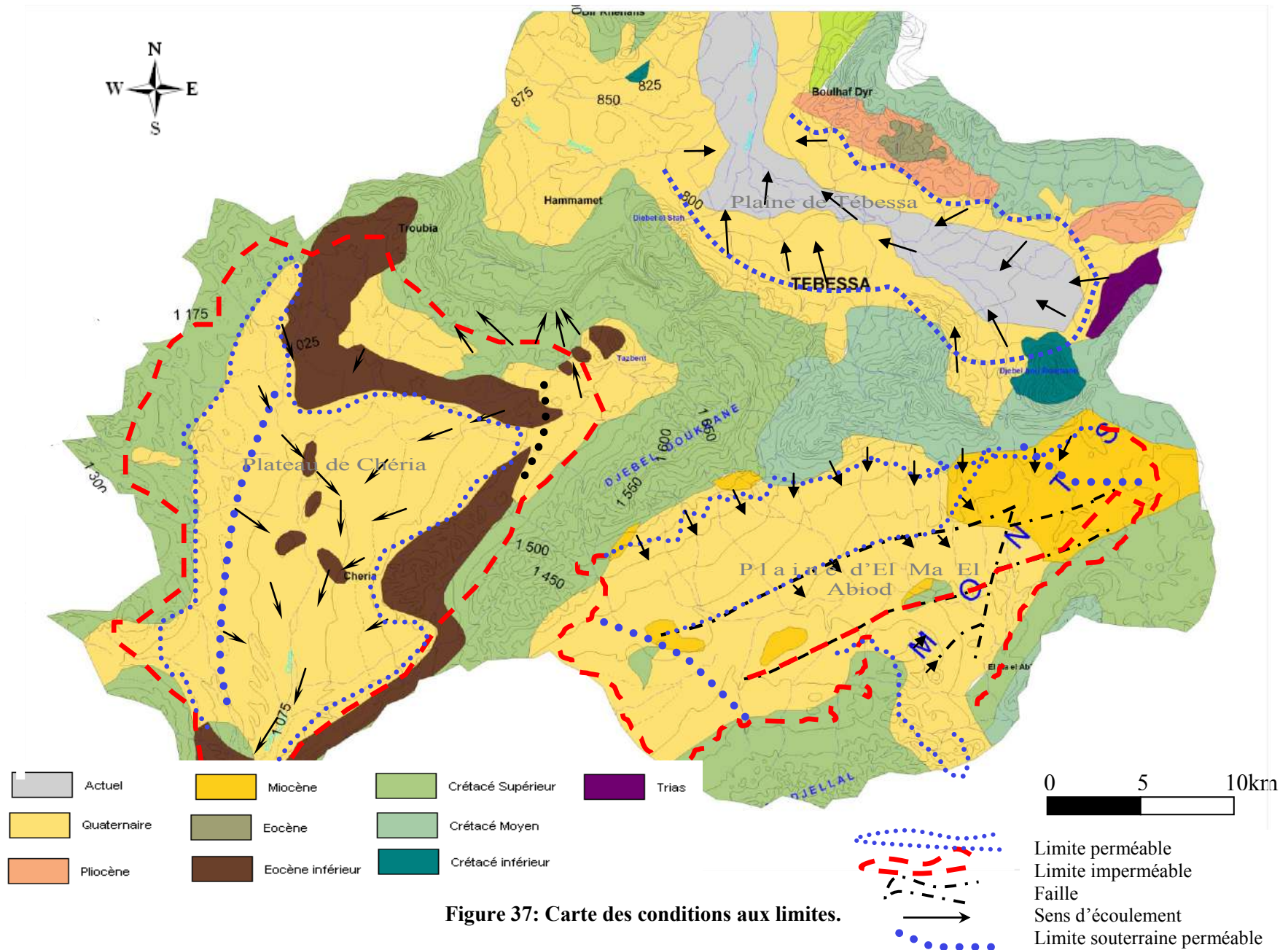
Les forages implantés dans les calcaires maestrichtiens ; ont montré que cet horizon est aquifère aux bordures et stérile au centre du plateau (sondage J8-9 800 m de profondeur), ce qui permet un écoulement vers le Nord et donne naissance à des importantes sources, tel que la source de la grotte de Bouakkous.

Cet horizon serait important de l'étudier dans le fossé d'effondrement de Tébessa el Hamammet. Notons que l'écoulement est Nord Sud pour le quaternaire qui surmonte les calcaires maestrichtiens.

Les calcaires éocènes sont en contact avec les alluvions quaternaires aquifères (qui souvent drainent les calcaires maestrichtiens). Il y a donc une limite perméable d'alimentation.

Vers le Sud on doit admettre une limite de fuite souterraine si l'on arrête le sens d'alimentation d'Outa Oum Khaled.

La nappe du Mio-Plio-Quaternaire est alimentée directement par la pluie et l'éocène adjacent.



4. Etudes des paramètres hydrodynamiques

La connaissance des paramètres hydrodynamiques, notamment le niveau piézométrique est d'une importance fondamentale dans l'hydrogéologie. Le niveau des eaux souterraines de l'aquifère peut être utilisé pour plusieurs raisons ; la plus importante est la construction d'une carte piézométrique qui est nécessaire afin de connaître l'extension de l'aquifère, la direction et la vitesse de l'écoulement des eaux souterraines, ainsi que leur zones d'accumulation.

4.1. Répartition des paramètres hydrodynamiques.

Des essais de pompage ont été effectués par les services de la direction de l'hydraulique de la wilaya Tébessa ; sur les forages destinés à l'alimentation en eau potable à travers les plaines de Tébessa, El Ma El Abiod et le plateau de Chéria, le dépouillement des données relatifs à ces essais effectués par Djabri L. 1987, Rouabhia A. en 2004 et Baali F. 2001, nous a permis d'établir les cartes d'isoperméabilités et d'isotransmissivités, pour les deux plaines Tébessa et El Ma El Abiod, tandis qu'à Chéria les données sont inutilisables car les valeurs de la transmissivité disponible ; interprétés par la méthode du BRGM, varient dans une très large gamme (Baali F. 2004) les rendant non cartographiables, ce qui est une caractéristique des aquifères karstiques. Pour le coefficient d'emmagasinement, les essais de pompages n'ont pas aboutis pour son estimation à travers les zones considérées vu le manque de piézomètres de contrôle et le coût surélevé de cette opération.

4.1.1. Carte d'iso-Transmissivités:

L'examen de la carte de la répartition des transmissivités fait apparaître deux remarques importantes :

- A Tébessa (T) augmente du Nord-Est vers le Sud-Ouest d'une manière générale, avec la remarque de deux zones où la transmissivité prend des valeurs importantes, la première se situe au Sud-Est où T atteint $2,0 \cdot 10^{-3}$ m²/s et la seconde à l'Ouest où T prend des valeurs qui avoisinent $3,0 \cdot 10^{-3}$ m²/s, les deux en bordures des calcaires ce qui nous indique sur la puissance du réservoir dans les deux zones d'où leur importance hydrogéologique, à El Ma El Abiod aussi la transmissivité a deux directions, elle augmente du Nord ($0,8 \cdot 10^{-2}$ m²/s) vers le Sud ($1,4 \cdot 10^{-2}$ m²/s) et d'Est ($1,10 \cdot 10^{-2}$ m²/s) en Ouest ($2,3 \cdot 10^{-2}$ m²/s). Cette configuration représente la base pour la DHW en matière d'implantation des forages AEP dans la zone Sud-Ouest de la plaine.
- La transmissivité à El Ma El Abiod est dix fois plus importante qu'à Tébessa, dont confirmé par les débits des forages (Tébessa 2 à 10 l/s), (El Ma El Abiod 10 à 40 l/s).

5. Piézométrie

La mesure de niveau des eaux souterraines, est effectuée à l'aide d'une sonde (Figure 40) dont le capteur est réactif à la conductivité de l'eau. Lorsque la sonde atteint le niveau de l'interface air/eau, un contact électrique est établi entre deux tiges métalliques, déclenchant un signal sonore et lumineux.

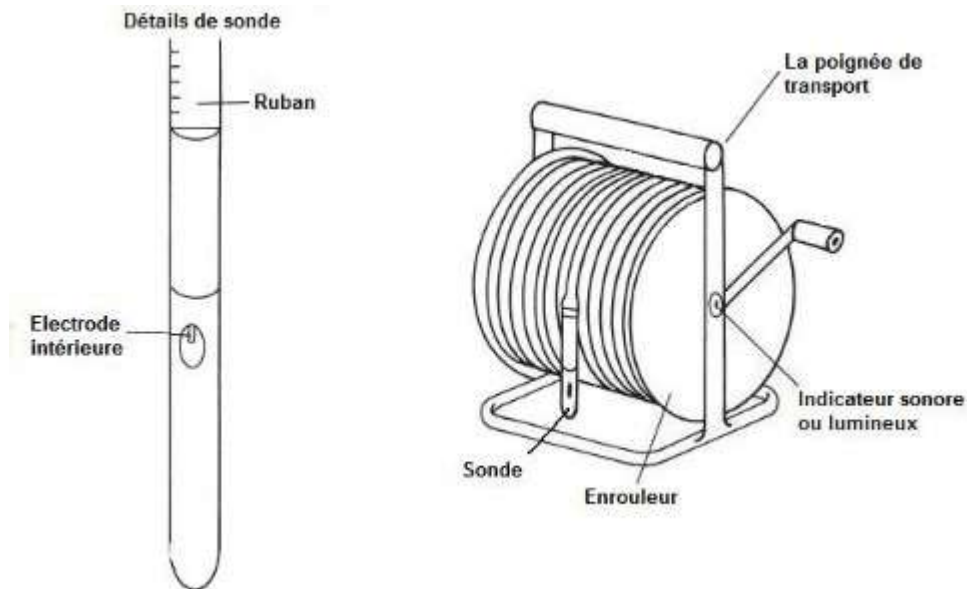


Figure 40: Principales caractéristiques d'une sonde de niveau d'eau

5.1. Évolution de la Piézométrie.

L'objectif principal de l'étude de l'évolution de la piézométrie dans le temps, est de visualiser la direction de l'écoulement horizontal et éventuellement vertical (drainance), ainsi que la profondeur du niveau d'eau dans le sol, tandis que dans l'espace ; est de comparer cette évolution d'un système aquifère par rapport à l'autre. En effet, les eaux souterraines sont le moyen de transport de toute substance minérale ou organique, c'est d'après l'écoulement qu'on peut reconnaître les zones vulnérables ou contaminées.

Dans le temps :

Les travaux de Rouabhia A. sur la plaine d'El Ma El Abiod et Baali F. sur le plateau de Chéria ont montré que la notion de hautes eaux et basses eaux a perdu son sens ; car la ressource souterraine est toujours tourmentée à longueur d'année, donc il est impossible d'arriver à un état stationnaire, ceci peut être confirmé par le suivi des piézomètres installés au niveau de la région, la figure 41 illustre l'évolution de la profondeur du plan d'eau dans le temps et dans l'espace à l'issue des observations effectuées par les services de l'ANRH de Tébessa, qui fait apparaître qu'à l'échelle du temps comme à travers les trois plaines le plan d'eau est relativement stable et ne fait apparaître, que des légères variations de l'ordre de 02 mètres au maximum.

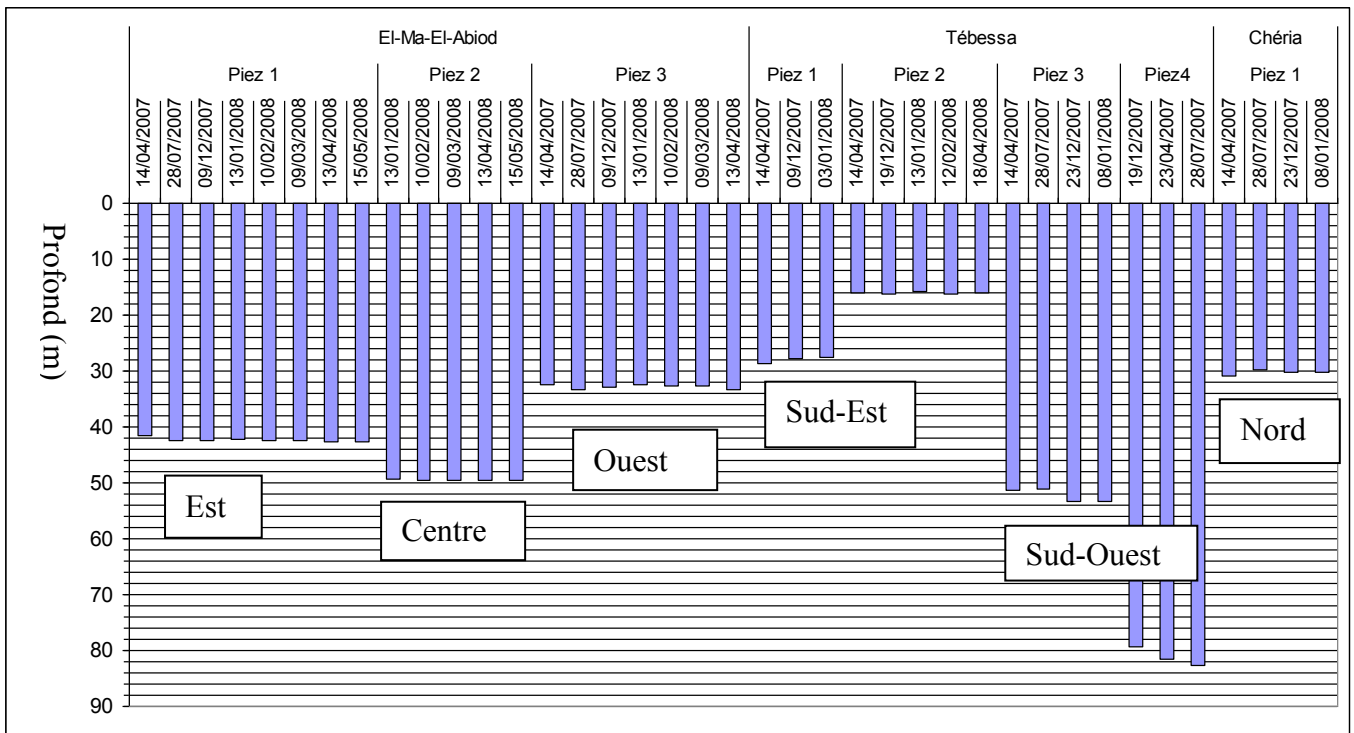


Figure 41: Evolution de la profondeur du plan d'eau dans les piézomètres à travers la région d'étude (source ANRH Tébessa)

Dans l'espace :

La figure 42 qui illustre une comparaison du niveau piézométrique à travers la région d'étude Tébessa et El-Ma-El-Abiod en janvier 2009 et Chéria en sept 2005, nous fait remarquer les éléments importants suivants :

- Le sens d'écoulement qui se fait selon un axe amont (point haut)-aval (exutoire) pour chaque plaine.
- L'important écart du niveau piézométrique entre la plaine de Tébessa et les deux autres plaines qui avoisine 250 m par rapport à celui d'El Ma El Abiod et 300 par rapport au niveau piézométrique du plateau de Chéria, cette variabilité traduit la dissimilitude caractérisée des différents systèmes aquifères.

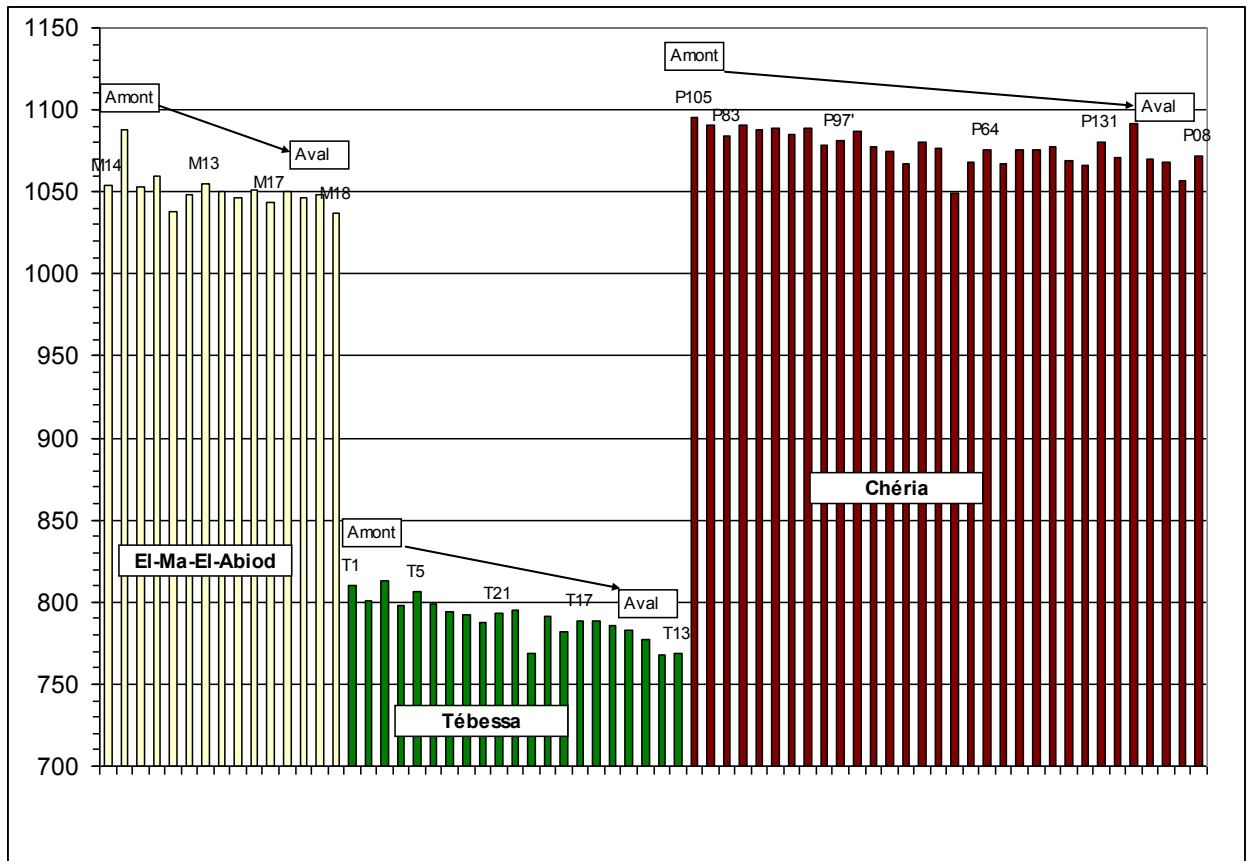


Figure 42 : Comparaison du niveau piézométrique à travers la région d'étude Tébessa et El Ma El Abiod en janvier 2009 et Chéria en sept 2005

5.2. Etablissement des cartes piézométriques:

La connaissance de l'état piézométrique par l'établissement des cartes, pour les trois plaines dans le temps et dans l'espace ; est d'une grande importance dans le cadre de la présente étude, mais le temps et les moyens qui doivent être mis à bords, sont d'une importance considérable, c'est pour cette raison nous avons essayé de mettre un aperçu sur l'état piézométrique, à travers les travaux antérieurs, qui seront complétés par un état actuel afin de répondre à l'exigence de notre étude.

Dans cette section nous sommes basés sur une partie des travaux antérieurs réalisés par Rouabhia A. à travers la plaine d'El Ma El Abiod sur deux campagnes successives la première en octobre 2002 et la seconde en septembre 2003, qui sont complétées par une campagne que nous avons réalisée en Janvier 2009 , tandis que pour la plaine de Tébessa ; vu l'inexistence d'une campagne qui coïncide avec la période considérée nous avons choisie une campagne la plus proche et disponible, représentée par la période de novembre 2001 ; réalisée aussi par Rouabhia A. qui sera complétée avec une campagne en janvier 2009. Pour la plaine de Chéria l'aquifère est karstique de ce fait la notion de carte piézométrique n'a pas de sens.

5.3. Inventaire des points d'eau

Les points d'eau échantillonnés pour l'établissement à la fois des cartes piézométriques et les analyses hydrochimiques (cf. chap. Hydrochimie), se répartissent comme suit :

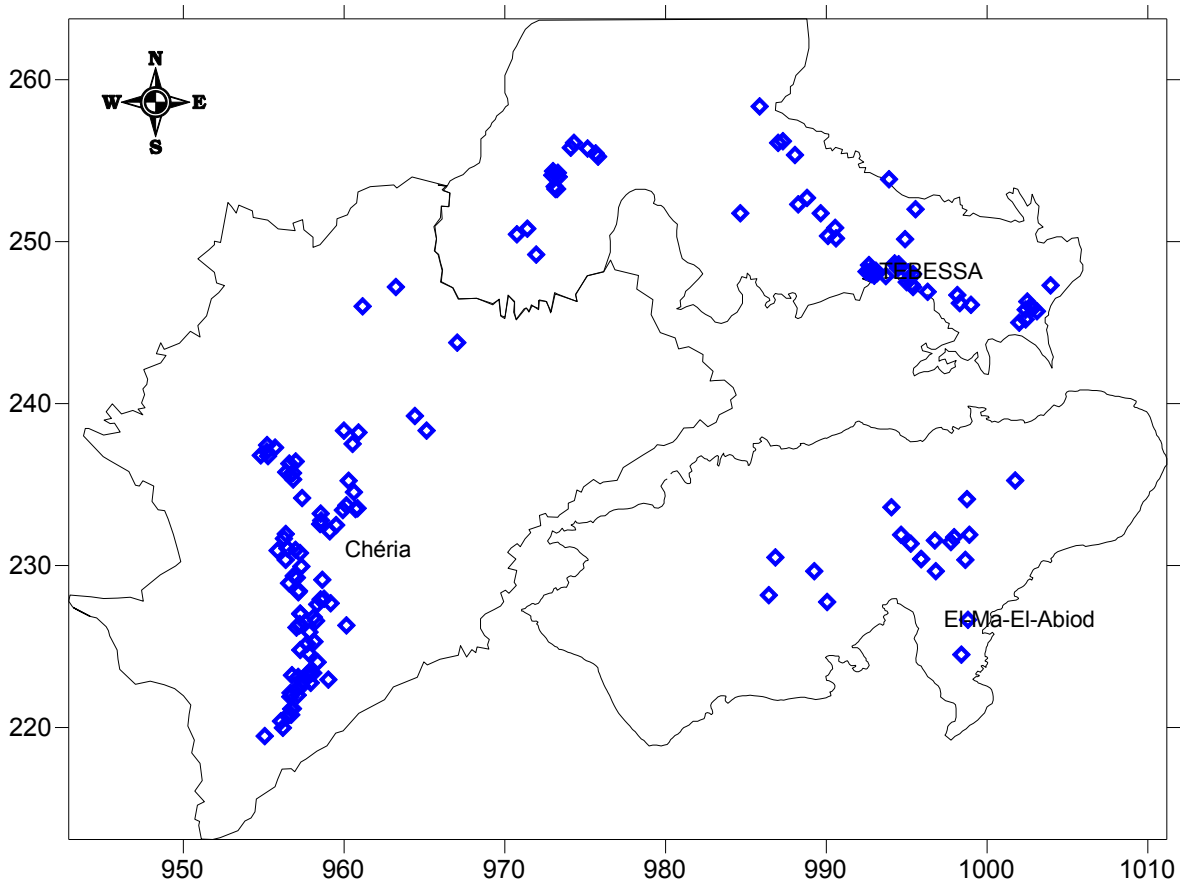


Figure 43 : Inventaire des points d'eau à travers la région d'étude.

5.4. Carte piézométrique. Octobre 2002.

Dans la plaine d'El Ma El Abiod et Chéria ; dont elles appartiennent au bassin versant de Chott melghir l'écoulement est à direction Nord-Sud, contrairement à la plaine de Tébessa où l'écoulement est Sud-Est Nord-Ouest.

A Tébessa nous remarquons une homogénéité sur la distribution des courbes izopièzes qui sont parallèles traduisant un état piézométrique homogène de la nappe, avec l'existence d'une zone où les lignes de courant divergent, limitrophe à la ville de Tébessa (Sud-Est) qui constitue une limite perméable, favorisant ainsi l'alimentation de la nappe, à partir des calcaires du Djebel Doukkan.

A El Ma El Abiod, durant la campagne piézométrique représentée par la carte du mois d'octobre 2002, on peut remarquer un écoulement qui se fait selon une direction prédominante nord- sud, à l'exception de la zone centrale où il dessine une convergence locale.

Les puits utilisés pour l'irrigation expliquent la dépression en cet endroit (surexploitation de la nappe), les débits d'écoulement sont importants au centre, le gradient hydraulique est de 0,0045 à 0,0066, respectivement au Nord et à l'Ouest.

5.5. Carte piézométrique : Septembre 2003

Comparativement à l'état d'octobre 2002, nous remarquons qu'ils n'existent pas de grands changements dans la forme des lignes ce qui traduit que les régimes d'exploitation des nappes sont semblables, sur une année de temps, nous remarquons aussi que le niveau piézométrique de l'amont à l'aval de la nappe d'El Ma El Abiod entre les deux périodes a légèrement augmenté respectivement de (1060m amont -1000m aval,2002) à (1060m amont-1010m aval,2003) malgré que l'antécédents pluviométrique (165mm 218mm (Station d'El Ma El Abiod), (225 mm) des deux compagnes qui ne permettent pas une alimentation suffisante de la nappe, de ce fait l'augmentation du niveau n'est donc qu'un effet de pompage.

Sur cette carte l'écoulement de la nappe d'El Ma El Abiod se fait suivant un axe général Nord-Sud, qui regroupe les écoulements des zones Sud-Ouest, Nord et Nord-Est. L'écoulement au centre et au sud est rapide, le gradient calculé est de l'ordre de 0,014.

5.6. Carte piézométrique : Janvier 2009

A Tébessa l'état piézométrique de janvier 2009 comparativement à l'état de novembre 2001, présente des différences sur l'allure des courbes izopièzes, en 2009 sont plus espacées traduisant ainsi un gradient plus faible, à l'aval nous remarquons une élévation du niveau de 10 m, avec apparition d'une dépression au Nord-Est de la ville, qui est exploitée par les forages alimentant Tébessa en eau potable et qui sont en pompage continu, le sens d'écoulement général est d'amont en aval

Pour la plaine d'El Ma El Abiod, l'état de 2009 présente une différence par rapport aux états précédents, par une surélévation ponctuelle du niveau piézométrique à l'amont de la plaine qui atteint la côte de 1080 m, la centre de la plaine reste dans la limite de 1040 à 1045m et en aval il atteint la côte de 1025 à 1030, avec la remarque que les courbes isopièzes en 2009 sont plus espacées par rapport aux états de 2002 et 2003.

En conclusion l'état de 2009 témoigne d'une augmentation du niveau résultant d'une saison pluvieuse qui a marqué l'automne de 2008 où la pluviométrie durant cette période a dépassé le seuil de 200 mm ce qui représente 60% de la moyenne annuelle.

