

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة 8 ماي 1945 قالمة
Université 8 Mai 1945 Guelma
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la terre et de l'Univers



Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Domaine : Science de la Terre et de l'univers

Filière : Géologie

Spécialité/Option: Hydrogéologie et Géothermie

Département: Science de la Nature et de la Vie

Thème : Caractérisation hydrogéologique de la région M'Daourouch- Dréa, Wilaya de Souk-Ahras

Présenté par :

Mahamat Saleh Moussa

Sadick Hachir Ali

Devant le jury composé de :

Présidente: Kachi Slimane

Prof

Université de Guelma

Examineur: Ghrieb Lassaad

MCB

Université de Guelma

Promoteur: Ali Brahmia

MCA

Université de Guelma

Juin 2016

Remerciements

A la fin de ce travail, nous ne manquerons pas d'adresser nos remerciements à notre Dieu le grand créateur qui nous a donné la force et la volonté pour arriver à ce niveau.

Nombreuses sont les personnes qui nous ont aidé et encouragé, nous leur présentons nos sincères remerciements.

Nous avons l'honneur d'avoir comme encadreur Monsieur ALI BRAHMIA, qui n'a pas hésité à nous faire confiance, et d'avoir accepté de partager ses connaissances et son expérience pour mener à son terme ce mémoire de Master, qu'il soit remercié pour ses conseils et son soutien constant tout au long de notre travail de recherche.

Nous voudrions également remercier tous nos enseignants du département d'hydrogéologie de l'université 08 Mai 1945 Guelma, en particulier professeur KACHI SLIMAN pour sa gentillesse, et ses conseils durant plusieurs années d'enseignement.

Nous adressons également nos vifs remerciements aux membres du jury, pour avoir bien voulu lire, commenter et débattre mon travail.

Nous remercions toute personne, qui de près ou de loin ayant généreusement contribué à l'élaboration de ce travail.

Si par mégarde, nous avons oublié quelqu'un, qu'il nous pardonne et qu'il soit remercié pour tout.

Mahamat & Sadick



Dédicace

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance, c'est tout simplement que : Je dédie ce mémoire de Master :

➤ **A Ma tendre Mère Kaltouma**

Tu présentes pour moi la source de tendresse et l'exemple de dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager. Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent le bon chemin dans leur vie et leurs études.

Je te remercie pour tout le soutien et l'amour que tu me portes depuis mon enfance et j'espère que ta bénédiction m'accompagne toujours. Puisse qu'Allah, le Très Haut, t'accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne te déçoive.

➤ **A Mon très cher défunt père Saleh Moussa**

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai pour lui. Il m'a indiqué la bonne voie en me rappelant que la volonté fait toujours les grands hommes.

J'espère que je serai toujours à la hauteur de ses espérances. Qu'Allah ait son âme dans sa miséricorde.

➤ **A Mon très cher oncle Bahar Moussa**

Mon conseiller, et ami fidèle, qui m'a assisté dans les moments difficiles et m'a pris doucement par la main pour traverser ensemble des épreuves pénibles. Je suis très reconnaissant, et je ne te remercierai jamais assez pour ton amabilité, ta générosité, ton aide précieuse.

Que ce modeste travail soit l'exaucement de tes vœux tant formulés, le fruit de tes innombrables sacrifices, bien que je ne t'en acquitterai jamais assez. Je te souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et qu'Allah, le Tout Puissant, te protège et te garde.

➤ **A mon frère et mes adorables sœurs**

Soumaya, Samira, Nouréne, Hadjé Fatima, Khadija, Mariam, Amina. En témoignage de l'attachement, de l'amour et de l'affection que je porte pour vous. Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.

➤ **A mes chers cousins et cousines**

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'attachement, l'amour et l'affection que je porte pour vous, votre joie et votre gaieté me comblent de bonheur.

Puisse Allah vous garder, éclairer votre route et vous aider à réaliser à votre tour vos vœux les plus chers.

➤ ***A Ma grand-mère maternelle***

Qui m'a accompagné par ses prières, sa douceur, puisse qu'Allah lui prêter longue vie et beaucoup de santé et de bonheur dans les deux vies.

➤ ***A la mémoire de Mes Grands-pères et Ma grand-mère***

Qui ont été toujours dans mon esprit et dans mon cœur, je vous dédie aujourd'hui ma réussite. Qu'Allah ait vos âmes dans sa sainte miséricorde.

➤ ***A mes chers oncles, tantes, leurs époux et épouses***

Veillez trouver dans ce travail l'expression de mon respect le plus profond et mon affection la plus sincère.

➤ ***A mon défunt ami d'enfance, Mahamat Issa Diar***

En souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que nous avons passé ensemble, tu as compté énormément pour moi et j'aurais tant aimé que tu sois présent. Qu'Allah ait ton âme dans sa sainte miséricorde.

➤ ***A tous mes amis***

En témoignage de l'amitié qui nous uni et des souvenirs de tous les moments que nous avons passé ensemble, je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur.

MAHAMAT SALEH MOUSSA

Dédicace

Louange à Allah, le Tout Puissant, qui nous a permis de mener à bien ce modeste travail.

➤ ***A mon cher père Hachir Ali Guem***

Celui qui m'a indiqué la bonne voie en me rappelant que la volonté fait toujours les grands hommes.

➤ ***A mon cher oncle Ismaël Ali Guem***

L'occasion m'est offerte pour vous témoigner toute mon affection et ma profonde reconnaissance. Votre soutien moral et votre affection sans faille ont été des atouts inestimables pour mener à bien mon cursus scolaire et universitaire. Je vous admire pour votre piété, votre simplicité, votre discrétion et votre modestie. Je vous dois beaucoup. Ce jour est le vôtre, soyez en honoré. Qu'Allah vous accorde une longue vie, une très bonne santé et vous garde encore longtemps parmi nous.

➤ ***A ma mère Halimé Idriss***

Celle qui a attendu avec patience les fruits de sa bonne éducation.

➤ ***A mon oncle Abakar Ali Guem*** (que son âme repose en paix)

Vous m'avez offert l'opportunité de réaliser mes rêves et m'indiqué la bonne voie en me rappelant que la Volonté fait toujours les grands hommes. Nous gardons de vous l'image d'un homme exemplaire. Que la terre vous soit légère. Amine

➤ ***A mes frères, sœurs, cousins et cousines***

L'atmosphère familiale a toujours été sincère et très agréable. Puisse Allah continuer à nous unir.

➤ ***A tous mes amis et camarades de promotion***

Je ne pourrais tous vous citer de peur d'oublier certains, mais je suis sûr que vous saurez vous reconnaître.

Sadick Hachir Ali

Sommaire

Titre	page
Liste des figures	IV
Liste des tableaux.....	V
Liste des abréviations.....	VI
Introduction général	1

Chapitre I : Présentation de la région d'étude

Introduction.....	3
I.1 Aperçu socio-économique.....	3
I.2. Morphologie.....	4

Chapitre II : Géologie

Introduction	5
II.1. Définition d'un synclinal.....	5
II.2. Stratigraphie.....	5
II.2.1. Quaternaire	6
II.2.2. Pliocène.....	6
II.2.3. Miocène.....	7
II.2.4. Paléogène.....	7
II.2.5. Maestrichtien.....	7
II.2.6. Trias.....	7
II.3. Lithostratigraphie de la région.....	8
II.4. Tectonique.....	8
Conclusion.....	9

Chapitre III : Hydroclimatologie

Introduction.....	10
III.1. Analyse des facteurs climatiques	10
III.1.1. Les précipitations	10
III.1.2. La température	11
III.1.3. Diagramme pluvio-thermique	12
III.2. Bilan hydrique.....	13
III.2.1. Estimation de l'évapotranspiration (ETP).....	13
III.2.2. L'évapotranspiration réelle (ETR).....	13

III.2.3. Evapotranspiration réelle par la formule de Thornthwaite	14
III.2.4. Estimation des réserves facilement utilisables (RFU)	14
III.2.5. Calcul du ruissellement	15
III.2.6. Calcul de l'infiltration	15
Conclusion	16

Chapitre IV : Hydrogéologie

Introduction	17
IV.1. Inventaire des points d'eau de la région M'Daourouch-Dréa	17
IV.2. Identification des aquifères	18
IV.2.1. Aquifère détritique.....	18
IV.2.2. Toit de l'aquifère alluvionnaire.....	21
IV.2.3. Le mur de l'aquifère alluvionnaire.....	21
IV.2.4. L'épaisseur de l'aquifère alluvionnaire.....	22
IV.3. Paramètres hydrodynamiques	22
IV.3.1. La transmissivité.....	22
IV.3.2. La perméabilité.....	22
IV.3.3. Coefficient d'emménagement.....	23
IV.3.4. Essai de pompage du forage D2.....	23
IV.4. Piézométrie.....	25
IV.5. Aquifère des calcaires fissurés, karstifiés du Crétacé supérieur (Maestrichtien).....	27
IV.5.1. Généralités sur le karst.....	27
IV.5.2. Notion de niveau de base.....	28
IV.5.3. Fonctionnement et structure d'un système karstique	28
IV.5.4. La zone d'infiltration (zone sous-saturée)	30
IV.5.5. Le karst noyé (zone saturée).....	31
IV.6. Inventaires des forages d'eau atteignant l'aquifère karstique.....	31
IV.6.1 Essai de pompage du Forage D8	34
Conclusion	36

Chapitre V: Prospection électrique

Introduction	37
V.1. Mode opératoire sur le terrain	37
V.2. Représentation des données de terrain.....	39
V.3. Implantation des SEV.....	39
V.4. Etalonnage des données géophysiques	40

V.4.1. MD3 à l'aide du forage F1.....	40
V.4.2.MD1 à l'aide du forage F2.....	40
V.4.4. 1F1 à l'aide du forage F3.....	41
V.5. Echelle des résistivités.....	42
V.6. Carte d'isorésistivité apparente en ligne AB= 1000 m.....	42
V.7. Coupes géo-électriques.....	43
V.8. Résultats.....	46
V.8.1. Toit de l'aquifère calcaire fissuré, karstifié	46
V.8. Structure de la géologie de la plaine.....	47
Conclusion	48

Chapitre VI : Hydrochimie

Introduction	49
VI.1. Représentation graphique des résultats	49
VI.1.1. Diagramme de Piper.....	50
VI.1.2. Diagramme de Schoeller- Berkaloff.....	50
Conclusion	51
Conclusion générale	52
Annexe	i
Références bibliographique.....	v
Résumé	vi
Summary.....	vi

Liste des figures

Figure 1: Localisation géographique de la région de M'Daourouch.....	3
Figure 2 : Localisation et limite de la région de M'Daourouch.....	4
Figure 3 : Extrait de la Carte géologique de M'Daourouch au 1/50000.....	5
Figure 4 : Coupe géologique extraite de la carte de M'Daourouch au 1/50000.....	8
Figure 5: Histogramme des précipitations moyennes mensuelles à la station de Sedrata...11	
Figure 6 : Histogramme des températures moyennes mensuelles à la station de Sedrata...12	
Figure 7 : Courbe pluvio-thermique (Station de Sedrata).....	12
Figure 8: Carte d'inventaire des points.....	17
Figure 9: Corrélation lithologique I.....	20
Figure 10 : Carte d'isoprofondeur du toit de l'aquifère alluvionnaire.....	21
Figure 11 : Carte d'isoprofondeur du mur de l'aquifère alluvionnaire.....	22
Figure 12 : Carte d'épaisseur de l'aquifère alluvionnaire.....	22
Figure 13: Courbe de descente du pompage d'essai du forage D2.....	24
Figure 14 : Courbe de remontée du pompage d'essai du forage D8.....	26
Figure 15 : Carte piézométrique de l'aquifère alluvionnaire	27
Figure 16 : Représentation schématique d'un aquifère karstique.....	29
Figure 17 : Les deux types de système karstiques	30
Figure 18 : Organisation du drainage en système vaclusien et jurassien	30
Figure 19: Représentation schématique d'un système karstique.....	31
Figure 20: Représentation schématique de l'épikarst	32
Figure 21 : Corrélation lithologique II	34
Figure 22 : Courbe de descente du pompage d'essai du forage D8.....	35
Figure 23 : Courbe de remontée du pompage d'essai du forage D8	35
Figure 24 : Profondeur d'investigation en fonction de l'écartement des électrodes.....	38
Figure 25: Courbe de sondage électrique verticale.....	39
Figure 26 : Carte d'implantation des SEV.....	39
Figure 27 : Etalonnage du sondage électrique MD3 à l'aide du forage F1.....	40
Figure 28 : Etalonnage du sondage électrique MD1 à l'aide du forage F2.....	41
Figure 29: Etalonnage du sondage électrique 1F1 à l'aide du Forage F3.....	42
Figure 30: Carte d'isorésistivité apparente.....	43
Figure 31 : Coupe géoélectrique E, F, G.....	44
Figure 32: Coupe géoélectrique K.....	45

Figure33 : Coupe géo-électrique M.....	46
Figure 34: Carte d'isoprofondeur du toit de l'aquifère calcaire	47
Figure 35: Carte structurale d'après la géologie des sondages et la prospection électrique....	47
Figure 36 : Diagramme de Piper des eaux souterraines de la plaine M'Daourouch.....	50
Figure37 : Diagramme Schoeller-Berkaloff des eaux souterraines de M'Daourouch.....	51

Liste des tableaux

Tableau 1 : Synthèse lithostratigraphique de la région.....	8
Tableau 2 : Précipitation moyennes mensuelles en (mm) de la station de Sedrata	10
Tableau 3 : Température moyennes mensuelles de la station de Sedrata.....	11
Tableau 4 : Bilan hydrique selon la méthode de « THORNTHWAITE »	15
Tableau 5 : Repartitions des précipitations.....	15
Tableau 6: Inventaire des forages de l'aquifère de la région.....	19
Tableau 7: Inventaire des forages atteignant les karsts.....	32
Tableau 8 : Echelle des résistivités adoptées	42

Liste des abréviations :

ETP : Estimation de l'évapotranspiration potentielle en mm/an

P : précipitations moyennes annuelle en mm/an

ETR : évapotranspiration réelle en mm/an

R : ruissellement en mm /an

RFU : réserves facilement utilisables

I : infiltration en mm/an

t: température moyenne mensuelle en mm

i: indice thermique mensuel

I: indice thermique annuel qui est la somme des facteurs thermiques mensuels (i)

K: Facteur de correction intégrant la durée d'insolation et le nombre de jour, de mois et la température et de la latitude de la station météorologique.

ΔV : différence de potentiel entre les électrodes M et N.

I: Intensité du courant (milliampère).

K : Coefficient géométrique (qui dépend de la position des électrodes).

ρ : C'est le paramètre utilisé en prospection électrique.

SEV : sondage électrique verticale

Introduction générale

L'examen des tendances actuelles montre que nous approchons d'une « crise de l'eau » dans plusieurs régions, notamment au Moyen- Orient et en Afrique du Nord, ainsi que dans un nombre croissant de pays partout dans le monde. Dans un proche avenir, ce sera plutôt l'eau que la terre qui sera le principal facteur limitant du développement agricole des pays arides et semi-arides du bassin méditerranéen.

Dans la plupart de ces pays avec une pluviosité irrégulière, plusieurs formes d'utilisation économique de l'eau disponible ont déjà été développées ou sont en train de l'être. Il est indubitable que, sans un contrôle efficace et une gestion adéquate de l'eau, l'autosuffisance alimentaire et énergétique continuera à être un mirage pour la plupart de ces pays.

La problématique de l'eau est un problème de quantité et de qualité, c'est-à-dire de ressources et de pollution. Du point de vue ressources, on distinguera d'un côté les eaux de surface qui ont un taux de renouvellement très rapide, et de l'autre les eaux souterraines qui s'écoulent beaucoup plus lentement.

La qualité des eaux dans le monde a connu ces dernières années une grande détérioration, à cause des rejets industriels non contrôlés, l'utilisation intensive des engrais chimiques dans l'agriculture ainsi que l'exploitation désordonnée des ressources en eau. Ces derniers produisent une modification chimique de l'eau et la rendent impropre aux usages souhaités.

L'hydrogéologie des zones arides et semi-aride de l'Algérie, est un thème complexe. La sécheresse chronique et le bilan climatique toujours négatif ne permettent pas de justifier l'existence de la recharge de nappe. Or cette recharge, même si elle est limitée, existe souvent dans ces régions arides où l'irrégularité du climat peut provoquer certaines années quelques événements pluvieux exceptionnels.

L'objectif de ce modeste travail c'est le dépouillement des données de forages mécaniques disponibles au niveau de la direction des ressources hydriques de la wilaya de Souk-Ahras ainsi que quelques données de bureau d'étude dans le but de réaliser une caractérisation hydrogéologique du synclinal de la région de M'Daourouch.

Cette étude s'articule autour de six chapitres qui traitent respectivement :

- 1- La présentation de la région d'étude qui donne un aperçu général sur la situation géographique et morphologique de la région.
- 2- Les caractéristiques géologiques et tectoniques permettent une définition des principaux faciès et de préciser leur nature et leur aptitude hydrogéologique.
- 3- L'hydroclimatologie consacrée à l'évaluation des composantes du bilan hydrique nécessaire à toute estimation des réserves en eau d'un bassin versant.
- 4- L'étude hydrogéologique est consacrée à l'identification du système aquifère, sa nature lithologique, sa structure, sa géométrie, sa limite et déterminer les ressources en eau souterraines et leur conditions d'écoulements par la piézométrie.
- 5- Une étude géophysique basée sur la prospection électrique vise à identifier les caractéristiques des calcaires du Maestrichtien, leur profondeur et épaisseur.
- 6- Une étude hydrochimique a pour but de déterminer le faciès chimique des eaux souterraines en utilisant les Diagrammes de Piper et Schoeller- Berkhaloff.

Introduction :

La région d'étude se situe à l'extrême Nord-Est Algérien. Elle se trouve à 140 Km au Sud-Est de la ville d'Annaba et à 200 Km à l'extrême de Constantine. Le secteur de souk Ahras se trouve dans une zone de transition entre l'atlas tellien et l'atlas saharien. La zone de M'Daourouch appartient aux monts méridionaux de Souk Ahras. Elle se trouve entre deux grands oueds : l'Oued Medjarda au Nord et l'Oued Mellegue au Sud.

La région de M'Daourouch fait partie des hautes plaines du Nord-Est algérien, situé au Sud-Ouest de la wilaya de Souk-Ahras. L'orographie est constituée d'un système montagneux de l'atlas saharien.



Figure 1: Localisation géographique de la région de M'Daourouch-Dréa (source : Google)

I.1. Aperçu socio-économique :

La plaine de M'Daourouch-Dréa constitue une région à vocation agricole, actuellement c'est l'industrie avec ses différentes installations qui commencent à prendre de l'ampleur. Les besoins en eau domestiques, industrielles (usine de lait, usine de pâte etc...) et agricoles augmentent d'année en année surtout avec la diminution des précipitations due aux changements climatiques.

I.2. Morphologie :

L'aire d'étude se présente sous forme d'un vaste synclinal, bordé au Nord et au Sud par des anticlinaux. Le réseau hydrographique de la région est constitué par les Oueds : Hammam, Medjerda et Tifech, l'écoulement principal se fait du Sud vers le Nord. Le climat est semi-aride avec une végétation du type steppique, au Nord et Sud-Est de la région de M'Daourouch. Le synclinal est bordé au Nord par la chaîne montagneuse des Djebels Zarouria (1054m) ; Oum Debara (1056 m) et au Sud par la chaîne montagneuse des Djebels Draà Snouber (1064 m) ; Boussessou (1087 m) figure 2.

