

UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA

FACULTÉ DES HYDROCARBURES, DES ÉNERGIES RENOUVEALABLES ET DES
SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS



Mémoire de Master Académique

Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière : Géologie

Spécialité : Hydrogéologie

THEME

**Essai de modélisation du système aquifère de Sahara
septentrional dans la cuvette d'Ouargla**

Présenté par

Mme: Chebboub Khaoula

Soutenu publiquement le 31-05-2017

Devant le jury :

Président :	Mr. ZEDDOURI AZZIZ	M. A. A Univ. Ouargla
Promoteur :	Mr. ZERROUKI HICHEM	M. A. B Univ. Ouargla
Examineur :	Dr. NEZLI Imed Eddine	M. C. A Univ. Ouargla
Co-Encadreur:	Mr. MELWAH WALID	M. A. A Univ. Ouargla

Année Universitaire : 2016/2017

الملخص: مجال الدراسة, وعاء ورقلة الواقع شمال الشرق لصحراء الجزائر التي تملك خصائص هيدروجيولوجية

كبيرة نظرا لتموقعها في نضام المياه الجوفية في صحراء الشمال الكبير الذي يتكون من وحدتين من طبقات المياه الجوفية هما المركب النهائي و المتدخل القاري .

في دراستنا كان المحتوى نموذج لتدفق المياه الجوفية في منطقة الدراسة حيث تطلب توفر هندسة البنية الداخلية و كل المعلومات الهيدروديناميكية للمنطقة و للابار .

فحصلنا على نموذج يحاكي الواقع بحد ادنى من الاخطاء لتدفق المياه الجوفية في منطقة الدراسة لكل من المركب النهائي و المتدخل القاري .

و هذه الدراسة ستكون قاعدة لدراسة قادمة لانتشار التلوث .

الكلمات المفتاحية: هيدروجيولوجيا, هيدروديناميك . المركب النهائي . المتداخل القاري . النمذجة . طبقة المياه الجوفية في شمال الصحراء

RESUMÉ

Domaine d'études, cuvette d'Ouargla, au nord-est du désert algérien, qui possède une grande propriété hydrogéologiques en raison de son emplacement dans le système des eaux souterraines dans le grand désert du nord(SASS), qui se compose de deux unités d'aquifères sont continental intercalaire et complexes terminale.

Dans notre étude, le modèle de contenu pour l'écoulement des eaux souterraines dans la zone d'étude où demander la présence de la structure interne de l'ensemble du génie et de l'information hydrodynamique pour la région et les puits.

Nous sommes arrivés au modèle simule la réalité avec un minimum d'erreurs pour l'écoulement des eaux souterraines dans la zone d'étude pour chacun du CT et CI.

Cette étude sera la base d'une prochaine étude de la propagation de la contamination.

Mots-clés: hydrogéologie, hydrodynamique, Modélisation, continental intercalaire, complexes terminale, SASS.

ABSTRACT

Field of study, basin of Ouargla , northeast of the Algerian desert, which possesses a large hydrogeological property because of its location in the system of groundwater in the Great Northern Desert (SASS), which consists of two Aquifer units are continental intercalary and terminal complexes.

In our study the content model for groundwater flow in the study area where to request the presence of the internal structure of engineering and hydrodynamic information for the region and the wells.

We arrived at the model simulates the reality with a minimum of errors for the groundwater flow in the study area for each of the CT and CI.

Keywords: Hydrogeology. Hydrodynamic. The final composite. Intercontinental Continental. Modeling. Aquifer in the north of the desert his study will be the basis for a future study of the spread of contamination.

Introduction

Écoulement des eaux souterraines de l'eau est toujours hydrogéologue incontrôlée reste malgré les progrès des outils scientifiques et technologiques, créant ainsi un modèle de l'aquifère, ce qui reflète la réalité de la couche 100% ne sait pas, et entouré de nombreux obstacles, les chercheurs ont discipline totalités.

Nonobstant nous avons voulu dans ce mémoire faire un essai de modélisation, par logiciel « Modflow », du système aquifère du Sahara septentrional (SASS), dans ça partie localisée à la cuvette d'Ouargla, afin de permettre la compréhension du comportement hydraulique de l'eau dans ce réservoir et de le simuler au mieux possible.

Ceci nécessite préalablement des caractérisations de différents aspects liés à cette étude d'où ils sont structurés on chapitre dont :

Le premier chapitre traite : La situation géographique, aperçu géomorphologique et géologique de la zone d'étude et ce sera la définition géographique de la zone d'étude et une étude détaillée de la géomorphologie, la nature litho-stratigraphique de la région et la tectonique.