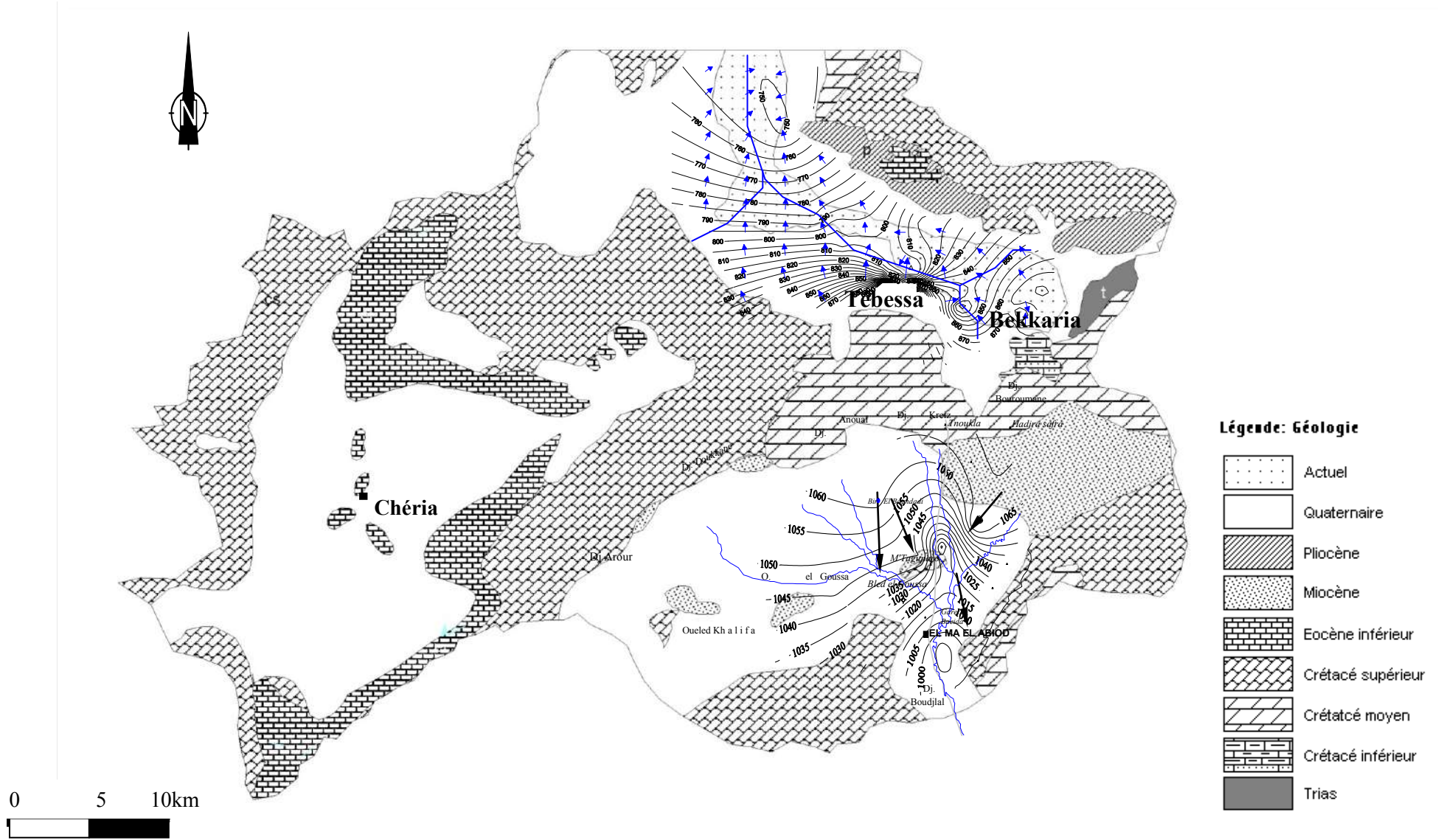


Figure 44 : Carte piézométrique El Ma El Abiod et Tébessa (nov 2001).

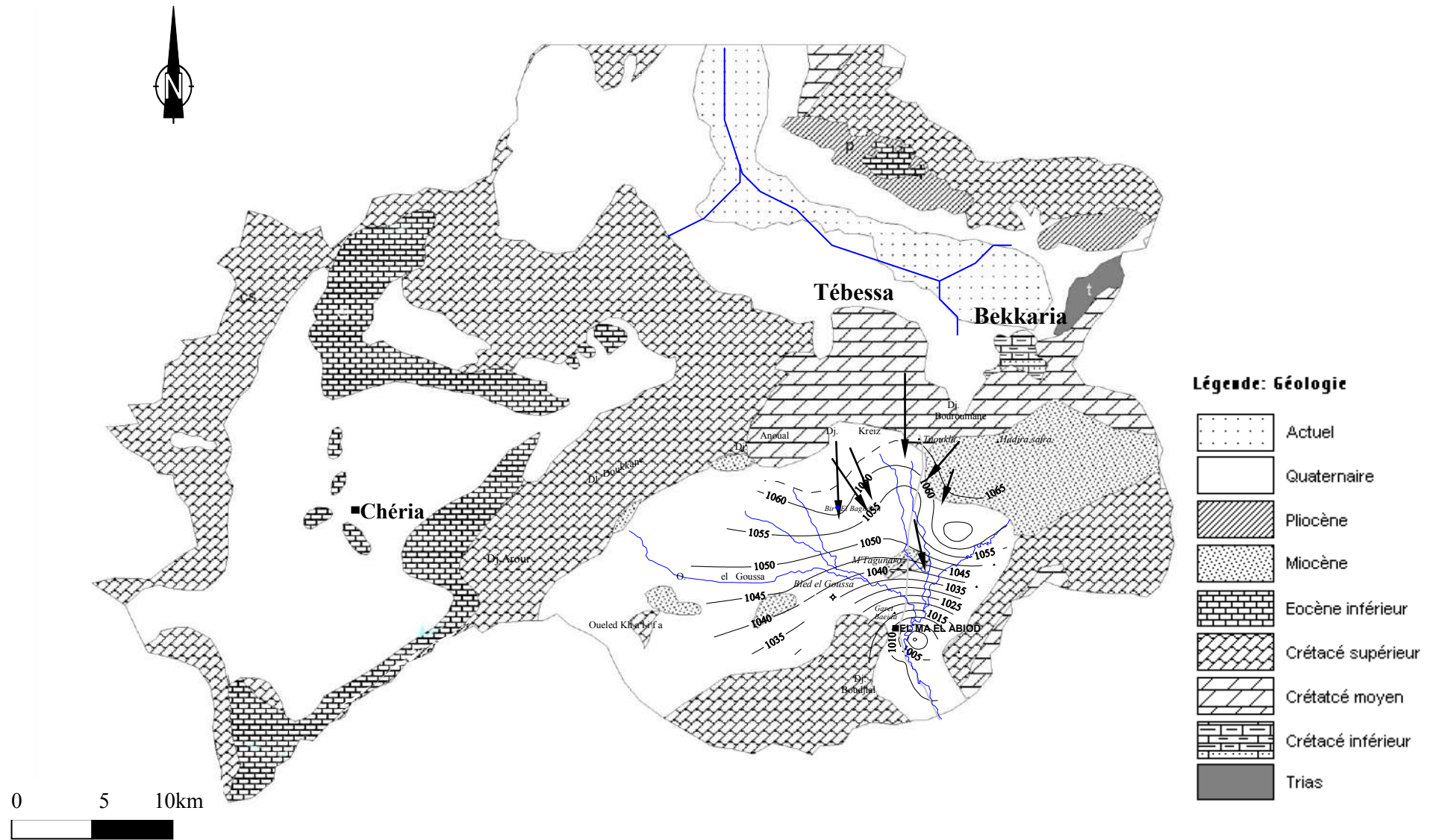


Figure 45 : Carte piézométrique El Ma El Abiod (sept 2003).

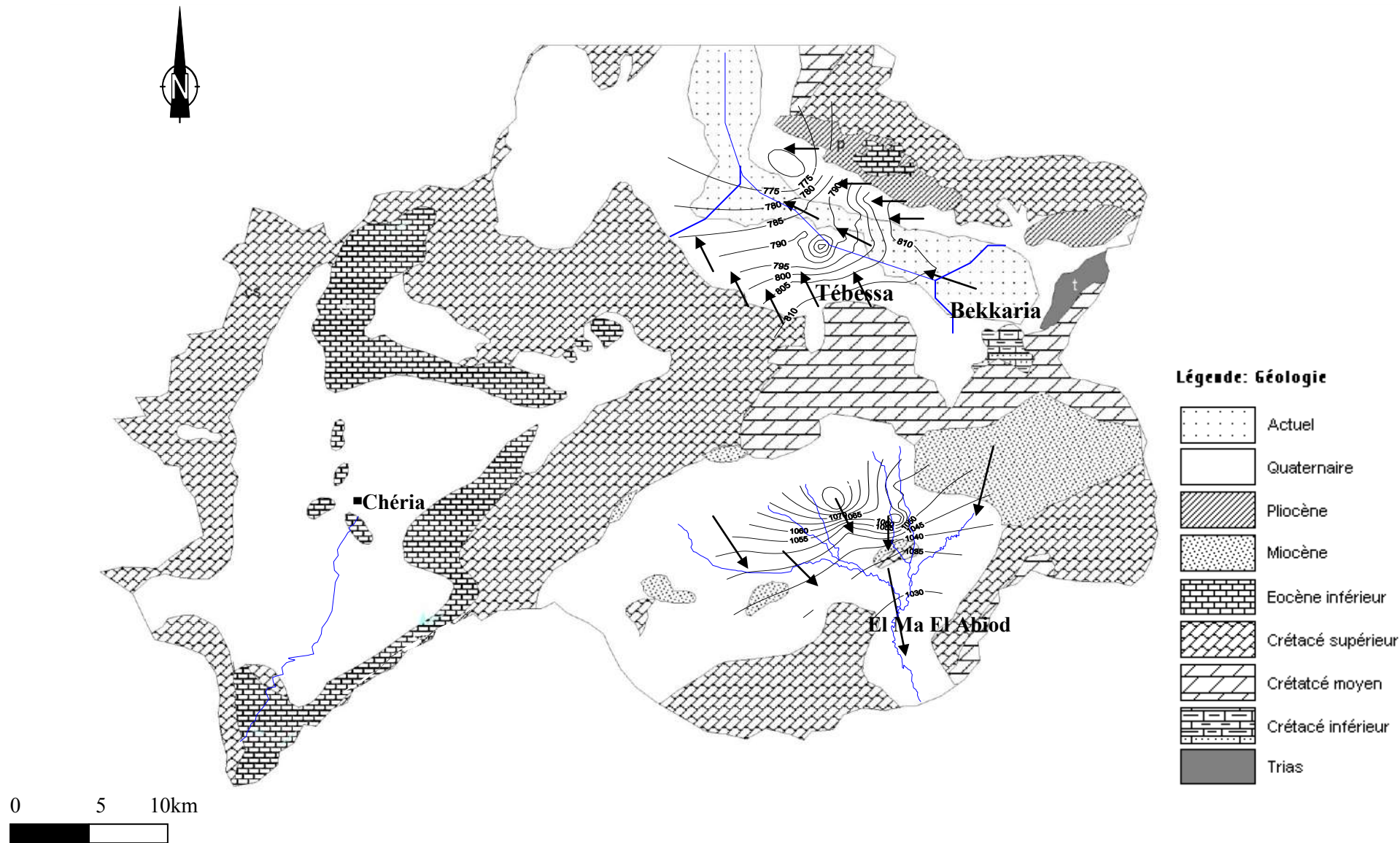


Figure 46 : Carte piézométrique El Ma El Abiod et Tébessa (janv 2009).

6. Conclusion :

L'aperçu hydrogéologique nous a montré que la région étudiée ; est composée principalement de trois systèmes aquifères, limitrophes sur le plan géographique et topographique et distincts l'un par rapport à l'autre sur le plan hydrogéologique, le système aquifère à Tébessa est d'âge quaternaire formé par un dépôt d'alluvions, caractérisé par une alternance de marnes, sables et cailloutis calcaires, celle d'El Ma El Abiod est d'âge miocène formée essentiellement par des sables, à Chéria le principal réservoir est d'âge éocène ; formé par des calcaires fissurés et karstifiés, le sens d'écoulement des eaux souterraines suit le sens d'écoulement des cours d'eau, les massifs montagneux qui entourent les différentes unités jouent un rôle primordial dans l'alimentations des différents systèmes ; en favorisant l'infiltration des eaux pluviales, surtout pour celui d'El Ma El Abiod et de Chéria où le pendage des massifs calcaires a le même sens avec le sens d'écoulement des eaux, ce qui traduit leur importance hydrogéologique à l'échelle locale, l'étude de la piézométrie dans le temps et dans l'espace, nous a montré que les trois systèmes sont distincts, les massifs montagneux constituent une ligne de partage des eaux entre les trois régions, le niveau piézométrique est instable ; conséquence des pompages excessifs et continus.

Chapitre : **5**

***RETOURS D'EAU D'IRRIGATION
A LA NAPPE***

Introduction

L'irrigation présente deux inconvénients majeurs pour les milieux aquatiques : elle est grande consommatrice d'eau et peut accélérer la désertification de certaines régions.

À l'échelle locale, la consommation immodérée d'eau d'irrigation peut même parfois conduire à une réduction considérable des volumes disponibles. Ainsi, le lac Tchad, autrefois la plus grande réserve d'eau douce du continent africain dont l'Algérie fait partie, est aujourd'hui 20 fois plus petit qu'il n'était il y a 35 ans (source www.cnrs.fr).

Au niveau mondial, les prélèvements en eau de l'irrigation représentent aujourd'hui environ 70 % des prélèvements totaux, en Algérie sont environ 65%, ce qui est énorme.

Mal conduite, l'irrigation peut également avoir des conséquences dramatiques sur les sols, surtout dans les régions aux climats arides et semi arides où l'on irrigue presque toute l'année. En effet, si l'eau d'irrigation n'est pas drainée, elle stagne dans les champs, et s'évapore lentement, laissant en dépôt les sels dissous qu'elle contient. Cet excès de sels stérilise progressivement les terres qui doivent être abandonnées (cas du périmètre irrigué de Gassi Touil wilaya de Ouargla).

En outre, toute cette eau ne parvient pas aux plantes car les pertes sont importantes, surtout lorsqu'il s'agit de techniques d'irrigation traditionnelles. Or, celles-ci sont employées sur les deux tiers des surfaces irriguées du globe et sur la quasi-totalité en Algérie. Ces pertes sont dues soit à l'évaporation de l'eau à la surface des sols, soit à des retours à la nappe (infiltration) avec toutes les conséquences que peuvent survenir sur la qualité des eaux souterraines d'où l'intérêt de ce chapitre.

1. Evaluation des prélèvements :

Le prélèvement d'eau à partir des réservoirs souterrains, constitue toujours l'échappatoire à travers la région étudiée, pour subvenir aux besoins croissants, en matière d'alimentation en eau potable, l'industrie et autres, et l'agriculture qui demeure l'activité la plus consommatrice d'eau, dans ce qui suit nous allons essayer d'estimer les différents prélèvements, pour les différents usages.

1.1. Pour l'alimentation en eau potable et industrie et autres :

L'alimentation en eau à usage domestique, industriel et autres, comme nous allons voir aussi pour l'agriculture ; le prélèvement d'eau est une opération continue dans le temps, d'après les services de l'hydraulique de la wilaya de Tébessa le volume des eaux souterraines prélevé est de l'ordre de 6.3 Hm³ de la plaine de Tébessa, 2.5 hm³ d'El Ma El Abiod et 8.2 hm³ de Chéria, conjointement aux prélèvements agricoles nous obtenons le total comme sus-indiqués dans le tableau 22 :

| | Tébessa | El Ma El Abiod | Chéria |
|---|------------|----------------|------------|
| Agriculture (m ³) (calculé) | 1 882 566 | 15 566 865 | 10 208 119 |
| Autres (m ³) (DHW) | 9 460 000 | 2 522 000 | 8 216 000 |
| Total (m ³) | 11 342 566 | 18 088 865 | 18 424 119 |

Tableau 22: Différents usages de l'eau dans la zone d'étude.

1.2. Pour l'agriculture (l'irrigation) :

C'est l'un des paramètres les plus difficiles à analyser correctement, les utilisateurs n'étant pas à même de préciser combien ils pompent ; c'est pour cette raison nous allons faire des approximations sur la base du taux du prélèvement moyen utilisé en Algérie pour les superficies irriguées, qui est de l'ordre de 6000 m³/ha dans les régions semi-aride pour une année à pluviométrie moyenne (source office des périmètres irrigués OPI). Mais il est bien évident que ce chiffre est arbitraire, de ce fait nous allons essayer de le comparer avec une estimation basée sur la prise en considération des superficies irriguées par spéculation (chiffres fournis par le Service de l'agriculture), tenant en compte les modules d'irrigation des différentes cultures, tels qu'ils sont admis par le génie rural et en fonction des données agro météorologiques de la région, représentée par la station de Tébessa.

1.2.1. Occupation des terres :

D'après les données recueillies auprès de la direction des services agricoles de la wilaya de Tébessa l'occupation des terres irriguées pour la région d'étude est comme suit :

| Spéculation | Plaine de Tébessa | El Ma El Abiod | Plateau de Chéria |
|--|-------------------|----------------|-------------------|
| céréales | 210 | 520 | 926 |
| Luzerne | - | - | 200 |
| Légumes divers | 30 | 530 | 113 |
| Pomme de terre | - | 500 | 50 |
| Arboriculture | 63 | 180 | 216 |
| Total Sup Irriguée | 303 | 1730 | 1505 |
| Prélèvement annuel selon OPI hm ³ /an | 1.8 | 10.4 | 9.0 |
| Nbre de forage | 9 | 130 | 270 |
| Débit fictif continu (l/s) | 57.6 | 329.1 | 286.3 |

Tableau 23 : Occupation de l'assole irriguée. (Source DSA de Tébessa 2009).

1.2.2. Estimations des besoins en eaux des cultures :

En utilisant le logiciel de pilotage des irrigations développé par FAO en 1992 nommé CROPWAT 8.0 pour Windows (version 8.0 2009) ; qui est un programme informatique qui permet de calculer les besoins en eau des cultures et les besoins en irrigation ; à partir de données climatiques et culturales. De plus, le programme permet l'établissement de calendriers d'irrigation, pour différentes conditions de gestion et le calcul de l'approvisionnement en eau ; de périmètres pour divers assolements. Les résultats de calculs, pour notre région d'étude, sont obtenus sur la base des données climatiques de la station de Tébessa, choisie comme référence pour des raisons de simplification des calculs

Le système d'irrigation le plus répandu à l'échelle de la région même à l'échelle national, est le gravitaire traditionnel (à la raie en terre), qui induit des pertes considérables allant jusqu'à 50 % des apports bruts (Jean Paul Luc, 2004) et sont d'autant plus grandes que les irrigations sont fréquentes.

| Cultures | Unité | jan | fev | mars | avr | mai | juin | juil | Aou | Sep | Oct | nov | Dec | Total |
|-------------------|---------------|------------|------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|---------------|
| Arbo | Besoin (mm) | | | 4,8 | 29,7 | 82 | 146,5 | 162,7 | 150,4 | 94,7 | 50 | 29,8 | 1,1 | 751,7 |
| | Pertes Inf | | | | | 78,8 | 78,8 | 157,6 | 78,8 | 78,8 | | | | 472,8 |
| | Apports bruts | | | | | 197,2 | 197,5 | 402,4 | 197,5 | 199,6 | | | | 1194,2 |
| Olivier | Besoin (mm) | 0 | 10,2 | 36,4 | 84,9 | 106,6 | 137,7 | 170 | | | | | | 545,8 |
| | Pertes Inf | 28,1 | 28,8 | 89,3 | 60,5 | 70,4 | 70,3 | 125,2 | | | | | | 472,6 |
| | Apports bruts | 65,6 | 37,2 | 113,6 | 96,6 | 187,4 | 210,7 | 397,6 | | | | | | 1108,7 |
| légumes | Besoin (mm) | | | | 33,6 | 92,1 | 154,7 | 110,4 | | | | | | 390,8 |
| | Pertes Inf | | | | 33,8 | 112,4 | 177,1 | 132,7 | | | | | | 456 |
| | Apports bruts | | | | 85,4 | 209 | 329,2 | 245,1 | | | | | | 868,7 |
| luzerne | Besoin (mm) | 15,1 | 32,2 | 37,5 | 14,3 | 28,2 | 43,3 | 68,9 | 50,8 | 35,7 | 51,8 | 27 | 20,3 | 425,1 |
| | Pertes Inf | | 61,9 | | 124 | | 61,9 | 123,8 | 61,9 | | 61,9 | 61,9 | 61,9 | 619,2 |
| | Apports bruts | | 108,6 | | 218 | | 108,9 | 218,4 | 109,7 | | 109,7 | 109,8 | 108,3 | 1091,4 |
| P de terre | Besoin (mm) | | | | 21,3 | 69 | 168,8 | 216,7 | 103,4 | | | | | 579,2 |
| | Pertes Inf | | | | 25,2 | 86,8 | 217,4 | 259,9 | 122,4 | | | | | 711,7 |
| | Apports bruts | | | | 64,6 | 162 | 402 | 488,1 | 228,1 | | | | | 1344,8 |
| Céréales | Besoin (mm) | 14,3 | 32,2 | 45,8 | 69,4 | 28,4 | | | | | 0,9 | 0 | 9 | 200 |
| | Pertes Inf | | 61,9 | | 65,9 | 71,7 | | | | | | | | 199,5 |
| | Apports bruts | | 128,2 | | 136,9 | 149 | | | | | | | | 414,1 |

Tableau 24: Besoins en eau d'irrigation (mm) des cultures pratiquées.

A priori, l'analyse des résultats obtenus par l'application du modèle CROPWAT (cf. Tableau n° 24), fait apparaître que l'irrigation à travers notre région, est une opération continue dans le temps ; cela est justifié par le grand déficit agricole estimé antérieurement, en plus les pertes engendrées par le système d'irrigation pratiqué, sont importantes et égales aux besoins réels en eau d'irrigation, ce qui fait réfléchir à l'existence d'un éventuel retour d'eau à la nappe, par percolation profonde d'où la nécessité d'établir le bilan hydrique à l'échelle des aires irriguées pour les différentes zones.

En combinant l'occupation des sols et les besoins en eau d'irrigation, nous obtenons une estimation des prélèvements par pompages, à destination agricole qui se résument ainsi :

| | Tébessa | El Ma El Abiod | Chéria |
|--|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Total prélevé (m3) | 1 882 566 (100%) | 15 566 865 (100%) | 10 208 119 (100%) |
| Pertes (m3)---(%) | 853 614 (46%) | 7 863 590 (50%) | 4 978 048 (49%) |
| Besoins (m3)--- (%) | 1 010 811 (54%) | 7 205 875 (50%) | 4 954 126 51(%) |
| Débit fictif continu des prélèvements (l/s) | 59.7 | 493.6 | 323.7 |

Tableau 25: Prélèvements d'eau par pompages destinés à l'irrigation.

Nous remarquons ; que l'estimation des prélèvements selon la moyenne adoptée par l'office des périmètres irrigués peut être représentative pour la plaine de Tébessa et le plateau de Chéria, tandis que pour la plaine d'El Ma El Abiod les prélèvements sont sous-estimés.

| Culture | Sup (ha) | Jan | Fev | Mars | Avr | Mai | Juin | Juil | Aou | Sep | Oct | Nov | Dec | Total |
|-------------------|-----------------|------------|------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------------|
| Arbo | 105 | - | - | - | - | 207 060 | 207 375 | 422 520 | 207 375 | 209 580 | - | - | - | 1 253 910 |
| Olivier | 75 | 49 200 | 27 900 | 85 200 | 72 450 | 140 550 | 158 025 | 298 200 | - | - | - | - | - | 831 525 |
| légumes | 530 | - | - | - | 452 620 | 1 107 700 | 1 744 760 | 1 299 030 | - | - | - | - | - | 4 604 110 |
| luzerne | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| P de terre | 500 | - | - | - | 323 000 | 810 000 | 2 010 000 | 2 440 500 | 1 140 500 | - | - | - | - | 6 724 000 |
| Céréales | 520 | - | 666 640 | - | 711 880 | 774 800 | - | - | - | - | - | - | - | 2 153 320 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|---------------|----------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|----------------|---------------|---------------|---------------|----------|-------------------|
| Total App (m3) | 49 200 | 694 540 | 85 200 | 1 559 950 | 3 040 110 | 4 120 160 | 4 460 250 | 1 347 875 | 209 580 | - | - | - | - | 15 566 865 |
| Pertes (m3) | 21 075 | 343 480 | 66 975 | 693 195 | 1 538 100 | 2 161 095 | 2 262 190 | 694 740 | 82 740 | - | - | - | - | 7 863 590 |
| Besoins (m3) | 74 360 | 175 090 | 270 500 | 740 320 | 1 146 860 | 1 921 010 | 1 966 955 | 674 920 | 99 435 | 57 180 | 31 290 | 47 955 | - | 7 205 875 |

Tableau 26:Prélèvements (en m3) par pompages destinés à l'irrigation en fonction des besoins des cultures pratiquées à la plaine d'El Ma El Abiod

| Culture | Sup (ha) | Jan | Fev | Mars | Avr | Mai | Juin | Juil | Aou | Sep | Oct | Nov | Dec | Total |
|-------------------|-----------------|------------|------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------------|
| Arbo | 166 | - | - | - | - | 327 352 | 327 850 | 667 984 | 327 850 | 331 336 | - | - | - | 1 982 372 |
| Olivier | 50 | 32 800 | 18 600 | 56 800 | 48 300 | 93 700 | 105 350 | 198 800 | - | - | - | - | - | 554 350 |
| légumes | 113 | - | - | - | 96 502 | 236 170 | 371 996 | 276 963 | - | - | - | - | - | 981 631 |
| luzerne | 200 | - | 217 200 | - | 436 000 | - | 217 800 | 436 800 | 219 400 | - | 219 400 | 219 600 | 216 600 | 2 182 800 |
| P de terre | 50 | - | - | - | 32 300 | 81 000 | 201 000 | 244 050 | 114 050 | - | - | - | - | 672 400 |
| Céréales | 926 | - | 1 187 132 | - | 1 267 694 | 1 379 740 | - | - | - | - | - | - | - | 3 834 566 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|----------------|------------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|
| Total App (m3) | 32 800 | 1 422 932 | 56 800 | 1 880 796 | 2 117 962 | 1 223 996 | 1 824 597 | 661 300 | 331 336 | 219 400 | 219 600 | 216 600 | 10 208 119 |
| Pertes (m3) | 14 050 | 711 394 | 44 650 | 939 278 | 1 000 362 | 598 581 | 851 717 | 315 808 | 130 808 | 123 800 | 123 800 | 123 800 | 4 978 048 |
| Besoins (m3) | 162 618 | 367 672 | 525 276 | 811 614 | 647 377 | 657 851 | 725 984 | 402 964 | 228 602 | 194 934 | 103 468 | 125 766 | 4 954 126 |

Tableau 27 : Prélèvements (en m3) par pompages destinés à l'irrigation en fonction des besoins des cultures pratiquées au plateau de Chéria.

| Culture | Sup (ha) | Jan | Fev | Mars | Avr | Mai | Juin | Juil | Aou | Sep | Oct | Nov | Dec | Total |
|-------------------|-----------------|------------|------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|----------------|
| Arbo | 63 | - | - | - | - | 124 236 | 124 425 | 253 512 | 124 425 | 125 748 | - | - | - | 752 346 |
| Olivier | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| légumes | 30 | - | - | - | 25 620 | 62 700 | 98 760 | 73 530 | - | - | - | - | - | 260 610 |
| luzerne | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| P de terre | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Céréales | 210 | - | 269 220 | - | 287 490 | 312 900 | - | - | - | - | - | - | - | 869 610 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|--------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|------------------|
| Total App (m3) | - | 269 220 | - | 313 110 | 499 836 | 223 185 | 327 042 | 124 425 | 125 748 | - | - | - | - | 1 882 566 |
| Pertes (m3) | - | 129 990 | - | 148 530 | 233 934 | 102 774 | 139 098 | 49 644 | 49 644 | - | - | - | - | 853 614 |
| Besoins (m3) | 30 030 | 67 620 | 99 204 | 174 531 | 138 930 | 138 705 | 135 621 | 94 752 | 59 661 | 33 390 | 18 774 | 19 593 | 19 593 | 1 010 811 |

Tableau 28: Prélèvements (en m3) par pompages destinés à l'irrigation en fonction des besoins des cultures pratiquées à la plaine de Tébessa.