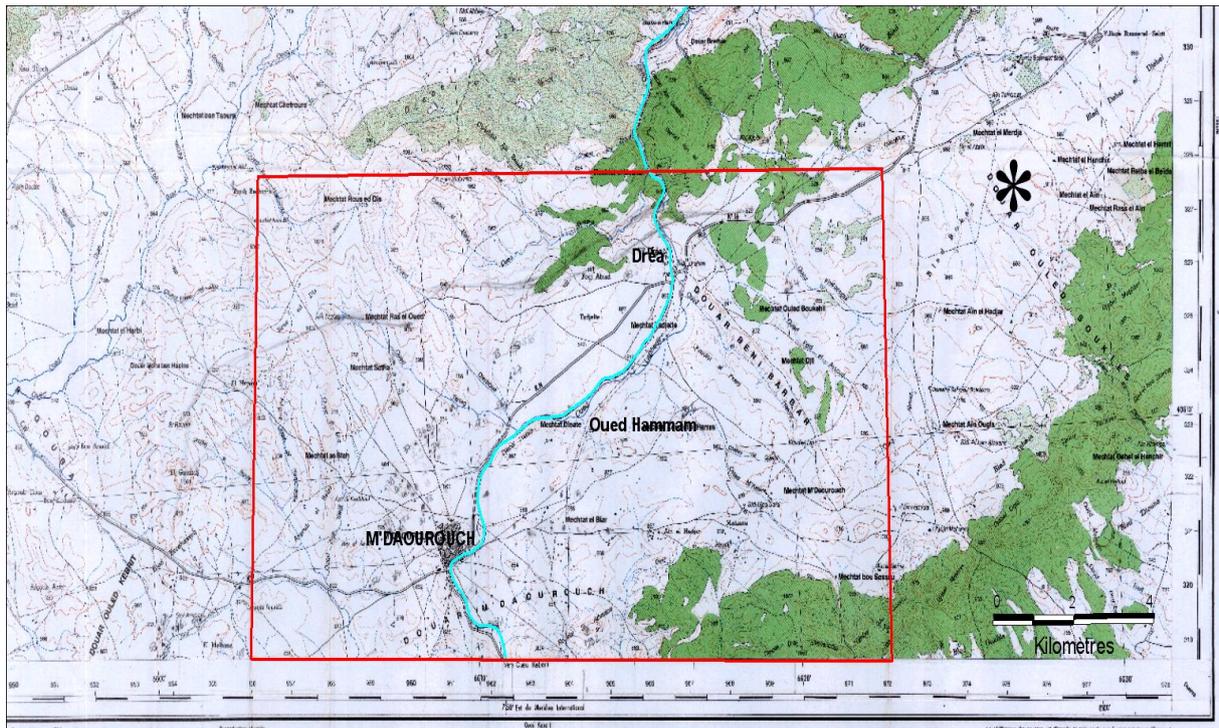


Figure 2 : Localisation et limite de la région de M'Daourouch-Dréa (carte topographique)

Introduction :

La géologie régionale consiste en un ensemble de formations structuré au long de l'orogénèse des chaînes tello-rifaines ou maghrébides, lors de l'édifice alpin. En conséquence, dans la région de Souk Ahras, les formations d'âges Mésozoïque et Cénozoïque ont subi les effets des phases tectoniques en succession. La région de Souk Ahras, comprend au Nord des terrains allochtones composés d'unités du domaine interne, du domaine des flyschs et du domaine externe; au Sud et à l'Est, jusqu'aux confins Algéro-Tunisiens, affleure un ensemble intensément plissé et fracturé de l'avant pays atlasique.

II.1. Définition d'un synclinal :

Synclinal est une déformation souple des terrains géologiques sous forme concave, c'est-à-dire en forme de cuvette. Le remplissage de certains synclinaux par des formations détritiques à granulométrie grossières (sables, graviers ou parfois un mélange) peut être un lieu de circulation et stockage des eaux d'infiltration, l'importance de ces aquifères dépend de la puissance de ce remplissage et du pourcentage d'éléments fins.

II.2. Stratigraphie :

Sur le territoire de la feuille 100 (Figure 3) sont reconnus les terrains carbonatés, marins, carbonatés terrigènes et évaporitiques du Trias, Crétacé, Paléogène et du Néogène. Les facies continentaux représentent les formations meubles ou faiblement cimentées du Pliocène, Plio-Quaternaire et Quaternaire.

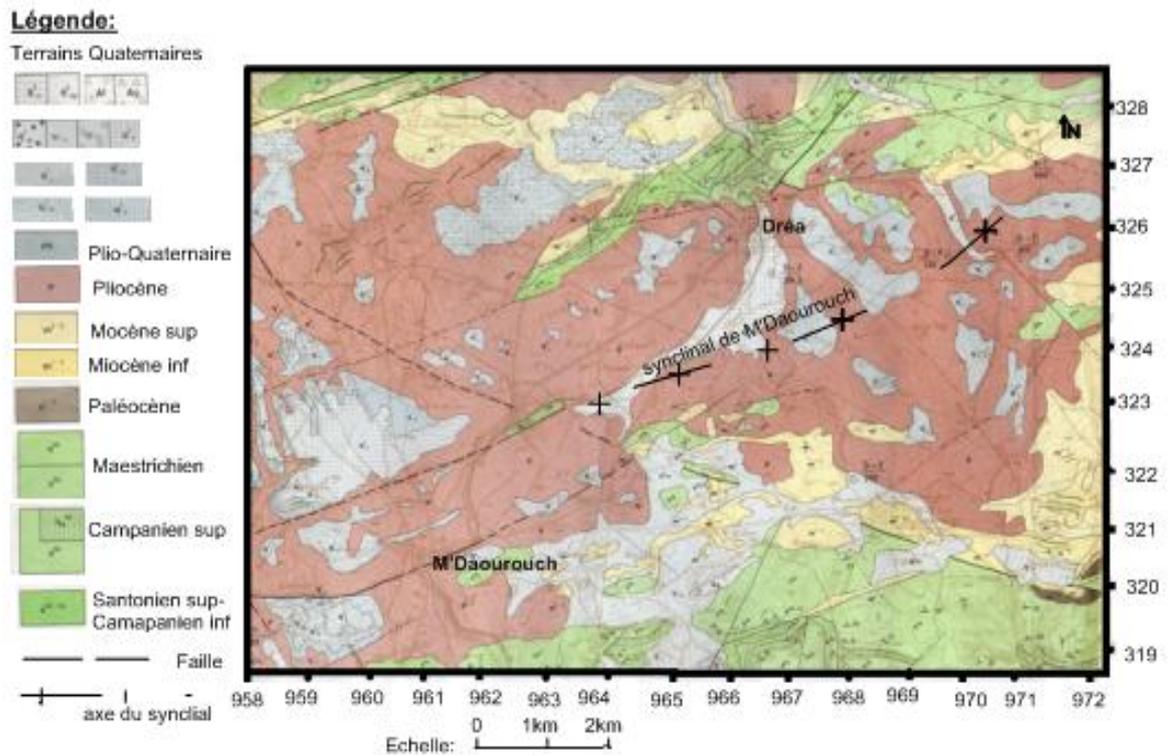


Figure 3 : Extrait de la carte géologique de M'Daourouch au 1/50000

II.2.1. Quaternaire :

Les terrains d'âge Quaternaire englobent les formations postérieures à la dernière phase de plissement qui ont suivi le dépôt du Miocène. Ils se composent en général de formations continentales telles que les nappes d'épandage, les terrasses alluviales, des éboulis et des limons. Selon leur caractéristique, ces dépôts ont été regroupés en deux groupes.

-*Formations actuelles* : Ces formations sont représentées par les dépôts gravitationnels (éboulis, gisements de terrains), épandages (blocs, galets, sable, limon) et alluvions du lit vif, des lits de crues et des basses terrasses (galets, gravier, sable, limon sableux ou argileux).

- *Quaternaire supérieur* : composé de pente - dépôts torrentiels, dépôts déluviaux-proluviaux (cailloutis, limon), alluvions des terrasses médianes (cailloutis, gravier, limon).

II.2.2. Pliocène :

Il est constitué d'argiles rouges, grès poudingue, marnes et calcaires lacustres. Ces dépôts sont surmontés de marnes argileuses, conglomérats, gravelites.

II.2.3. *Miocène* :

La puissante série terrigène du Miocène participe au remplissage des dépressions intermontagneuse et constitue le cœur des structures synclinales.

Elle se subdivise en termes inférieur, daté du Miocène inférieur-moyen, et supérieur, attribué au Miocène moyen-supérieur.

- Miocène inférieur-moyen composé de conglomérats, grès, argiles, marnes ;
- Miocène moyen-supérieur composé de argiles, marnes, silts, grès.

II.2.4. *Paléogène* :

Essentiellement marneux l'ensemble est recouvert par des formations récentes Mio-Plio-Quaternaire de conglomérats, grès, graviers, sables, marnes calcaires lacustres et alluvions.

Ces formations plus récentes de galets, graviers et sables d'âge Mio-Plio-Quaternaire, ont un potentiel aquifère important, localisé essentiellement en bordure des reliefs.

II.2.5. *Maestrichtien* :

Les terrains du Maestrichtien affleurent en quelques points isolés, constituant conjointement avec les roches du Campanien supérieur les parties les plus hautes et les plus étendues des chaînes en cuesta. Ils reposent aux sommets des falaises et recouvrent les versants en pente douce par leur lithologie, les terrains maestrichtiens se divisent nettement en deux séries formant les sous-étages inférieur et supérieur.

-Maestrichtien inférieur : composé de marnes et de calcaire marneux, surmonté par des marnes argileuses et calcaires marneux de 100 à 140 m d'âge *Maestrichtien supérieur*.

Les calcaire fissurés, karstifiés de Maestrichtien sont très importants au point de vue hydrogéologique peuvent constituer un aquifère.

II.2.6. *Trias* :

La particularité des terrains triasiques est l'hétérogénéité de leur composition. C'est une brèche tectonique, dite « mélange », constituée d'éléments et des blocs de calcaires, grès, dolomies, le tout cimenté par une matrice grésogypso-argileuse contenant des menus fragments de ces mêmes roches.

II.3. Lithostratigraphie de la région :

La nature lithologique des grandes formations géologiques rencontrées dans la région de M'Daourouch qui va du Trias, étant la plus ancienne formation, au Quaternaire qui représente les terrains les plus récents de l'échelle stratigraphique Tableau 1:

Tableau 1 : synthèse lithostratigraphique de la région

Age	Lithologie dominante
Quaternaire	-Alluvions, terrasses.
Mio-Pliocène Continental	-Argiles rouge, sables, agglomérats.
Miocène supérieur	-Argiles et argiles sableuses.
Miocène inférieur	-Argiles sableuses. argiles et calcaires lacustres.
Oligocène	-Argiles rouge et argiles sableuses de Numidie.
Eocène moyen	-Marnes et nappes de calcaires.
Eocène inférieur	-Marnes et nappes de calcaires.
Crétacé supérieur	-Calcaire Sénonien et marnes.
Crétacé inférieur et moyen	-Marnes et calcaire marneux Turoniens.
Trias	-Marnes Gypses, calcaires et dolomie.

II.4. Tectonique :

Sur le plan tectonique, la région est recoupée par un réseau de faille qu'on peut regrouper en deux familles principales, la première d'orientation Nord Ouest- Sud Est et la seconde Nord Est-Sud Ouest le rejet est de l'ordre de plusieurs dizaines de mètres.

Une série de plis parallèle aux failles, de direction principale identique au deuxième groupe famille de failles est à noter, (figure 4).

Les plis de cet ensemble étroits, raides, formant des synclinaux au Nord et des brachysynclinaux plus larges et plats, ainsi des structures en forme de combes dans la partie du Sud.

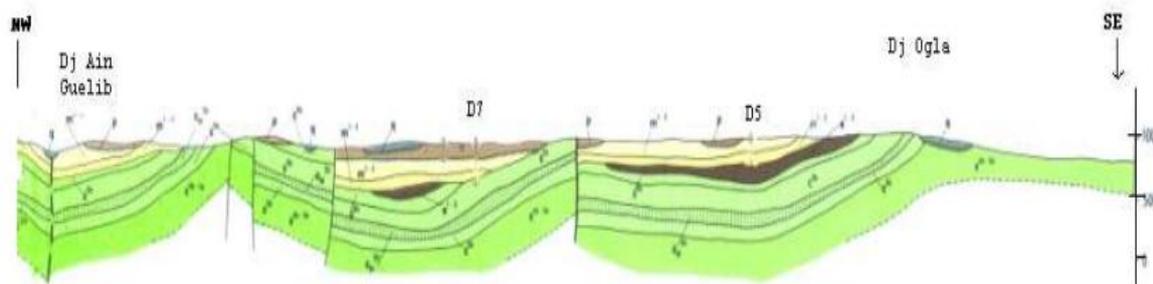


Figure 4 : Coupe géologique extraite de la carte de M'Daourouch au 1/50000

Conclusion :

D'après la carte géologique de M'Daourouch les terrains constitués de calcaires, d'épaisseurs variables, ont été fortement fracturés et profondément plissés. Les synclinaux constituent ainsi de vastes dépressions remplies de sédiments Tertiaires hétérogènes essentiellement de type continental.

Le cadre géologique indique, en contexte hydrogéologique, que le synclinal de la M'Daourouch constituerait une unité hydrogéologique, à aquifères développés dans les calcaires fissurés du crétacé supérieur (Maestrichtien) et dans les galets, graviers, sables du Moi-Plio-Quaternaire.

Introduction :

Les caractéristiques climatiques influencent les variations des réserves en eaux souterraines, de ce fait il est impératif de connaître leurs évolutions dans le temps et dans l'espace. Aujourd'hui de nombreuses questions se posent concernant l'avenir de la planète terre vis-à-vis des changements des caractéristiques climatiques. Le continent Africain reste le plus exposé aux soubresauts du climat. Pour mieux comprendre le fonctionnement et les influences d'un système hydraulique de surface dans une région donnée, il est nécessaire d'établir un bilan hydrique. L'évaluation de ce bilan exige la connaissance des paramètres suivants : les précipitations, l'infiltration, l'évaporation et les ruissellements.

Les observations climatologiques ont été enregistrées à la station météorologique de Sedrata.

III.1. Analyse des facteurs climatiques :

Les facteurs climatiques jouent un rôle déterminant dans l'alimentation des nappes souterraines par le biais de l'infiltration, cette dernière dépend directement du taux des précipitations tombées dans la région.

III.1.1. Les précipitations :

Les précipitations constituent une composante essentielle du cycle de l'eau. Elles permettent le renouvellement total ou partiel des nappes par le biais des infiltrations et elles conditionnent l'écoulement saisonnier et le régime des cours d'eaux. En général, quatre aspects sont discutés, il s'agit du coefficient pluviométrique et des répartitions saisonnières, mensuelles et annuelles.

Les précipitations sont relevées à la station de Sedrata, les moyennes mensuelles ont été calculées sur une série 20ans (1971-1991) (tableau 1.)

Tableau 2 : Précipitations moyennes mensuelles en (mm) à la station de Sedrata

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avril	Mai	Juin	Juit	Aou t	Total
P en mm	29	36	47	60	60	57	50	40	44	18	08	07	442.5

La précipitation en histogramme des précipitations moyennes mensuelles à la station de Sedrata montre une hétérogénéité importante des précipitations d'un mois à un autre. Avec une valeur maximale qui atteint 60 mm au mois de janvier et un minimum de l'ordre de 07 au mois d'Aout figure.

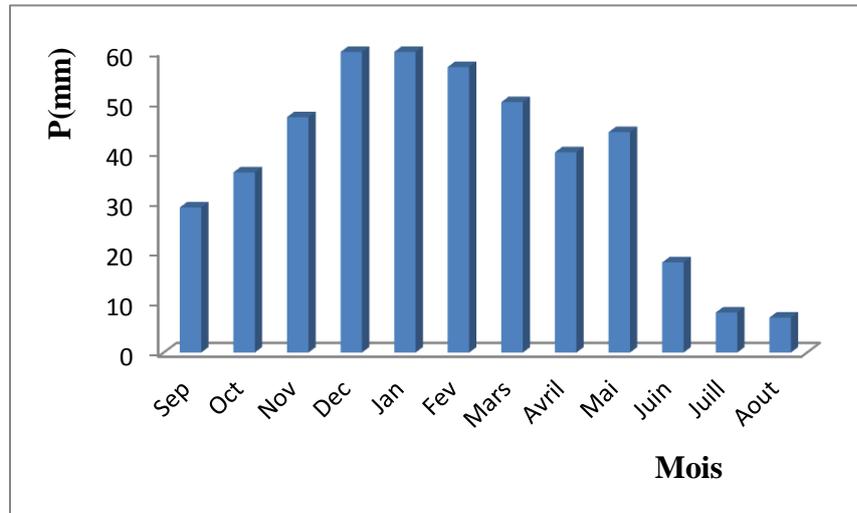


Figure 5: Histogramme des précipitations moyennes mensuelles à la station de Sedrata (1971-1991)

III.1.2. La température :

La température est un facteur très important dans l'évolution du déficit d'écoulement qui entre dans l'estimation hydrologique, ce paramètre est indispensable à la climatologie, vu son pouvoir évaporateur qu'il exerce sur les surfaces mouillées, et qu'il est à l'origine du bon fonctionnement du cycle de l'eau. On dispose des données de températures moyennes mensuelles de la station de Sedrata (tableau 3).

Tableau 3 : Température moyennes mensuelles en °C à la station de Sedrata (1971-1991).

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avril	Mai	Juin	Juit	Aout
Temp °c	12.9	7.5	4.7	1.7	0.3	1.1	3.2	4.6	8.5	12.3	14.5	15.1

D'après ce tableau, on peut distinguer :

- Une diminution de la température à partir du mois de Septembre pour atteindre sa valeur minimale au mois de Janvier, c'est le mois le plus froid.
- Une élévation de la température où la température croit progressivement du mois de Février pour arriver à une valeur maximale au mois d'Aout, c'est le mois le plus chaud.

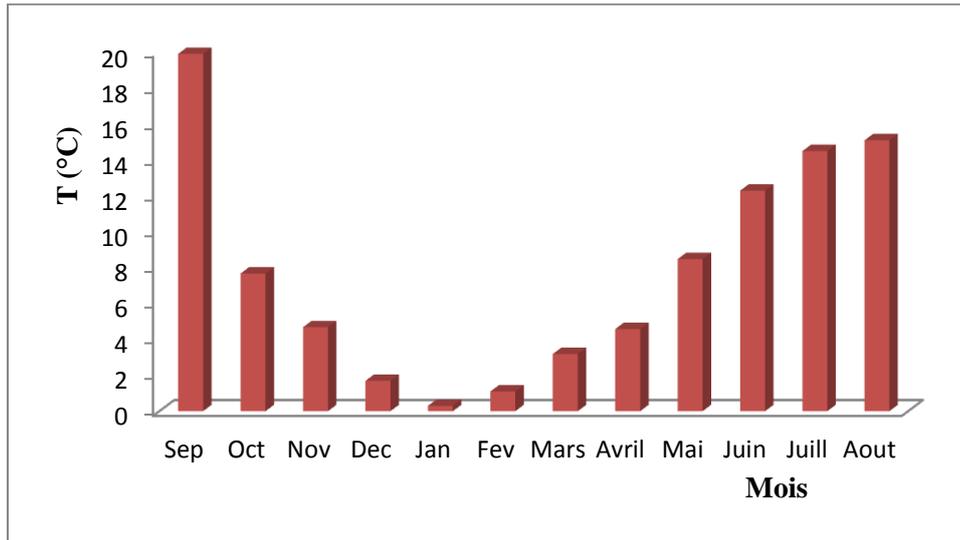


Figure 6 : Histogramme des températures moyennes mensuelles à la station de Sedrata (1971-1991).

III.1.3. Diagramme pluvio-thermique :

Les valeurs des précipitations et des températures enregistrées au niveau de la station de Sedrata permettent l'établissement du diagramme pluvio-thermique (Figure 7), ce dernier montre la succession de deux saisons l'une sèche et l'autre humides. La première s'étale du mois de Mai jusqu'au mois d'Octobre, la seconde va du mois d'Octobre jusqu'au mois d'Avril compris. Les deux saisons durent en moyenne six mois par an.