2. Bilan hydrologique et recharge des nappes :

L'essai d'établissement du bilan hydrologique d'une nappe est présenté ici comme quantité d'eau souterraine disponible dans une région donnée ; c'est une méthode peu onéreuse car elle n'exige pas de travaux importants {géophysique, sondages) ni d'essais coûteux, et peut être mise en action par quelques agents rassemblant des renseignements climatiques (température et précipitations), hydrologiques (jaugeages de sources et de rivières, surveillance de piézomètres) et économiques (sur l'utilisation de l'eau); ces mesures et ces statistiques sont ensuite transformées en éléments d'un bilan, celui des modalités de l'équilibre dynamique entre le débit d'alimentation et le débit des pertes artificielles et naturelles. Mais pour établir un bilan un tant soit peu précis, on doit d'une part, avoir mené à bien une étude hydrogéologique, mettant en évidence l'importance relative des différents éléments de l'actif et du passif du bilan, et d'autre part disposer de « moyennes » climatologiques et hydrologiques établies sur des mesures de plusieurs années.(F. MORTIER).

L'établissement d'un bilan hydrologique, qui tient compte de la recharge de la nappe est très délicat, nous allons essayer d'approcher ce concept par la méthode la plus utilisée ; qui est la méthode du bilan hydrologique de Thorntwaite qui s'écrit sous l'équation :

$$P = R + ETR + I$$

Où :

P = pluviométrie de la période considérée,

R = ruissellement,

I = infiltration,

ETR = évapotranspiration réelle.

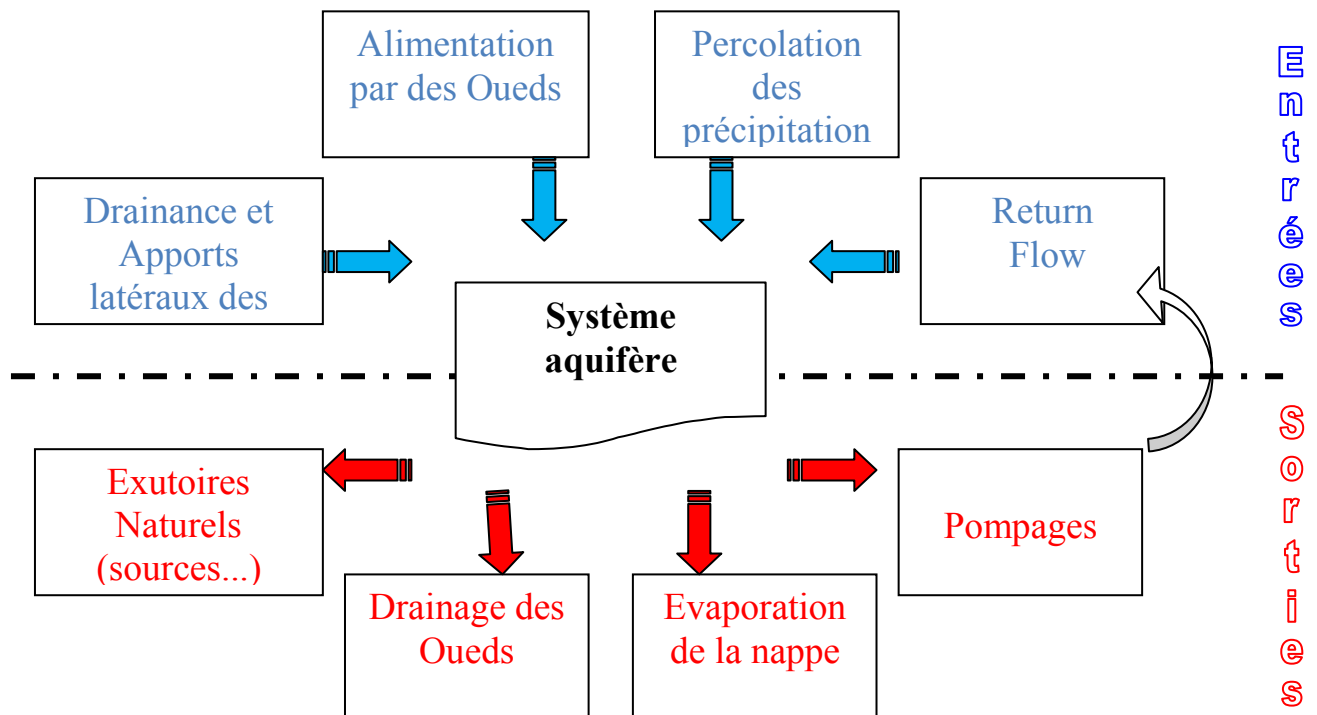


Figure 47 : Schéma conceptuel des différentes composantes dans la dynamique d'un système aquifère

Le schéma ci-dessus montre les différents éléments à considérer pour l'établissement du bilan hydrologique d'une nappe. Pour notre région étudiée la dynamique des trois systèmes aquifères ressortant de leur géologie, géométrie et conditions aux limites sus indiqués dans le chapitre hydrogéologie met en considération les éléments suivants :

a- Entrée = *alimentation du système aquifère*

Compte tenu de leur mode de gisement et de leur situation géographique, les trois systèmes aquifères permettent deux types d'alimentation :

- A partir des précipitations. (connue)
- Return flow des apports d'eau destinés à l'irrigation (inconnu)

Le ruissellement et les échanges entre nappes sont difficiles à mettre en évidence dans le cadre du présent travail, ceci d'une part et du fait de leurs faibles apports susceptible d'y exister, d'une autre part ; vu les conditions climatiques et l'architecture encaissée de chaque système aquifère.

b- Sortie = *fuites du système aquifère*

Les différentes formes de sorties sont :

- l'écoulement souterrain après circulation dans l'aquifère.
- Prélèvements par pompage à destination agricole, AEP et industrielle.

L'évaporation à partir de la surface de la nappe et le drainage des Oueds sont négligés, condition imposée par l'appartenance de la région à l'étage bioclimatique semi-aride et à la surexploitation de la ressource.

Le même bilan hydrologique décrit dans le chapitre climatologie, est repris tout en prenant en considération les apports artificiels par irrigation ; en rapport avec les superficies agricoles irriguées pour chaque plaine, qui sont représentées dans le tableau :

| CALCUL DU BILAN HYDROLOGIQUE PAR THORNTHWAITE | | | | | | | | |
|---|--------------|-------------------|-----------------|--------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| Pour 1 Ha de Arboriculture fruitière | | | | | | | | |
| Mois | T (°C) | ETP(Turc) (mm) | Pr + Ap (mm) | BH (mm) | RU (mm) | ETR (mm) | Def (mm) | Exc (mm) |
| S | 22,6 | 129,2 | 233,7 | 104,5 | 100,0 | 129,2 | 0,0 | 104,5 |
| O | 16,5 | 84,5 | 31,8 | -52,7 | 47,3 | 84,5 | 0,0 | 0,0 |
| N | 11,3 | 55,3 | 26,2 | -29,1 | 18,2 | 55,3 | 0,0 | 0,0 |
| D | 7,3 | 36,7 | 18,8 | -17,9 | 0,3 | 36,7 | 0,0 | 0,0 |
| J | 6,0 | 34,3 | 23,9 | -10,4 | 0,0 | 24,2 | 10,1 | 0,0 |
| F | 7,4 | 48,7 | 15,8 | -32,9 | 0,0 | 15,8 | 32,9 | 0,0 |
| M | 10,3 | 75,7 | 29,8 | -45,9 | 0,0 | 29,8 | 45,9 | 0,0 |
| A | 14,0 | 106,1 | 19,6 | -86,5 | 0,0 | 19,6 | 86,5 | 0,0 |
| M | 18,2 | 133,3 | 227,7 | 94,4 | 94,4 | 133,3 | 0,0 | 0,0 |
| J | 23,4 | 169,8 | 224,1 | 54,3 | 100,0 | 169,8 | 0,0 | 48,7 |
| J | 26,7 | 198,8 | 414,0 | 215,2 | 100,0 | 198,8 | 0,0 | 215,2 |
| A | 26,2 | 145,9 | 218,8 | 72,9 | 100,0 | 145,9 | 0,0 | 72,9 |
| Année | 189,7 | 1218,3 | 1484,2 | 265,9 | 560,2 | 1042,9 | 175,4 | 441,27 |
| Pour 1 Ha d'OLIVIER | | | | | | | | |
| Mois | T (°C) | ETP(Turc) (mm) | Pr + Ap (mm) | BH (mm) | RU (mm) | ETR (mm) | Def (mm) | Exc (mm) |
| S | 22,6 | 129,2 | 34,1 | -95,1 | 0,0 | 34,1 | 95,1 | 0,0 |
| O | 16,5 | 84,5 | 31,8 | -52,7 | 0,0 | 31,8 | 52,7 | 0,0 |
| N | 11,3 | 55,3 | 26,2 | -29,1 | 0,0 | 26,2 | 29,1 | 0,0 |
| D | 7,3 | 36,7 | 18,8 | -17,9 | 0,0 | 18,8 | 17,9 | 0,0 |
| J | 6,0 | 34,3 | 89,5 | 55,2 | 55,2 | 34,3 | 0,0 | 0,0 |
| F | 7,4 | 48,7 | 53,0 | 4,3 | 59,5 | 48,7 | 0,0 | 0,0 |
| M | 10,3 | 75,7 | 143,4 | 67,7 | 100,0 | 75,7 | 0,0 | 27,2 |
| A | 14,0 | 106,1 | 116,2 | 10,1 | 100,0 | 106,1 | 0,0 | 10,1 |
| M | 18,2 | 133,3 | 217,9 | 84,6 | 100,0 | 133,3 | 0,0 | 84,6 |
| J | 23,4 | 169,8 | 237,3 | 67,5 | 100,0 | 169,8 | 0,0 | 67,5 |
| J | 26,7 | 198,8 | 409,2 | 210,4 | 100,0 | 198,8 | 0,0 | 210,4 |
| A | 26,2 | 145,9 | 21,3 | -124,6 | 0,0 | 121,3 | 24,6 | 0,0 |
| Année | 189,7 | 1218,3 | 1398,7 | 180,4 | 614,7 | 998,9 | 219,5 | 399,82 |
| Pour 1 Ha de LEGUMES | | | | | | | | |
| Mois | T (°C) | ETP(Turc) (mm) | Pr + Ap (mm) | BH (mm) | RU (mm) | ETR (mm) | Def (mm) | Exc (mm) |
| S | 22,6 | 129,2 | 34,1 | -95,1 | 0,0 | 34,1 | 95,1 | 0,0 |
| O | 16,5 | 84,5 | 31,8 | -52,7 | 0,0 | 31,8 | 52,7 | 0,0 |
| N | 11,3 | 55,3 | 26,2 | -29,1 | 0,0 | 26,2 | 29,1 | 0,0 |
| D | 7,3 | 36,7 | 18,8 | -17,9 | 0,0 | 18,8 | 17,9 | 0,0 |
| J | 6,0 | 34,3 | 23,9 | -10,4 | 0,0 | 23,9 | 10,4 | 0,0 |
| F | 7,4 | 48,7 | 15,8 | -33,0 | 0,0 | 15,8 | 33,0 | 0,0 |
| M | 10,3 | 75,7 | 29,8 | -45,9 | 0,0 | 29,8 | 45,9 | 0,0 |
| A | 14,0 | 106,1 | 105,0 | -1,2 | 0,0 | 105,0 | 1,2 | 0,0 |
| M | 18,2 | 133,3 | 239,5 | 106,2 | 100,0 | 133,3 | 0,0 | 6,2 |
| J | 23,4 | 169,8 | 355,8 | 186,0 | 100,0 | 169,8 | 0,0 | 186,0 |
| J | 26,7 | 198,8 | 256,7 | 57,9 | 100,0 | 198,8 | 0,0 | 57,9 |
| A | 26,2 | 145,9 | 21,3 | -124,7 | 0,0 | 121,3 | 24,7 | 0,0 |
| Année | 189,7 | 1218,3 | 1158,5 | -59,8 | 300,0 | 908,4 | 309,9 | 250,09 |

Tableau 29: Bilan hydrique sous un hectare d'arboriculture fruitière, Olivier et Légumes.

| CALCUL DU BILAN HYDROLOGIQUE PAR THORNTHWAITE | | | | | | | | |
|---|--------------|-------------------|-----------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| Pour 1 Ha de LUZERNE | | | | | | | | |
| Mois | T (°C) | ETP(Turc) (mm) | Pr + Ap (mm) | BH (mm) | RU (mm) | ETR (mm) | Def (mm) | Exc (mm) |
| S | 22,6 | 129,2 | 34,1 | -95,1 | 0,0 | 50,3 | 78,9 | 0,0 |
| O | 16,5 | 84,5 | 141,5 | 57,0 | 57,0 | 84,5 | 0,0 | 0,0 |
| N | 11,3 | 55,3 | 136,0 | 80,7 | 100,0 | 55,3 | 0,0 | 37,7 |
| D | 7,3 | 36,7 | 127,1 | 90,4 | 100,0 | 36,7 | 0,0 | 90,4 |
| J | 6,0 | 34,3 | 23,9 | -10,4 | 89,6 | 34,3 | 0,0 | 0,0 |
| F | 7,4 | 48,7 | 124,4 | 75,6 | 100,0 | 48,7 | 0,0 | 65,2 |
| M | 10,3 | 75,7 | 29,8 | -45,9 | 54,1 | 75,7 | 0,0 | 0,0 |
| A | 14,0 | 106,1 | 237,6 | 131,4 | 100,0 | 106,1 | 0,0 | 85,5 |
| M | 18,2 | 133,3 | 30,5 | -102,8 | 0,0 | 130,5 | 2,8 | 0,0 |
| J | 23,4 | 169,8 | 135,5 | -34,3 | 0,0 | 135,5 | 34,3 | 0,0 |
| J | 26,7 | 198,8 | 230,0 | 31,2 | 31,2 | 198,8 | 0,0 | 0,0 |
| A | 26,2 | 145,9 | 131,0 | -15,0 | 16,2 | 145,9 | 0,0 | 0,0 |
| Année | 189,7 | 1218,3 | 1381,2 | 162,9 | 648,2 | 1102,3 | 116,0 | 278,88 |
| Pour 1 Ha de POMME DE TERRE | | | | | | | | |
| Mois | T (°C) | ETP(Turc) (mm) | Pr + Ap (mm) | BH (mm) | RU (mm) | ETR (mm) | Def (mm) | Exc (mm) |
| S | 22,6 | 129,2 | 34,1 | -95,1 | 4,9 | 129,2 | 0,0 | 0,0 |
| O | 16,5 | 84,5 | 31,8 | -52,7 | 0,0 | 36,7 | 47,8 | 0,0 |
| N | 11,3 | 55,3 | 26,2 | -29,1 | 0,0 | 26,2 | 29,1 | 0,0 |
| D | 7,3 | 36,7 | 18,8 | -17,9 | 0,0 | 18,8 | 17,9 | 0,0 |
| J | 6,0 | 34,3 | 23,9 | -10,4 | 0,0 | 23,9 | 10,4 | 0,0 |
| F | 7,4 | 48,7 | 15,8 | -33,0 | 0,0 | 15,8 | 33,0 | 0,0 |
| M | 10,3 | 75,7 | 29,8 | -45,9 | 0,0 | 29,8 | 45,9 | 0,0 |
| A | 14,0 | 106,1 | 84,2 | -22,0 | 0,0 | 84,2 | 22,0 | 0,0 |
| M | 18,2 | 133,3 | 192,5 | 59,2 | 59,2 | 133,3 | 0,0 | 0,0 |
| J | 23,4 | 169,8 | 428,6 | 258,8 | 100,0 | 169,8 | 0,0 | 218,0 |
| J | 26,7 | 198,8 | 499,7 | 300,9 | 100,0 | 198,8 | 0,0 | 300,9 |
| A | 26,2 | 145,9 | 249,4 | 103,4 | 100,0 | 145,9 | 0,0 | 103,4 |
| Année | 189,7 | 1218,3 | 1634,6 | 416,3 | 364,0 | 1012,3 | 206,0 | 622,32 |
| Pour 1 Ha de CEREALES | | | | | | | | |
| Mois | T (°C) | ETP(Turc) (mm) | Pr + Ap (mm) | BH (mm) | RU (mm) | ETR (mm) | Def (mm) | Exc (mm) |
| S | 22,6 | 129,2 | 34,1 | -95,1 | 0,0 | 34,1 | 95,1 | 0,0 |
| O | 16,5 | 84,5 | 31,8 | -52,7 | 0,0 | 31,8 | 52,7 | 0,0 |
| N | 11,3 | 55,3 | 26,2 | -29,1 | 0,0 | 26,2 | 29,1 | 0,0 |
| D | 7,3 | 36,7 | 18,8 | -17,9 | 0,0 | 18,8 | 17,9 | 0,0 |
| J | 6,0 | 34,3 | 23,9 | -10,4 | 0,0 | 23,9 | 10,4 | 0,0 |
| F | 7,4 | 48,7 | 144,0 | 95,2 | 95,2 | 48,7 | 0,0 | 0,0 |
| M | 10,3 | 75,7 | 29,8 | -45,9 | 49,3 | 75,7 | 0,0 | 0,0 |
| A | 14,0 | 106,1 | 156,5 | 50,3 | 99,7 | 106,1 | 0,0 | 0,0 |
| M | 18,2 | 133,3 | 179,5 | 46,2 | 100,0 | 133,3 | 0,0 | 45,8 |
| J | 23,4 | 169,8 | 26,6 | -143,2 | 0,0 | 126,6 | 43,2 | 0,0 |
| J | 26,7 | 198,8 | 11,6 | -187,2 | 0,0 | 11,6 | 187,2 | 0,0 |
| A | 26,2 | 145,9 | 21,3 | -124,7 | 0,0 | 21,3 | 124,7 | 0,0 |
| Année | 189,7 | 1218,3 | 703,9 | -514,4 | 344,2 | 658,1 | 560,2 | 45,81 |

Tableau 30: Bilan hydrique sous un hectare de Luzerne, P. De terre et céréales.

Après avoir estimé les prélèvements par pompage à destination agricole, à travers le calcul des besoins en eaux des cultures pratiquées dans la zone, l'établissement du bilan hydrique pour une unité (01 Ha) pour chaque culture ; nous a permis d'estimer les excès d'eau (return flow) qui peuvent résulter des irrigations à travers chaque plaine, sachant que l'excès est la quantité d'eau en surplus après dépassement du seuil maximum de la réserve facilement utilisable ; c'est-à-dire en d'autres termes c'est la percolation, les résultats de cet excès sont déduites du bilan hydrique pour chaque culture, en rapport avec la superficie irriguée y afférente, les résultats sont comme suit :

| Occupation sol | Paramètres | Tébessa | El Ma El Abiod | Chéria |
|----------------|--------------|-------------|----------------|-------------|
| Sup. Irriguée | Pr + Ap (m3) | 2 760 867 | 18 221 157 | 14 570 860 |
| | Exc (m3) | 449 259 | 4 751 809 | 2 508 062 |
| | Prélèv. (m3) | 1 882 566 | 15 566 865 | 10 208 119 |
| | Sup (ha) | 303 | 1 730 | 1 505 |
| Sup. en sec | Pr (m3) | 246 700 452 | 138 169 577 | 253 410 015 |
| | Exc (m3) | - | - | - |
| | Sup (ha) | 74 397 | 67 697 | 82 895 |
| Total | Pr + Ap (m3) | 249 461 319 | 158 752 454 | 267 980 875 |
| | Exc (m3) | 449 259 | 5 438 479 | 2 508 062 |
| | Sup (ha) | 74 700 | 68 000 | 84 400 |

Tableau 31: estimations des excès d'eaux générés par les apports naturels (Pr) et artificiels (Ap)

Le ruissellement de surface (R) :

Les relevés hydrométriques récents sont indisponibles à travers toute la région étudiée, de ce fait les apports des différents Oueds sont évalués en appliquant un coefficient d'écoulement moyen de 5% , calculé sur la base des données hydrométriques des stations de Chott Melghrir. (D'après ANRH), ceci est confirmé aussi par le peu de données existantes des jaugeages des Oueds el Kébir (Tébessa), Oued El Ma El Abiod, tandis que pour Oued Chéria ; existe un grand écart entre le débit jaugé et celui estimé, par l'application d'un coefficient d'écoulement, qui est de l'ordre de 9.400.000 m3, ce qui laisse à considérer que ce débit entretient le réservoir souterrain du plateau de Chéria.

| | Tébessa | El Ma El Abiod | Chéria |
|--------------------------|-------------|----------------|-------------|
| Pr (mm) | 331.6 | 204.1 | 305.7 |
| Sup (ha) | 74700 | 68000 | 84400 |
| Pr (m3) | 247 705 200 | 138 788 000 | 258 010 800 |
| R = 5% de Pr | 12 385 260 | 6 939 400 | 12 900 540 |
| Apport annuel (Jaugeage) | 12 400 000 | 6.7 | 3 500 000 |

Tableau 32 : Estimation du ruissellement par l'application d'un coefficient d'écoulement.

3. Résultats et interprétations :

Maintenant après avoir réuni les principaux éléments, le bilan hydrogéologique à travers les différentes plaines de la zone d'étude, s'écrit comme suit :

| Paramètres (m ³ /an) | Tébessa | | El Ma El Abiod | | Chéria | |
|------------------------------------|------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | Entrées | Sorties | Entrées | Sorties | Entrées | Sorties |
| Pr +Ap | 249 461 319 | | 158 752 454 | | 267 980 875 | |
| Ruissellement | | 12 385 260 | | 6 939 400 | | 3 500 000 |
| Pompage | | 11 342 566 | | 18 088 865 | | 18 424 119 |
| Infiltration | 449 259 | | 5 438 479 | | 2 508 062 | |
| ETR | | 249 012 069 | | 153 313 497 | | 265 472 203 |
| Bilan | 249 910 578 | 272 739 895 | 164 190 933 | 178 341 762 | 270 488 937 | 287 396 322 |
| Ecart | - 22 829 317,00 | | - 14 150 829 | | -16 907 385 | |

Tableau 33: Bilan hydrogéologique des trois systèmes aquifères (Tébessa, El Ma El Abiod et Chéria).

A partir du tableau33 précédant nous remarquons que, le bilan hydrogéologique est déficitaire à travers les trois zones ; c'est-à-dire que les sorties emportent sur les entrées et donc, l'infiltration des eaux pluviales dans ces conditions selon le bilan de Thorntwaite ne peut s'établir, car $ETR+R \gg P$, elle est donc limitée qu'au excès d'eau d'irrigation, et ce malgré la non prise en considération des sorties souterraines de la nappe et le drainage des oueds.

4. Conclusion

A travers ce qui précède nous avons pu mettre en évidence, une quantification des retours d'eau d'irrigation à la nappe, une estimation qui s'avère grossière mais elle est d'une importance particulière ; pour mettre le point sur les effets qu'ils peuvent résulter, sur la qualité des eaux souterraines surtout que la région est soumise à un climat semi aride ; qui tend vers l'aridité par la dégradation des ressources naturelles, liées à la réunion des facteurs climatiques et anthropiques. Le bilan hydrogéologique des trois systèmes aquifères est déficitaire, malgré qu'on se soit basé dans nos calculs sur une année à pluviométrie moyenne, ce qui laisse à réfléchir sur l'avenir de la ressource sur le plan quantitatif et qualitatif.

HYDROCHIMIE

1. Généralités:

L'hydrochimie est utilisée comme outil de compréhension des circulations au sein de l'aquifère. L'étude de la répartition dans l'espace et de l'évolution dans le temps des concentrations en ions majeurs, vient compléter et préciser le schéma lithologique et celui des circulations d'une part, et d'illustrer les effets et risques éventuels provenant des retours d'eaux d'irrigation à la nappe, susceptibles d'altérer sa qualité hydro-chimique d'une autre part. Dans un aquifère sain, il s'établit un équilibre entre la composition chimique de l'eau et celle des roches, l'eau prend une minéralisation qui demeure stable dans le temps et sert à caractériser un faciès hydrochimique. Les ions majoritairement présents dans l'eau vont refléter la nature des roches rencontrées, tandis que pour un aquifère polluée c'est le contraire.

Les concentrations des éléments chimiques qu'on peut rencontrer dans les eaux souterraines, ainsi que leurs origines sont reportées dans le tableau 34. En effet, on peut relier entre ces éléments et la géologie ou une origine anthropique.

| Elément | Concentrations habituellement rencontrées (mg/L) hors pollution | Sources potentielles |
|----------------------------------|--|---|
| Calcium (Ca ²⁺) | Centaines de mg/L | Le calcium Ca ²⁺ et le magnésium Mg ²⁺ sont présents dans les roches cristallines et les roches sédimentaires. Ils sont très solubles et sont donc largement représentés dans la plupart des eaux. |
| Magnésium (Mg ²⁺) | Dizaines de mg/L | |
| Sodium (Na ⁺) | Dizaines de mg/L | Le cation sodium (Na ⁺) est très abondant sur la terre. On le retrouve dans les roches cristallines et les roches sédimentaires (sables, argiles, évaporites). La roche Halite (évaporite NaCl) est le sel de cuisine. Il est très soluble dans l'eau |
| Potassium (K ⁺) | Inférieur à 10 mg/L (hormis pour les eaux ayant traversé des formations évaporitiques) | Le potassium (K ⁺) est assez abondants sur terre, mais peut fréquent dans les eaux. En effet, il est facilement adsorbé et recombinaé dans les sols (sur les argiles notamment). Les sources principales de potassium sont les roches cristallines. |
| Bicarbonates (HCO ₃) | Centaines de mg/L | Roches carbonatées (calcaires, dolomies) |
| Chlorures (Cl) | Quelques mg/L (la dissolution d'halite ou la présence d'un biseau salé peut engendrer des valeurs de quelques centaines de mg/L) | Origine atmosphérique : dans les aquifères libres, la concentration en chlorures est directement liée à la teneur en chlorure des précipitations. Dépend finalement plus de la distance à la mer que de la lithologie |
| Sulfates (SO ₄) | Quelques mg/L à quelques dizaines de mg/L (quelques centaines de mg/L dans le cas de lessivage de roches évaporitiques) | Origine atmosphérique (eau de pluie), la mise en solution de roches sédimentaires évaporitiques, notamment le gypse (CaSO ₄) et la pyrite, pollution agricole (engrais) |
| Nitrates (NO ₃) | Inférieure à 5 mg/L pour l'origine naturelle | Sources naturelles : précipitations, interactions sol/végétation Sources anthropiques dès lorsque les concentrations excèdent 10 mg/L : lessivage d'engrais, rejets domestiques ou industriels |

Tableau 34: Les éléments chimiques rencontrés et leurs sources naturelles.

2. Méthodologie:

Une campagne de mesures hydrochimiques a été réalisée le 1 janvier 2009, durant cette campagne les prélèvements sont effectués par pompage à partir des points d'eaux échantillonnés, dans un premier temps, la pompe extrait l'eau préexistante dans le puits ou forage, puis pompe véritablement l'eau de l'aquifère, à l'aide d'une sonde multiparamètres dont photo en annexe, on mesure les caractéristiques physiques de chaque échantillon prélevé (température, PH, Oxygène dissout, conductivité électrique), par la suite on procède au flaconnage destiné aux fins de compléter l'analyse hydrochimique au laboratoire, une tâche qui a été confiée au laboratoire de l'entreprise nationale du fer et du phosphate « FERPHOS » à Tébessa, les résultats obtenus ainsi sont représentés dans l'annexe

2.1. Les Paramètres mesurés in situ:

Les paramètres mesurés sur le terrain sont les paramètres fugaces, c'est-à-dire l'ensemble des éléments qui peuvent varier entre le lieu d'échantillonnage et le laboratoire. Ils comprennent :

- la température, mesurée à l'aide de la sonde température du conductivimètre;
- la conductivité, mesurée avec le conductivimètre portatif ;
- le pH, mesuré à l'aide d'un pH-mètre portatif de terrain ;
- l'oxygène dissout à l'aide d'un oxymétrie de terrain ;

Suite au flaconnage dans des flacons en polyéthylène, les échantillons ont été stockés au réfrigérateur à 4°C afin de limiter les développements bactériens. L'analyse des échantillons au laboratoire a eu lieu le 18 janvier 2009.

2.2. Les paramètres mesures en laboratoire:

En plus des paramètres physiques mesurés sur terrain, l'analyse au laboratoire a porté sur les ions majeurs :

- Anions: NO_2^- , NO_3^- , SO_4^{2-} .
- Cations: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ .

Tous les éléments ont été mesurés par un spectrophotomètre à flamme.

3. Représentation des résultats :

Les résultats des différentes analyses de la campagne 2009 conjointement aux analyses effectuées antérieurement en 2001-2002, sont par la suite représentés sous forme de diagrammes universels, les plus connus et utilisés dans le domaine de l'hydrochimie et de cartes ; qui vont permettre d'illustrer l'évolution de la qualité hydrochimique des eaux souterraines dans le temps et dans l'espace, à travers les trois terrains objet de l'étude.

3.1. Diagrammes

Les différents diagrammes réalisés sont :

3.1.1. Diagramme de Piper

Le diagramme de Piper est celui qui présente le plus grand intérêt et qui est de ce fait le plus utilisé. Il est composé de deux triangles représentant la répartition des anions et celle des cations, respectivement, et d'un losange représentant la répartition synthétique des ions majeurs. Ce diagramme permet de catégoriser le faciès chimique d'une eau et d'étudier l'évolution spatiotemporelle du chimisme d'une eau ou d'un aquifère.

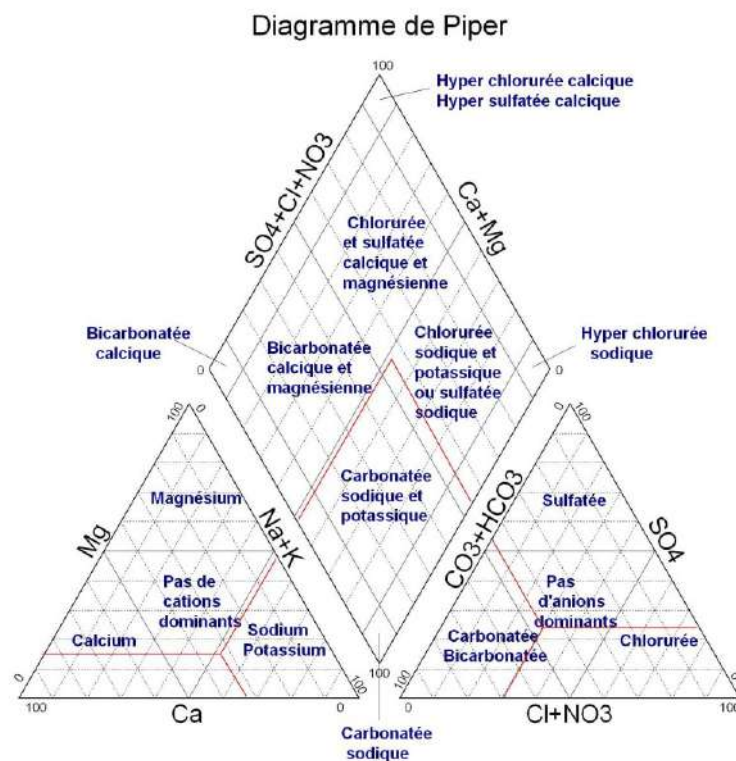


Figure 48 : Diagramme de Piper

3.1.2. Diagramme de Schoeller-Berkalof

Ce diagramme donne la minéralisation, en se basant sur des axes verticaux gradués selon une échelle logarithmique. Les teneurs exprimées en mg/L sont reportées sur les axes, puis reliées par des droites.

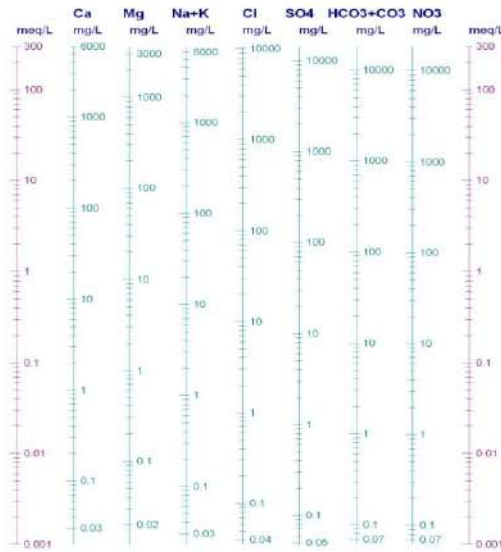


Figure 49 : Diagramme de Schoeller-Berkalof

3.1.3. Diagramme de wilcox

Ce diagramme représente une classification des eaux ; exprimé sous forme d'un ratio qui décrit le pouvoir alcalinisant calculé par une formule appelée sodium adsorbable, « Sodium Adsorption Ratio : SAR », en fonction de la conductivité électrique. Pour une même conductivité, le risque est d'autant plus grand que le ratio est plus élevé.

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

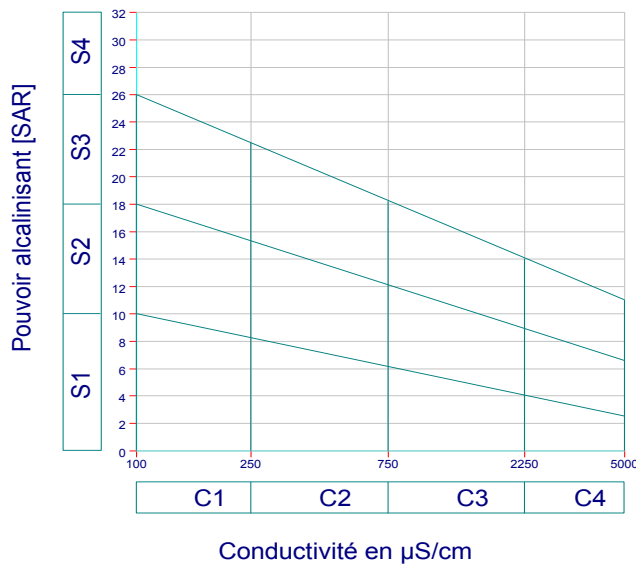


Figure 50 : Diagramme de wilcox

3.2. Les Cartes

Pour la représentation de la distribution spatiale de différentes valeurs, comme le cas de la piézométrie on a utilisé le logiciel de cartographie SURFER 8, les paramètres cartographiés sont :

- Les nitrates.
- Les sulfates
- La conductivité électrique et le résidu sec.
- Le SAR.

4. Résultats et interprétation des analyses hydrochimiques

L'interprétation des analyses hydrochimiques a pour but d'établir la genèse et l'origine des éléments chimiques et d'identifier d'éventuels problèmes de pollutions (NO_3^- , K^+ , Cl^- ...etc). Dans notre étude en 2009, 20 échantillons en 20 points dans la plaine de Tébessa, 16 à El Ma El Abiod, et 07 à Chéria.

Les résultats d'analyse des échantillons prélevés en janvier 2009, à travers les différentes plaines avec ceux réalisées en novembre 2001 à la plaine de Tébessa, juin 2002 à El Ma El Abiod par Rouabhia. A et septembre 2002 au plateau de Chéria par Baali F. nous ont permis d'établir les différents diagrammes et cartes cités précédemment ; à fin de matérialiser l'évolution spatiotemporelle de l'hydrochimie.

4.1. les diagrammes

Puisque parmi les outils qui restent incontournables, les diagrammes qu'on va présenter, vont permettre une meilleure identification des faciès et les aspects qualitatifs, des eaux souterraines, ainsi que leur évolution.

Dans ce but, nous avons entrepris dans notre cas et choisi des démarches de représentation, tels que celui de Scholler-Berkalof et de Piper, afin de mieux cerner les particularités des eaux étudiées.

4.1.1. Le Diagramme de Piper

4.1.1.1. Secteur de Tébessa

A partir du diagramme de piper nous remarquons que le faciès chimique dominant est le Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne dans les deux campagnes 2001 et 2009.

Les eaux de la plaine de Tébessa dite la Merdja ont une tendance très remarquable vers la salinisation. Les cations magnésiens et calciques, marque la totalité des puits représentés sur le triangle des cations, traduisant ainsi l'origine de ces eaux. Le calcium provient des eaux des bordures, alors que le magnésium tire son origine des argiles qui s'intercalent au niveau de plusieurs cotes dans la stratification des couches qui composent l'aquifère.

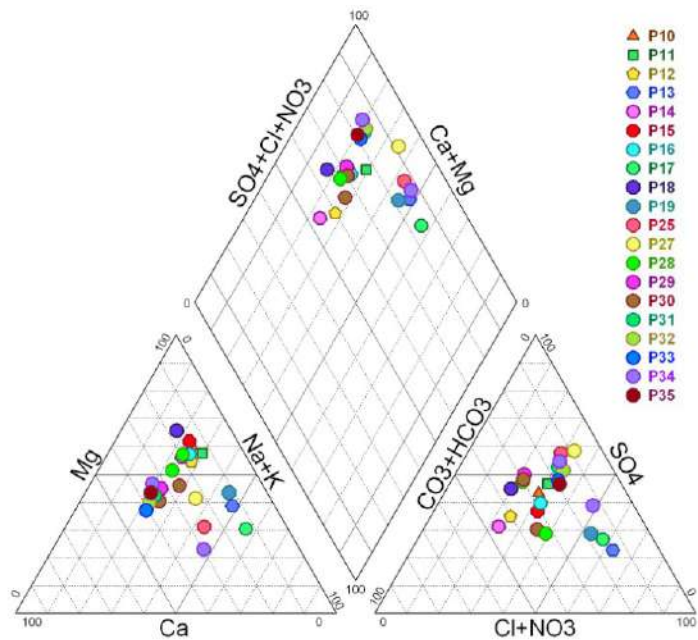


Figure 51 : Diag.de Piper plaine de Tébessa (Nov2001)

Le diagramme met en évidence l'incite, ce de la géologie sur la qualité des eaux. Les bicarbonates tirent leur origine des formations des bordures, alors que les sulfates sont liés à la présence du Trias et aux rejets à l'Est du terrain.

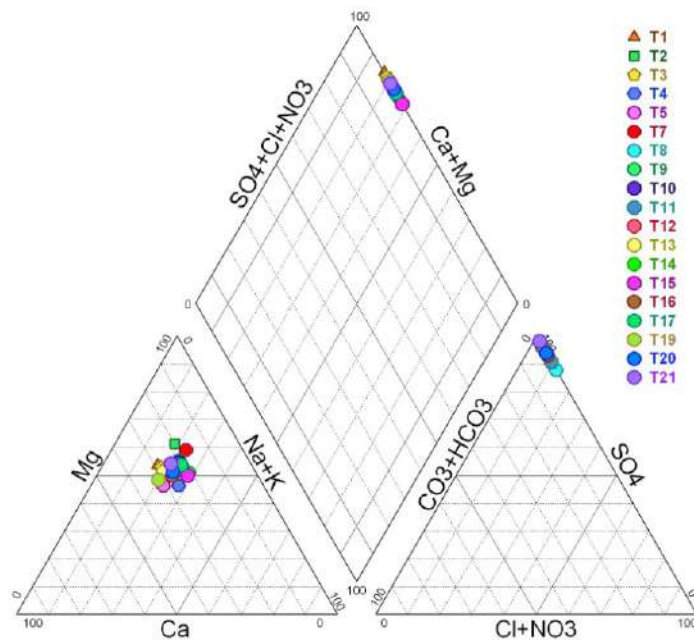


Figure 52 : Diag.de Piper plaine de Tébessa (janv 2009)

La campagne hydrochimique du mois de janvier 2009, (Figure 52) Présente un scénario tout à fait différent du premier, le changement de faciès est clair, tous les points présentent des teneurs importantes en sulfates et en magnésium.

4.1.1.2. Secteur d'El Ma El Abiod

Le diagramme de la figure confirme le faciès sulfaté calcique. Les sulfates en cette période d'observation sont liés aux activités anthropiques ; ils traduisent en effet l'état de contamination par la surface en plus de l'apport de la lithologie, parce que en cette période de l'année les températures sont élevées coïncident avec des pluies orageuses ; ce qui permet d'une part la dissolution et d'autre part la concentration en ces deux éléments, une part très importante est liée aux retours des eaux utilisées pour l'irrigation et qui nécessitent des prélèvement au moyen de lysimètre, pour pouvoir quantifier ces retours d'une façon très précise.

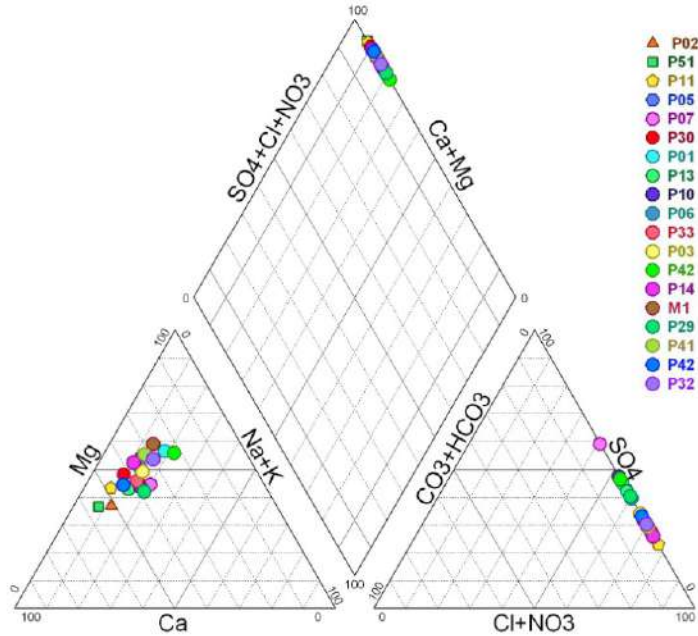


Figure 53 : Diagramme de Piper. El Ma EL Abiod (juin2002)

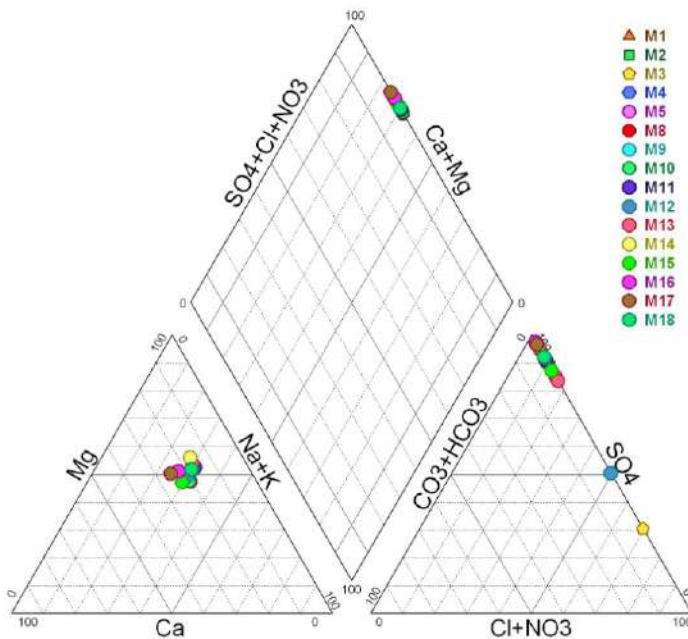


Figure 54 : Diagramme de Piper. El Ma EL Abiod (jan 2009)

4.1.1.3. Secteur de Cheria

La répartition des anions pour les deux périodes (09. 2002 et 01. 2009) met en évidence une dynamique différente des autres périodes. Ceci traduit le mode d'acquisition du chimisme, les chlorures présentent des teneurs assez importantes en 2002. Les cations ne présentent pas la même mobilité entre les deux périodes précédentes, car on observe une dominance des cations.

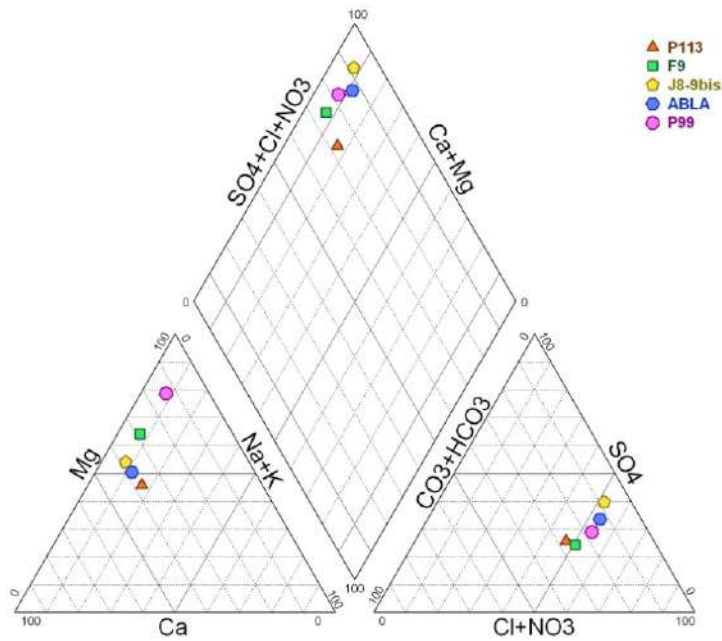


Figure 55 : Diagramme de Piper. Chéria (sep 2002)

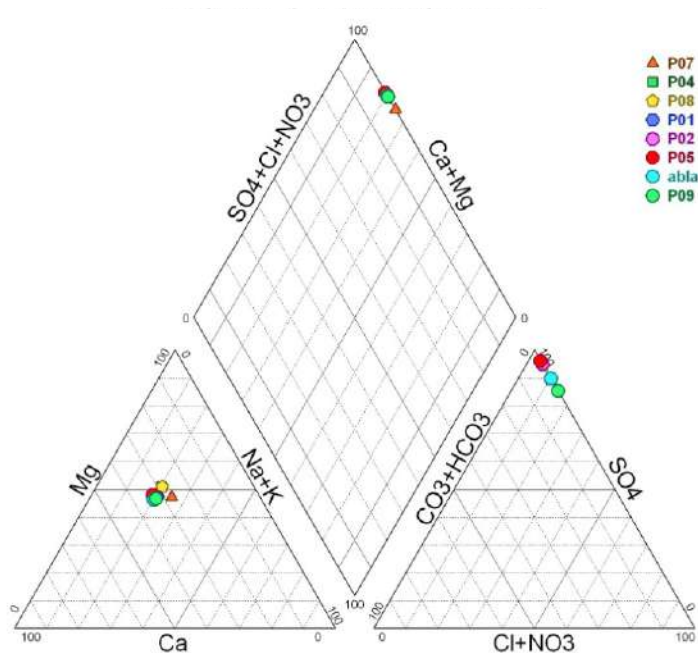


Figure 56 : Diagramme de Piper. Chéria (jan 2009)

Les diagrammes globaux des deux périodes, confirment aussi, l'incidence de la géologie sur la qualité des eaux. Les bicarbonates tirent leur origine des formations des bordures en 2002, alors que les sulfates (2002-2009) et chlorures en 2002, sont liés à l'activité anthropique encore une pollution de surface qui peut avoir plusieurs origines.

4.1.2. Diagramme de Shoeller-Berkalof

Ce type de représentation, établi par Schoeller et repris pas Berkalof, nous portons sur un semi logarithmique les quantités en réactions des anions et des cations sur l'axe des ordonnées et sur les abscisses les éléments chimiques à pas régulier, et ceci pour chaque point d'eau de prélèvement.

4.1.2.1. Secteur de Tébessa

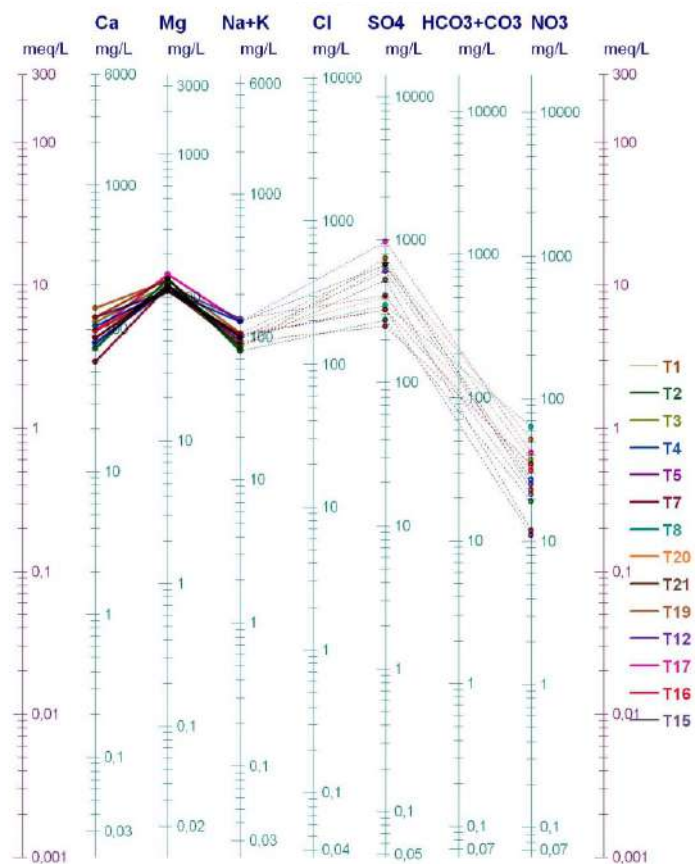


Figure 57 : Shoeller-Berkalof, Tébessa (jan 2009)

Le diagramme tracé pour la période de Janvier 2009 (figure 57), confirme principalement un faciès magnésien et secondairement on observe un faciès calcique par contre la deuxième partie de ce faciès est généralement, on se référant à l'historique des travaux sur la région, à dominance en chlorures et sulfates qui indique un état de pollution en rapport avec les activités anthropiques.

4.1.2.2. Secteur d'El Ma El Abiod et de Cheria

Nous remarquons une nette différence entre les eaux à chaque campagne de prélèvement. La vitesse d'écoulement dans l'aquifère conditionne cette situation, les faciès changent selon l'intensité de l'alimentation

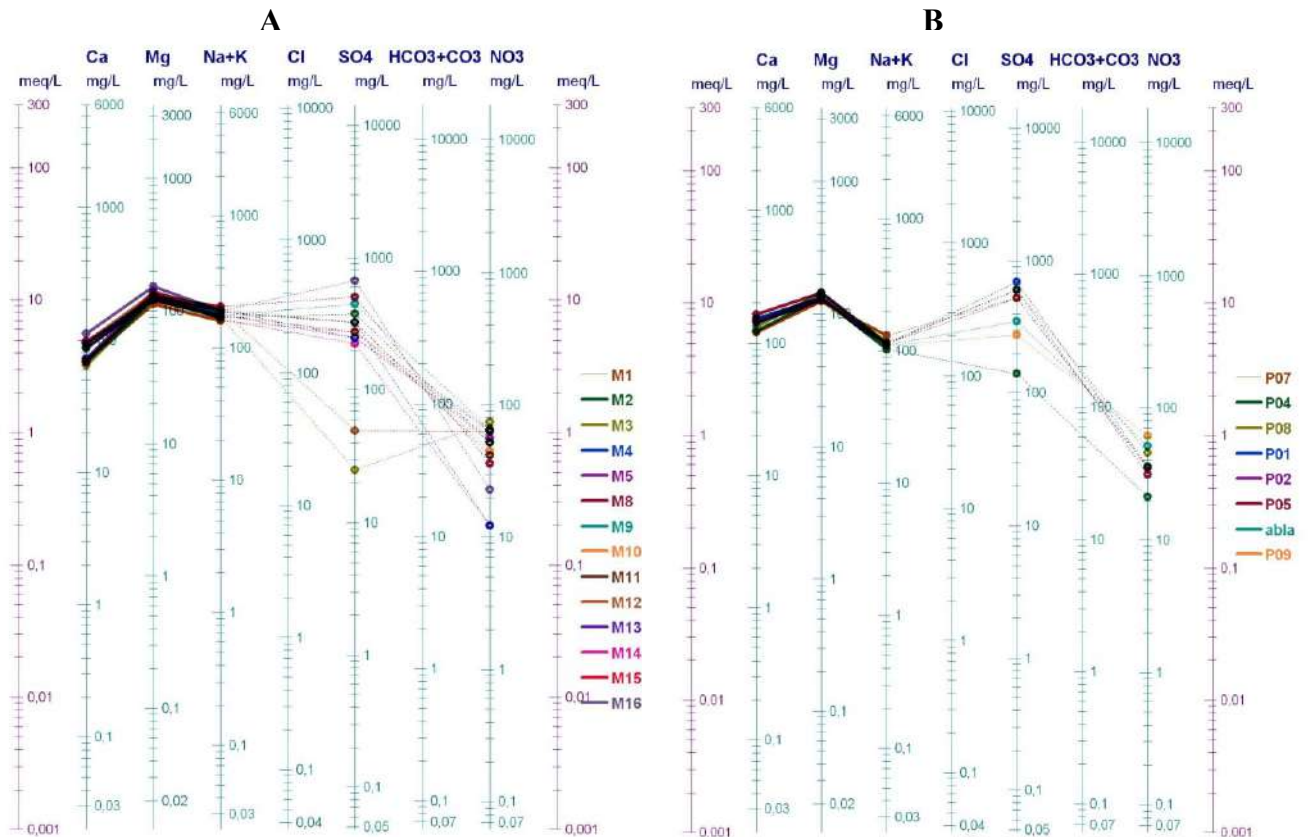


Figure 58 : Shoeller-Berkaloff A- El Ma El Abiod B- Chéria.

Il est à noter qu'il n'existe pas de grandes variations entre les teneurs des eaux issues des puits de la nappe miocène à El Ma El Abiod ou celui des calcaires à Chéria et qui présentent un faciès bicarbonatés calcique. Cette stabilité dans la composition chimique, en éléments qui tirent leur origine de la géologie, met en évidence l'alimentation de l'aquifère à partir des eaux qui lessive les formations calcaires des bordures ce qui confirme l'origine de l'alimentation des deux nappes.

4.1.3. Diagramme de Wilcox :

Ce diagramme sera traité en détail à travers les cartes hydro-chimiques qui permettent d'illustrer mieux l'évolution de l'aptitude des eaux de la région étudiée à être utilisée en irrigation, avec identification des risques, dans ce qui suit nous représentons une description sommaire de la qualité des eaux destinés à l'irrigation ; par l'application du diagramme considéré.

4.1.3.1. Secteur de Tébessa Chéria

Nous remarquons à travers le diagramme de Wilcox que toute les eaux des deux secteurs Tébessa et Chéria, malgré leur configuration différente, se classent dans C4 S1 en janvier 2009, avec tendance de dépassement du seuil maximum de la conductivité électrique admis par cette classification qui est de 5000 micro-S/cm.

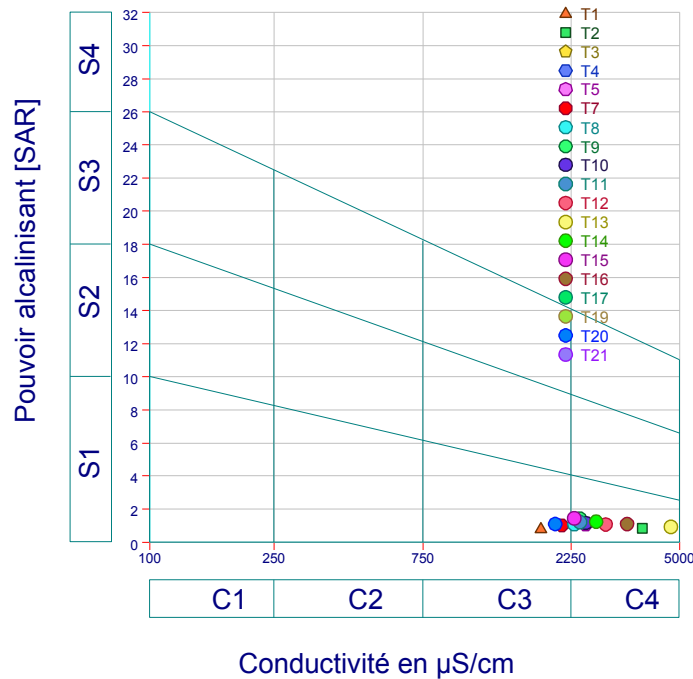


Figure 59 : Diagramme de Wilcox, plaine de Tébessa (jan 2009).