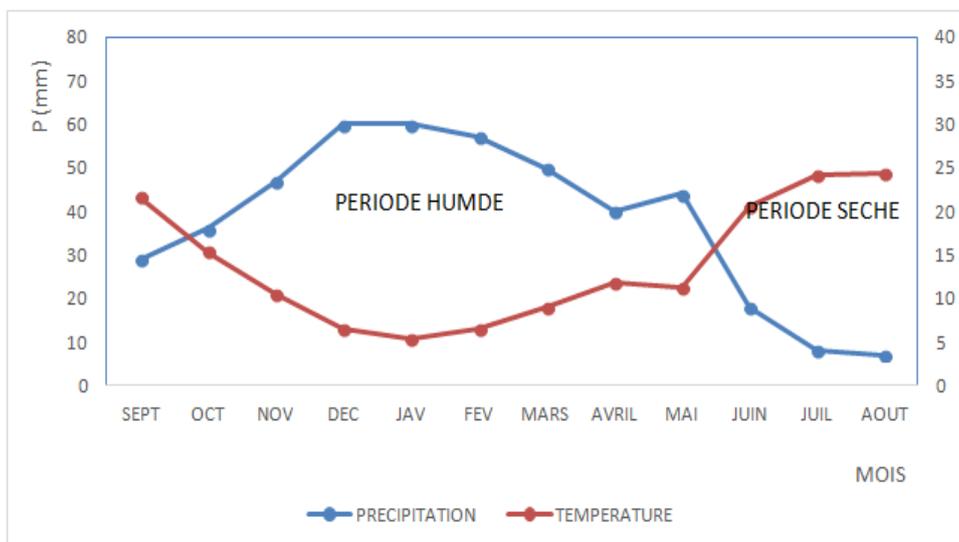


Figure 7 : Courbe pluvio-thermique (Station de Sedrata)

III.2. Bilan hydrique :

Le bilan hydrique exprime le processus que suit une quantité d'eau arrivant au sol par précipitation ou neige avant de se retourner à l'atmosphère.

Le bilan hydrologique naturel peut se calculer par la formule suivante (Castany 1982)

$$P=ETR+R+I$$

Avec :

P : précipitations moyennes annuelle en mm/an

ETR : évapotranspiration réelle en mm/an

R : ruissellement en mm /an

I : infiltration en mm/an

III.2.1. L'évapotranspiration :

C'est un terme important du cycle hydrique qui résulte de deux phénomènes, l'un physique (l'évaporation), l'autre biologique (la transpiration) ; l'évapotranspiration est fonction de plusieurs facteurs (l'humidité, la température, l'insolation et la couverture végétale).

III.2.2. Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP) :

Pour l'estimation de l'ETP, on utilise la formule de Thornthwaite qui permet à partir des températures (°C), le coefficient correctif mensuel (K) et l'indice thermique mensuel (i) de calculer l'évapotranspiration potentielle ETP selon la relation suivante :

$$ETP = 1.6 (10t/I)^a .k$$

Avec:

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.5} \text{ et } I = \sum_1^{12} i$$

ETP: évapotranspiration mensuelle en mm

a = 1.6/100. I +0, 5

t: température moyenne mensuelle en °C

i: indice thermique mensuel

I: indice thermique annuel qui est la somme des facteurs thermiques mensuels (i)

K: Facteur de correction intégrant la durée d'insolation et le nombre de jour, de mois et la température et de la latitude de la station météorologique.

III.2.3. L'évapotranspiration réelle (ETR) :

Les pertes d'eau d'un sol atteignant l'ETP si elles sont supérieures ou égales au stock d'eau de la RFU.

En cas d'insuffisance elles sont limitées à une quantité plus petite, cette limite est appelée l'évapotranspiration réelle (Castany). Cette estimation se fera à partir de formule de Thornthwaite.

Evapotranspiration réelle par la formule de Thornthwaite :

Pour l'établissement du bilan mensuel on utilise l'évapotranspiration potentielle par la méthode de Thornthwaite.

Ce bilan repose sur l'hypothèse suivante :

- La satisfaction de l'ETR est prioritaire sur l'écoulement.
- Le calcul de L'ETR peut s'effectuer suivant deux cas :

Premier cas : $P > ETP$, $ETR = ETP$ on a alors un excédent.

Deuxième cas : $P < ETP$, $ETR = P + RFU$.

III.2.4. Estimation des réserves facilement utilisables (RFU) :

Elle présente la quantité d'eau emmagasinée dans le sol, son degré de saturation dépend de plusieurs facteurs :

- La nature, la lithologie et l'épaisseur de la couche superficielle ;
- La profondeur du niveau piézoélectrique de la nappe aquifère ;
- Le climat de la région ;
- Le type de la couverture végétale.

La RFU pour la région de M'Daourouch, en tenant compte de tous ces facteurs seraient de 46mm.

Un bilan hydrologique global annuel a été calculé pour la station de Sedrata. Les résultats obtenus sont enregistrés dans le tableau 4.

Tableau 1 : Bilan hydrique selon la méthode de « THORNTHWAITE » pour la station de Sedrata.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Total
P (mm)	29	36	47	60	60	57	50	40	44	18	08	07	456mm
T(C)	21.55	15.30	10.50	6.45	5.30	6.50	8.90	11.75	11.25	20.35	24.20	24.40	
K	1.05	0.91	0.75	0.7	0.73	0.78	1.02	1.15	1.32	1.33	1.33	1.24	
I	9.13	5.43	3.07	1.47	1.09	1.48	2.39	3.64	3.41	8.37	10.88	11.02	61.38
ETP	107.7	56.2	26.5	12	9.3	13.5	28.2	48.1	51.7	125.4	162	152.9	793.9
ETR	29	36	26.5	12	9.3	13.5	28.2	48.1	51.7	48.2	08	07	317.5
RFU	0	0	20.5	46	46	46	46	37.9	30.2	0	0	0	
EX	0	0	0	22.5	50.7	43.5	21.8	0	0	0	0	0	138.5
DA	78.7	20.2	0	0	0	0	0	0	0	77.2	154	145.9	479

III.2.5. Calcul du ruissellement :

Le ruissellement (**R**) peut être calculé par la formule suivante d'après (Tixeront Berkallof) :

Avec la condition de $P < 600$ mm

$$R = P^3 / 3 \cdot (ETP)^2 = 50.14 \text{ mm} \quad 11 \% \text{ de précipitations}$$

- **R** : ruissellement en mm ;
- **P** : précipitation moyenne mensuelle en mm ;
- **ETP** : évapotranspiration potentielle en mm.

III.2.6. Calcul de l'infiltration :

D'après le bilan hydrologique l'infiltration efficace peut être calculée comme suit :

$$P = ETR + R + I$$

Avec:

$$I = P - (ETR + R) = 456 - (317.5 + 50.14) = 88.36 \text{ mm} \quad 19,37 \% \text{ de précipitations}$$

Tableau 5 : Répartition des précipitations

P (mm)	ETR	R	I
100 %	69,62	11	19,62
456 mm	317,5	50,14	88,36

Le bilan hydrique nous a permis d'évaluer la part de chaque paramètre hydrologique. Les résultats obtenus sur le bilan de Thornthwaite, qui nous permet une lecture simple des différents éléments du bilan.

D'après l'établissement de ce bilan on a pu tirer ces conclusions.

- Le déficit agricole se marque à partir du mois de Mai et se poursuit jusqu'au Octobre, période pendant laquelle la RFU est épuisée, on aura aussi un excédent qui varie de 0.00 mm au mois de Novembre à 50.7 mm au mois de Janvier et puis il se diminue à 21.8 mm au mois de Mars revenant à 0.00 mm à partir du mois d'Avril.
- Les hauteurs de précipitation atteignent leurs maximums au mois janvier (60 mm) où l'ETP atteint en janvier un minimum (9.3 mm).
- L'ETP atteint son maximum au mois de Juillet (162 mm) où les précipitations atteignent (08 mm).
- Pendant le mois de Novembre le stock se reconstitue où la RFU atteint son maximum (46 mm) au mois de Décembre, puis demeure jusqu'au mois de Mai ensuite diminue jusqu'à l'épuisement total (Juin).

Conclusion:

L'étude hydroclimatologique nous a permis de conclure que notre zone d'étude est caractérisée d'un climat semi-aride. La pluie n'est pas homogène sur toute la surface de la zone, les apports diffèrent d'une zone à une autre, elles sont sous la dépendance de deux facteurs essentiels la latitude et l'altitude. Les mois les plus pluvieux sont Janvier et Décembre avec la valeur d'ordre de 60mm

La synthèse de données climatiques nous permet de distinguer que la température moyenne annuelle est de 14.28 °C et la précipitation est de 456mm. Le bilan hydrologique se répartit comme suit : l'évapotranspiration constitue 317.5%, le ruissellement 11% enfin l'infiltration 19.37%, cette dernière permettra de jouer un rôle important dans la recharge des nappes des eaux souterraines.

Introduction :

L'étude hydrogéologique est consacrée à l'identification du système aquifère, sa nature lithologique, sa structure, sa géométrie, sa limite et déterminer les ressources en eau souterraines et leur conditions d'écoulements. Pour atteindre cet objectif il est nécessaire d'avoir des informations sur la lithologie des forages, l'interprétation des résultats des essais par pompage et l'étude piézométrique ou parfois quelques méthodes d'exploration tel que la géophysique et la géologie de la zone concernée.

IV.1. Inventaire des points d'eau de la région M'Daourouch-Dréa :

Nous avons recensé 13 forages implantés dans la région et quelques sources situées dans leur majorité en bordure du synclinal, ces différents points d'eau sont exploités pour l'alimentation en eau potable, nous avons aussi noté un nombre important de puits particuliers de différentes profondeurs destinés à l'eau potable des habitations non reliées aux réseau de distribution d'une part et d'autre part pour l'irrigation des petites parcelles de terres cultivées ainsi que pour l'élevage (figure 8).

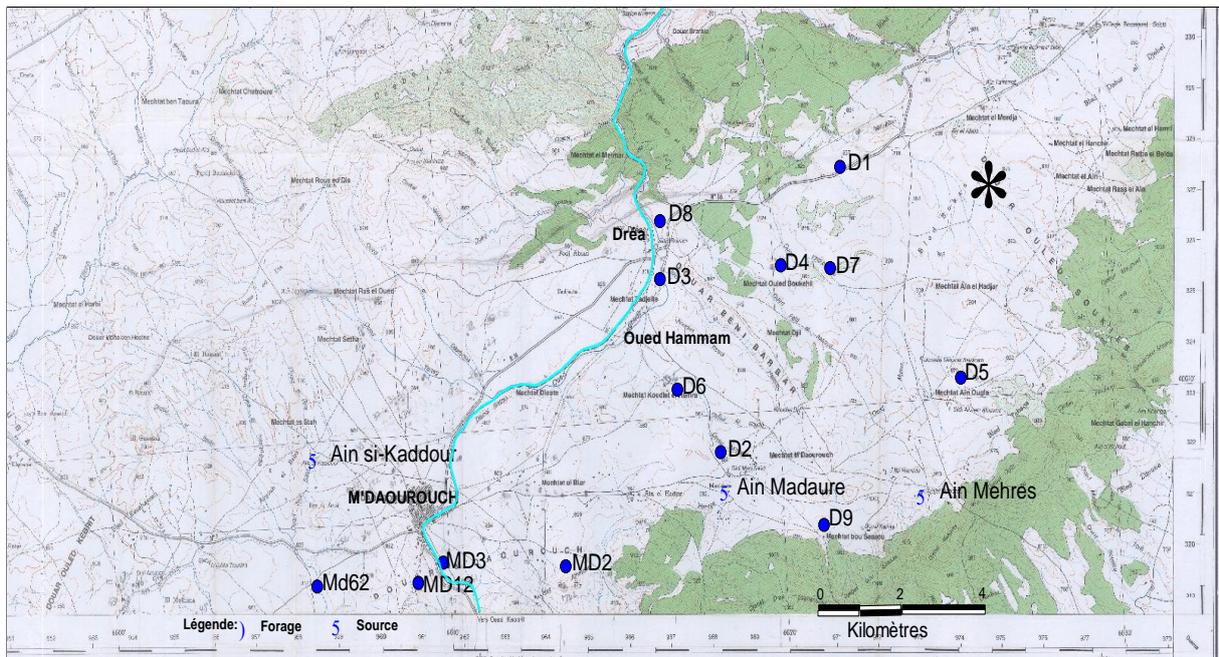


Figure 8: Carte d'inventaire des points d'eau

IV.2. Identification des aquifères :

Afin de mieux appréhender l'extension lithologique dans l'espace de la région et déterminer la géométrie des aquifères, nous avons dépouillé les données de forage disponibles dans la région M'Daourouch-Dréa. L'élaboration d'une corrélation lithologique entre les forages mécaniques selon plusieurs directions et leur analyse nous a permis de mettre en évidence deux aquifères :

IV.2.1. Aquifère détritique :

Il est formé par des formations plus récentes de galets, graviers et sables d'âge Mio-Plio-Quaternaire, qui repose sur un substratum de calcaire, parfois marne, argile sableuse, et argile rouge. Il est captif dans la zone du MD2 et D2 et libre dans la zone D3, D7, D1 et Md62.

Le toit est composé d'argiles rouges, parfois argile jaunâtre. Son épaisseur varie de 10 mètres (minimum au niveau du D3), et atteint son épaisseur maximale de 90 mètres au niveau du D1 tableau 6, figure 19.

Tableau 6 : Inventaire des forages de l'aquifère de la région

Forage	Lithologie	Lithologie de l'aquifère	Type	Toit	Mur	Epaisseur (m)
MD2	0-4 m Argile cailloutis, 4-16 m sables et graviers grossiers, 16-112 m calcaire beige fissuré.	Sable et graviers grossiers	Captif	Argiles et cailloutis	Calcaire beige Fissuré	12 m
D2	0-22 m Argiles jaunes, 22-60 m grés et graviers, 60-74 m argile sableuse, 74-150 m calcaire, 150-208 m marne, 208-242 m calcaire blanchâtre	Grés et gravier	Captif	Argiles jaunes	Argile sableuse	38 m
D3	0-10 m Gravier, 10-42 m argiles rouges, sable, 42-106 m calcaire blanchâtre	Gravier	Libre		Argile rouge	10 m
D7	0-2 m Sable, 2-12 m sable, gravier, galets, 12-246 m marnes, 246-295 m calcaire blanchâtre	Sable, gravier	Libre		Marne	12 m
D1	0-90 m Conglomérats, grés, sables, 90-125 m marnes, calcaires marneux, 125-175 m Calcaires blanc crayeux, 175-228 marnes et marneux calcaire, 228-286 m calcaire, 286-400 m marnes	Conglomérats, grés, sable	Libre		Marnes, et calcaires marneux	90 m
Md62	0-6 m Conglomérats, 6-16 m argiles, 16-70 m marnes, 70-86 m grés, 86-287 m marnes, 287-335 m grés, 335-421 m calcaires fissurés	Conglomérats	Libre		Argiles	6 m

- la corrélation lithologique I (figure 9) :

- Au Nord-Est de la région, dans la zone du forage D1, en surface il s'agit de conglomérats, grès, sables avec une granulométrie importante d'une épaisseur de 90 m repose directement sur les marno calcaires. La Nappe est libre ce qui veut dire qu'elle est alimenté directement par l'infiltration des précipitations. En allant vers Sud-Ouest cette couche disparaît progressivement dans la zone entre D4 et D6 avec de passage latéral de faciès de couches argileuses. Cette couche argileuse est importante dans la zone du D4 avec une épaisseur maximale de 95m et s'amincit en allant vers D6 ou atteint son épaisseur minimale de 6m.
- Au Sud-Ouest dans la MD2 l'épaisseur de la couche des graviers grossiers, sables devient importante et repose directement sur les calcaires, en l'absence d'un forage profond nous ne pouvons pas connaître la profondeur des calcaires qui constituent le substratum des dépôts alluvionnaires mais sa profondeur est connue dans la zone D6, sa profondeur est de 113 m.

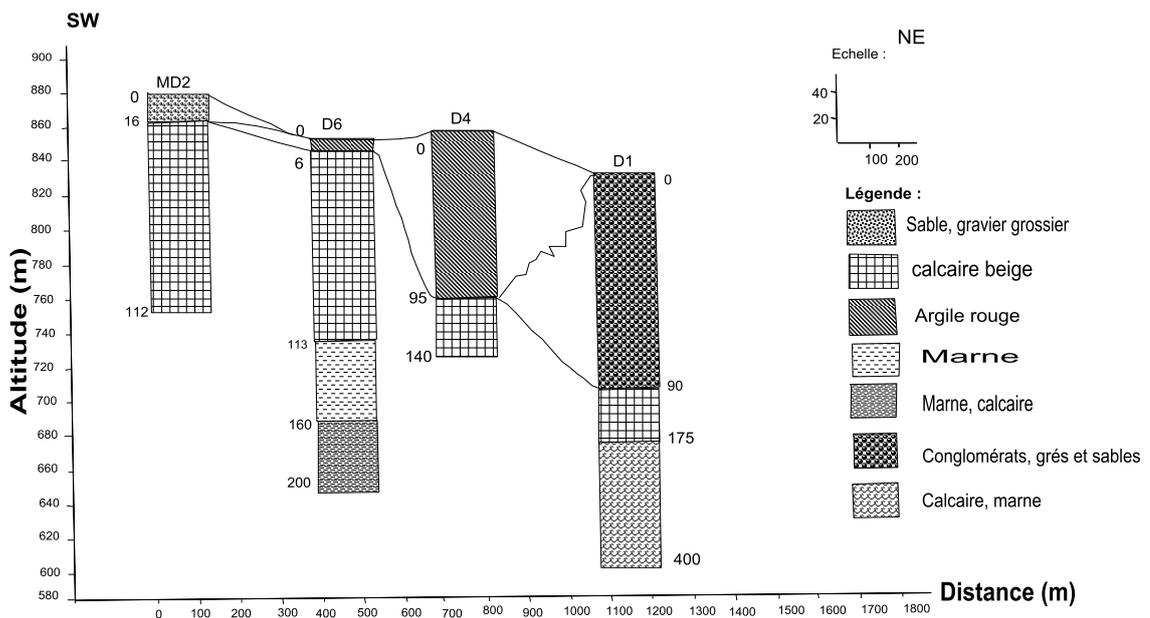


Figure 9: Corrélation lithologique I.

IV.2.2. Toit de l'aquifère alluvionnaire :

Les données lithologique des forages nous ont permis de dresser une carte de la profondeur du toit de cet aquifère ((figure 10)., La répartition des courbes isoprofondeur nous permet de connaitre la profondeur du toit au niveau de la région d'étude ; le toit le plus profond est observé dans la partie Sud-Est de la ville de M'Daourouch au niveau du forage D2, où il atteint 22 m, le moins profond est celui du forage MD2 qui se trouve à l'ouest de la ville avec une profondeur de 4 m. les autres forages D1,D3, Md62 et D7 qui sont situés à l'Est de Dréa ont un toit libre

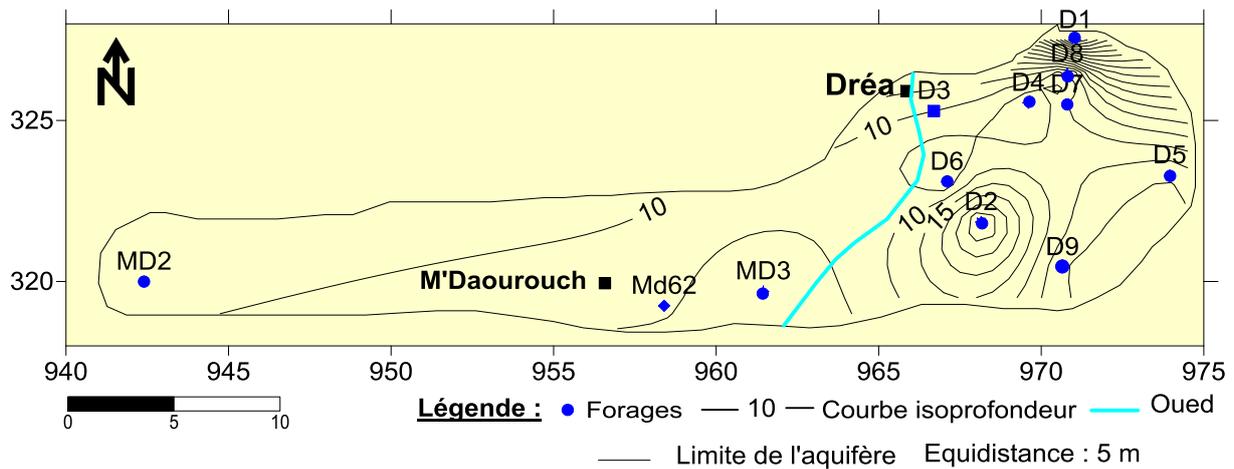


Figure 10 : Carte d'isoprofondeur du toit de l'aquifère alluvionnaire

IV.2.3. Le mur de l'aquifère alluvionnaire :

La répartition des courbes d' isoprofondeur du mur de cet aquifère montre qu'il peut atteindre jusqu'au 90m dans certain endroit, c'est le cas du forage D1 situé au Nord- Est de la région. Au Sud la profondeur du mur ne dépasse pas 16 m, les faibles profondeurs ont été observées au niveau des forages MD2 et Md62 à proximité du village de M'Daourouch (Figure 11).

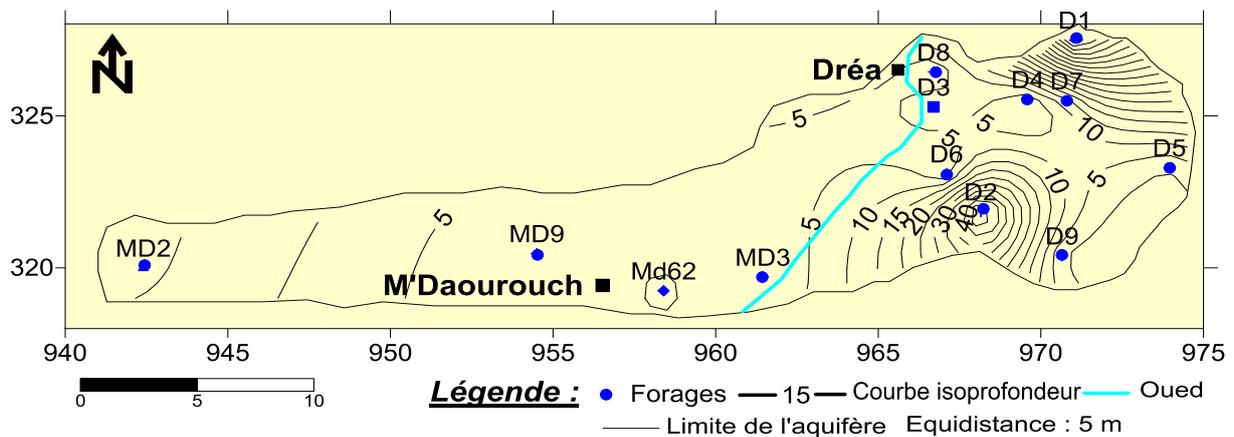


Figure 11 : Carte d'isoprofondeur du mur de l'aquifère alluvionnaire

IV.2.4. L'épaisseur de l'aquifère alluvionnaire :

La carte d'égalé épaisseur a une morphologie semblable à celle du mur surtout dans la partie Nord- Est, l'épaisseur de la majorité des forages étudiés à travers la région ne dépasse pas 90 m, elle est maximale au niveau du D1 situé au Nord-Est de la région. L'épaisseur minimale varie entre 6 à 16 m au niveau du Md62 et MD2 au Sud et Sud-Est de la région (figure 12).

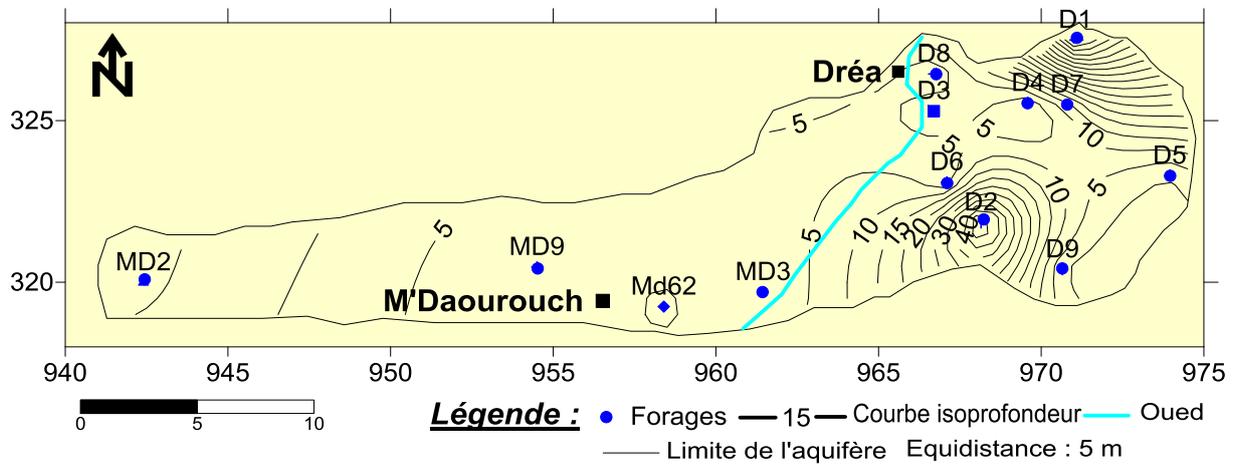


Figure 12 : Carte d'épaisseur de l'aquifère alluvionnaire

IV.3. Paramètres hydrodynamiques :

Les paramètres hydrodynamiques tels que la perméabilité (K en m/s) et transmissivité (T en m²/s) sont les paramètres de base pour évaluer les caractéristiques d'un aquifère.

IV.3.1. La transmissivité :

La transmissivité représente le débit d'un niveau aquifère sur toute son épaisseur, par unité de largeur et sous un gradient hydraulique unitaire.

Elle correspond donc au produit de la perméabilité moyenne K(en m/s) par l'épaisseur du niveau e (en m), soit :

$$T \text{ (m}^2\text{/s)} = k.e$$

IV.3.2. La Perméabilité :

La perméabilité K d'un aquifère caractérise la facilité avec laquelle l'eau le traverse sous l'effet d'un gradient hydraulique, et s'exprime en m/s.

IV.3.3. Coefficient d'emménagement S :

C'est le rapport du volume d'eau libéré par unité de surface, sous une charge hydraulique unitaire, et détermine la fonction capacitive de l'aquifère.

Il exprime, en nappe libre, la capacité de vidange des pores de la roche et peut donc être assimilé à sa porosité efficace. En nappe captive il résulte de la décompression de la roche et de l'eau continue dans ses pores.

IV.3.4. Essai de pompage du Forage D2 :

Pour la détermination des paramètres hydrodynamiques importants, il faut réaliser un essai de pompage de 72 h avec un débit constant en mesurant le niveau dynamique à l'intérieur de piézomètre situé à différente distance du forage. L'interprétation de ses paramètres consiste à établir plusieurs courbes et les interpréter :

a) Courbe de descente :

En reportant sur l'axe des abscisses les temps en secondes sur l'axe des ordonnées les rabattements correspondant en mètres. Nous joignons les points à l'aide d'une droite qu'on appelle courbe de descente (figure 13).

La valeur de la transmissivité est de :

$$T = \frac{0.183 \times Q}{C}$$

La pente sur le graphique « descente » donne :

$$C = 5.29 - 5 = 0.29 \text{ m ; le débit} = 5 \text{ l/s ce qui fait } 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$T = \frac{0.183 \times 5 \cdot 10^{-3}}{0.25} = 0.315 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}.$$

$$K = \frac{0.315 \times 10^{-2}}{42} = 0.75 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$$

La transmissivité moyenne est de $0.168 \times 10^{-2} \text{ m/s}$ et sa perméabilité est de $0,585 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$.

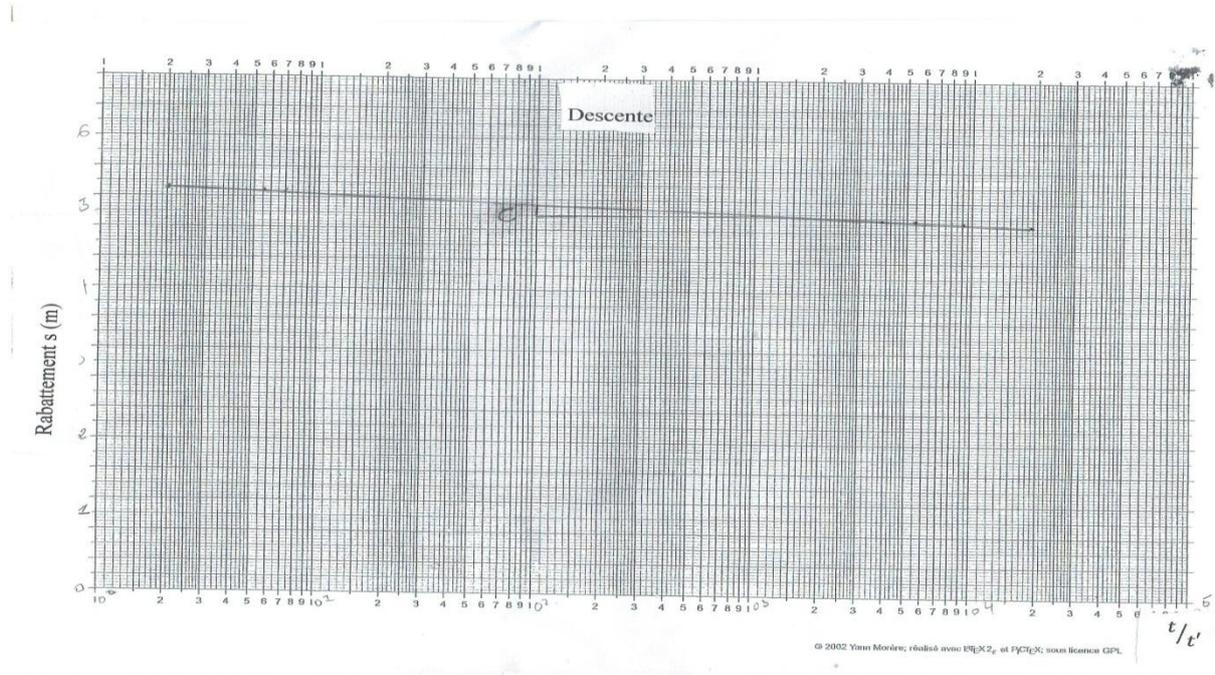


Figure 13: Courbe de descente du Forage D2

b) Courbe de remontée :

Peut être déterminé en rapportant sur un papier semi-logarithmique les rabattements de piézomètre en ordonné et en abscisse les distance correspondantes par rapport à l'axe du forage (Figure 14).

Détermination de la transmissivité T :

L'équation de la remonté est comme suit :

$$S_r = \frac{0.183 \times Q}{T} \times \log \frac{t+t'}{t'} \quad \text{Où :}$$

S_r est le rabattement résiduel mesuré instantanément après l'arrêt de pompage :

t : Temps écoulé depuis le début de pompage en secondes

t' : Temps écoulé depuis l'arrêt de pompage.

Selon l'approximation de Jacob, la valeur de la transmissivité est de :

$$T = \frac{0.183 \times Q}{c}$$

La pente sur le graphique « remonté » donne :

$C = 5.25 - 5 = 0.25 \text{ m}$; le débit = 5 l/s ce qui fait $5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$.

$$T = \frac{0.183 \times 5 \cdot 10^{-3}}{0.25} = 0.228 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}.$$

La perméabilité est donné par :

$$T = K \cdot e \text{ alors } K = \frac{T}{e} \text{ où :}$$

K : perméabilité

T : transmissivité

e : Epaisseur de l'aquifère

La valeur de la perméabilité est :

$$K = \frac{0.228 \times 10^{-3}}{42} = 0,542 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$$

Le coefficient d'emménagement est donné :

$$U = 2.25 T t_0$$

$$U = 2.25 \times 0.228 \times 10^{-3} \times 2 = 0.102 \times 10^{-2}$$

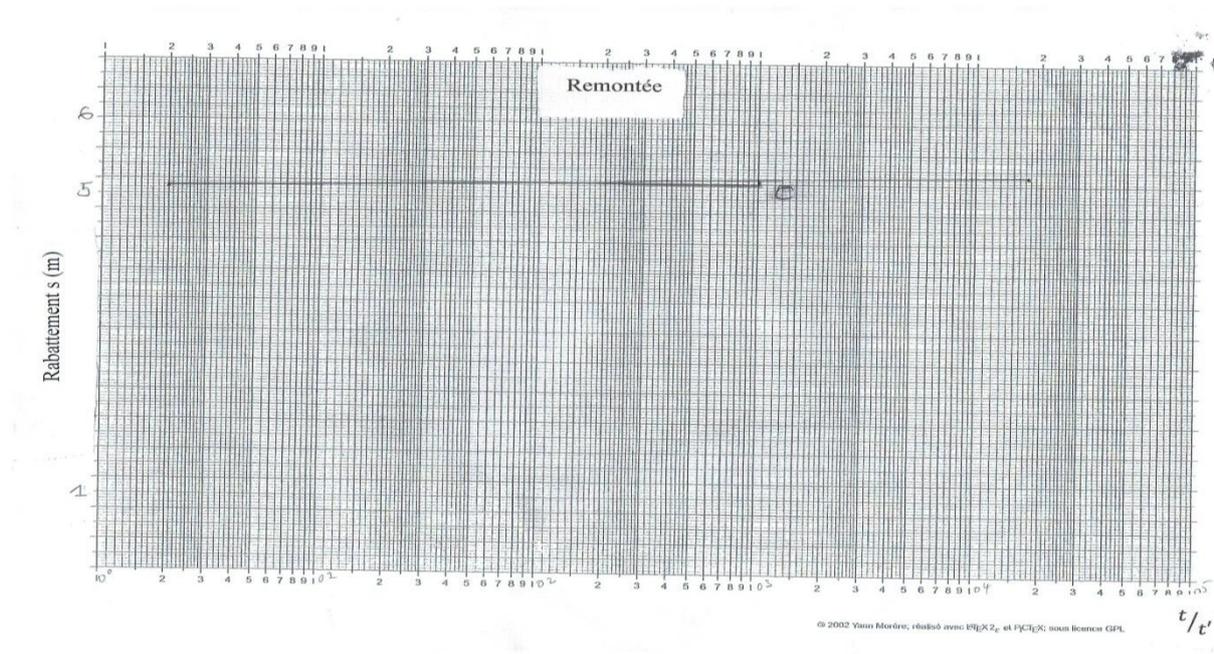


Figure 14 : Courbe de remontée du pompage d'essai du forage D2

IV.4. Piézométrie :

L'établissement d'une carte piézométrique permet de visualiser la morphologie de la surface piézométrique (la forme et l'espacement des isopièzes), définit le sens de l'écoulement et déduit les zones d'alimentation et le gradient hydraulique.

Une campagne de mesures dans les puits de l'aquifère superficiel, a été réalisée en Avril 1999, ce qui nous a permis de réaliser une carte piézométrique pour la période hautes eaux de l'année indiquée (figure 15).

L'interprétation quantitative des cartes piézométriques aboutit à l'identification des zones privilégiées pour l'implantation des ouvrages de captage. Elle permet de déterminer les zones de recharge de la nappe, les lignes de partage des eaux et le sens des écoulements souterrains.

Dans notre cas, l'arrangement et formes des courbes piézométriques montre que la surface piézométrique a une morphologie non uniforme avec un écoulement des directions différentes et un gradient hydraulique variable. Elles sont serrées au Nord de la ville de M'Daourouch, le gradient hydraulique est fort et devient plus faible en allant vers le Sud.

On note aussi une zone de partage des eaux souterraines situées au Nord- Est de la ville de M'Daourouch.

Cette carte fait apparaitre une zone de drainage à l'Ouest du village de Dréa, elle coïncide bien avec les cours d'eau superficiels essentiellement vers l'Oued Leghdir.

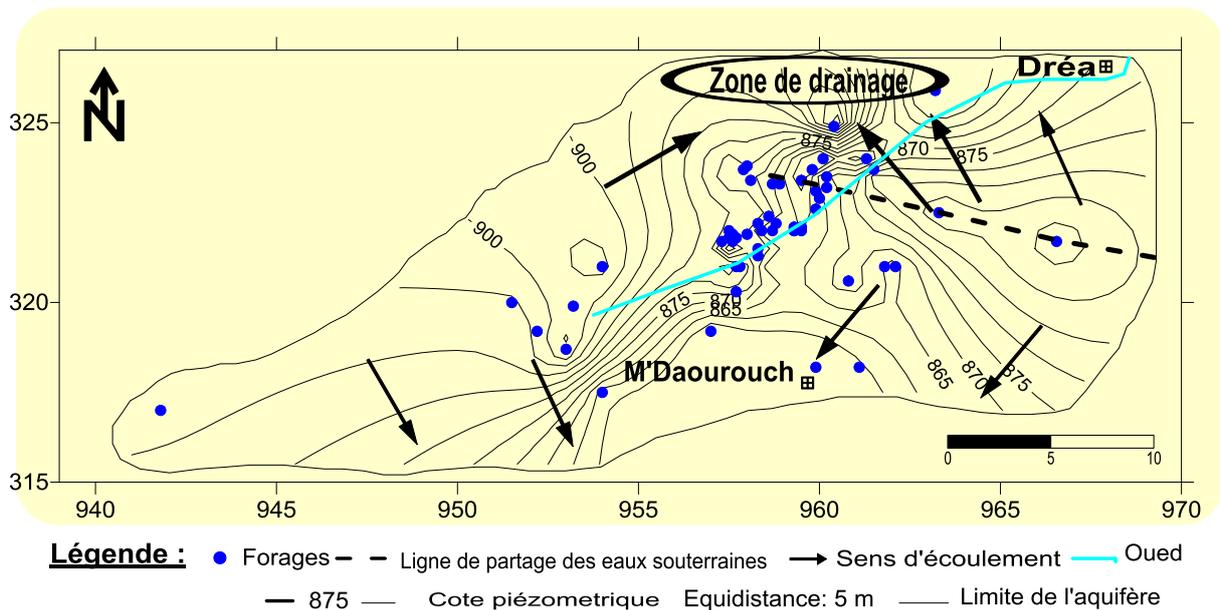


Figure 15 : Carte piézométrique de l'aquifère alluvionnaire (en Avril 1999, hautes eaux)

Les courbes piézométriques serrées au Nord traduisant un fort gradient hydraulique (2.08%) et elles sont espacées au Sud de la région traduisant un faible gradient hydraulique (0.8%).

Nous avons calculé le gradient hydraulique sur notre carte piézométrique :

C'est le rapport entre la différence de charge entre deux courbes piézométrique séparées d'une distance L.

$$I = \frac{\Delta h}{L} \quad \text{où :}$$

i : gradient hydraulique

Δh : La différence de charge (m)

L : distance entre deux courbes (m)

Ex : 1) Le gradient hydraulique entre 880 et 855 au Nord : $I = \frac{25}{1200} = 2.08\%$

2) Au Sud entre 880 et 860 : $I = \frac{20}{2500} = 0.8\%$

IV.5. Aquifère des calcaires fissurés, karstifié du Crétacé supérieur (Maestrichtien) :

La plupart des forages de la région de M'Daourouch atteignent les karsts, les caractéristiques lithologiques déterminent la localisation des aquifères karstiques, les carbonates fracturés ont développé des aquifères karstiques (figure 27, Tableau 7).

Avant de décrire l'aquifère du système karstique de la région, il est nécessaire de présenter les caractéristiques hydrogéologiques propres aux systèmes karstiques.

IV.5.1. Généralités sur le Karst :

Le karst est un paysage qui résulte de processus particuliers d'érosion, voire la karstification. Ces processus sont gouvernés par la mise en solution des roches carbonatées par l'infiltration de l'eau des pluies chargée en CO₂ gazeux atmosphérique et biologique (Figure 16). En surface les carbonates karstifiés offrent différentes formes telles que les dolines, les poljés. Les paysages souterrains tels que les grottes et les gouffres, sont sculptés par les écoulements d'eau souterraine. Dans les carbonates karstifiés circulent les eaux et émergent des exutoires avec un débit assez important.