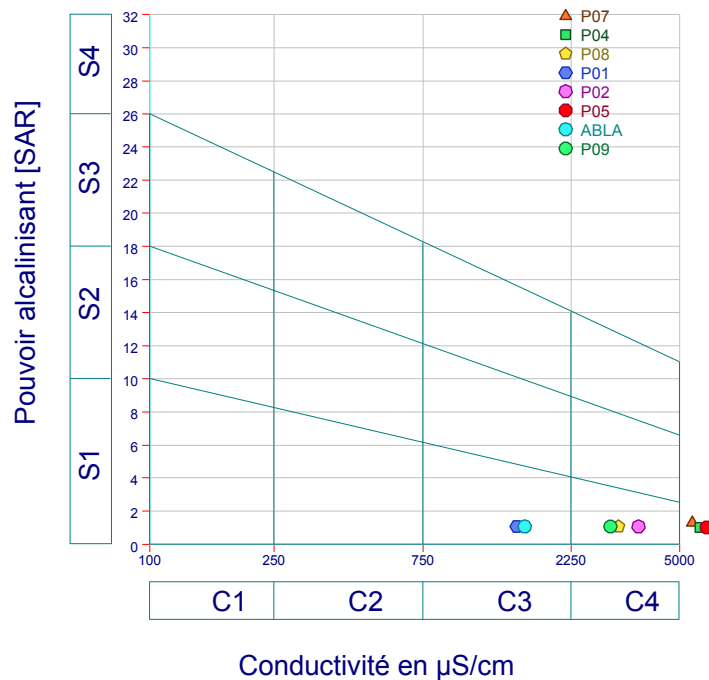


Figure 60 : Diagramme de Wilcox, Plateau de Chéria (jan 2009).

4.1.3.2. Secteur d' El Ma El Abiod

A El Ma El Abiod la gravité de la situation sur le plan salinité et à un degré moindre, par rapport à celle de Tébessa et Chéria, les eaux de ce secteur se classent entre C3S1 et C4S1, cette différence est fortement liée à la différence qui existe entre les systèmes aquifères considérés, comme nous l'avons vu au chapitre hydrogéologie que la perméabilité du système aquifère d'El Ma El Abiod est dix fois plus importante que celle de Tébessa, ce qui fait que le premier à le pouvoir d'exercer un lessivage des substances minérale par entraînement sous l'effet de la vitesse d'écoulement .

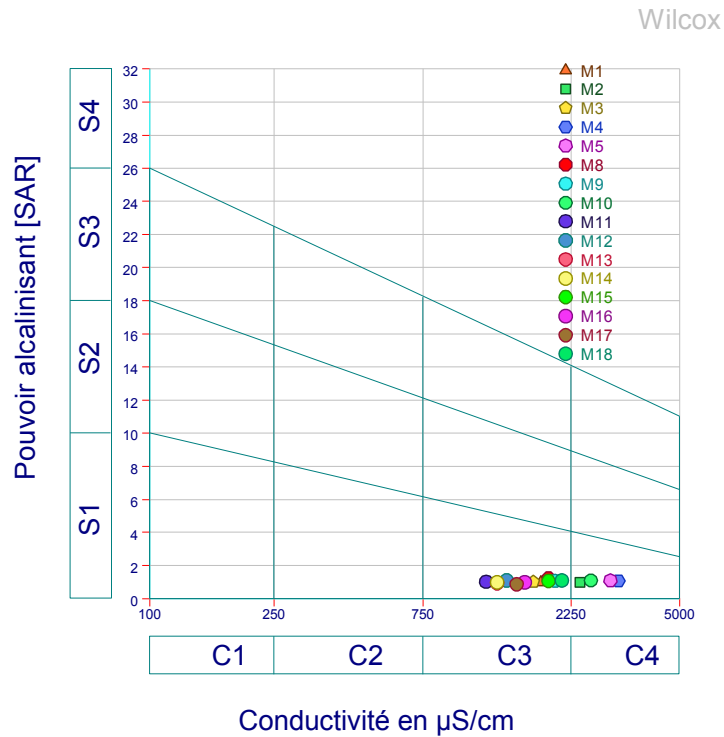


Figure 61: Diagramme de Wilcox, El Ma El Abiod (jan 2009).

4.2. Cartes Hydro chimiques :

4.2.1. Distribution des Nitrates :

Toutes les eaux naturelles contiennent normalement des nitrates à des doses variant selon les saisons, les ions de nitrates se forment naturellement dans le cycle de l'azote. Les concentrations de nitrates d'origine naturelle dans les eaux de surface et souterraine sont généralement de quelques milligrammes par litre. L'accroissement de la concentration de cet ion dans les eaux surtout à destination domestique est devenu actuellement un véritable problème d'un point de vue sanitaire, l'organisation mondiale de la santé (OMS) prévoit qu'une eau potable ne doit pas contenir une concentration en nitrates supérieure à 50 mg/l. Les nitrates ont plusieurs origines, par l'entraînement provenant des engrais minéraux ou organique non utilisé par les plantes, ou d'origine ponctuelle par les rejets d'eau usée domestique, agricole ou industrielle.

L'examen des cartes qui représentent la distribution des nitrates dans le temps et dans l'espace à travers la région étudié, nous a permis d'en dégager les remarques suivantes :

- Dans le temps : de 2002 à 2009 la concentration des nitrates a diminuée à la plaine de Tébessa et a augmentée à El Ma El Abiod, ceci traduit l'origine anthropique en cet élément, à Tébessa l'antécédent pluviométrique en 2000-2001 était de 194 mm, suivi par 04 bonnes années successives 382, 515, 584, 420mm (source ANRH) ce qui a provoqué une diminution dans le temps par dilution, à El Ma El Abiod l'extension de la mise en valeur en irrigué des terres agricoles par rapport à Tébessa, a connue son maximum durant cette période ce qui a provoqué l'augmentation des nitrates ; par l'usage du fumier dans la production des cultures maraîchères.
- Dans l'espace : nous remarquons que les concentrations des nitrates augmentent de l'amont vers l'aval, suivant le sens d'écoulement de la nappe dans les trois zones, traduisant un enrichissement progressif, l'eau durant son trajet se charge par des sources supplémentaires en nitrates, nous remarquons aussi qu'à l'aval des centres urbains de Tébessa, d'El Ma El Abiod et Chéria les concentrations en nitrates sont nettement élevées et dépassent les normes, rendu essentiellement aux rejets d'eaux usées.

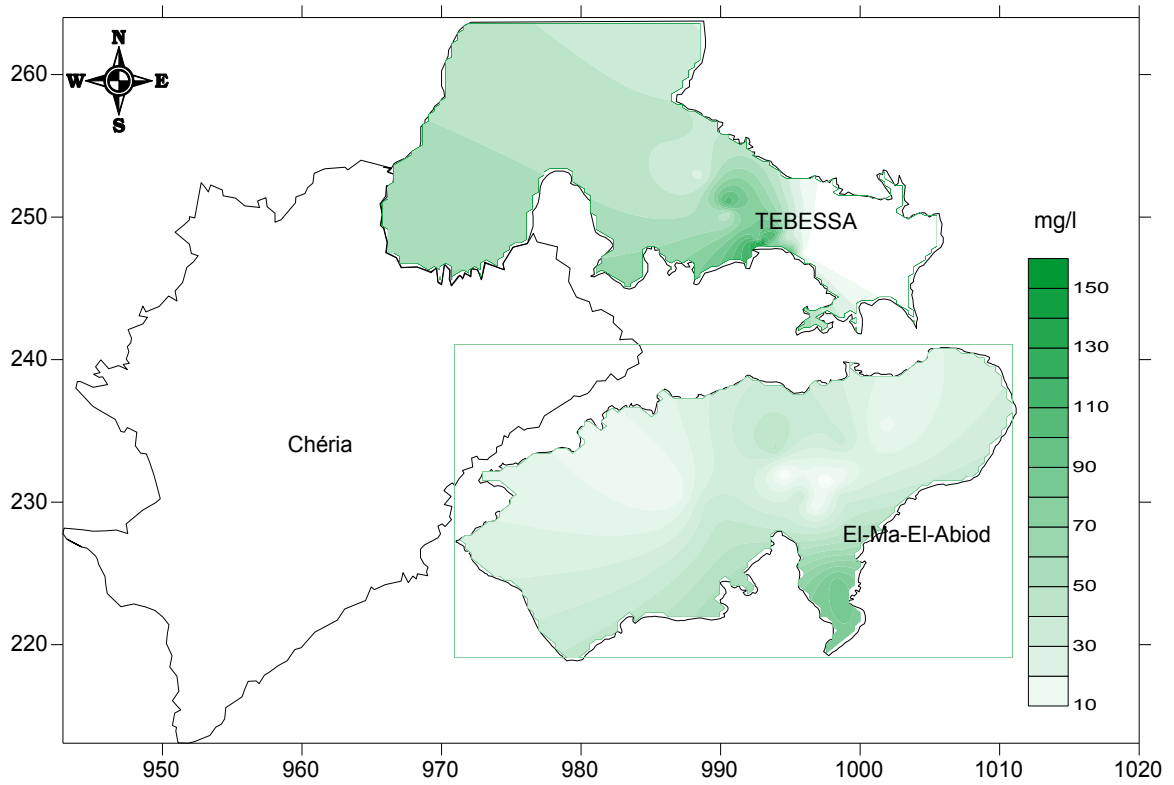


Figure 62 : Distribution des nitrates (mg/l) Tébessa nov 2001 El Ma El Abiod juin 2002

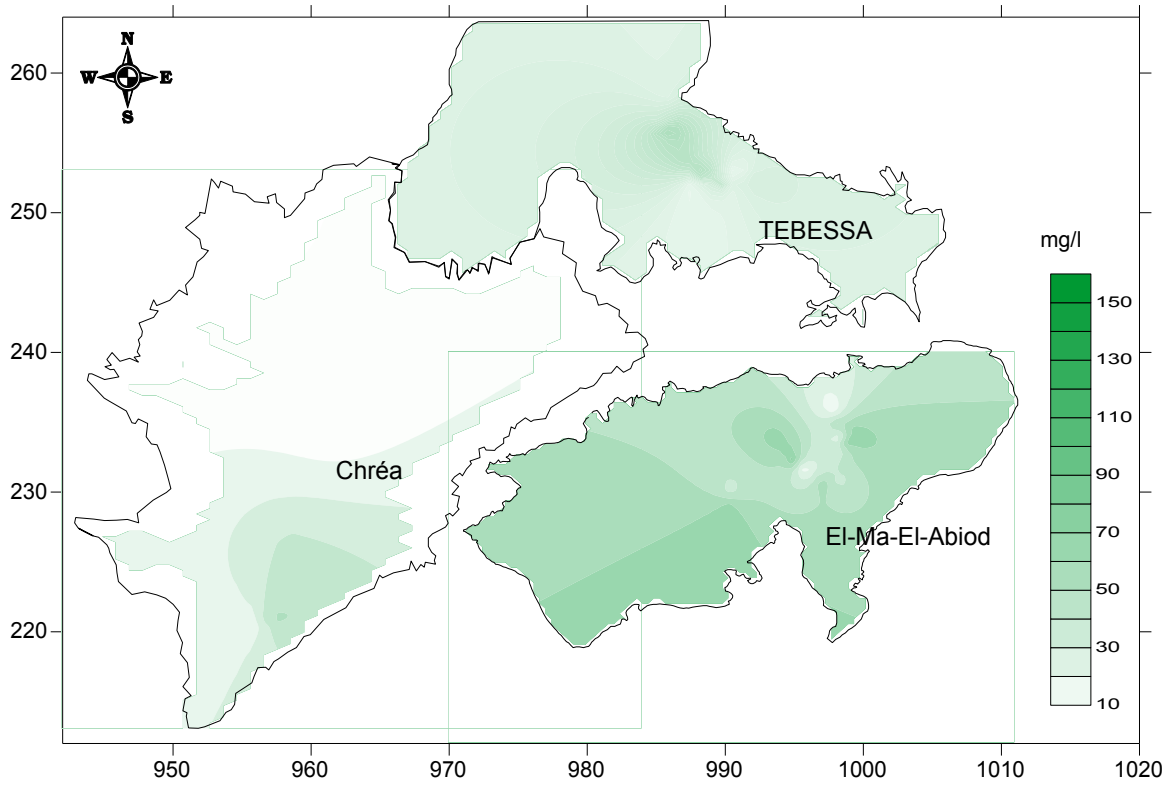


Figure 63 : Distribution des nitrates (mg/l) Jan 2009.

4.2.2. Distribution des sulfates

Les sulfates contenus naturellement dans l'eau souterraine sont fournis par la dissolution des minéraux contenant du soufre (Ex. le gypse), comme elles peuvent être d'origine anthropique par l'usage d'engrais ou de produits phytosanitaires, dans l'agriculture. La concentration maximale admissible en cet ion est de 250 mg/l selon les normes OMS.

Au vue des résultats d'analyses hydrochimique, les concentrations en sulfates dépassent les normes OMS d'une manière générale à travers toute la zone, à partir des cartes qui illustrent leur distribution nous remarquons :

- Dans le temps : comme les nitrates, à Tébessa les sulfates ont diminué entre 2002 et 2009 ceci est du aussi à l'effet de recharge, suite à une pluviométrie importante qui a précédé la campagne de 2009 provoquant ainsi une dilution. Tandis qu'à Chéria les sulfates ont augmenté traduisant l'apparition d'une origine autre que naturelle.
- Dans l'espace : A Tébessa nous remarquons que les fortes concentrations occupent toujours la partie amont de la plaine ; ce qui laisse penser à une origine géologique à partir des formations gypsifères se trouvant aux alentours de Bekkaria, notamment à Dj. Djebissa. Il est à remarquer aussi l'apparition de concentrations ponctuelles en 2009 à l'aval de la ville de Tébessa, au centre de la plaine d'El Ma El Abiod (non urbanisé) et à l'exutoire du plateau de Chéria ceci est dû essentiellement aux rejets urbains de la ville de Tébessa, à l'agriculture à El Ma El Abiod et les deux à la fois à Chéria.

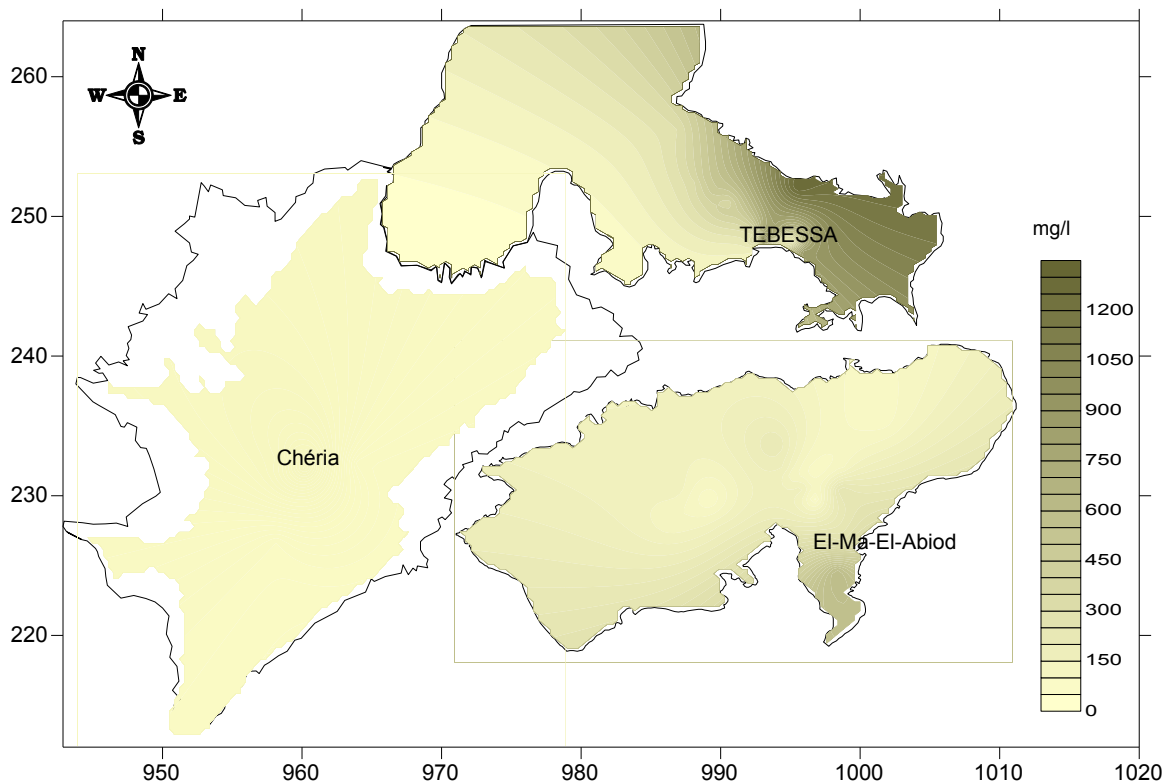


Figure 64 : Distribution des sulfates (mg/l) Tébessa nov 2001 El Ma El Abiod juin 2002 Chéria sep 2002.

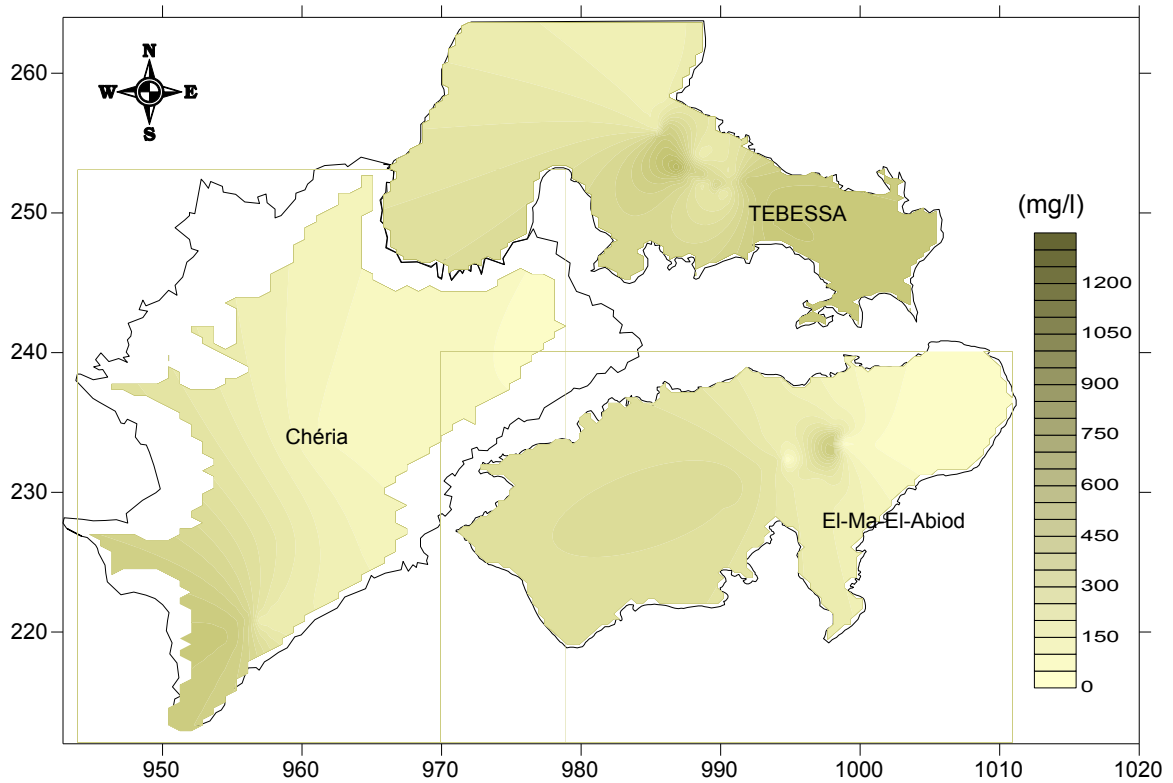


Figure 65 : Distribution des sulfates (mg/l) Jan 2009.

4.2.3. Distribution de la conductivité électrique à 25°C et du résidu sec:

La conductivité traduit la minéralisation totale de l'eau, sa valeur varie en fonction de la température, sa mesure permet de déceler la variation de la composition chimique de l'eau exprimée par le résidu sec, les cartes de la distribution de la CE ($\mu.s/cm$) et du résidu sec (g/l) à travers la région d'étude font ressortir d'une manière générale ; que la minéralisation a augmenté entre 2002 et 2009 , allant d'une salinité qui varie entre 0.5 et 1.5 g/l à une salinité très forte entre 1.5 et 4 g/l, toute les deux classées comme eaux à fortes salinité ; selon la classification américaine USDA 1954. Dans l'espace nous remarquons que la plaine d'El Ma El Abiod est moins exposée au risque de l'accumulation des sels dissous, ceci peut être rendu à la formation géologique sableuse qui caractérise la nappe miocène induisant une bonne perméabilité et donc un temps de séjour réduit.

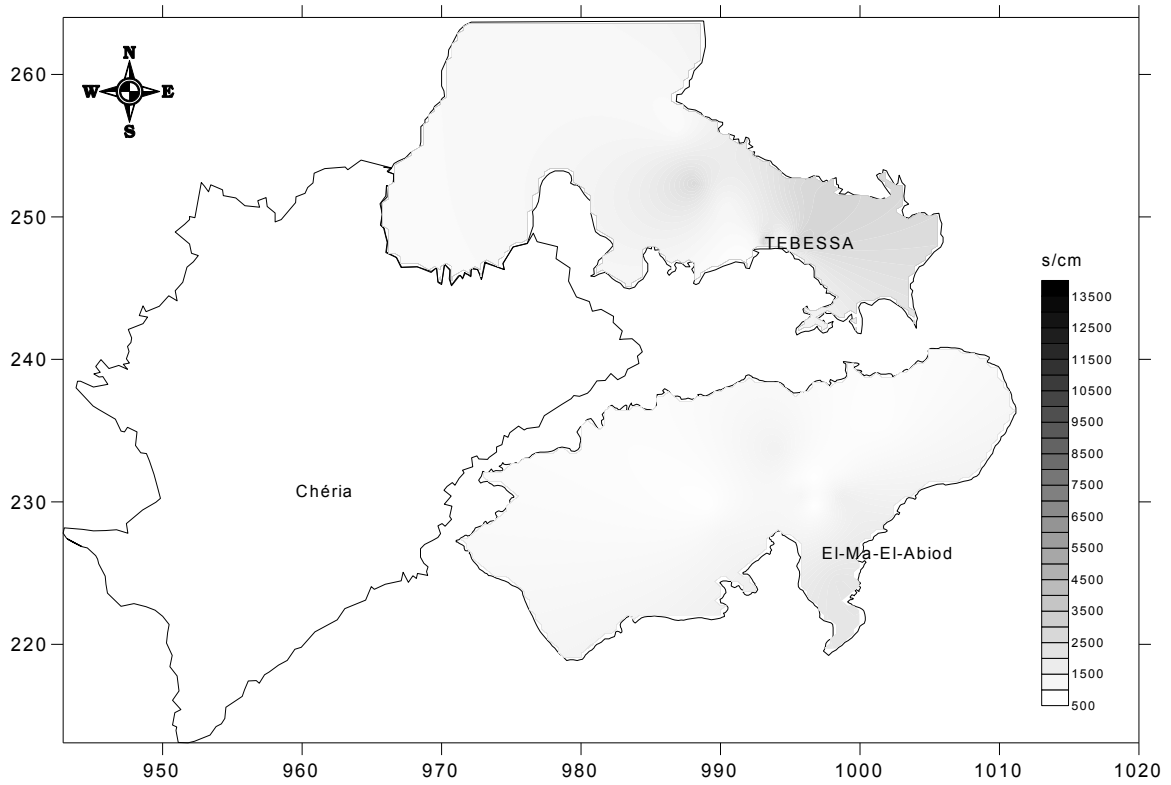


Figure 66 : Distribution de la conductivité électrique (μ .s/cm) Tébessa Nov 2001, El Ma El Abiod Juib2002.

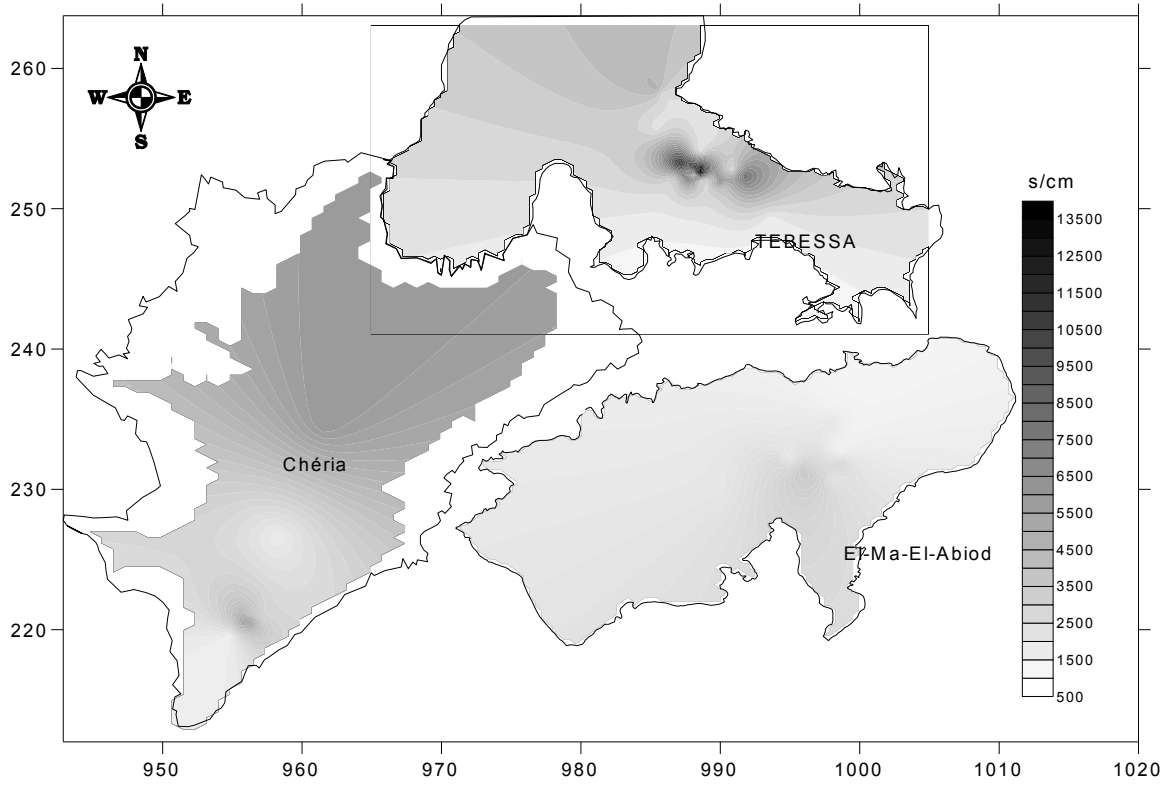


Figure 67 : Distribution de la conductivité électrique (μ .s/cm) Jan 2009

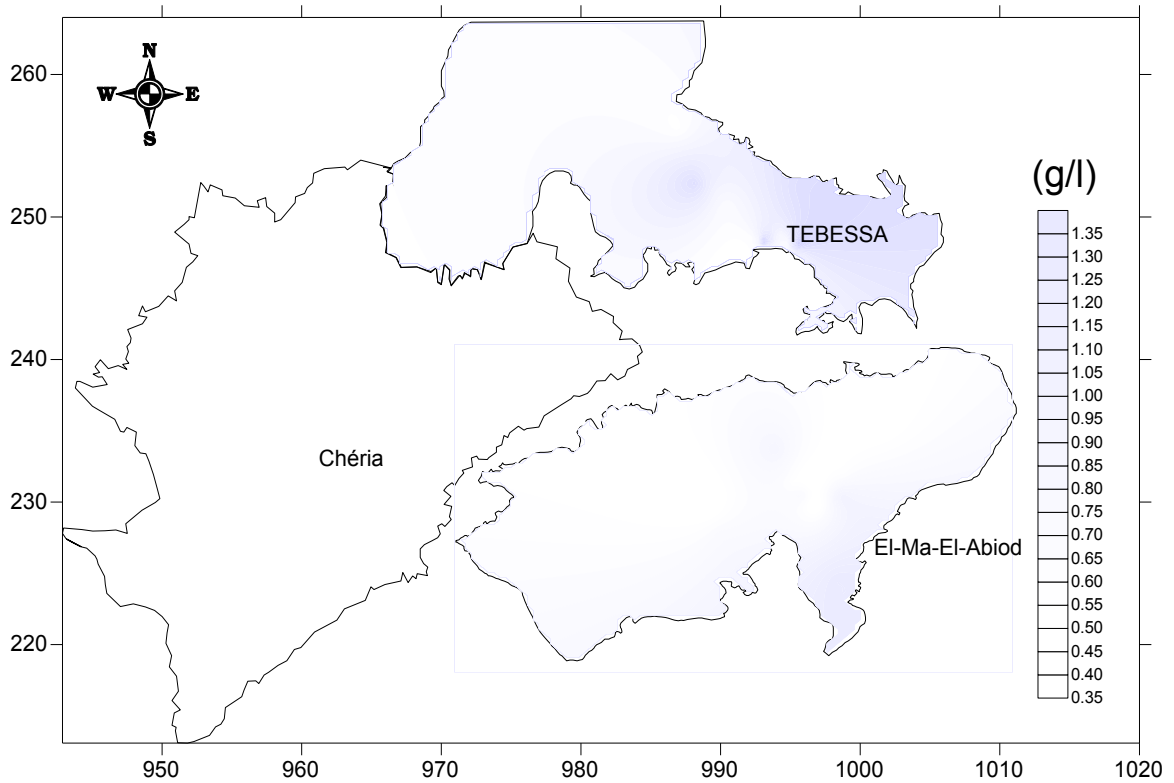


Figure 68 : Distribution Du résidu sec (g/l) Tébessa Nov 2001, El Ma El Abiod Juib2002.