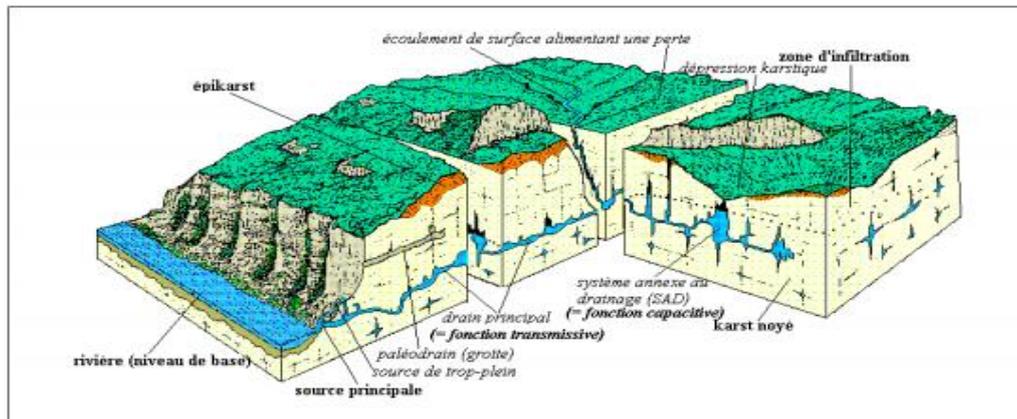


Figure 16 : Représentation schématique d'un aquifère karstique

IV.5.2. Notion de niveau de base :

La karstification est un processus qui conduit à la mise en place d'une morphologie souterraine, ou structure de drainage, et éventuellement de surface. La structure de drainage du karst ainsi que son fonctionnement dépend totalement de la position du niveau de base qui fixe le point bas de sortie dans le paysage.

Un abaissement du niveau de base provoque la formation d'un réseau de drainage à une cote inférieure et, donc, l'incorporation de l'ancienne organisation de la zone noyée dans la zone d'infiltration. Inversement, un relèvement du niveau de base transforme la structure fonctionnelle en un réservoir mal drainé, car déconnecté du nouveau drainage ; il se peut même qu'une ancienne structure de drainage asséchée soit réactivée.

IV.5.3. Fonctionnement et structure d'un système karstique :

Le système karstique est défini par Mangin (1974) comme « l'ensemble au niveau du quelles écoulements de type karstique s'organisent pour constituer une unité de drainage ». Le système karstique correspond donc au bassin hydrogéologique d'alimentation d'une source karstique ou d'un groupe de sources karstiques liées les unes aux autres. Le système karstique peut être constitué uniquement de formations carbonatées karstifiées : il s'agit alors d'un système karstique unaire. Lorsque le système karstique comprend aussi des formations non karstiques, soumises à des écoulements de surface drainés par des pertes, il est dit binaire (Mangin, 1978). Lorsqu'une rivière traverse des terrains calcaires et subit à leur contact des pertes partielles aboutissant à une résurgence, le système karstique, défini à partir de cette dernière, ne comprend pas le bassin versant de la rivière en amont des pertes ; ces pertes sont considérées comme des entrées dans le système (Figure 17).

Le système karstique est très particulier et complexe. Sa particularité vient essentiellement de son comportement non linéaire. L'écoulement souterrain suit certains cheminements liés à la direction et à la nature des fractures.

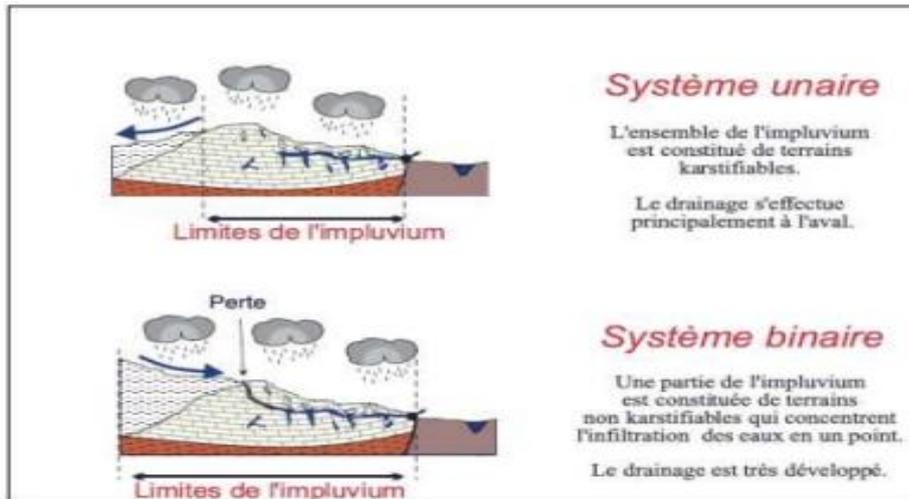


Figure 17 : Les deux types de système karstiques

Le milieu karstique étant un milieu hétérogène et discontinu, les conductivités hydrauliques sont forcément très différentes d'un point à l'autre de l'aquifère et pas forcément selon la direction des fractures (Figure 18) ; aussi, il est également déterminé par le gradient hydraulique (Bakalowicz et Mangin, 1980).

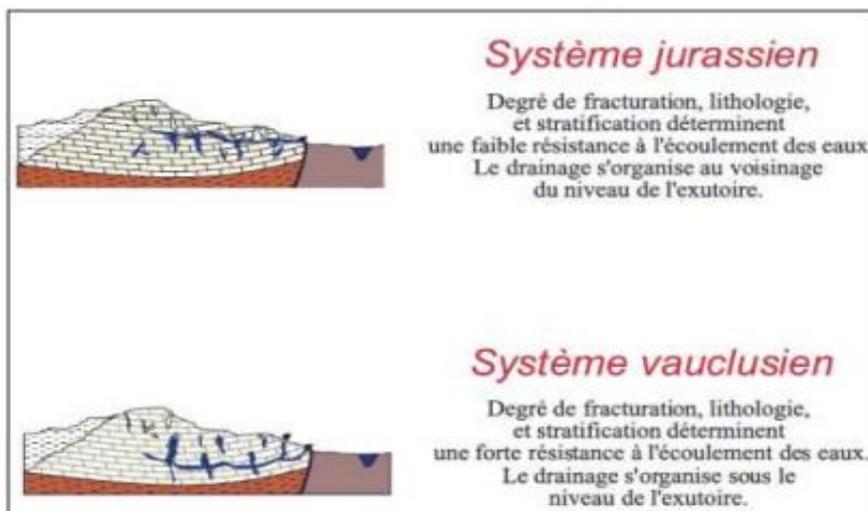


Figure 18 : Organisation du drainage en système vaclusien et jurassien

Mangin (1975) a élaboré un schéma fonctionnel et structural du système karstique, ce système est divisé en deux zones principales : la zone d'infiltration (zone non saturée) et la

zone noyée (zone saturée). Par la suite, en se basant sur le transfert de masses à partir des équilibres calco-carboniques et sur les différents types de karsts étudiés, Bakalowicz (1979, 2004), y a apporté quelques modifications (Figure 19).

IV.5.4. La zone d'infiltration (zone sous-saturée) :

Cette zone constitue la partie non saturée du système karstique. L'écoulement des eaux vers la zone saturée est assuré par des conduits plus ou moins ouverts (infiltration rapide) et par des microfissures au sein des blocs (infiltration lente).

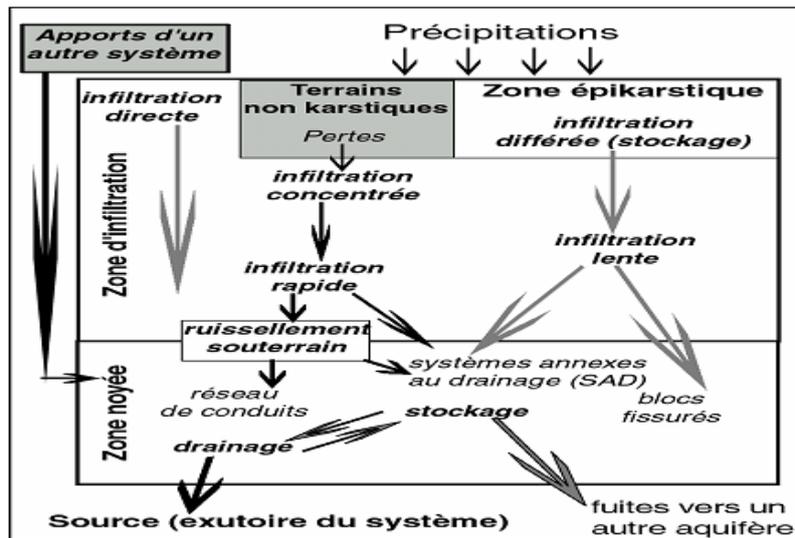


Figure 19: Représentation schématique d'un système karstique

Dans la partie supérieure de la zone sous-saturée de l'aquifère, les écoulements peuvent également avoir une composante horizontale ; un réservoir temporaire perché peut prendre place liée au fait d'une diminution de la karstification en profondeur, ainsi que de la fracturation liée à la mise en place des terrains carbonatés. C'est ce qui a été défini par

Mangin comme étant l'épikarst (Figure 20).

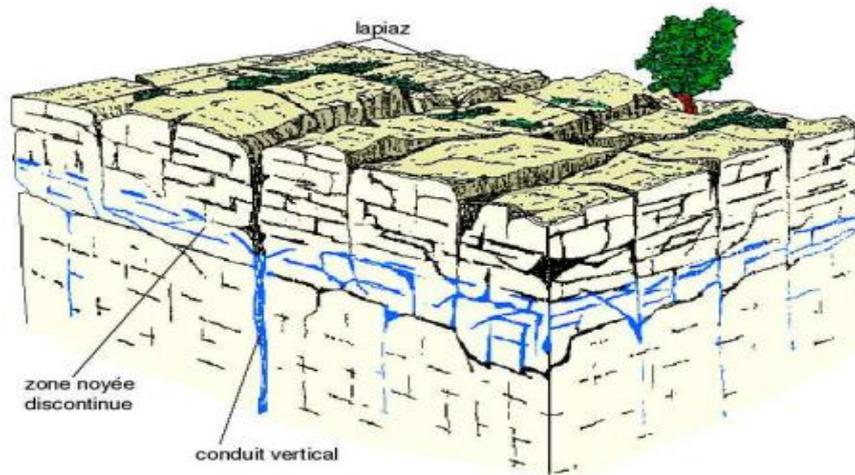


Figure 20: Représentation schématique de l'épikarst

La zone d'infiltration joue un rôle complexe dans le transfert de l'eau vers la zone noyée ; diffus et lent à travers des fractures et fissures et rapide au travers de conduits verticaux bien connectés au réseau karstique de drainage de la zone saturée. Les écoulements rapides peuvent être retardés s'ils transitent par l'épikarst qui joue le rôle d'un tampon.

IV.5.5. Le karst noyé (Zone saturée) :

Le karst noyé est la partie la plus importante de l'aquifère karstique du point de vue de son exploitation, bien que l'épikarst puisse également faire l'objet d'exploitation par captage des sources ou par forages. La zone noyée contient les réseaux de drainage et ses systèmes annexes (cavités ou blocs fissurés connectés au réseau de drainage) ; ces derniers sont le siège principal du stockage de l'eau. Le plus souvent, la zone noyée ne s'étend pas à l'ensemble du système karstique et ne correspond pas parfaitement à la zone d'infiltration (Crochet et Marsaud, 1997). Le karst noyé est constitué d'un réseau karstique de drainage plus ou moins hiérarchisés et développés en fonction des conditions de la mise en place de la karstification, et des systèmes annexes au drainage (Mangin, 1975; Bakalowicz et Mangin, 1980).

IV.6. Inventaire des forages d'eau atteignant l'aquifère karstique :

Plusieurs forages ont été réalisés dans la zone d'étude, certains sont parfaits, d'autres sont imparfaits, dans le tableau suivant nous présentons leurs caractéristiques hydrogéologiques.

Tableau 7 : inventaire des forages atteignant les karsts.

Forage	Lithologie	Lithologie de l'aquifère	Type	toit	Mur	Epaisseur (m)
MD2	0-4 m Argile cailloutis, 4-16 m sables et graviers grossiers, 16-112 m calcaire beige fissuré.	Calcaire beige fissuré	captif	Sables et graviers	N'est pas atteint	?
MD3	0-34 m Argiles, 34-91 m calcaire tendre devient karstifié à partir de 67 m	Calcaire tendre karstifié	Captif	Calcaire tendre	N'est pas atteint	?
Md62	0-6 m Conglomérats, 6-16 m argiles, 16-70 m marnes, 70-86 m grés, 86-287 m marnes, 287-335 m grés, 335-421 m calcaires fissurés	Calcaire fissuré	captif	grés	N'est pas atteint	?
D4	0-95 m Argiles rouges, 95-140 m calcaire karstifié	Calcaires Karstifiés	Captif	Argiles rouges	N'est pas atteint	?

A l'aide des données lithologiques des forages nous avons réalisé une coupe hydrogéologique dans le but de suivre la morphologie des calcaires dans les différentes directions de la zone M'Daourouch-Dréa.

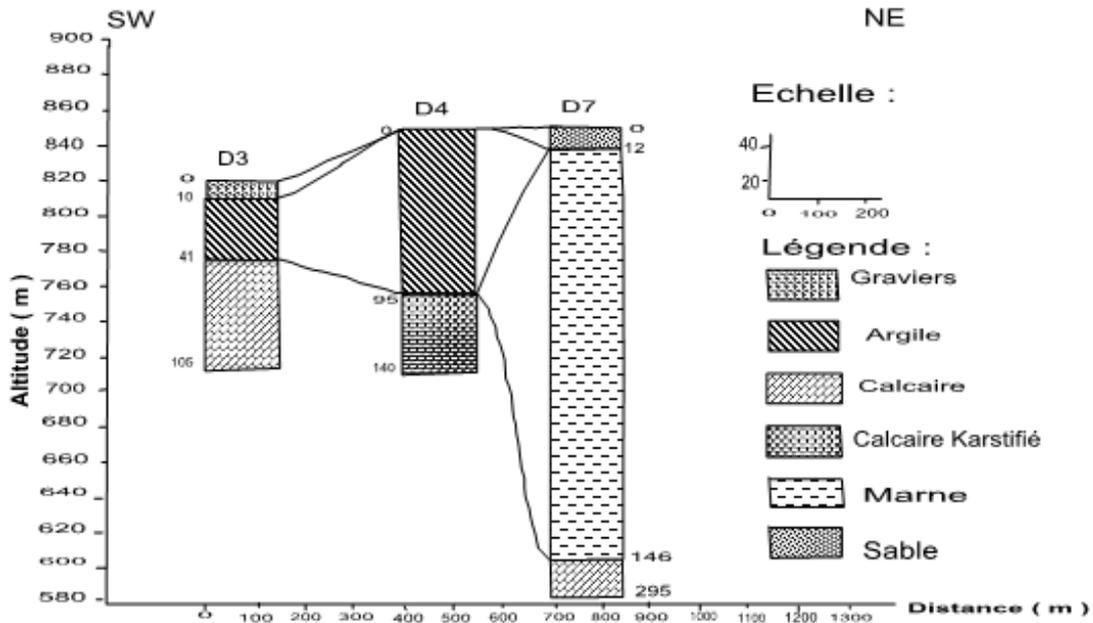


Figure 21 : Corrélation lithologique II.

L'analyse de la figure au-dessus (figure 21) fait apparaître des formations calcaires parfois fissurés, parfois karstifiés et par endroit compacts.

Au Nord-Est la formation calcaire est surmontée par une couche de marne et sables dans la zone D7, et cette couche de sable s'amincit en allant vers la zone D4. Et une couche argileuse avec une épaisseur importante de 95 m apparaît dans la D4 puis s'amincit en allant vers Sud-Ouest dans la zone D3 avec une épaisseur 32 m.

Les coupes lithologiques de certains forages de la région montrent une perte totale de la boue de forage ce qui nous permet de mettre une karstification au niveau du forage D4, nous constatons que les calcaires sont karstifiés ce qui représente un aquifère, cet aquifère est surmonté par une épaisse couche marneuse, ce qui nous permet de dire qu'il est captif. En l'absence d'un forage profond nous ne pouvons pas connaître la profondeur de son substratum.

IV.6.1. Essai de pompage du forage D8 :

Afin de connaître les paramètres hydrodynamiques (transmissivité, perméabilité) nous avons interprété les données du pompage d'essai réalisé au niveau du forage D8.

a) Courbe de descente :

En reportant sur l'axe des abscisses les temps en secondes sur l'axe des ordonnées les rabattements correspondant en mètres. Nous joignons les points à l'aide d'une droite qu'on appelle courbe de descente (figure 22).

Donc on peut déterminer la valeur de la transmissivité, en donnant :

La pente sur le graphique « descente » donne :

$\Delta H = 4 - 3 = 1 \text{ m}$; le débit = 5 l/s ce qui fait $5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$.

$$T = \frac{0.183 \times 5 \cdot 10^{-3}}{1} = 0.915 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}.$$

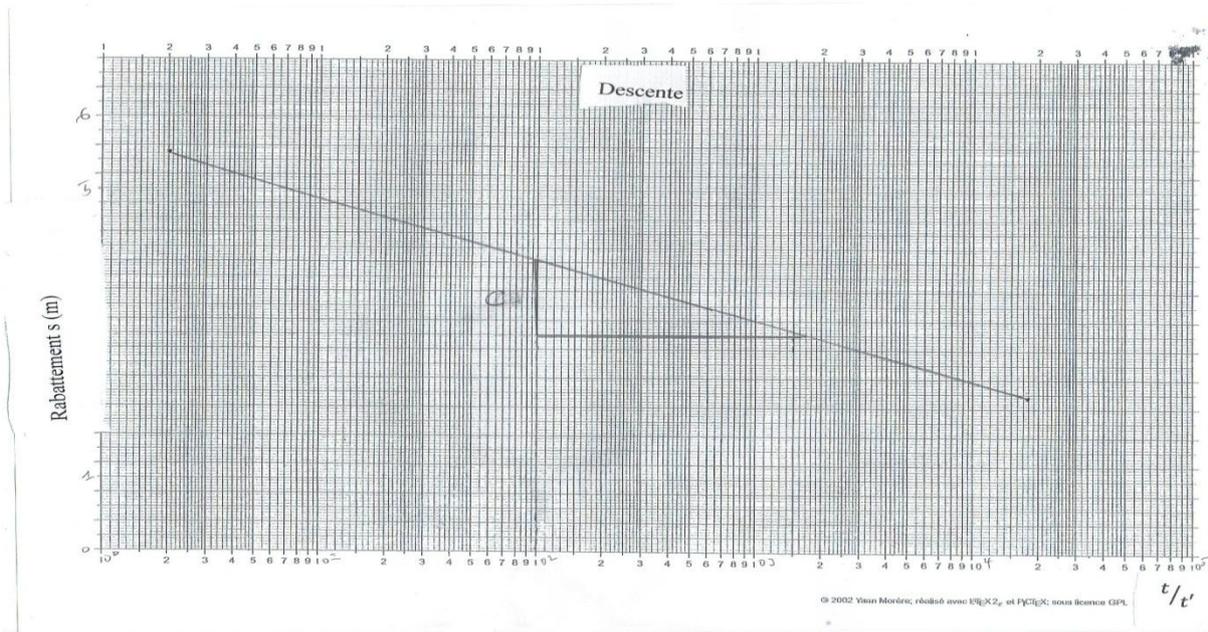


Figure 22 : Courbe de descente du pompage d'essai du forage D8

b) Courbe de remontée :

En reportant sur l'axe des abscisses les temps en secondes sur l'axe des ordonnées les rabattements correspondant en mètres. Nous joignons les points à l'aide d'une droite qu'on appelle courbe de remontée (figure 23).

Donc on peut déterminer la valeur de la transmissivité :

La pente sur le graphique « remontée » donne :

$C = 4 - 2.90 = 1.1 \text{ m}$; le débit = 5 l/s ce qui fait $5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$.

$$T = \frac{0.183 \times 5 \cdot 10^{-3}}{1.1} = 0.831 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}.$$

Son coefficient d'emmagasinement est de :

$$U = 2.25 T t_0$$

$$U = 2.25 \times 0.831 \times 10^{-3} \times 2 = 0.373 \times 10^{-2}$$

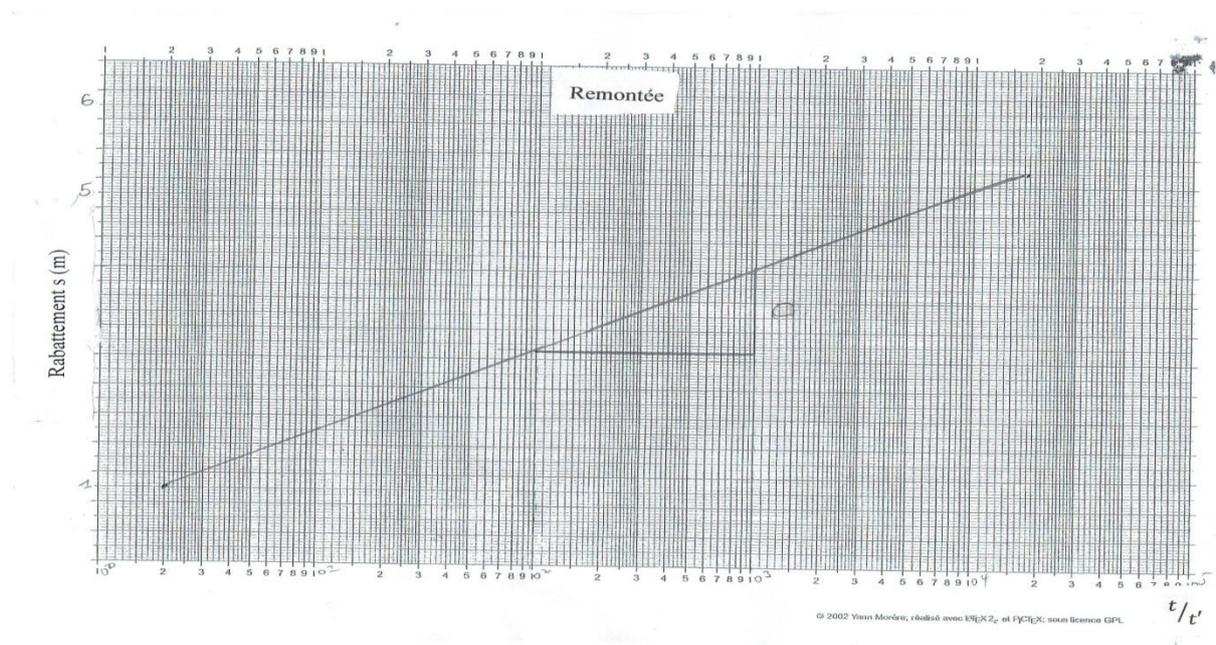


Figure 23 : Courbe de remontée du pompage d'essai du forage D8

La transmissivité moyenne est de $0.873 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, nous ne pouvons pas déterminer sa perméabilité car son épaisseur reste inconnue .

Conclusion :

Les 13 forages réalisés permettent de tirer certains nombres de conclusions, dont les plus importantes sont :

La région d'étude est constituée par deux systèmes aquifères :

Le premier est de formations plus récentes de galets, graviers et sables d'âge Mio-Plio-Quaternaire reposant sur un aquifère constitué de calcaires fissurés d'âge Maestrichtien.

L'analyse piézométrique a montré que la surface piézométrique a une morphologie non uniforme, un gradient hydraulique fort (2.08 %) au Nord de la ville de M'Daourouch qui devient plus faible (0.8) en allant vers le Sud.

- Une zone de partage des eaux souterraines situées au Nord- Est de la ville de M'Daourouch.
- Une zone de drainage qui coïncide bien avec les cours d'eau superficiels essentiellement vers l'Oued Leghdir à l'Est du village de Dréa.

Introduction :

C'est une méthode de prospection géophysique qui étudie l'effet produit par une injection électrique dans les roches, c'est-à-dire la caractérisation des roches par des propriétés électriques.

Il existe une variété des méthodes électriques, nous allons traiter dans cette partie les méthodes utilisant de courant continu (sondage électrique vertical et trainé électrique).

Le paramètre utilisé est la résistivité électrique (ρ) en ohm.m, qui est la propriété physique qui détermine la capacité de ce milieu à s'opposer au passage du courant électrique.

Cette méthode permet de mieux comprendre la structure du sous-sol grâce à l'étude de la résistivité électrique des formations qui le compose sous des conditions qui sont :

- Les différentes formations lithologiques doivent être caractérisées par des résistivités nettement différentes.
- Courant électrique envoyé de la surface doit pénétrer en profondeur jusqu'au objectif à étudier.

V.1. Mode opératoire sur le terrain :

Un courant électrique est créé en sous-sol à l'aide d'une source de courant d'intensité I (batterie par exemple) et de deux électrodes A et B, dites d'injection, placées en surface.

Le courant injecté pénètre dans le sol par l'électrode A et en sort par l'électrode B. IL se distribue dans le sous-sol d'une façon radiale et les lignes équipotentielles sont des hémisphères. On peut donc repérer les variations de résistivité en profondeur.

On mesure la différence de potentiel entre les deux électrodes M et N, dites de mesure. La résistivité déduite de cette mesure dépend de la géométrie du dispositif de mesure.

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad \text{où :}$$

ΔV : différence de potentiel entre les électrodes M et N en millivolt.

I : Intensité du courant (milliampère).

K : Facteur géométrique (qui dépend de la position des électrodes).

ρ : la résistivité électrique.

Cette formule fait intervenir le facteur géométrique K caractérisant la géométrie du montage.

$$K = \frac{\pi \cdot AM \cdot AN}{MN}$$

La profondeur d'investigation dépend de la distance AB, elle est comprise entre $AB/4$ et $AB/10$ (figure 24).

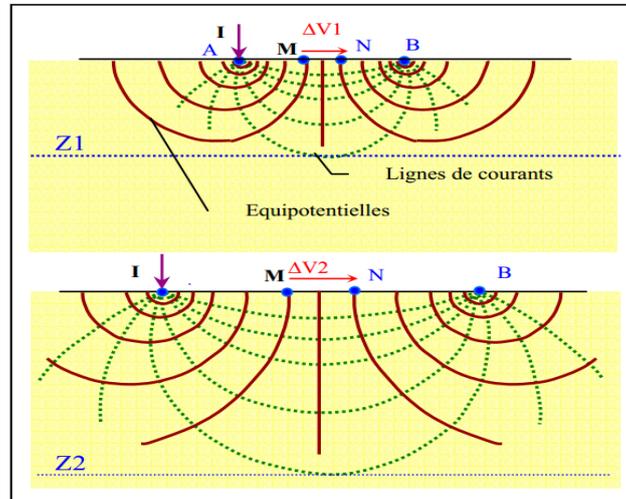


Figure 24 : Profondeur d'investigation en fonction de l'écartement des électrodes.

Sur le terrain on procède de deux manières différentes :

- Les distances entre les électrodes sont maintenues constantes durant toute la prospection, il s'agit du trainé électrique, le résultat est une carte d'isorésistivité apparente pour chaque distance AB.
- Les distances entre les électrodes sont variables, il s'agit du sondage électrique vertical (S.E.V) le résultat est une courbe de sondage électrique vertical qu'il faut interpréter pour déterminer la succession des terrains à partir de la surface du sol jusqu'à une certaine profondeur qui dépend de la distance entre A et B. A ce stade on détermine les épaisseurs des terrains et les résistivités vraies correspondantes.

La résistivité apparente mesurée n'est pas la résistivité vraie du sous-sol, c'est une résistivité prenant en compte l'ensemble des terrains traversés par les équipotentiels utilisées pour la mesure.

On parle de la résistivité vraie après interprétation de la courbe su SEV.

V.2. Représentation des données de terrain (SEV):

Sont représentées en rapportant sur un papier bilogarithmique les valeurs de $AB/2$ en abscisse et en ordonné la résistivité apparente (ρ_a) correspondantes. En joignant les points on obtient la courbe du sondage électrique vertical, son interprétation à l'aide des abaques ou d'un logiciel on obtient le nombre de terrains et les résistivités correspondantes à la verticale du point du SEV (figure 25).

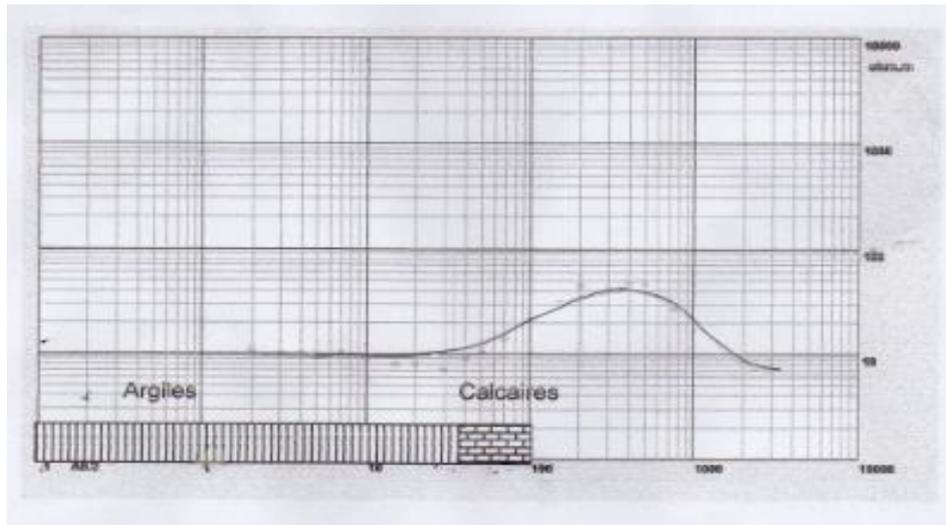


Figure 25: Courbe de sondage électrique verticale.

V.3. Implantation des SEV :

Nous avons établi une carte d'implantation des SEV de la région d'étude (figure 26), nous constatons que la majorité des SEV sont implantés au Nord-Ouest et Sud-Est de la ville de M'Daourouch.

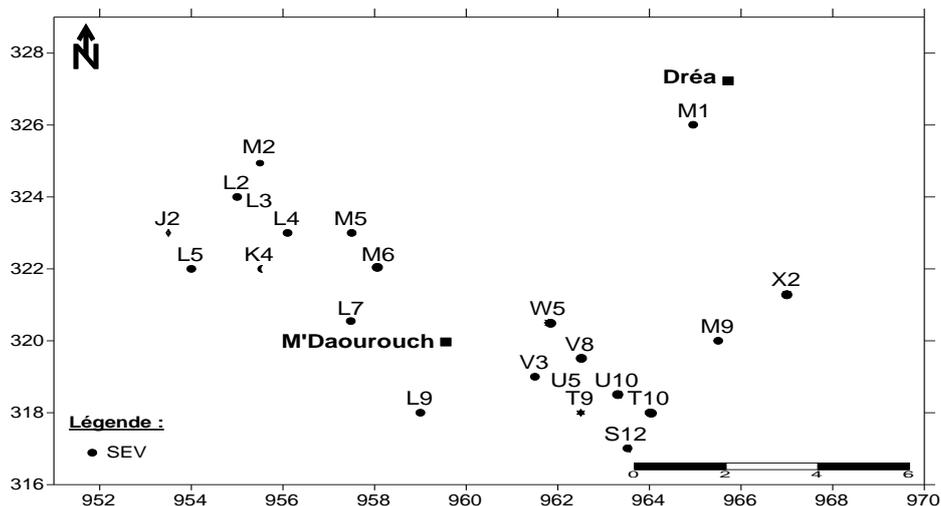


Figure 26 : Carte d'implantation des SEV

V.4. Etalonnage des données géophysiques :

Pour une interprétation fiable des résultats de la prospection électrique et pour la détermination des résistivités réelles des différentes formations on a réalisé quelques sondages étalons. L'étalonnage des sondages électriques se fait en réalisant un sondage électrique vertical à proximité d'un sondage mécanique dont on connaît la coupe géologique (log : le nombre de couche géologiques, leur nature et leur épaisseur) ce qui permet d'affecter pour chaque terrain une valeur de résistivité.

Nous avons utilisés des données réalisées par l'ENAGEO (Agence National de Géophysique), on a trois sondages étalons ont été effectués dans la zone d'étude :

V.4.1. MD3 à l'aide du forage F1 :

Le sondage électrique MD3 (Figure 27) réalisé à proximité du forage F1 aux coordonnées Lambert (X= 961.450 Kms, Y= 319 ,700 Kms, Z= 827 m) montre d'après le modèle électrique que l'on peut attribuer une résistivité de 9.2 ohm.m aux argiles miocènes dont l'épaisseur est de 34 m. L'horizon résistant à 96 ohm .m recoupé sous les argiles miocènes serait à attribuer aux calcaires du Maestrichtien inférieur qui surmontent un terrain conducteur d'une résistivité de 10 ohm .m correspondant aux marnes contenant des lentilles de calcaires argileux du Campanien supérieur.

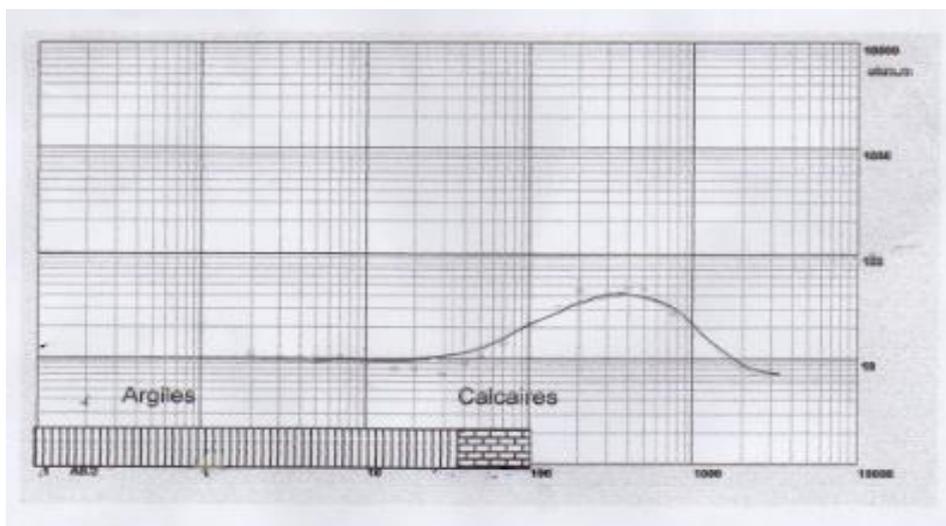


Figure 27 : Etalonnage du sondage électrique MD3 à l'aide du forage F1

V.4.2. MD1 à l'aide du forage F2 :

Le sondage électrique MD1 (Figure 28) exécuté dans les environs immédiats du forage F2 aux coordonnées (x= 962.400 km et y = 320. 470 km) d'une profondeur de 112m et

fournissant un débit de 1l/s, montre que l'on peut attribuer aux argiles mio-pliocènes traversées sur une épaisseur de 3m et présentant au niveau du modèle électrique avec une résistivité 23 ohm.m. Les argiles mio-pliocènes surmontent un horizon résistant à 340 ohm.m et d'une épaisseur de 110 m que l'on peut attribuer aux calcaires du Maestrichtien inférieur dont le substratum est représenté par des marnes contenant des lentilles de calcaires argileux du Campanien supérieur qui montre à ce niveau une résistivité de 51 ohm.m.

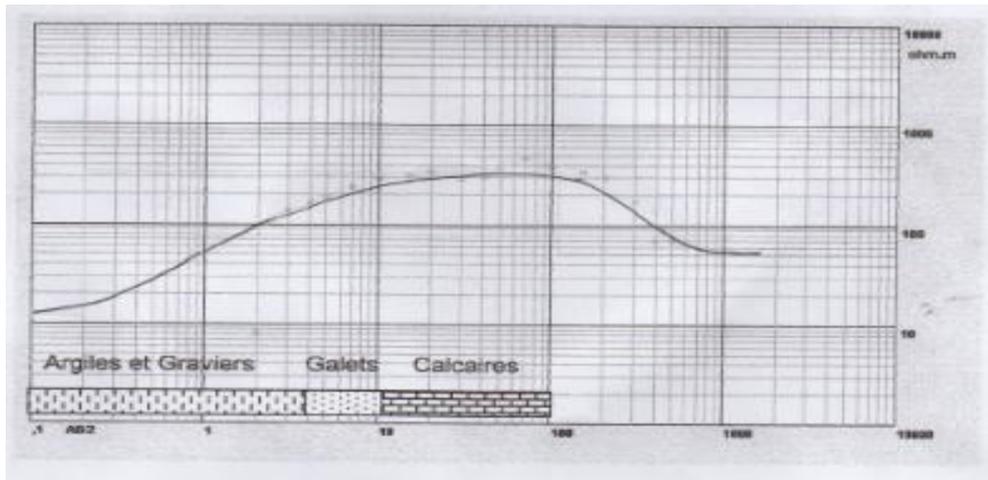


Figure 28: Etalonnage du sondage électrique MD1 à l'aide du forage F2

V.4.3. 1F1 à l'aide du forage F3 :

Le sondage électrique 1F1 (Figure 29) réalisé à proximité du forage F3 aux coordonnées (x= 958.450 km et y= 319.250 km) d'une profondeur de 420 m et fournissant un débit de 24 l/ s, montre que l'on peut attribuer indifféremment aux argiles Mio-pliocènes et aux calcaires du Maestrichtien inférieur saturés en eau minéralisée une résistivité de 50 ohm .m .

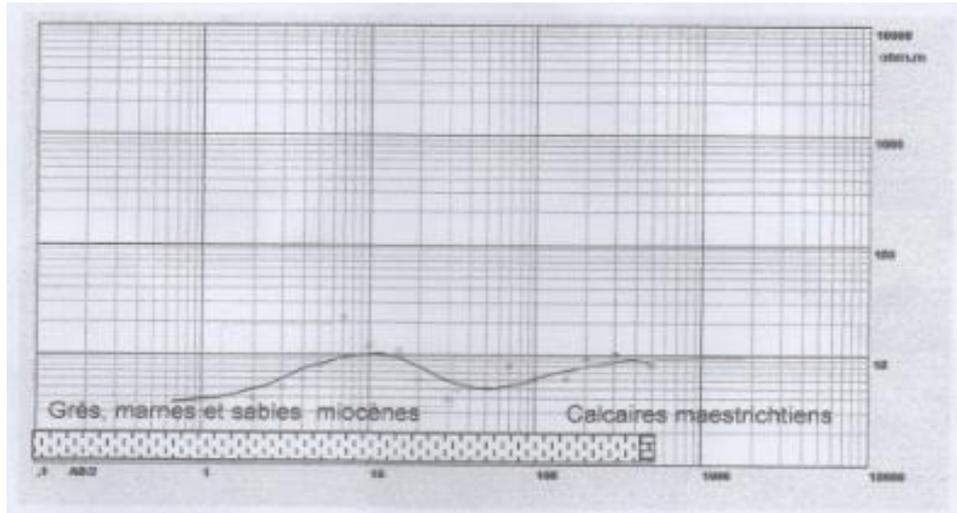


Figure29: Etalonnage du sondage électrique 1F1 à l'aide du Forage F3.

V.5. Echelle des résistivités :

Les résultats de l'interprétation des sondages étalons nous ont permis d'établir une échelle de résistivité qui nous donne une moyenne de résistivité pour chaque terrain de la région (tableau 6)

Tableau 8 : Echelle des résistivités des terrains de la zone d'étude

Formations	Age	Résistivité Adoptée en Ohm.m
Croute calcaire et calcaires lacustres	Quaternaire	170-610
Argiles, marnes, sables et grés	Mio-Pliocène	2-30
Sables et grés,		33- 70
Grés quartzeux et conglomérats		79-140
Calcaires compacts	Maëstrichtien inferieur	40-680

V.6. Carte d'isorésistivité apparente en ligne AB= 1000 m :

La figure 30 dont la profondeur d'investigation est plus importante comprise entre $1000/4$ et $1000/10$ c'est-à-dire entre 100 et 250m montre : la continuité des terrains mio-pliocènes représentés par les argiles conductrices dont la résistivité est comprise entre à 19 ohm.m. Les résistivités supérieures à 19 ohm.m au niveau du profil J et B sont à attribuer aux intercalations de sables dans les argiles du Mio - Pliocène.