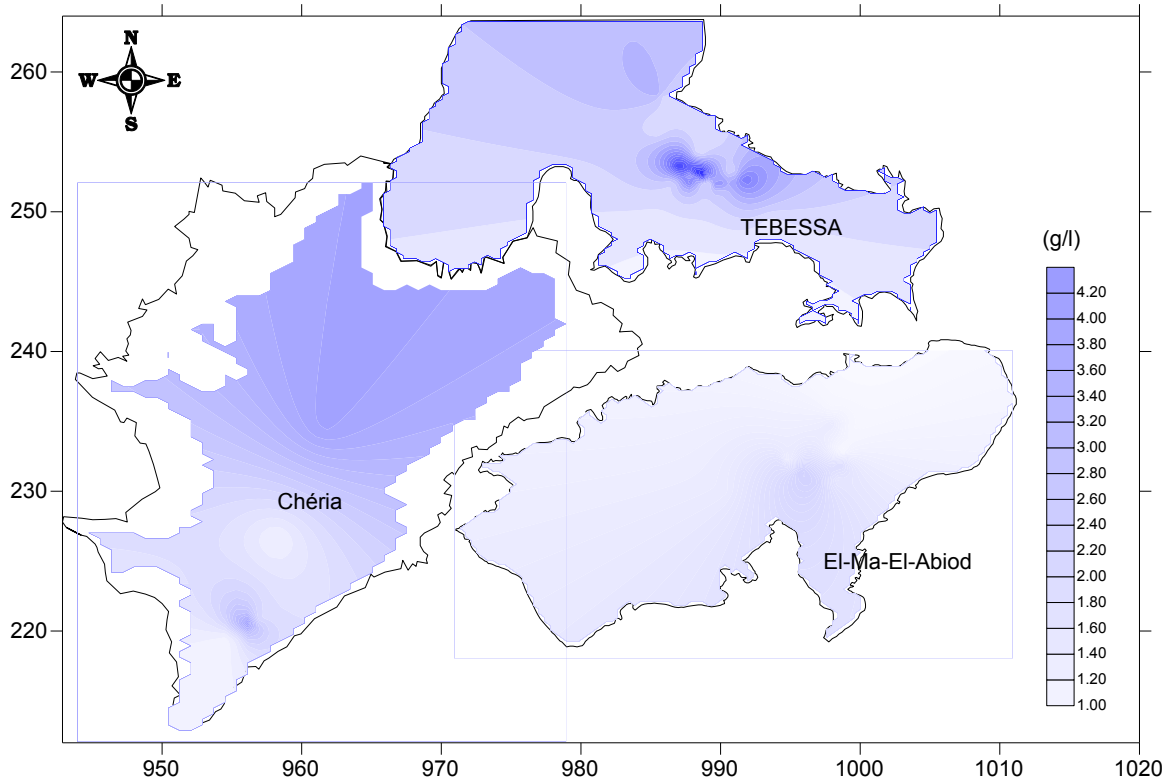


Figure 69 : Distribution Du résidu sec (g/l) Jan 2009

4.2.4. Aptitude des eaux à l'irrigation :

Beaucoup de critères sont à prendre en considération si on veut caractériser l'aptitude d'une eau à être utilisée pour irriguer les cultures ; à savoir les caractéristiques physico-chimiques de cette eau qui sont :

- 1- Salinité: contenu total en sel soluble.
- 2- Sodium: proportion relative des cations sodium (Na^+) par rapport aux autres.
- 3- Alcalinité et Dureté: concentration d'anions Carbonate (CO_3) et bicarbonate.
- 4- pH de l'eau.
- 5- Autres éléments.

Les deux premiers critères sont d'importance majeure, car un excès de sel augmente la pression osmotique de l'eau du sol et provoque des conditions, qui empêchent les racines d'absorber l'eau. Ces conditions provoquent une sécheresse physiologique. Même si le sol semble avoir beaucoup d'humidité, les plants flétrissent parce que les racines n'absorbent pas suffisamment d'eau pour remplacer celle perdue par évapotranspiration.

4.2.4.1. La Salinité :

Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium (Ca^{2+}), de magnésium (Mg^{2+}), de sodium (Na^+), de potassium (K^+), les chlorures (Cl^-), les sulfates (SO_4^{2-}) et les bicarbonates (HCO_3^-). Une valeur élevée de la salinité signifie une grande quantité d'ions en solution, ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par la plante. Une salinité trop élevée peut causer des brûlures racinaires.

La salinité peut se mesurer de deux façons, soit par le total des sels dissous (TDS) exprimées en mg/L, ou plus couramment, par la conductivité électrique. La conductivité électrique est exprimée en millisiemens/centimètre (mS/cm). L'ancien nom de cette unité est le mmho. Un mmho/cm est l'équivalent de 1 mS/cm qui est l'équivalent de 1 desiemens par mètre (dS/m) et en moyenne, à 640 ppm de sel.

4.2.4.2. Le Sodium :

Le sodium est l'un des éléments les plus indésirables dans l'eau d'irrigation. Cet élément origine de l'altération de la roche et du sol, des intrusions d'eau de mer, et des eaux d'irrigation.

Le Sodium contribue directement à la salinité totale de l'eau et peut être toxique pour des cultures sensibles, mais le problème principal avec un excès de sodium est son effet sur la perméabilité du sol et donc sur l'infiltration de l'eau. Le sodium remplace le calcium et le magnésium adsorbés sur le complexe argilo-humique et provoque la dispersion des particules du sol. Il y a donc éclatement des agrégats du sol, ce qui induit un sol dur et compact lorsqu'il est sec et le rend imperméable à l'eau par la formation d'une croûte de battance (exemple ; cas extrême des sebkhas), le risque du Sodium est exprimé par le ratio SAR décrit plus haut.

4.2.4.3. Classifications des eaux destinées à l'irrigation :

Plusieurs classifications existent pour les eaux destinées à l'irrigation, qui sont basées essentiellement sur la salinité exprimée par le TDS (ex : classification Russe), la conductivité électrique (CE), et le Sodium échangeable exprimé par le ratio (SAR). La classification la plus utilisée est celle du laboratoire américain de salinité (USDA) développée par Richards en 1954, basée sur la combinaison du SAR avec la conductivité électrique sous forme d'un diagramme de classes.

4.2.4.3.1. Diagramme de Richards

Le diagramme de Richards propose quatre classes du SAR en fonction quatre classes de salinité exprimée par la conductivité électrique

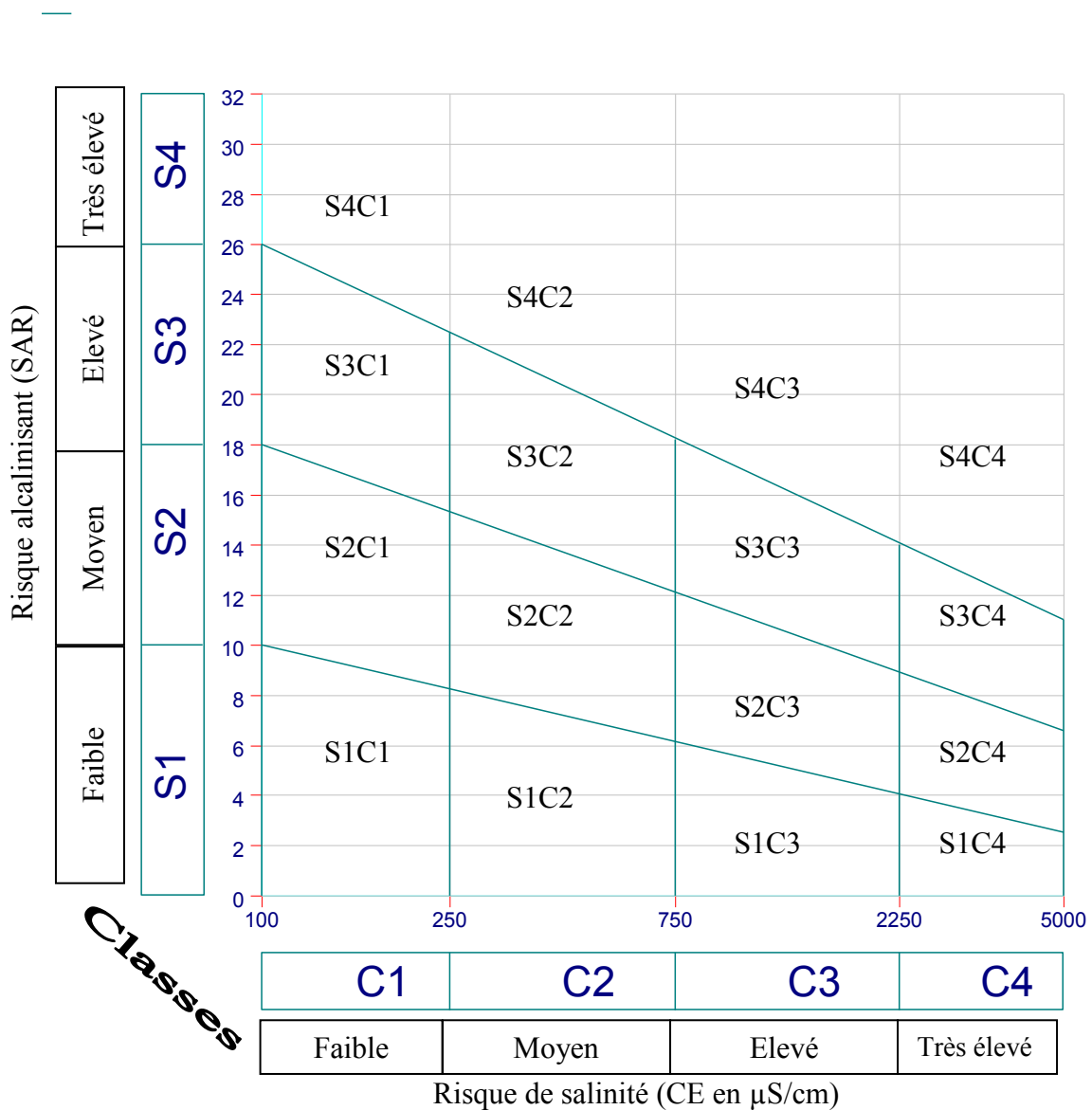


Figure 70 : classifications des eaux destinées à l'irrigation (diagramme de Richards 1954)

Le diagramme de Richards propose seize classes les plus caractéristiques sont quatre qui sont:

- 1- Classe S1C1 : eau à salinité faible (C1) convenable pour l'irrigation de toutes les cultures avec faible risque (S1) d'accumulation des sels sauf pour les sols à faible perméabilité.
- 2- Classe S2C2 : eau de salinité moyenne (C2), convenable pour l'irrigation avec précaution (S2) d'une dose de lessivage des cultures semi résistantes.
- 3- Classe S3C3 : eau à salinité élevée (C3) ne convient pas aux sols à faible capacité de drainage (S3), les cultures doivent être résistantes.
- 4- Classe S4C4 : Eau à salinité très élevée (C4), ne convient pas à l'irrigation sous conditions ordinaires, pour quelles soit utilisée un drainage adéquat doit être mis en place pour des cultures résistantes.

Pour bien matérialiser cette classification à l'échelle de notre région d'étude, nous avons cartographié le paramètre SAR et la salinité exprimée par la conductivité électrique (CE $\mu\text{S}/\text{cm}$), tout en respectant les plages de valeurs qui limitent les classes, les résultats obtenus sont les suivants :

4.2.4.3.1.1. Distribution du SAR :

L'établissement des cartes représentant la distribution du risque d'alcalinisation exprimée par le ratio SAR selon la classification de Richards 1954, permet de d'illustrer l'évolution du pouvoir alcalinisant de l'eau destinée à l'irrigation, l'examen de ces cartes nous révèle les remarques suivants :

- Dans le temps : de 2002 à 2009 d'une manière générale la qualité de l'eau d'irrigation se dégrade ; par l'augmentation du SAR marquée par une tendance du faible (S1) vers le moyen (S2), tout en restant dans la classe à risque faible (classe S1), tandis que sur une bonne partie de la plaine de Tébessa (Nord-Est) le SAR a diminué, ceci peut être expliqué par la probabilité d'un lessivage suite à une alimentation qui a touchée cette zone.
- Dans l'espace, nous remarquons une homogénéité sur la distribution du risque d'alcalinisation à l'échelle des trois plaines, tandis qu'à l'échelle de chacune, en 2002 pour la plaine de Tébessa le SAR diminue d'amont vers l'aval et du Nord-Est vers le Sud-Ouest, pour la plaine d'El Ma El Abiod le SAR augmente amont-aval, tandis que pour Chéria la distribution est homogène

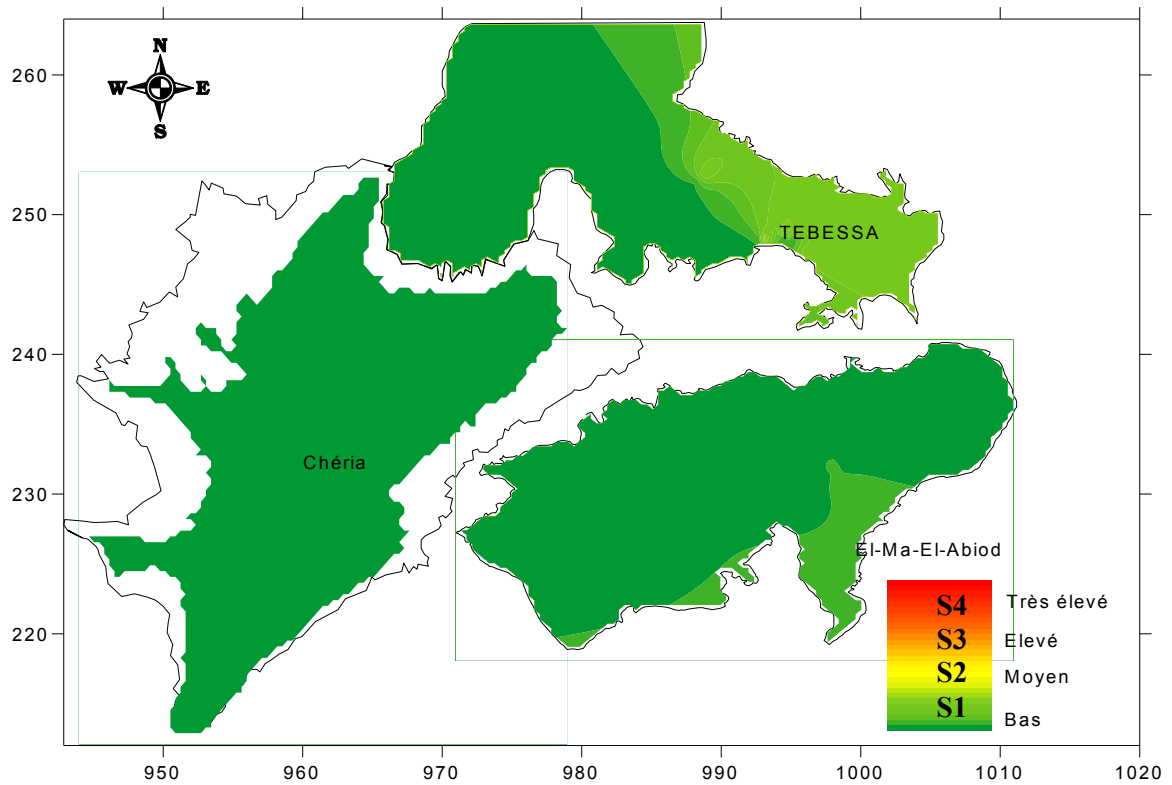


Figure 71 : Distribution Du risque d'alcalinisation selon classification de richards 1954 (SAR), Tébessa nov 2001 El Ma El Abiod juin2002 Chéria sep 2002.

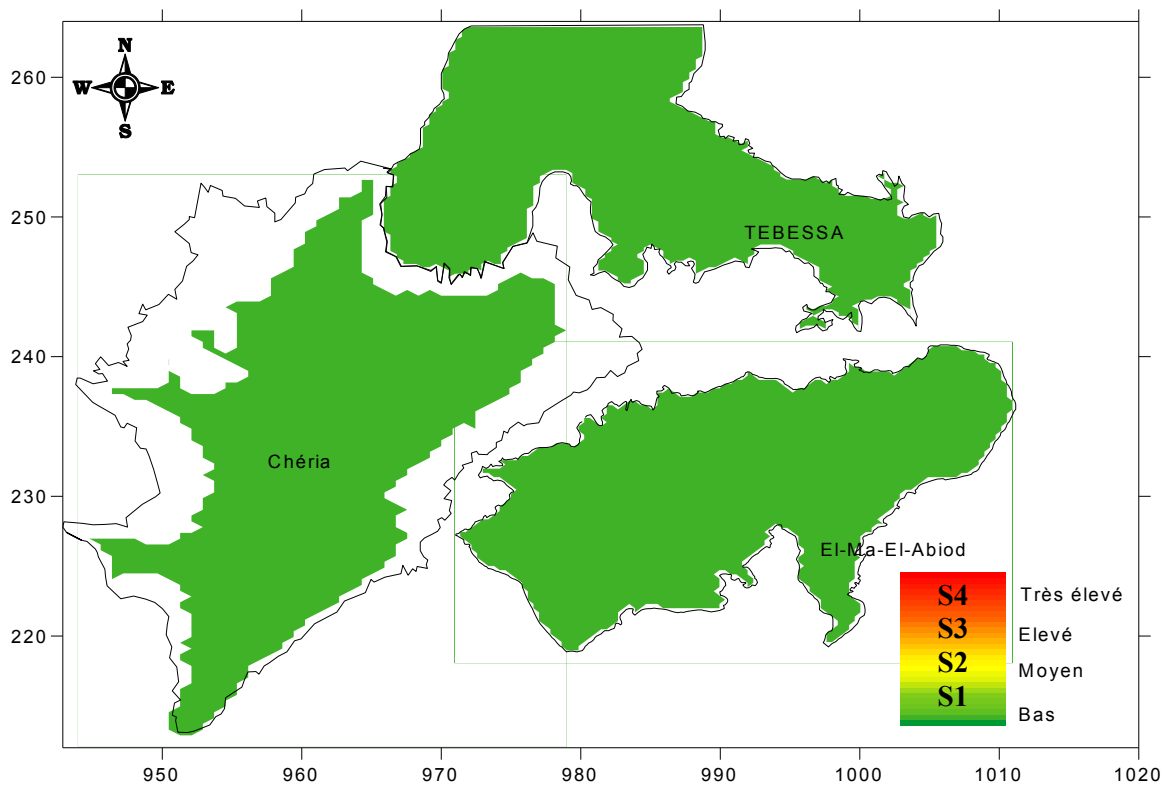


Figure 72 : Distribution Du risque d'alcalinisation selon classification de richards (SAR), Janvier 2009

4.2.4.3.1.2. Distribution de la salinité :

L'établissement des cartes représentant la distribution du risque de salinité, exprimée par la conductivité électrique selon la classification de Richards 1954 ; permet d'illustrer l'évolution de la qualité d'eau destinée à l'irrigation, l'examen de ces cartes nous révèle les remarques suivants :

- Dans le temps : de 2002 à 2009 d'une manière générale la qualité de l'eau d'irrigation se dégrade par l'augmentation du risque de salinité, marquée par une tendance de la classe à risque élevé (C3) vers la classe à risque très élevé (C4), pour presque la totalité de la plaine de Tébessa et à l'exutoire de la plaine d'El Ma El Abiod (Sud), sur cette dernière ; nous remarquons aussi deux zones (Nord-Est et Nord-Ouest) où le risque de salinité a évolué de la classe (C2 « moyen ») à la classe (C3 « élevé »)
- Dans l'espace nous remarquons deux états différents, le premier (2001-2002) où la dégradation de l'eau du point de vue salinité à la plaine de Tébessa ; est plus marquée (nov 2001) par rapport à El Ma El Abiod (juin 2002) et ce malgré le décalage de période qu'existe (hivernale-estivale), la salinité à Tébessa décroît de l'amont (Sud-Est) à risque très élevé (C4) vers l'aval (Nord-Ouest) à risque élevé (C3), contrairement à El Ma El Abiod la salinité augmente suivant l'axe amont aval, pour les deux périodes, le second état en 2009, à Tébessa toute la limite Sud de la plaine a gardé la même classe (C3) et le reste a évolué de la classe (C3) vers (C4), le plateau de Chéria se classe dans la classe à risque très élevé (C4), avec des endroits au Sud du plateau à risque élevé (C3)

A partir de ce constat nous pouvons conclure que ; la salinité à la plaine de Tébessa est fortement liée à la géologie où les formations triaciques se trouvant à Bekkaria (partie amont de la plaine) sont à l'origine, tandis qu'à El Ma El Abiod l'origine anthropique emporte sur l'origine géologique induite par la contamination des eaux souterraines par le retour de des eaux d'irrigation, à Chéria le manque des mesures de la conductivité électrique qui permettent de classer la salinité des eaux, a empêché d'accuser la géologie ou l'activité humaine, mais d'après les résultats obtenus par Baali F. en septembre 2002, les eaux à travers le plateau de Chéria se classent en C3 à risque « élevé », et donc comparativement à l'état de 2009 elles sont déclassées vers la classe C4 à risque très élevée, d'où l'origine anthropique est fortement envisageable.

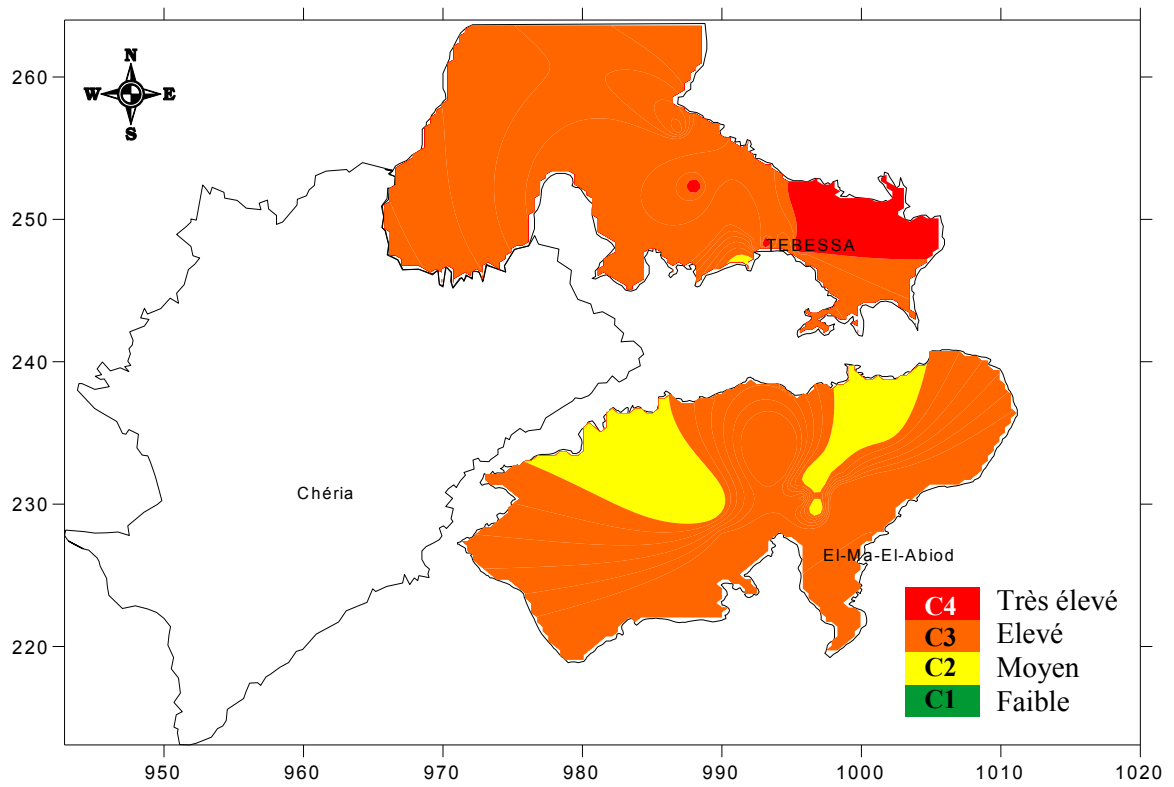


Figure 73 : Salinité des eaux selon la classification de richards 1954, Tébessa Nov 2001, El Ma El Abiod Juin2002.