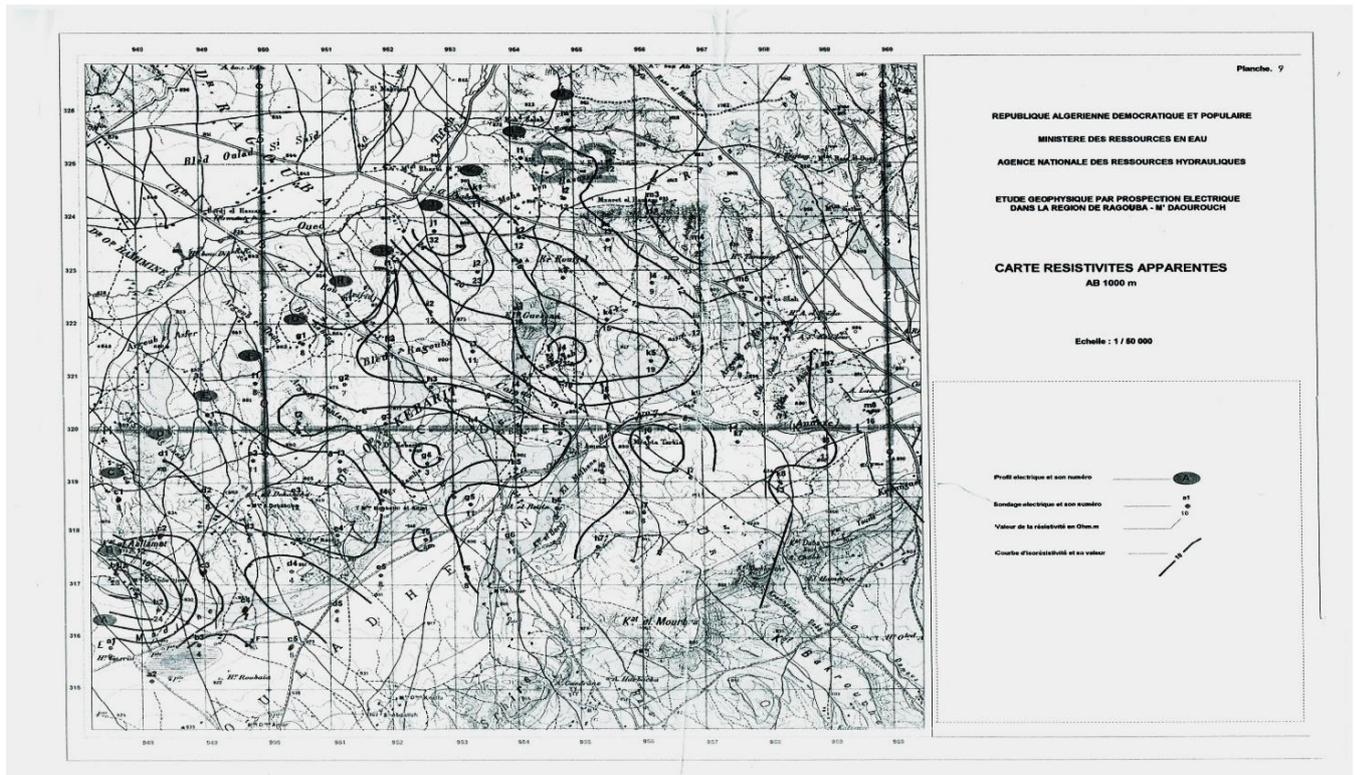


Figure 30: Carte d'isorésistivité apparente

V.7. Coupes géo-électriques :

Les données de l'interprétation des SEV nous ont permis de réaliser six coupes géoélectriques :

- La coupe géoélectrique E (Figure 31) montre que dans sa partie NNW (es sondages E1, E2 et E3 n'ont recoupé que des terrains conducteurs d'une résistivité de 3 à 35 ohm .m correspondant aux argiles, marnes, sables et grès du Mio-Pliocène. Dans le secteur SSE tes sondages E4 et E5 ont traversé sous 150m d'argiles , de marnes , de sables et de grès Mio -pliocènes d'une résistivité de 3 à 32 ohm .m , un horizon résistant d'une résistivité de 140 à 150 ohm .m correspondant aux calcaires du Maestrichtien inférieur qui remontent à cet endroit par l'Intermédiaire d'une faille passant entre le E3 et le E4 .
- Les coupes géoélectriques F et G (Figure31) montrent que pour la majorité des sondages électriques les terrains traversés sont représentés par des argiles, des marnes des sables et des grès Mio - pliocènes d'une résistivité de 3 à 35 ohm.m recouverts au niveau de la coupe géoélectrique G par des grès Mio -pliocènes d'une résistivité de 34 à 70 ohm .m et d'une épaisseur comprise entre 2 à 53 m. Il est à noter que seuls les

sondages F1, F6 et G6 ont atteint les calcaires du Maestrichtien inférieur localisé à une profondeur comprise entre 290m (F6) et 340m (GS).



Figure 31 : Coupe géoélectrique E, F, G.

- La coupe géoélectrique K (figure 32) est représentée dans sa partie NNW entre le sondage K1 et K 9 par des argiles , des marnes , des sables et des grès Mio- Pliocènes d'une résistivité de 3 à 39 ohm.m dans lesquels s'intercalent par fois des niveaux gréseux plus résistants d'une résistivité de 79 ohm .m (sondage K4) et d'une épaisseur de 110m Dans la partie SSE de la coupe le sondage K10 a traversé les calcaires du Maestrichtien inférieur qui remontent à cet endroit *par* l'intermédiaire d'une faille et présentent une résistivité de 130 ohm .m et une épaisseur de 70m . Le substratum des calcaires du Maestrichtien inférieur est représenté par des marnes contenant des lentilles de calcaires argileux d'une résistivité de 22 ohm.m.
 - La coupe géoélectrique L (figure 32) montre une structure plissée faillée représentée :
 - A la base par des calcaires du Maestrichtien inférieur d'une résistivité de 40 à 650 ohm.m formant des structures anticlinales au niveau des sondages L3, L5 , L7, et L9 où ils sont localisés à une profondeur comprise entre 130 et 270m.

- Au sommet par des argiles, marnes, sables et grès du Mio - Pliocène d'une résistivité de 5 à 79 ohm.m.

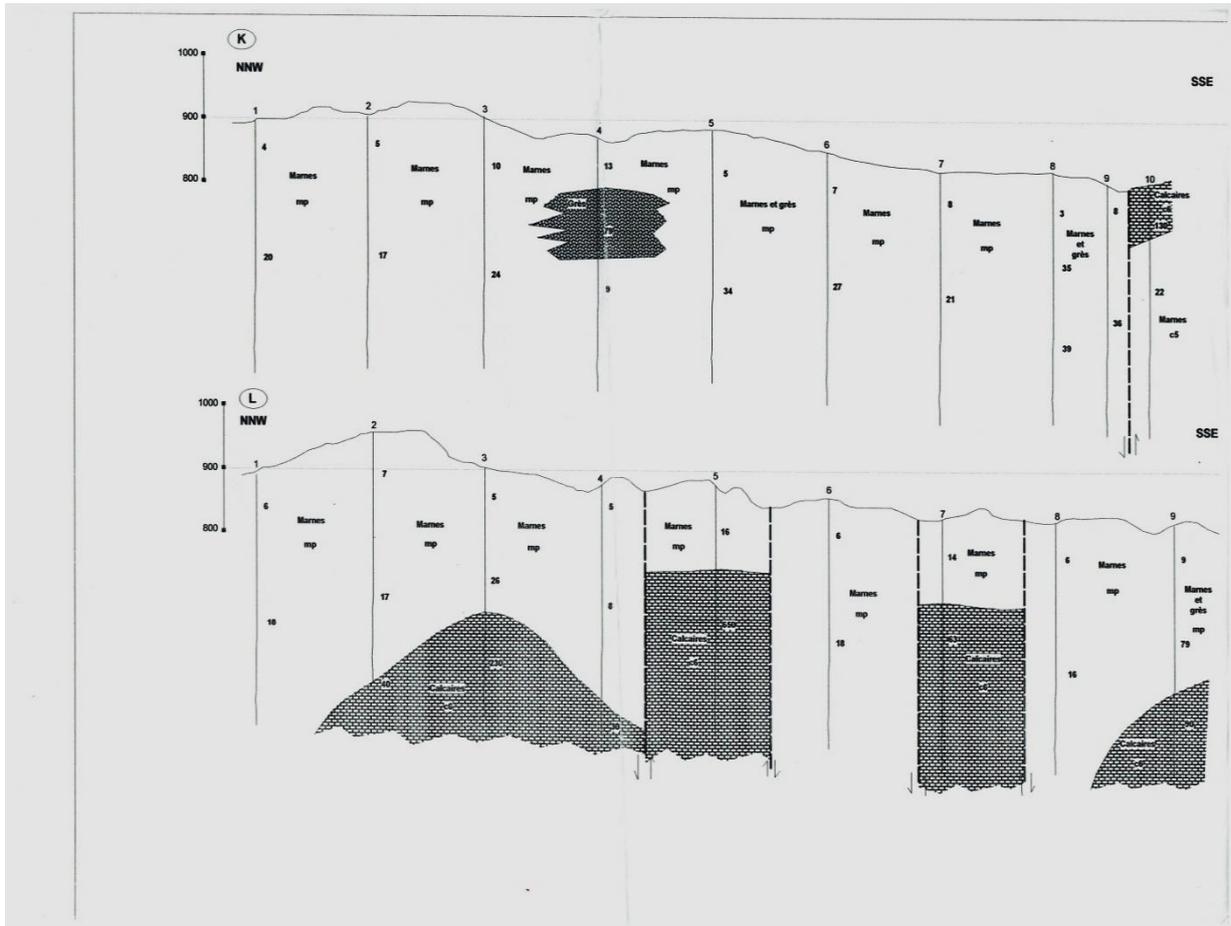


Figure32: Coupe géoélectrique K

- La coupe géo-électrique M (figure33) est représentée dans sa partie NNW entre les sondages V8 et U9 par des marnes, des sables, et des grès Mio-Pliocène d'une 8.7 à 16.5 ohm.m et d'une épaisseur de 10 à 235 m.

A la base par des calcaires du Maastrichtien inférieur d'une résistivité de 40 à 300 ohm.m.

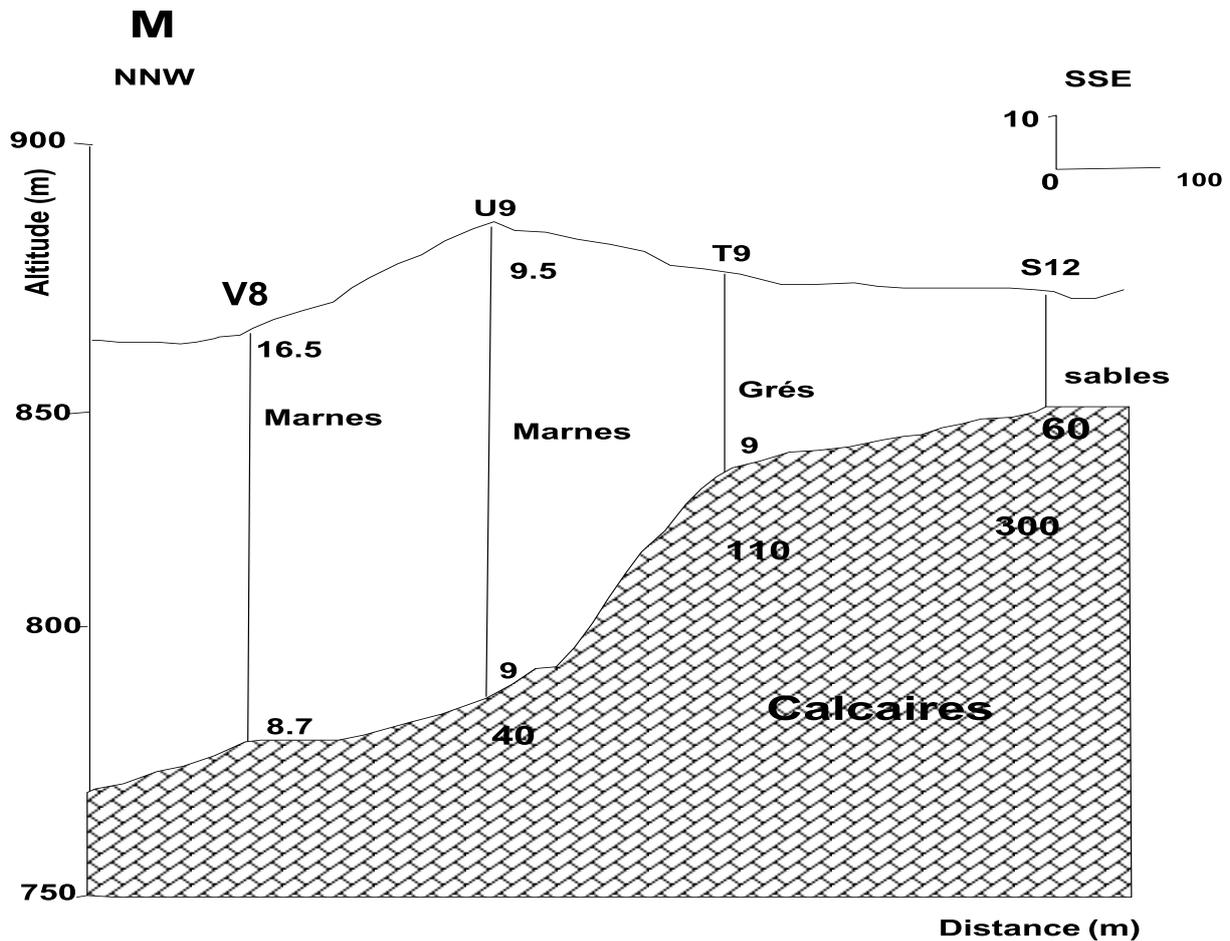


Figure 33 : Coupe géo-électrique M

V.8. Résultats :

V.8.1. Toit de l'aquifère calcaire fissuré, karstifié :

Les coupes géoélectriques nous ont permis de dresser une carte isoprofondeur du toit de cet aquifère, et nous permet de connaître la profondeur des calcaires au niveau de la région d'étude (figure 34).

A l'Est de Dréa les calcaires affleurent à la surface, et deviennent plus profond à l'Ouest de Dréa, pour atteindre parfois 200 m de profondeur.

La profondeur maximale de calcaire se trouve au Nord et au Sud-Est de M'Daourouch où il atteint environ 300 m. Par contre le calcaire devient de moins en moins profond à proximité de la ville de M'Daourouch vers Mechtat Ras el Oued (voir carte topo).

La structure profonde de calcaire n'est pas graduelle mais sous forme de plusieurs blocs, séparés par un champ de faille.

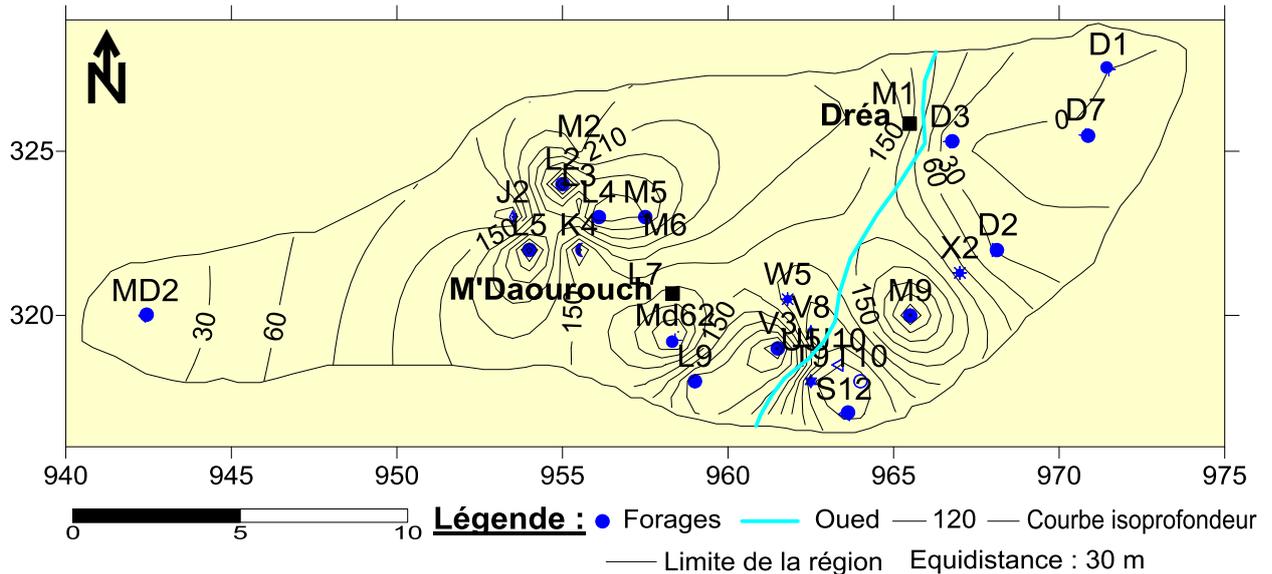


Figure 34: Carte d'isoprophondeur du toit de l'aquifère calcaire

V.8.2. Structure de la géologie de la plaine :

En utilisant les informations des coupes hydrogéologiques et les coupes géoélectriques, nous avons établi une carte structurale de la zone d'étude (figure 35).

La carte montre un réseau des failles, la majorité sont d'orientation NE-SW, quelques-unes sont orientées NW-SE.

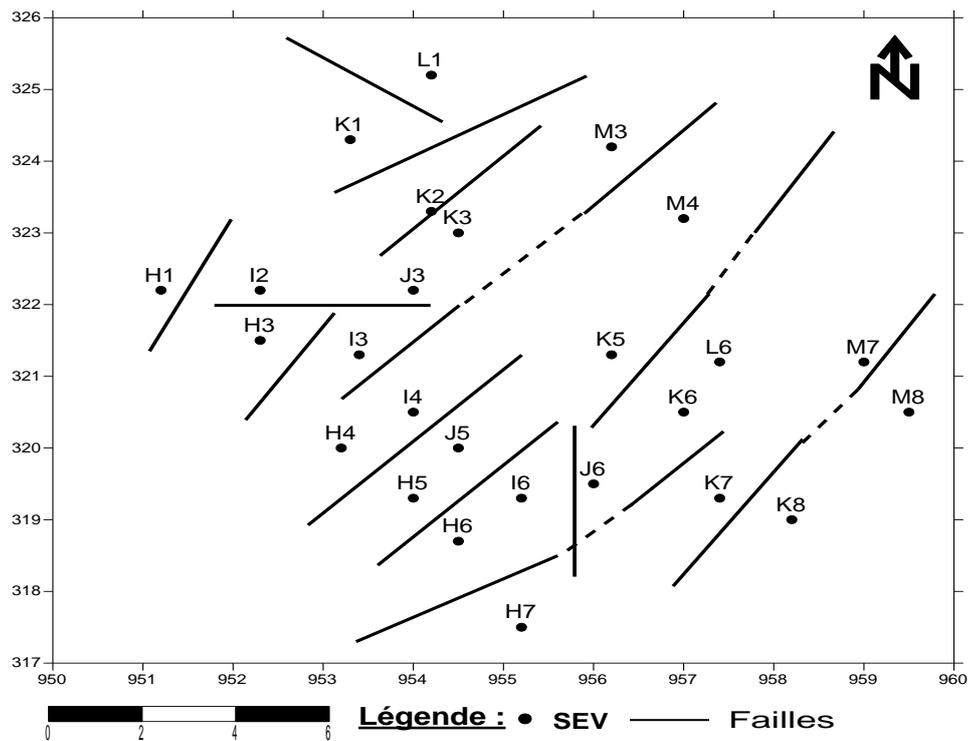


Figure 35: Carte structurale d'après la géologie des sondages et la prospection électrique

Conclusion :

L'étude géophysique de la région de M'Daourouch-Dréa montre que les zones résistantes correspondant aux calcaires maestrichtiens. Et l'établissement d'une carte structurale montrant le réseau de faille affectant la formation de l'aquifère profond.

A l'Est de Dréa les calcaires affleurent à la surface, et deviennent plus profond à l'Ouest de Dréa, pour atteindre parfois 200 m de profondeur.

La profondeur maximale des calcaires se trouve au Nord et au Sud-Est de M'Daourouch où il atteint environ 300 m.

Introduction :

Toute étude hydrogéologique doit être complétée par une étude chimique qui permet de connaître:

- L'origine des eaux souterraines, ainsi que leur potabilité et leurs degrés de pollution.
- Connaître les critères physico-chimiques de la qualité des eaux superficiels pour l'irrigation ainsi que d'établir la relation géologie- chimie.

L'interprétation des analyses a pour but de déterminer le faciès chimique, d'effectuer des comparaisons spatio-temporelles et de mettre en évidence les différents éléments pouvant jouer un rôle primordial dans leur répartition et par conséquent d'établir la genèse et l'origine des éléments chimiques.

L'échantillonnage a été effectué sur 11 puits dans la région d'étude. Ces derniers sont prélevés et ont été analysés au laboratoire.