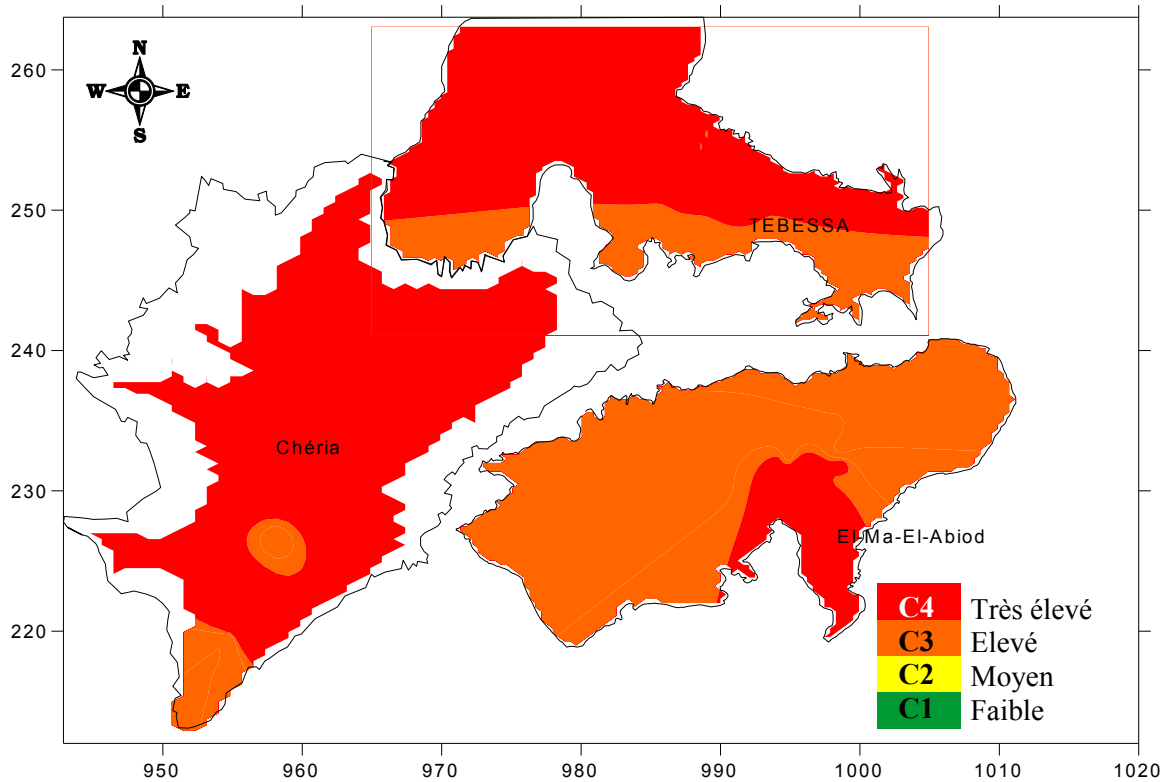


Figure 74 : Salinité des eaux selon la classification de richards en janvier 2009.

5. Conclusion

A travers les résultats obtenus matérialisés sous formes de diagrammes et sous formes de cartes hydrochimiques, nous sommes parvenus à mettre en évidence ce qui suit :

- Que l'eau souterraine à travers les trois plaines objet de notre étude, perd sa qualité progressivement, résultat confirmé par le changement des faciès hydrochimiques, démontrés par les diagrammes avec des zones où l'eau présente des concentrations anormales, la rendant impropre à la consommation.

- Que la qualité de l'eau à la plaine de Tébessa est affectée à la fois par les formations géologiques ; se trouvant à l'amont en bordures de Bekkaria (formations triaciques) et l'activité humaines matérialisée par des concentrations ponctuelles anormales ; à l'aval de la ville de Tébessa où l'origine urbain à partir des rejets d'eau usée n'est pas écarté.

- A El Ma El Abiod et à Chéria l'irrigation est plus intense par la multiplicité des points d'eau à usage agricole, l'eau d'irrigation se minéralise progressivement et la salinité est devenu un véritable défi, dont il faut qu'il soit pris en considération d'une manière sérieuse, ce qui confirme l'hypothèse de départ, d'existence d'éventuels impacts des retours d'eau d'irrigation à la nappe souterraine.

Conclusion générale

L'objectif principal de la présente étude est de déceler l'existence d'éventuelle pollution, entraînée par le retour des eaux d'irrigation à la nappe des eaux souterraines, à travers trois systèmes aquifères différents, appartenants à une région steppique soumise à un climat semi aride. Six chapitres sont traités dans ce modeste travail pour répondre à cette finalité :

Le premier chapitre a été consacré à la présentation de la région d'étude, située à la wilaya de Tébessa dans le Nord-extrême Est Algérien, dans des contextes géographique, topographique, économique et hydrographique.

Dans le deuxième chapitre nous avons fait un aperçu sur la mosaïque géologique de la zone, dont notre région étudiée fait partie, caractérisée par une variété de faciès, provoquée par une activité tectonique, qui a donnée naissance à un plateau celui de Chéria et deux plaines d'effondrement, celles de Tébessa et d'El-Ma-El-Abiod, le plateau de Chéria est composé d'une superposition de formations, allant du campanien à l'éocène, à recouvrement mio-pliocène et quaternaire, la plaine de Tébessa est formé essentiellement par un manteau alluvial d'âge quaternaire, celle d'El-Ma-El-Abiod de bas en haut en trouve l'albien, turonien campanien, et miocène, à recouvrement quaternaire sur la plus part de l'étendue de la plaine, le miocène affleure sur une bonne partie à l'Est.

Le troisième chapitre a été consacré à l'étude hydroclimatique, qui a révélée que les précipitations sont très variables, les températures sont caractéristiques et présentent une augmentation progressive dans le temps ; traduisant le réchauffement climatique, la région fait partie de l'étage bioclimatique semi aride, les périodes sèches sont plus longues et emportent beaucoup sur les périodes humides, l'évapotranspiration est importante à l'échelle de la région, marquée par un bilan hydrologique déficitaire.

Dans le quatrième chapitre nous avons essayé de ; rassembler les éléments de compréhension au fonctionnement général des différents systèmes aquifères, à travers un aperçu hydrogéologique, dans lequel nous avons illustré la nature et la géométrie des trois systèmes aquifères, celui de Tébessa est alluvial d'âge quaternaire, formé essentiellement par une alternance de marnes, sables et cailloutis calcaires, d'El-Ma-El-Abiod est d'âge miocène formée essentiellement par des sables, celui de Chéria est karstique d'âge éocène formé par des calcaire caverneux, l'étude de la piézométrie dans le temps et dans l'espace nous a montré que les trois systèmes sont distincts, les massifs montagneux constituent une ligne de partage des eaux entre les trois systèmes, le niveau piézométrique est instable conséquence des pompages continus.

A travers le cinquième chapitre intitulé retours d'eau d'irrigation, nous avons tenté de quantifier les volumes d'eau issus des surplus d'irrigation, qui sont susceptibles d'y retourner aux réservoirs d'eau souterraine, à l'issu il ressort qu'une bonne partie des volumes prélevés à usage agricole s'infiltrer, pour rejoindre la nappes avec des degrés variables, les plus importants sont à El-Ma-El-Abiod avec 5.5 Millions m³/an, suivi de Chéria avec 2.5 millions de m³/an et enfin de Tébessa avec 0.5 millions m³/an., en plus nous avons essayé d'approcher le calcul du bilan hydrogéologique, qui s'avère déficitaire à travers les trois terrains.

Et Finalement le sixième chapitre, à travers lequel on a démontré l'effet des retours d'eau sur la qualité des eaux souterraines ; qui est tributaire de plusieurs facteurs, mais nous avons pu mettre l'accent que l'irrigation malgréée, provoque des retours à la nappe et peu

occasionner ou contribuer d'une manière significative, à la détérioration de la qualité des eaux souterraines, surtout en matière de salinisation, ceci est confirmée par les résultats et leur interprétation de la campagne hydrochimique, qui a été effectuée en période hivernale de l'année 2009.

Liste des figures

Pages

| | |
|--|----|
| Figure 1.a- Présentation et situations des plaines objet du présent projet | 2 |
| Figure 2 : Répartition des altitudes sur le territoire étudié | 4 |
| Figure 3: Carte d'occupation des terres de la région d'étude Image satellite ETM +198/36, Année 2001 (source HCDS) | 5 |
| Figure 4 : Réseau hydrographique de la région d'étude | 7 |
| Figure 5: Coupes géologiques. | 12 |
| Figure 6: Coupe géologique schématique de la plaine de Tébessa (in Djabri L. 1987) | 13 |
| Figure 7: Coupe géologique sur le plateau de Cheria, (in Baali F. 2007) | 14 |
| Figure 8 : Modèle géo-électrique obtenu après inversion des résistivités | 15 |
| Figure 9: Esquisse géologique de la région d'étude. | 17 |
| Figure10: Carte des précipitations annuelles du Nord-Est de l'Algérie - ANRH | 21 |
| Figure 11: Variation annuelle des précipitations moyennes mensuelles | 22 |
| Figure12: Variation mensuelle des températures à la station de Tébessa (Source FAO)..... | 23 |
| Figure 13 : Variation interannuelle des températures à la station de Tébessa (1983-2008)..... | 24 |
| Figure14: Diagramme pluviothermique de la station de Tébessa | 26 |
| Figure15: Diagramme pluviothermique de station d'El Ma El Abiod. | 26 |
| Figure16: Diagramme pluviothermique de station de Chéria | 26 |
| Figure17: Diagramme pluvio-thermique moyen. | 27 |
| Figure18: Variation mensuelle de l'évapotranspiration potentielle à l'échelle des trois stations (Tébessa, El Ma El Abiod et Chéria) calculée par les trois méthodes (Thorntwaite, Turc) et FAO-Penman (Tébessa) | 34 |
| Figure 19: Variation mensuelle de l'évapotranspiration potentielle à l'échelle d'une station (de Tébessa) calculée par les trois méthodes (Thorntwaite, Turc et FAO-Penman)..... | 34 |
| Figure 20: Bilan hydrique avec ETP de TURC, à travers la région étudié. | 39 |
| Figure21 : Coupe hydrogéologique à travers la plaine de la Merdja. Rouabhia et al. 2009 ... | 41 |
| Figure 22 : Coupe hydrogéologique a travers la plaine d'El Ma El Abiod Rouabhia et al. 2009 | 42 |
| Figure 23: Coupe hydrogéologique à travers le plateau de Chéria (In Baali F. 2004). | 44 |
| Figure 24: Localisation des profils électriques à la plaine de Tébessa (in Djabri L. 1987) | 45 |
| Figure 25: Coupes géo_électriques à travers la plaine de Tébessa selon les profils (J,K,L et M) (in Djabri L. 1987)..... | 46 |
| Figure 26: Coupes géo_électriques à travers la plaine de Tébessa selon les profils (R,S,T et U) (in Djabri L. 1992)..... | 47 |
| Figure 27: Coupes géo_électriques à travers la plaine de Tébessa selon les profils (V,W et X) | 48 |
| Figure 28 : Carte de position des sondages électriques 2006 | 49 |
| Figure 29 : Coupe géoélectrique transversale I. passant par les forages M ₇ , M ₅ , M ₄ , et M ₁₅ . . | 50 |
| Figure 30 : Coupe géoélectrique transversale II. Passant par les forages M ₁₀ , M ₉ , et M ₆ | 51 |
| Figure 31 : Coupe géoélectrique transversale III. Passant par les forages M ₁ , P ₂₃ , et M ₆ | 52 |
| Figure 32 : Localisation des profils électriques au plateau de Chéria (In Baali F. 2007) | 53 |
| Figure 33: Coupes géo_électriques à travers le plateau de Chéria profil H. | 54 |
| Figure 34: Coupes géo_électriques à travers le plateau de Chéria profil N. | 54 |
| Figure 35: Coupes géo_électriques à travers le plateau de Chéria profil E et F..... | 55 |
| Figure 36: Coupes géo_électriques à travers le plateau de Chéria profil M. | 55 |
| Figure 37: Carte des conditions aux limites. | 58 |
| Figure 38: Carte d'isotransmissivités de la région étudié (Tébessa Tx10-3 m ² /s), El Ma El-Abiod (Tx10-2 m ² /s)..... | 60 |

| | |
|--|-----|
| Figure 39: Carte d'isoperméabilités dans la région d'étude El Ma El Abiod (x10-4 m/s), Tébessa (x10-5) | 60 |
| Figure 40: Principales caractéristiques d'une sonde de niveau d'eau | 61 |
| Figure 41: Evolution de la profondeur du plan d'eau dans les piézomètres à travers la région d'étude (source ANRH Tébessa) | 62 |
| Figure 42 : Comparaison du niveau piézométrique à travers la région d'étude Tébessa et El Ma El Abiod en janvier 2009 et Chéria en sept 2005 | 63 |
| Figure 43 : Inventaire des points d'eau à travers la région d'étude | 64 |
| Figure 44 : Carte piézométrique El Ma El Abiod et Chéria (oct 2002), Tébessa (nov 2001). .. | 66 |
| Figure 45 : Carte piézométrique El Ma El Abiod et Chéria (sept 2003). | 67 |
| Figure 46 : Carte piézométrique El Ma El Abiod et Tébessa (janv 2009). | 68 |
| Figure 47 : Schéma conceptuel des différentes composantes dans la dynamique d'un système aquifère | 77 |
| Figure 48 : Diagramme de Piper | 85 |
| Figure 49 : Diagramme de Schoeller-Berkalof | 86 |
| Figure 50 : Diagramme de wilcox | 86 |
| Figure 51 : Diag.de Piper plaine de Tébessa (Nov2001) | 88 |
| Figure 52 : Diag.de Piper plaine de Tébessa (janv 2009) | 88 |
| Figure 53 : Diagramme de Piper. El Ma EL Abiod (juin2002) | 89 |
| Figure 54 : Diagramme de Piper. El Ma EL Abiod (jan 2009) | 89 |
| Figure 55 : Diagramme de Piper. Chéria (sep 2002) | 90 |
| Figure 56 : Diagramme de Piper. Chéria (jan 2009) | 90 |
| Figure 57 : Shoeller-Berkalof, Tébessa (jan 2009) | 91 |
| Figure 58 : Shoeller-Berkalof A- El Ma El Abiod B- Chéria. | 92 |
| Figure 59 : Diagramme de Wilcox, plaine de Tébessa (jan 2009). | 93 |
| Figure 60 : Diagramme de Wilcox, Plateau de Chéria (jan 2009). | 93 |
| Figure 61: Diagramme de Wilcox, El Ma El Abiod (jan 2009). | 94 |
| Figure 62 : Distribution des nitrates (mg/l) Tébessa nov 2001 El Ma El Abiod juin2002 | 96 |
| Figure 63 : Distribution des nitrates (mg/l) Jan 2009. | 96 |
| Figure 64 : Distribution des sulfates (mg/l) Tébessa nov 2001 El Ma El Abiod juin2002 Chéria sep 2002. | 97 |
| Figure 65 : Distribution des sulfates (mg/l) Jan 2009. | 98 |
| Figure 66 : Distribution de la conductivité électrique (μ .s/cm) Tébessa Nov 2001, El Ma El Abiod Juin2002. | 99 |
| Figure 67 : Figure : Distribution de la conductivité électrique (μ .s/cm) Jan 2009 | 99 |
| Figure 68 : Distribution Du résidu sec (g/l) Tébessa Nov 2001, El Ma El Abiod Juin2002. .. | 100 |
| Figure 69 : Distribution Du résidu sec (g/l) Jan 2009 | 100 |
| Figure 70 : classifications des eaux destinées à l'irrigation (diagramme de Richards 1954) .. | 102 |
| Figure 71 : Distribution Du risque d'alcalinisation selon classification de richards 1954 (SAR), Tébessa nov 2001 El Ma El Abiod juin2002 Chéria sep 2002. | 104 |
| Figure 72 : Distribution Du risque d'alcalinisation selon classification de richards (SAR), Janvier 2009 | 104 |
| Figure 73 : Salinité des eaux selon la classification de richards 1954, Tébessa Nov 2001, El Ma El Abiod Juin2002 | 106 |
| Figure 74 : Salinité des eaux selon la classification de richards en janvier 2009 | 106 |

Liste des tableaux

Pages

| | |
|---|----|
| Tableau 1: Géologie et hydrogéologie de la wilaya de Tébessa (source DHW Tébessa). | 8 |
| Tableau 2 : Caractéristiques des stations pluviométriques. | 19 |
| Tableau 3 : Précipitations moyennes annuelles par station (1993–2008) | 20 |
| Tableau 4 : Précipitations moyennes annuelles par sous-bassin versant, (1993–2008) | 20 |
| Tableau 5: Distribution mensuelle des précipitations annuelles. | 21 |
| Tableau 6 : distribution des températures moyennes mensuelles à la station de Tébessa (1993–2008). | 23 |
| Tableau 7 : Estimation des températures moyennes mensuelles par le modèle de BNEIDER. | 25 |
| Tableau 8 : Résultats du calcul de l'indice d'aridité pour la zone d'étude. | 28 |
| Tableau 9 : Caractéristiques climatiques enregistrées à la station de Tébessa. Source (www.fao.org) | 31 |
| Tableau 10 : Résultats de calcul de l'ETP par les formules de Thontwaite, Turc et FAO-Penman à station de Tébessa. | 33 |
| Tableau 11 : Résultats de calcul de l'ETP par les formules de Thontwaite, Turc à station d'El Ma El Abiod. | 33 |
| Tableau 12 : Résultats de calcul de l'ETP par les formules de Thontwaite, Turc à station de Chéria. | 33 |
| Tableau 13 : Bilan hydrologique pour ETP de Thornthwaite à la station de Tébessa | 36 |
| Tableau 14 : Bilan hydrologique pour ETP de TURC à la station de Tébessa | 36 |
| Tableau 15 : Bilan hydrologique pour ETP de Thornthwaite à la station d'El Ma El Abiod. | 37 |
| Tableau 16 : Bilan hydrologique pour ETP de TURC à la station d'El Ma El Abiod. | 37 |
| Tableau 17 : Bilan hydrologique pour ETP de Thornthwaite à la station de Chéria. | 37 |
| Tableau 18 : Bilan hydrologique pour ETP de TURC à la station de Chéria. | 38 |
| Tableau 19 : Lithologie et résistivités des forages M ₄ et M ₅ à la plaine d'El Ma El Abiod. | 50 |
| Tableau 20: Lithologie et résistivités des forages M ₆ , M ₉ et M ₁₀ à la plaine d'El Ma El Abiod. | 51 |
| Tableau 21: Lithologie et résistivités des forages M ₁ , P ₂₃ et M ₆ à la plaine d'El Ma El Abiod. | 52 |
| Tableau 22: Différents usages de l'eau dans la zone d'étude. | 70 |
| Tableau 23 : Occupation de l'assole irriguée. (Source DSA de Tébessa 2009). | 71 |
| Tableau 24: Besoins en eau d'irrigation (mm) des cultures pratiquées. | 72 |
| Tableau 25: Prélèvements d'eau par pompages destinés à l'irrigation. | 73 |
| Tableau 26: Prélèvements (en m ³) par pompages destinés à l'irrigation en fonction des besoins des cultures pratiquées à la plaine d'El Ma El Abiod. | 74 |
| Tableau 27 : Prélèvements (en m ³) par pompages destinés à l'irrigation en fonction des besoins des cultures pratiquées au plateau de Chéria. | 75 |
| Tableau 28: Prélèvements (en m ³) par pompages destinés à l'irrigation en fonction des besoins des cultures pratiquées à la plaine de Tébessa. | 76 |
| Tableau 29: Bilan hydrique sous un hectare d'arboriculture fruitière, Olivier et Légumes. | 79 |
| Tableau 30: Bilan hydrique sous un hectare de Luzerne, P. De terre et céréales. | 80 |
| Tableau 31: estimations des excès d'eaux générés par les apports naturels (Pr) et artificiels (Ap). | 81 |
| Tableau 32 : Estimation du ruissellement par l'application d'un coefficient d'écoulement. | 81 |
| Tableau 33: Bilan hydrogéologique des trois systèmes aquifères (Tébessa, El Ma El Abiod et Chéria). | 82 |
| Tableau 34: Les éléments chimiques rencontrés et leurs sources naturelles. | 83 |

BIBLIOGRAPHIE

- ANDRE MUSY 2005**, Cours "Hydrologie générale" Laboratoire d'Hydrologie et Aménagements (HYDRAM), Prof. A l'Institut des Sciences et Technologies de l'Environnement (ISTE), Ecole Polytechnique Fédérale (EPFL), <http://hydram.epfl.ch>
- B. DIENZ, P. BAZIE, A. SCHMITT**: Transfert d'eau en milieu poreux non saturé. Recharge des nappes en climat soudano-sahélien
- BAALI F. Latreche Dj.** (1994) : Approche hydrogéologique de la région d'El Ma El Abiod. Mémoire d'Ing. IST Université de Annaba 168p.
- BAALI F,** (2000) : Eude hydrogéologique hydrochimique de la région karstique de Chéria N-E Algérien. Magister Univ Annaba Algérie 100p.
- BAALI F, Rouabhia A, Kherici N et Djabri L,** (2006): Natural chemical tracers of urban pollution: case of Born example of application on the area of Algerian Cheria. WRP, LLC ISBN-13: 978-1-887201647-6 Michigan, USA Pp 39-45.
- BAALI F, ROUABHIA A, KHERICI N ET DJABRI L,** (2006): Natural chemical tracers of urban pollution: case of Born example of application on the area of Algerian Cheria. WRP, LLC ISBN-13: 978-1-887201647-6 Michigan, USA Pp 39-45.
- BOUCHAGOURA et al.** Synthèse hydrogéologique du système alluvial Hammamet- Tébessa-Bekkaria, Mémoire d'Ing. Univ. Annaba, 1996, 84p.
- BRGM (2000)** : Gestion des sites (potentiellement) pollués. Version 2. Edition BRGM
- BRGM (2003)** : Carte de vulnérabilité intrinsèque des nappes du département de l'Eure-et-Loir échelle 1/100 000). 13p.
- BRGM, (1975-1979)** : Cartes de vulnérabilité à la contamination des eaux souterraines (FF: 1/250 000). BRGM, Orléans.
- CARTE** des précipitations annuelles du Nord-Est de l'Algérie - ANRH
- CARTE:** géologie et intérêt hydrogéologique de la wilaya de Tébessa. (Source DHW Tébessa doc interne).
- CASTANY G. (1963)** : Traité pratique des eaux souterraines. Dunod Edit. Paris, 641p.
- CASTANY G. et Margat (1977)** : Dictionnaire français d'Hydrogéologie. Bur. Rech. Géol. Minière, 249p.
- CASTANY. G, (1968)** : Prospection et exploitation des eaux souterraines. Édition Dunod, Paris 711p
- CGG (compagne generale de géophysique 1970):** Prospection géophysique sur le plateau de Chéria. Rapport interne R.A.D.P. Paris VII 26p.
- CHAFFAI & all, (2003)** : Facteurs influençant le chimisme des eaux dans une zone semi-aride : Cas des aquifères d'El Ma Labiod, Tébessa, Hammamet et Chéria. ICOWaP-Sep2003 colloque Oasis, Eau et population Biskra Algérie p339-344.
- CHAFFAI H, (1986)** : Evaluation des ressources en eaux de la plaine de Chéria (NE Algérie). Synthèse et analyse des données. Doctorat 3ème cycle, USTL, Montpellier II, 245p.
- DEBIECH. T H, (2002)** : Evolution de la qualité des eaux sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle N-E Algérien. Thèse de doctorat Univ de franche comté 199p.
- 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. Univ. De franche comté. 199p.
- DJABRI L. (1987)** : Contribution à l'étude hydrogéologique de la nappe alluviale de Tébessa «essai de modélisation» Thèse de Doc. Ing. Univers. Franche
- DUROZOY G. (1956)** : Carte géologique au 1/50 000 de Tébessa feuille 206, et ça notice explicative.

- F. MORTIER:** éléments pour l'établissement d'un bilan de la nappe phréatique de la plaine de TRIFFA (Maroc oriental), 10 p
- GHERIEB L.** Impact des formations triasiques sur les eaux d'une plaine en zone semi aride : Cas de la plaine Bekkaria-Tebessa (Extrême Est Algérien). Mémoire de mgister Univ. Annaba, 2007, 184p.
- GILLI E., MANGAN CH., MUDRY J. (2004)** : Hydrogéologie. Objets, méthodes, applications. Dunod, Paris, 303 p.
- GUEFAIFIA O. (1996)** : Contribution à l'étude hydrogéologique de la nappe. Aquifère d'El Ma El labiod. Thèse de Magistère Univers. Annaba, 143p.
- HSISSOU Y. (1999)** : Impact de l'environnement naturel et anthropique sur la qualité des eaux alluviales en zone semi-aride : cas de la plaine du souss. Thèse d'état Es-Sciences Université Ibnou Zohr Agadir 228p.
- HSISSOU Y., CHAUVE P., MANIA J., MANGIN A., BAKALOWICZ, GAIZ (1996)** : Caractérisation des eaux de l'aquifère turonien du bassin du Tadla par le rapport des concentrations molaires Sr^{2+}/Ca^{2+} . J. Hydrolo. 183 : 445-451.
- HSISSOU Y., MUDRY J., MANIA J., BOUCHAOU L., CHAUVE P. (1997)** : Dynamique et salinité de la nappe côtière d'Agadir (Maroc), influence du biseau salé et des faciès évaporitiques. Fifth Scien. Ass. of IAHS, Rabat, Maroc, IAHS publi. n°244, 73-82.
- HSISSOU Youssef et al. (1995)** : Caractérisation des eaux de l'aquifère turonien du bassin du Tadla (Maroc) par le rapport des concentrations molaires Sr^{2+}/Ca^{2+} . Journal of Hydrology 183. pp 445-451.
- J.P. LABORDE 2000** ELEMENTS D'HYDROLOGIE DE SURFACE, U.M.R. 5651 "Espace" du C.N.R.S. *Equipe "Gestion et Valorisation de l'Environnement" Université de Nice - Sophia Antipolis. 204 P*
- JEAN PAUL LUC, 2004:** Comparative study on river basins MERGUELLIL RIVER (TUNISIE), Water accounting, blue and green water, 78p.
- John Libbey 1991:** Utilisation rationnelle de l'eau des petits bassins versants en zone aride. Ed. AUPELF-UREF. Paris p131 p137
- KHERICI N. (1993)** : Vulnérabilité à la pollution chimique des eaux souterraines d'un système de nappes superposées en milieux industriel et agricole (Annaba – la Mafragh) NE de l'Algérie. Thèse de Doctorat Es-Sciences Université de Annaba 170p
- L. VISSE 1952,** Genèse des gîtes phosphatés du Sud-Est algéro-tunisien (58 p)
- LAFFITTE R (1956)** : Etude géologique et hydrogéologique de la région de Chéria. Rapport interne ANRH de Tébessa. 40 p.
- M. VILLA 1977, Vila JM (1980)** La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-tunisiens. Thèse Doc. Sc. Nat. Univ. P. et M. Curie, Paris VI, 450 p
- MERMOUD A., 2006** : notions fondamentales d'irrigation, prof. à l'Ecole Fédérale de Lauzane, 48p..
- R. LAFFITE 1949 , (In Baali 2004).**
- ROUABHIA A.:** Hydrogéologie et qualité des eaux du système aquifère de Tébessa (Algérie nord-orientale)
- ROUABHIA Abdelkader (2006)** Vulnérabilité et risque de pollution de la nappe des sables
- ROUABHIA Aek, BAALI F., KHERICI N., DJABRI L. (2004)** : Vulnérabilité et impacts des activités anthropiques sur les eaux souterraines de la région d'El MA EL Abiod. Revue vecteur environnement, Vol.37, N°3
- ROUABHIA Aek, BAALI F., KHERICI N., DJABRI L. (2004)** : Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines de la nappe des sables miocènes de la plaine d'El

MA EL Abiod (Algérie) revue Sécheresse n°4, Vol.15

ROUABHIA Aek, BAALI F., KHERICI N., DJABRI L. (2004) : Vulnérabilité et impacts des activités anthropiques sur les eaux souterraines de la région d'El MA EL Abiod. Revue vecteur environnement, Vol.37, N°3

ROUABHIA Aek. Vulnérabilité et risques de pollution des eaux souterraines de la nappe des sables Miocènes de la plaine d'El Ma El Abiod (N.E.Algérien). Th Doc. Es-sciences, Univ. Annaba. 2006.160p.