Parmi les paramètres physico-chimiques étudiés on a :

-Les paramètres physiques (Températures, pH, conductivité).

-Les paramètres chimiques: éléments majeurs

Les cations: Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ .

Les anions: HCO_3^- , SO_4^- , Cl^- .

La fiabilité des analyses chimiques a été contrôlée à l'aide de la balance ionique (bi) exprimée par la formule de G. Castany, 1962 est représentée de la manière suivante:
$$bi = [\text{Somme anions} - \text{Somme cations} / \text{Somme anions} + \text{Somme cations}] \times 100\%$$

VI.1. Représentation graphique des résultats :

VI.1.1. Diagramme de Piper (figure 36) :

Le diagramme de Piper permet de visualiser sur le triangle des anions ou des cations des échantillons analysés et de finir non seulement leur faciès grâce aux éléments major, mais de suivre également leur évolution dans le temps. La représentation des concentrations est exprimée en pourcentage.

La représentation des données de l'analyse de l'eau sur le diagramme de Piper a permis de distinguer les faciès chimiques.

D'une manière générale les faciès sont : chloruré calcique, chloruré sodique, Bicarbonaté calcique.

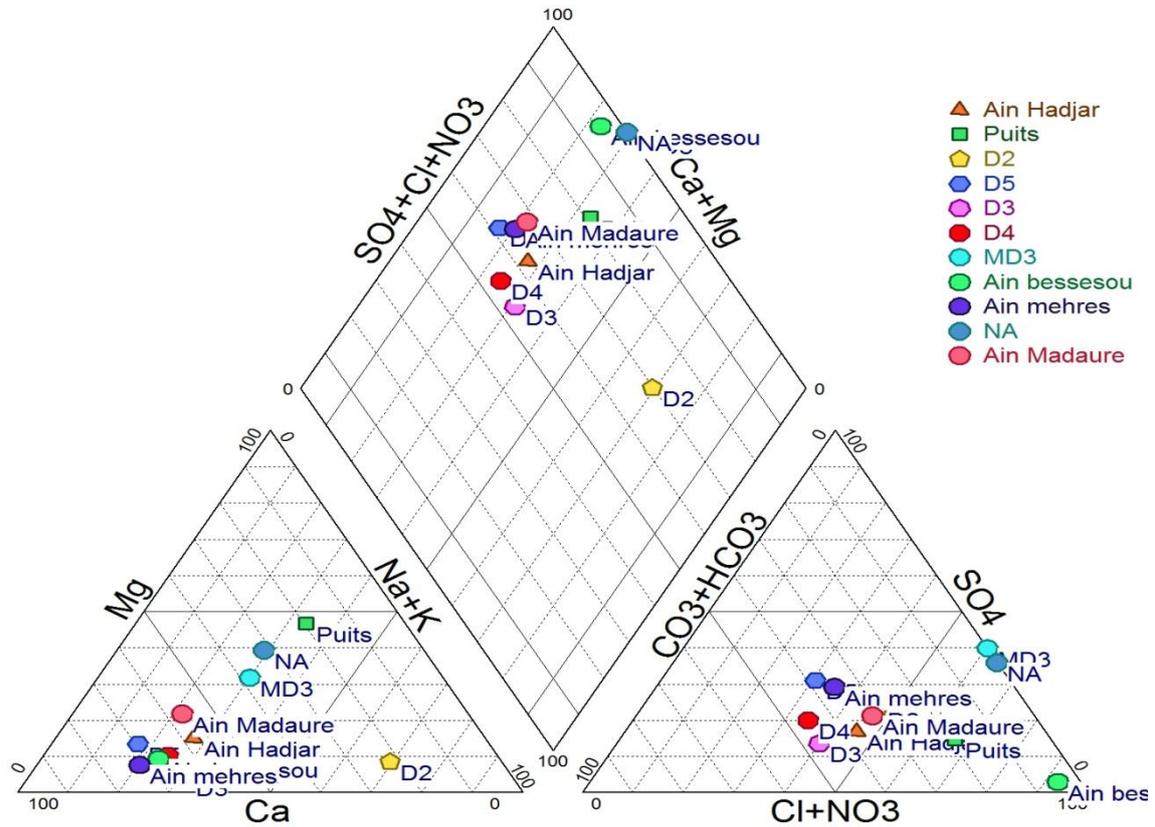


Figure 36 : Diagramme de Piper des eaux souterraines de la plaine M'Daourouch

VI.1.2. Diagramme de Schoeller- Berkaloff :

Ce diagramme comporte une échelle logarithmique sur laquelle on porte les teneurs des principaux ions en (mg /l) sur l'axe des abscisses. On porte de gauche à droite, à intervalle régulier (C^{+2} , $N^{+} + K^{+}$, Cl^{-} , SO_4^{-} , HO_3^{-}), les points reportés sont ensuite reliés par une ligne brisée qui facilite la comparaison des résultats de l'analyse de l'eau d'un ensemble d'échantillon (figure 37).

D'une manière générale, l'allure des courbes brisée montre les faciès suivants : chloruré calcique, bicarbonaté calcique, chloruré sodique.

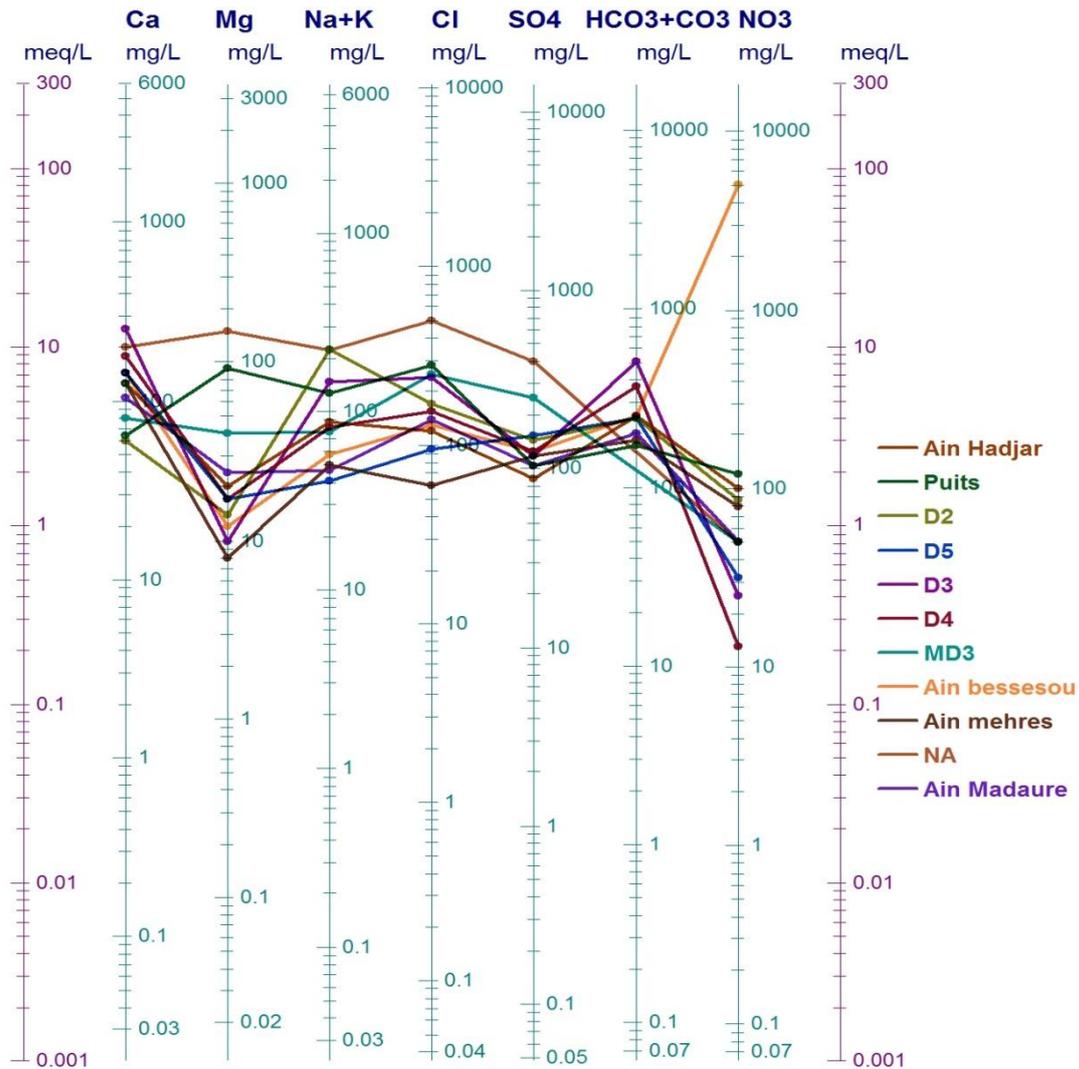


Figure 37 : Diagramme Schoeller-Berkaloff des eaux souterraines de la plaine M'Daourouch

Conclusion :

Les résultats des analyses chimiques des eaux souterraines de la plaine M'Daourouch-Dréa permettent de distinguer plusieurs facies chimiques, chloruré calcique, sulfaté magnésium, chloruré sodique, Bicarbonaté calcique.

Conclusion générale

A l'issue de la présente étude, la région de M'Daourouch-Dréa se caractérise par une géologie complexe marquée par des formations attribuées au Trias jusqu'au Quaternaire, où on observe une diversité de faciès avec des terrains faillés et plissés.

Du point de vue climatique, il s'agit d'une zone à climat semi-aride. Les mois les plus pluvieux sont Janvier et Décembre avec la valeur d'ordre de 60mm.

La synthèse de données climatiques nous permet de distinguer que la température moyenne annuelle est de 14.28 °C et la précipitation moyenne annuelle est de 456mm. Le bilan hydrologique se répartit comme suit : l'évapotranspiration constitue 317.5%, le ruissellement 11% enfin l'infiltration 19.37%, cette dernière permettra de jouer un rôle important dans la recharge des nappes des eaux souterraines.

L'identification des formations aquifères de la région est fondée sur les coupes hydrogéologiques utilisant les coupes de forages mécaniques creusés dans la région d'étude qui fait ressortir les différentes unités hydrogéologiques et leur potentiel hydrique, principal objectif de cette contribution.

Cette diversité de formations géologiques donne naissance à deux systèmes aquifères identifiés caractérisant la région de M'Daourouch-Dréa, le premier est de formations alluvionnaires avec une épaisseur maximale de 90 m reposant sur un aquifère constitué de calcaires fissurés d'âge Maestrichtien qui atteint une profondeur maximale de 300 m à l'ouest de M'Daourouch sous une forme de fosse allongée à la même direction d'une faille locale, et celle de l'axe du synclinal de M'Daourouch.

L'analyse des courbes hydroisohypses montre que la surface piézométrique a une morphologie non uniforme avec un écoulement des directions différentes et un gradient hydraulique variable. Elles sont serrées au Nord de la ville de M'Daourouch, le gradient hydraulique est fort et devient plus faible en allant vers le Sud.

Une zone de partage des eaux souterraines situées au Nord- Est de la ville de M'Daourouch.

Et une zone de drainage qui coïncide bien avec les cours d'eau superficiels essentiellement vers l'Oued Leghdir.

L'outil géophysique en l'occurrence la prospection électrique a permis d'établir une échelle de résistivité pour les formations géologiques de la région, utilisé pour suivre l'extension et la morphologie des calcaires karstifiés qui forme l'aquifère principal. La combinaison des données géophysiques et logs de forage était l'outil principal pour dresser

une carte d'isoprofondeur du toit de ces calcaires et l'élaboration d'une carte structurale montrant le réseau de faille affectant la formation de l'aquifère profond.

La chimie des eaux souterraines est caractérisée par quatre faciès chimiques : Sulfaté calcique, Chloruré sodique, Chloruré calcique, et Bicarbonaté calcique.

Annexe1 : Précipitations moyennes mensuelles en (mm) de la station de Sedrata

Mois Précip	Sep t	Oct	Nov	De c	Jan	Fev	Ma r	Avri l	Mai	Juin	Juit	Ao ut	Total
P en mm	29	36	47	60	60	57	50	40	44	18	08	07	442.5

Annexe 2 :Température moyennes mensuelles à la station de Sedrata

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avril	Mai	Juin	Juit	Aout
Temp °c	12.9	7.5	4.7	1.7	0.3	1.1	3.2	4.6	8.5	12.3	14.5	15.1

Annexe 3 : Données d'implantation de SEV

Nom	X	Y	Profondeur
M1	965	326	175
M2	955.5	325	175
M5	957.5	323	300
M6	958.1	322	170
M9	965.5	320	305
K4	955.5	322	80
L2	955	324	400
L3	955.5	323.5	230
L4	956.1	323	340
L5	954	322	345
L7	957.5	320.5	130
L9	959	318	270
J2	953.5	323	58
V3	961.5	319	335
T9	962.5	318	35
U5	962.2	318.5	210
S12	963.5	317	25
X2	967	321.3	100
W5	961.8	320.5	100
V8	962.5	319.5	60
U10	963.3	318.5	25
T10	964	318	11

Annexe 4 : Profondeur du toit de l'aquifère calcaire

Nom	X	Y	Toit (m)
MD2	942.4	320	4
D2	968.15	322	22
D3	966.7	325.3	0
D7	970.8	325.5	0
D1	971.5	327.5	0
Md62	958.4	319.25	0
M1	965	326	175
M2	955.5	325	175
M5	957.5	323	300
M6	958.1	322	170
M9	965.5	320	305
K4	955.5	322	80
L2	955	324	400
L3	955.5	323.5	230
L4	956.1	323	340
L5	954	322	345
L7	957.5	320.5	130
L9	959	319	270
J2	953.5	323	58
V3	961.5	319	335
T9	962.5	318	35
U5	962.2	318.5	210
S12	963.5	317	25
X2	967	321.3	100
W5	961.8	320.5	100
V8	962.5	319.5	60
U10	963.3	318.5	25
T10	964	318	11

Annexe 5 : profondeur du toit de l'aquifère alluvionnaire

Nom	X	Y	Toit (m)
MD2	942.4	320	4
D2	968.15	322	22
D3	966.7	325.3	0
D7	970.8	325.5	0
D1	971.5	327.5	0
Md62	958.4	319.25	0

Annexe 6 : profondeur du mur de l'aquifère alluvionnaire

Nom	X	Y	Mur (m)
MD2	942.4	320	16
D2	968.15	321.85	60
D3	966.7	325.3	10
D7	970.8	325.5	12
D1	971.05	327.5	90
Md62	958.4	319.25	6
D8	966.7	326.45	0
MD3	961.45	319.7	0
MD9	954.5	320.475	0
D4	969.6	325.55	0
D9	970.65	320.4	0
D5	973.95	323.3	0
D6	967.1	323.1	0

Annexe 7 : Epaisseur de l'aquifère alluvionnaire

Nom	X	Y	EP (m)
MD2	942.4	320	12
D2	968.15	321.85	38
D3	966.7	325.3	10
D7	970.8	325.5	12
D1	971.05	327.5	90
Md62	958.4	319.25	6
MD9	954.5	315.2	0
MD3	961.45	319.7	0
D8	970.8	326.45	0
D6	967.1	323.1	0
D5	973.95	323.3	0
D9	970.65	320.45	0
D4	969.6	325.55	0

Annexe 8 : Données piézométriques de l'aquifère détritique

Puits	X	Y	NP	Puits	X	Y	NP
1	966.55	321.7	898.4	28	959.8	323.7	851
2	963.3	322.5	895	29	960.4	324.9	919.2
3	962.1	321	861.5	30	963.2	325.9	839.8
4	961.8	321	864.2	31	958.3	321.3	857.6
5	960.8	320.6	874.8	32	957.8	321	893.4
6	959.5	322	859.8	33	957.7	321	894
7	959.5	322.1	854.6	34	958.8	322.2	867.6
8	959.3	322.1	857.9	35	958.6	322.4	874
9	959.3	322	861.2	36	958.3	322.2	876.6
10	959.3	322	869.6	37	958	321.9	874.8
11	958.7	322	859.5	38	958.3	321.5	888
12	958.4	322	859.6	39	957.5	322	878
13	959.9	322.6	860.9	40	957.6	321.9	877
14	960	322.9	869.7	41	957.7	321.8	877
15	960.2	323.2	859.2	42	957.3	321.7	877.5
16	959.9	323.1	857.5	43	957.5	321.8	877
17	959.5	323.4	849.4	44	957.6	321.7	836.5
18	958.9	323.3	863.6	45	954	321	907
19	958.7	323.3	860.2	46	952.2	319.2	894.9
20	958.1	323.4	877.5	47	941.8	317	892
21	957.9	323.7	859	48	954	317.5	857
22	958	323.8	879.7	49	959.9	318.2	846
23	961.5	323.7	889.5	50	961.1	318.2	854
24	957.7	320.3	877.5	51	957	319.2	848
25	961.3	324	839	52	951.5	320	894
26	960.2	960.2	960.2	53	953	318.7	909
27	960.1	324	835	54	953.2	319.9	902

Annexe 9 : Données des analyses chimiques des eaux souterraines de la plaine de M^oDaourouch-Dréa en mg/l

Nom de puits	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3
Ain Madaure	104	24	44	0.3	140	104	104	51
Ain Hadjer	126	20	40	48	120	88	250	100
Puits (C)	64.13	92.36	125.50	1.14	280.79	103.68	172.02	120
D2bis	60	14	206	19	170	143	244	86
D5	144	17	40	01	95	154	244	32
D3	256	10	134	12	240	118	506	25
D4bis	180	17	74	08	155	126	366	13
MD3	80	40	65	12	250	250	-	50
NA	126	8	28	22	60	118	183	50

1. ALGEO. (1982). Etude géophysique par sondage électrique verticale de la région M'Daourouch-Dréa.
2. Carte géologique et notice explicative de la feuille N° 100 de M'Daourouch 1/50 000 (1989). Office national de la géologie.
3. Icosium forage et engineering services (2001). Prospection électrique dans la région de Ragouba- M'Daourouch.
4. Logs de forages mécaniques.
5. Rezaiguia. T. (1999). Etude hydrogéologique de la plaine de Dréa- M'Daourouch, mémoire ingénieur, département des sciences de la terre université d'Annaba.

Résumé

La région de M'Daourouch-Dréa fait partie des hautes plaines du Nord-Est algérien et constitue le synclinal de Montesquieu au Sud-Ouest de la wilaya de Souk-Ahras qui s'étend sur une superficie de 96 km². Elle est caractérisée par un climat semi-aride avec une moyenne annuelle des températures de l'ordre de 14.28°C et reçoit plus de 456 mm/an de précipitations.

Les besoins en eau de la région n'ont jamais cessé d'augmenter et ce pour satisfaire en eau potable une population d'environ 40 000 habitants, cette ressource se trouve menacée de dégradation après l'implantation de quelques unités industrielles dans la région et le développement important que connaît l'agriculture. Une situation qui impose une meilleure connaissance de ce potentiel hydrique de la région quantitativement et qualitativement afin de le préserver d'une éventuelle pollution accidentelle ou diffuse.

Les données géologiques, log de forages et les données de prospection électrique nous ont permis de mettre en évidence deux aquifères : Le premier constitué de formations continentales à dominance sableuse et graveleuse d'une épaisseur qui ne dépasse pas 90 m. Et Le second est plus important localisé dans les calcaires fissurés d'âge Maestrichtien.

Mots clés - Formations continentales, calcaires fissurés, prospection électrique, sondage électrique vertical (SEV), M'Daourouch-Dréa.

Summary

Dréa MDAourouch-region is one of the high plains of North East Algeria and is the syncline Montesquieu in the southwest of the province of Souk Ahras that extends over an area of 96 km². It is characterized by a semi-arid climate with average annual temperatures of the order of 14.28 ° C and receives more than 456 mm / year of rainfall.

The region's water needs have never stopped increasing and to meet drinking water to a population of about 40 000 inhabitants, this resource is under threat of degradation after implantation of some industrial units in the region and the significant development that knows agriculture. A situation which requires a better knowledge of the water potential of the region quantitatively and qualitatively to the preserve from accidental or diffuse pollution.

Geological, drilling and log electrical prospecting data have allowed us to highlight two aquifers: The first consists of continental formations predominantly sandy and gritty with a thickness not exceeding 90 m. The second and most important is located in the old cracked limestone Maestrichtian.