SCHOELLER H. (1962) : Les eaux souterraines. Masson, Paris, 642p.

TRAVI Y & MUDRY J, (1997) : Méthode pour l'évaluation et la gestion du risque nitrate dans les aquifères de socle de la zone sahéenne d'Afrique de l'Ouest. Hydrogéologie, n°1, pp. 13-21.

www.cnrs.fr

www.fao.org

ANNEXE

CALCULS DES PRELEVEMENTS D'EAU POUR DIFFERENTES CULTURES

Tébessa

| Culture | Paramètre | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A | Total |
|-----------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------------|
| Arbo | Pr + Ap (mm) | 234 | 32 | 26 | 19 | 24 | 16 | 30 | 20 | 228 | 224 | 414 | 219 | 1 484 |
| | Exc (mm) | 105 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 49 | 215 | 73 | 441 |
| | Sup (ha) | 63 | 63 | 63 | 63 | 63 | 63 | 63 | 63 | 63 | 63 | 63 | 63 | 63 |
| | Pr+AP (m3) | 147231 | 20034 | 16506 | 11844 | 15057 | 9954 | 18774 | 12348 | 143451 | 141183 | 260820 | 137844 | 935 046 |
| | ETR (mm) | 129 | 85 | 55 | 37 | 24 | 16 | 30 | 20 | 133 | 170 | 199 | 146 | 1 043 |
| | ETR (m3) | 81396 | 53235 | 34839 | 23121 | 15246 | 9954 | 18774 | 12348 | 83979 | 106974 | 125244 | 91917 | 657 027 |
| | exc (m3) | 65835 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30681 | 135576 | 45927 | 278 019 |
| Legumes | Pr + Ap (mm) | 34 | 32 | 26 | 19 | 24 | 16 | 30 | 105 | 240 | 356 | 257 | 21 | 1 159 |
| | Exc (mm) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 186 | 58 | 0 | 250 |
| | Sup (ha) | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| | Pr+AP (m3) | 10230 | 9540 | 7860 | 5640 | 7170 | 4740 | 8940 | 31500 | 71850 | 106740 | 77010 | 6390 | 347 610 |
| | ETR (mm) | 34 | 32 | 26 | 19 | 24 | 16 | 30 | 105 | 133 | 170 | 199 | 121 | 909 |
| | ETR (m3) | 10230 | 9540 | 7860 | 5640 | 7170 | 4740 | 8940 | 31500 | 39990 | 50940 | 59640 | 36390 | 272 580 |
| | exc (m3) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1860 | 55800 | 17370 | 0 | 75 030 |
| Céréales | Pr + Ap (mm) | 34 | 32 | 26 | 19 | 24 | 144 | 30 | 156 | 179 | 27 | 12 | 21 | 704 |
| | Exc (mm) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 46 | 0 | 0 | 0 | 46 |
| | Sup (ha) | 210 | 210 | 210 | 210 | 210 | 210 | 210 | 210 | 210 | 210 | 210 | 210 | 210 |
| | Pr+AP (m3) | 71610 | 66759 | 55104 | 39438 | 50190 | 302316 | 62496 | 328566 | 376866 | 55839 | 24360 | 44667 | 1 478 211 |
| | ETR (mm) | 34 | 32 | 26 | 19 | 24 | 49 | 76 | 106 | 133 | 127 | 12 | 21 | 658 |
| | ETR (m3) | 71610 | 66780 | 55020 | 39480 | 50190 | 102270 | 158970 | 222810 | 279930 | 265860 | 24360 | 44730 | 1 382 010 |
| | exc (m3) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 96210 | 0 | 0 | 0 | 96 210 |
| TOT IRRIG | Pr + Ap (m3) | 229071 | 96333 | 79470 | 56922 | 72417 | 317010 | 90210 | 372414 | 592167 | 303762 | 362190 | 188901 | 2 760 867 |
| | Exc (m3) | 65835 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 98070 | 86481 | 152946 | 45927 | 449 259 |
| | ETR (m3) | 163236 | 129555 | 97719 | 68241 | 72606 | 116964 | 186684 | 266658 | 403899 | 423774 | 209244 | 173037 | 2 311 617 |
| | Sup | 303 | 303 | 303 | 303 | 303 | 303 | 303 | 303 | 303 | 303 | 303 | 303 | 303 |
| NON IRRG | Pr (mm) | 40 | 29 | 28 | 23 | 32 | 18 | 38 | 25 | 36 | 27 | 14 | 23 | 332 |
| | Exc (mm) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - |
| | Sup (ha) | 74397 | 74397 | 74397 | 74397 | 74397 | 74397 | 74397 | 74397 | 74397 | 74397 | 74397 | 74397 | 74 397 |
| | Pr (m3) | 29684403 | 21575130 | 21054351 | 17036913 | 23732643 | 13093872 | 28122066 | 18227265 | 26782920 | 19789602 | 10266786 | 17334501 | 246 700 452 |

EI-Ma-eL-abiod

| Culture | Paramètre | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A | Total |
|----------|--------------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|-----------|
| Arbo | Pr + Ap (mm) | 234 | 32 | 26 | 19 | 24 | 16 | 30 | 20 | 228 | 224 | 414 | 219 | 1 484 |
| | Exc (mm) | 105 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 49 | 215 | 73 | 441 |
| | Sup (ha) | 105 | 105 | 105 | 105 | 105 | 105 | 105 | 105 | 105 | 105 | 105 | 105 | 105 |
| | Pr+AP (m3) | 245385 | 33390 | 27510 | 19740 | 25095 | 16590 | 31290 | 20580 | 239085 | 235305 | 434700 | 229740 | 1 558 410 |
| | ETR (mm) | 129 | 85 | 55 | 37 | 24 | 16 | 30 | 20 | 133 | 170 | 199 | 146 | 1 043 |
| | ETR (m3) | 135660 | 88725 | 58065 | 38535 | 25410 | 16590 | 31290 | 20580 | 139965 | 178290 | 208740 | 153195 | 1 095 045 |
| | exc (m3) | 109725 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 51135 | 225960 | 76545 | 463 365 |
| Olivier | Pr + Ap (mm) | 34 | 32 | 26 | 19 | 90 | 53 | 143 | 116 | 218 | 237 | 409 | 21 | 1 399 |
| | Exc (mm) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 27 | 10 | 85 | 68 | 210 | 0 | 400 |
| | Sup (ha) | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 |
| | Pr+AP (m3) | 25575 | 23850 | 19650 | 14100 | 67125 | 39750 | 107550 | 87150 | 163425 | 177975 | 306900 | 15975 | 1 049 025 |
| | ETR (mm) | 34 | 32 | 26 | 19 | 34 | 49 | 76 | 106 | 133 | 170 | 199 | 121 | 999 |
| | ETR (m3) | 25575 | 23850 | 19650 | 14100 | 25725 | 36525 | 56775 | 79575 | 99975 | 127350 | 149100 | 90975 | 749 175 |
| | exc (m3) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20400 | 7575 | 63450 | 50625 | 157800 | 0 | 299 850 |
| Legumes | Pr + Ap (mm) | 34 | 32 | 26 | 19 | 24 | 16 | 30 | 105 | 240 | 356 | 257 | 21 | 1 159 |
| | Exc (mm) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 186 | 58 | 0 | 250 |
| | Sup (ha) | 530 | 530 | 530 | 530 | 530 | 530 | 530 | 530 | 530 | 530 | 530 | 530 | 530 |
| | Pr+AP (m3) | 180730 | 168540 | 138860 | 99640 | 126670 | 83740 | 157940 | 556500 | 1269350 | 1885740 | 1360510 | 112890 | 6 141 110 |
| | ETR (mm) | 34 | 32 | 26 | 19 | 24 | 16 | 30 | 105 | 133 | 170 | 199 | 121 | 909 |
| | ETR (m3) | 180730 | 168540 | 138860 | 99640 | 126670 | 83740 | 157940 | 556500 | 706490 | 899940 | 1053640 | 642890 | 4 815 580 |
| | exc (m3) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 32860 | 985800 | 306870 | 0 | 1 325 530 |
| PDT | Pr + Ap (mm) | 34 | 32 | 26 | 19 | 24 | 16 | 30 | 84 | 193 | 429 | 500 | 249 | 1 635 |
| | Exc (mm) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 218 | 301 | 103 | 622 |
| | Sup (ha) | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 |
| | Pr+AP (m3) | 170500 | 159000 | 131000 | 94000 | 119500 | 79000 | 149000 | 421000 | 962500 | 2143000 | 2498500 | 1247000 | 8 174 000 |
| | ETR (mm) | 129 | 37 | 26 | 19 | 24 | 16 | 30 | 84 | 133 | 170 | 199 | 146 | 1 012 |
| | ETR (m3) | 646000 | 183500 | 131000 | 94000 | 119500 | 79000 | 149000 | 421000 | 666500 | 849000 | 994000 | 729500 | 5 062 000 |
| | exc (m3) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1090000 | 1504500 | 517000 | 3 111 500 |
| Céréales | Pr + Ap (mm) | 34 | 32 | 26 | 19 | 24 | 144 | 30 | 156 | 179 | 27 | 12 | 21 | 704 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|--------------|----------|----------|----------|---------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|--------------------|
| | Exc (mm) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 46 | 0 | 0 | 0 | 46 |
| | Sup (ha) | 520 | 520 | 520 | 520 | 520 | 520 | 520 | 520 | 520 | 520 | 520 | 520 | 520 |
| | Pr+AP (m3) | 177320 | 165308 | 136448 | 97656 | 124280 | 748592 | 154752 | 813592 | 933192 | 138268 | 60320 | 110604 | 3 660 332 |
| | ETR (mm) | 34 | 32 | 26 | 19 | 24 | 49 | 76 | 106 | 133 | 127 | 12 | 21 | 658 |
| | ETR (m3) | 177320 | 165360 | 136240 | 97760 | 124280 | 253240 | 393640 | 551720 | 693160 | 658320 | 60320 | 110760 | 3 422 120 |
| | exc (m3) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 238234 | 0 | 0 | 0 | 238 234 |
| TOT IRRIG | Pr + Ap (m3) | 528550 | 492848 | 406308 | 291296 | 370450 | 911332 | 461692 | 1791092 | 3165042 | 4167008 | 3919330 | 1716209 | 18 221 157 |
| | Exc (m3) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 271094 | 2075800 | 1811370 | 593545 | 4 751 809 |
| | ETR (m3) | 1165285 | 629975 | 483815 | 344035 | 421585 | 469095 | 788645 | 1629375 | 2306090 | 2712900 | 2465800 | 1727320 | 15 143 920 |
| | Sup | 1730 | 1730 | 1730 | 1730 | 1730 | 1730 | 1730 | 1730 | 1730 | 1730 | 1730 | 1730 | 1 730 |
| NON IRRG | Pr (mm) | 22 | 32 | 20 | 13 | 17 | 9 | 19 | 14 | 19 | 24 | 9 | 8 | 204 |
| | Exc (mm) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - |
| | Sup (ha) | 67697 | 67697 | 67697 | 67697 | 67697 | 67697 | 67697 | 67697 | 67697 | 67697 | 67697 | 67697 | 67 697 |
| | Pr (m3) | 14825643 | 21663040 | 13268612 | 8665216 | 11440793 | 5754245 | 12659339 | 9409883 | 12523945 | 16314977 | 6363518 | 5280366 | 138 169 577 |
| | ETR (mm) | 21,9 | 32,0 | 19,6 | 12,8 | 16,9 | 8,5 | 18,7 | 13,9 | 18,5 | 24,1 | 9,4 | 7,8 | 204 |
| | ETR (m3) | 14825643 | 21663040 | 13268612 | 8665216 | 11440793 | 5754245 | 12659339 | 9409883 | 12523945 | 16314977 | 6363518 | 5280366 | 138 169 577 |
| | exc (m3) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - |
| TOTAL | Pr + Ap (m3) | 15625153 | 22213128 | 13722080 | 8990352 | 11903463 | 6721917 | 13259871 | 11308705 | 16091497 | 20895265 | 11024448 | 6996575 | 158 752 454 |
| | Exc (m3) | 109725 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20400 | 7575 | 334544 | 2177560 | 2195130 | 593545 | 5 438 479 |
| | ETR (m3) | 15990928 | 22293015 | 13752427 | 9009251 | 11862378 | 6223340 | 13447984 | 11039258 | 14830035 | 19027877 | 8829318 | 7007686 | 153 313 497 |
| | Sup (ST) | 68000 | 68000 | 68000 | 68000 | 68000 | 68000 | 68000 | 68000 | 68000 | 68000 | 68000 | 68000 | 68 000 |

Chr ea

| Culture | Paramètre | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A | Total |
|---------|--------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-----------|
| Arbo | Pr + Ap (mm) | 234 | 32 | 26 | 19 | 24 | 16 | 30 | 20 | 228 | 224 | 414 | 219 | 1 484 |
| | Exc (mm) | 105 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 49 | 215 | 73 | 441 |
| | Sup (ha) | 166 | 166 | 166 | 166 | 166 | 166 | 166 | 166 | 166 | 166 | 166 | 166 | 166 |
| | Pr+AP (m3) | 387942 | 52788 | 43492 | 31208 | 39674 | 26228 | 49468 | 32536 | 377982 | 372006 | 687240 | 363208 | 2 463 772 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|--------------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|
| | ETR (mm) | 129 | 85 | 55 | 37 | 24 | 16 | 30 | 20 | 133 | 170 | 199 | 146 | 1 043 |
| | ETR (m3) | 214472 | 140270 | 91798 | 60922 | 40172 | 26228 | 49468 | 32536 | 221278 | 281868 | 330008 | 242194 | 1 731 214 |
| | exc (m3) | 173470 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 80842 | 357232 | 121014 | 732 558 |
| Olivier | Pr + Ap (mm) | 34 | 32 | 26 | 19 | 90 | 53 | 143 | 116 | 218 | 237 | 409 | 21 | 1 399 |
| | Exc (mm) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 27 | 10 | 85 | 68 | 210 | 0 | 400 |
| | Sup (ha) | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| | Pr+AP (m3) | 17050 | 15900 | 13100 | 9400 | 44750 | 26500 | 71700 | 58100 | 108950 | 118650 | 204600 | 10650 | 699 350 |
| | ETR (mm) | 34 | 32 | 26 | 19 | 34 | 49 | 76 | 106 | 133 | 170 | 199 | 121 | 999 |
| | ETR (m3) | 17050 | 15900 | 13100 | 9400 | 17150 | 24350 | 37850 | 53050 | 66650 | 84900 | 99400 | 60650 | 499 450 |
| | exc (m3) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13600 | 5050 | 42300 | 33750 | 105200 | 0 | 199 900 |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| Legumes | Pr + Ap (mm) | 34 | 32 | 26 | 19 | 24 | 16 | 30 | 105 | 240 | 356 | 257 | 21 | 1 159 |
| | Exc (mm) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 186 | 58 | 0 | 250 |
| | Sup (ha) | 113 | 113 | 113 | 113 | 113 | 113 | 113 | 113 | 113 | 113 | 113 | 113 | 113 |
| | Pr+AP (m3) | 38533 | 35934 | 29606 | 21244 | 27007 | 17854 | 33674 | 118650 | 270635 | 402054 | 290071 | 24069 | 1 309 331 |
| | ETR (mm) | 34 | 32 | 26 | 19 | 24 | 16 | 30 | 105 | 133 | 170 | 199 | 121 | 909 |
| | ETR (m3) | 38533 | 35934 | 29606 | 21244 | 27007 | 17854 | 33674 | 118650 | 150629 | 191874 | 224644 | 137069 | 1 026 718 |
| | exc (m3) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7006 | 210180 | 65427 | 0 | 282 613 |
| Luzerne | Pr + Ap (mm) | 34 | 142 | 136 | 127 | 24 | 124 | 30 | 238 | 31 | 136 | 230 | 131 | 1 381 |
| | Exc (mm) | 0 | 0 | 38 | 90 | 0 | 65 | 0 | 86 | 0 | 0 | 0 | 0 | 279 |
| | Sup (ha) | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| | Pr+AP (m3) | 68200 | 283000 | 272000 | 254200 | 47800 | 248800 | 59600 | 475200 | 61000 | 271000 | 460000 | 262000 | 2 762 800 |
| | ETR (mm) | 50 | 85 | 55 | 37 | 34 | 49 | 76 | 106 | 131 | 136 | 199 | 146 | 1 102 |
| | ETR (m3) | 100600 | 169000 | 110600 | 73400 | 68600 | 97400 | 151400 | 212200 | 261000 | 271000 | 397600 | 291800 | 2 204 600 |
| | exc (m3) | 0 | 0 | 75400 | 180800 | 0 | 130400 | 0 | 171000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 557 600 |
| PDT | Pr + Ap (mm) | 34 | 32 | 26 | 19 | 24 | 16 | 30 | 84 | 193 | 429 | 500 | 249 | 1 635 |
| | Exc (mm) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 218 | 301 | 103 | 622 |
| | Sup (ha) | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| | Pr+AP (m3) | 17050 | 15900 | 13100 | 9400 | 11950 | 7900 | 14900 | 42100 | 96250 | 214300 | 249850 | 124700 | 817 400 |
| | ETR (mm) | 129 | 37 | 26 | 19 | 24 | 16 | 30 | 84 | 133 | 170 | 199 | 146 | 1 012 |
| | ETR (m3) | 64600 | 18350 | 13100 | 9400 | 11950 | 7900 | 14900 | 42100 | 66650 | 84900 | 99400 | 72950 | 506 200 |
| | exc (m3) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 109000 | 150450 | 51700 | 311 150 |
| Céréales | Pr + Ap (mm) | 34 | 32 | 26 | 19 | 24 | 144 | 30 | 156 | 179 | 27 | 12 | 21 | 704 |

Tébessa Le 18/01/2009

RESULTATS D'ANALYSE PHYSICO-CHEMIQUE
Nom du client : ROUABHIA Abdelkader Chef du projet de recherche

CNPRU- G 02920070001

Nature de l'échantillon à analyser : EAU

Date du prélèvement : 12/01/2009

Lieu du prélèvement : Tébessa

Analyses effectuées par : M^{er} BOULAHBEL A

NB : L'échantillonnage a été réalisé par le client.

| Code | ELEMENTS DETERMINES | | | | | | | |
|------|---------------------|---|---|---|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| | C.E µS/cm | NO ₂ ⁻ mg /litre | No ₃ ⁻ mg /litre | So ₄ ⁻ mg /litre | Ca ⁺⁺ mg /litre | Mg ⁺⁺ mg /litre | Na ⁺ mg /litre | K ⁺ mg /litre |
| T1 | 1800 | 0.93 | 23.1 | 750.00 | 120.00 | 134.20 | 75.14 | 8.5 |
| T2 | 3800 | 0.3 | 19.1 | 275.00 | 72.07 | 134.57 | 73.12 | 7.8 |
| T3 | 7600 | 0.4 | 37.1 | 650.00 | 110.00 | 124.25 | 77.41 | 9.4 |
| T4 | 8200 | 0.5 | 27.1 | 675.00 | 104.10 | 111.40 | 120.04 | 7.8 |
| T5 | 2500 | 0.7 | 11.0 | 325.00 | 120.04 | 109.40 | 95.41 | 9.6 |
| T7 | 2100 | 0.9 | 34.5 | 250.00 | 58.45 | 120.40 | 84.23 | 8.8 |
| T8 | 2300 | 0.7 | 63.4 | 350.00 | 78.07 | 121.30 | 90.10 | 8.9 |
| T9 | 2400 | 0.4 | 42.1 | 625.00 | 83.40 | 124.43 | 125.00 | 9.1 |
| T10 | 2500 | 1.1 | 51.4 | 525.00 | 88.08 | 133.40 | 102.50 | 9.6 |
| T11 | 2400 | 0.8 | 33.0 | 250.00 | 83.65 | 122.40 | 104.12 | 8.7 |
| T12 | 2900 | 0.9 | 25.0 | 600.00 | 80.08 | 115.40 | 90.41 | 8.6 |
| T13 | 4700 | 1.0 | 21.0 | 250.00 | 110.09 | 120.60 | 83.33 | 9.6 |
| T14 | 2700 | 1.3 | 22.0 | 225.00 | 104.10 | 132.32 | 112.01 | 9.6 |
| T15 | 2300 | 1.0 | 21.3 | 410.00 | 85.68 | 120.04 | 123.00 | 10.4 |
| T16 | 3400 | 1.3 | 31.3 | 325.00 | 96.12 | 110.40 | 94.33 | 8.0 |
| T17 | 11600 | 3.2 | 42.1 | 975.00 | 96.09 | 145.00 | 120.00 | 8.3 |
| T19 | 15700 | 2.3 | 51.2 | 675.00 | 140.00 | 130.55 | 97.23 | 8.1 |
| T20 | 2000 | 0.9 | 33.0 | 400.00 | 96.70 | 117.05 | 95.12 | 8.2 |
| T21 | 8500 | 2.2 | 12.0 | 525.00 | 85.68 | 114.40 | 79.04 | 8.4 |

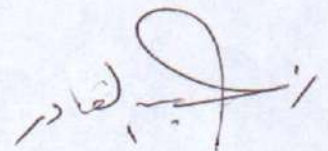
Service laboratoire

 Chef département
Recherches appliquées

Client



BOULAHBAL Abdelhafid
Diplome d'Etudes Universitaires
Appliquées Chimist



FERPHOS®



Group

SOMIPHOS Spa

مجموعة

فرفوس®

Centre d'Etudes et de Recherches Appliquées au Développement

CERAD

Tél : 037 49 22 25

Fax : 037 49 39 18

Tébessa Le 18 /01/2009

RESULTATS D'ANALYSE PHYSICO-CHEMIQUE

Nom du client : ROUABHIA Abdelkader Chef du projet de recherche

CNPRU- G 02920070001

Nature de l'échantillon à analyser : EAU

Date du prélèvement : 12 /01/2009

Lieu du prélèvement : TEBESSA

Analyses effectuées par : M^{er} BOULAHBEL A.

NB : L'échantillonnage a été réalisé par le client.

| Code | ELEMENTS DETERMINES | | | | | | | |
|------|---------------------|---|---|---|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| | C.E µS/cm | NO ₂ ⁻ mg /litre | NO ₃ ⁻ mg /litre | So ₄ ⁻ mg /litre | Ca ⁺⁺ mg /litre | Mg ⁺⁺ mg /litre | Na ⁺ mg /litre | K ⁺ mg /litre |
| M1 | 1800 | 1.00 | 65.1 | 275.00 | 68.86 | 113.04 | 80.41 | 7.9 |
| M2 | 2400 | 1.23 | 52.3 | 375.00 | 86.30 | 124.01 | 82.13 | 8.8 |
| M3 | 1700 | 0.4 | 74.1 | 25.00 | 64.06 | 121.04 | 85.32 | 8.7 |
| M4 | 3200 | 0.9 | 12.3 | 325.00 | 93.40 | 130.05 | 95.14 | 8.9 |
| M5 | 3000 | 0.9 | 56.1 | 250.00 | 72.07 | 140.00 | 97.12 | 9.6 |
| M8 | 1900 | 1.30 | 36.5 | 500.00 | 92.63 | 130.08 | 110.41 | 9.5 |
| M9 | 2000 | 1.25 | 65.0 | 450.00 | 70.57 | 124.40 | 88.41 | 8.7 |
| M10 | 2600 | 0.70 | 45.1 | 325.00 | 88.11 | 122.22 | 96.23 | 9.9 |
| M11 | 1200 | 1.3 | 42.1 | 325.00 | 68.86 | 132.04 | 87.25 | 101. |
| M12 | 1400 | 0.5 | 63.1 | 50.00 | 96.12 | 136.40 | 102.02 | 94. |
| M13 | 1300 | 1.00 | 63.2 | 250.00 | 67.4 | 131.04 | 79.12 | 98. |
| M14 | 1300 | 0.61 | 12.3 | 225.00 | 68.00 | 142.40 | 86.31 | 78. |
| M15 | 1900 | 0.60 | 52.1 | 275.00 | 97.40 | 120.05 | 92.63 | 83. |
| M16 | 1600 | 0.65 | 23.1 | 675.00 | 111.12 | 154.44 | 95.12 | 9.5 |
| M17 | 1500 | 0.47 | 34.5 | 745.00 | 134.25 | 163.25 | 90.00 | 10.1 |
| M18 | 2100 | 0.41 | 36.1 | 325.00 | 81.66 | 143.40 | 102.01 | 09.6 |
| O1 | 4000 | 3.4 | 21.0 | 300.00 | 84.08 | 164.34 | 98.10 | 08.6 |
| O2 | 4600 | 9.3 | 31.4 | 450.00 | 72.07 | 163.00 | 97.14 | 08.8 |
| O3 | 3600 | 13.7 | 32.6 | 350.00 | 156.30 | 134.43 | 96.70 | 09.0 |
| O4 | 4600 | 13.6 | 34.5 | 300.00 | 104.00 | 181.50 | 104.00 | 08.9 |

Service laboratoire

Chef département
Recherches appliquées

Client

BOULAHBEL Abdelhafid
FERPHOS
Centre d'Etudes Universitaires
Appliquées Chimist

BOULAHBEL Abdelhafid
Centre d'Etudes Universitaires
Appliquées Chimist

Centre d'Etudes Universitaires Appliquées Chimist - Tél : 037 49 22 25 Fax : 037 49 39 18
E-mail : ferphos@ferphos.com www.ferphos.com



FERPHOS

فرفوس

SOMIPHOS spa

Centre d'Etudes et de Recherches Appliquées au Développement
CERAD

Tél. : 037 49 22 25

Fax : 037 49 39 18

Tébessa Le 18/01/2009

RESULTATS D'ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE

Nom du client : ROUABHIA Abdelkader Chef du projet de recherche
CNPRU- G 02920070001

Nature de l'échantillon à analyser : EAU.

Date du prélèvement : 12/01/2009.

Lieu du prélèvement : TEBESSA

Analyses effectuées par : M^{er} BOULAHBEL A.

NB : L'échantillonnage a été réalisé par le client.

| Code | ELEMENTS DETERMINES | | | | | | | |
|------|---------------------|---|---|--|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| | C.E μS/cm | NO ₂ ⁻ mg /litre | NO ₃ ⁻ mg /litre | So ₄ ⁴⁻ mg /litre | Ca ⁺⁺ mg /litre | Mg ⁺⁺ mg /litre | Na ⁺ mg /litre | K ⁺ mg /litre |
| PO7 | 5500 | 10.4 | 36.1 | 525.00 | 120.00 | 125.00 | 120.00 | 11.1 |
| PO4 | 5800 | 01.1 | 21.4 | 140.00 | 124.00 | 133.34 | 95.23 | 8.5 |
| PO8 | 3200 | 01.7 | 45.6 | 600.00 | 134.00 | 145.45 | 104.52 | 12.0 |
| PO1 | 1500 | 01.9 | 36.5 | 700.00 | 143.00 | 130.04 | 102.01 | 10.3 |
| PO2 | 3700 | 02.3 | 35.1 | 525.00 | 150.00 | 134.04 | 104.12 | 9.6 |
| PO5 | 6100 | 02.4 | 31.2 | 600.00 | 163.00 | 145.4 | 103.00 | 11.1 |
| abla | 1600 | 01.98 | 51.2 | 350.00 | 155.00 | 130.42 | 102.00 | 9.6 |
| PO9 | 3000 | 01.1 | 61.2 | 275.00 | 144.00 | 125.40 | 100.0 | 8.9 |

Service laboratoire

BOULAHBEL Abdelhafid
Diplome d'Etudes Universitaire
Appliquées Chimist

Chef département
Recherches appliquées



Client

Handwritten signature



Figure: Sonde multiparamètres de terrain type WTW.