Le deuxième chapitre est consacré à l'hydroclimatologie : Il comprend une étude climatique au cours des 30 dernières années.

Chapitre III c'est l'hydrogéologie, Il servira à la définition des différentes unités hydrogéologiques de la zone d'étude et leurs caractéristiques hydrodynamiques.

Chapitre IV: Modélisation ; ce chapitre est appliqué au travail où la commande comprend toutes les informations saisies pour le modèle. Le résultat final est un modèle simulant la réalité de l'écoulement de l'eau dans l'aquifère avec un minimum d'erreurs

Conclusion

A la fin de ce travail, nous devons se rapprocher du modèle réel du pot hydrogéologique système Ouargla où nous;

On va modéliser le système aquifère de la cuvette d'Ouargla qui composé de deux grande unités : le complexe terminal CT avec la nappe phréatique comme une seul unité et le continental intercalaire comme une deuxième unité avec représenter les processus en forme simple et simplifier la répartition spatiale, avec une profondeur de 20m à 60m, et épaisseur moyenne ;

Au Nord.800m., Au l'Est entre 520 et, Au Sud.600m, A l'Ouest 200m pour le CT

Et une profondeur 1000m à 2000m et L'épaisseur moyenne

Le CT se compos à 2 formation, le Sénonien et l'Eocène carbonatés.

Le Mio-Pliocène sableux, d'un trois faciès : chloruré sodique et sulfaté magnésien et sulfaté sodique.

Au Nord.1100m, Au l'Est entre 1800 et, Au Sud.1600m, A l'Ouest 2000m pour le CI.

Les formations continentales du crétacé inférieur (Barrémien et Albien), Composé essentiellement de grès, sables et argiles, d'un faciès chlorures et sulfaté sodique.

Avec un minimum d'erreurs.

- nous avons réussi une bonne compréhension de la façon dont le système hydrogéologique grâce à une bonne étude de l'aquifère où nous avons traduit ce modèle à l'algorithme, nous avons pu simuler la réalité de la Terre, la mesure de la différence entre la simulation et la réalité.

L'utilisation de ce modèle facilitera et accélérer la compréhension de certains concepts abstraits de l'écoulement des eaux souterraines. Et veiller à ce que simulent le système des eaux souterraines grâce à notre vitesse de réponse pour modifier les paramètres afin de permettre une meilleure compréhension du rôle de ces derniers et obtenir des ordres de grandeur.

Et nous sommes arrivés à un coefficient de corrélation est égal à 0.912 et le RMS 4.702 pour le CI, et coefficient de corrélation est égal à 0.867 et le RMS 4.561 pour le CT.

Enfin, ces résultats ne sont qu'une petite contribution pour ce système aquifère de grande envergure qui n'a pas encore divulgué tous ses secrets et demeure toujours un sujet faisant appel à des équipes de recherches pluridisciplinaires.

Chapitre : 1

Situation géographique et aperçu

1

Localisation géographique et limites.

2

Aperçu géomorphologique .

3

Réseau hydrographique .

4

Cadre géologique .

5

Tectonique régionale et locale.

6

Paléogéographie.

I. : la situation géographique, aperçu géomorphologique et la géologique de la zone d'étude

I.1. Introduction:

Ce chapitre présente les traits majeurs du milieu d'étude notamment la localisation géographique et, la géomorphologiques du terrain, réseau hydrographie, le cadre géologique, la tectonique et la paléogéographie de région d'étude.

I.2. Localisation géographique et limites :

I.2.1.1. La Situation géographique :

La wilaya d'Ouargla est localisée au Nord-Est du Sahara septentrional; elle est distante de 850 Km de la capitale Alger (Fig.1). Elle est limitée par les wilayas d'El Oued et Biskra au Nord, par celles de Djelfa et Ghardaïa à l'ouest ; Tamanrasset et Illizi au Sud et enfin par la Tunisie à l'Est. La région d'étude occupe le fond d'une cuvette dans la basse vallée de l'oued Mya. Elle inclut les agglomérations de Ouargla, N'Goussa, Rouissat, Ain El Beida et Sidi Khouiled. Cette dépression ou cuvette s'étend entre les coordonnées (UTM, Clarke 1880) :

X = 710000; Y = 3530000 et

X = 730000; Y = 3 600000.

Elle s'étend sur une superficie totale de l'ordre de 95000 Ha qui s'étale sur une longueur d'environ 55 Km orientée Sud-Ouest / Nord-Est et limitée:

- ❖ Au Nord par Sebkhet Safioune;
- ❖ Á l'Est par les ergs de Touil et Arifdji;
- ❖ Au Sud par les dunes Sedrata;
- ❖ Á l'Ouest par le versant est de la dorsale du M'Zab.

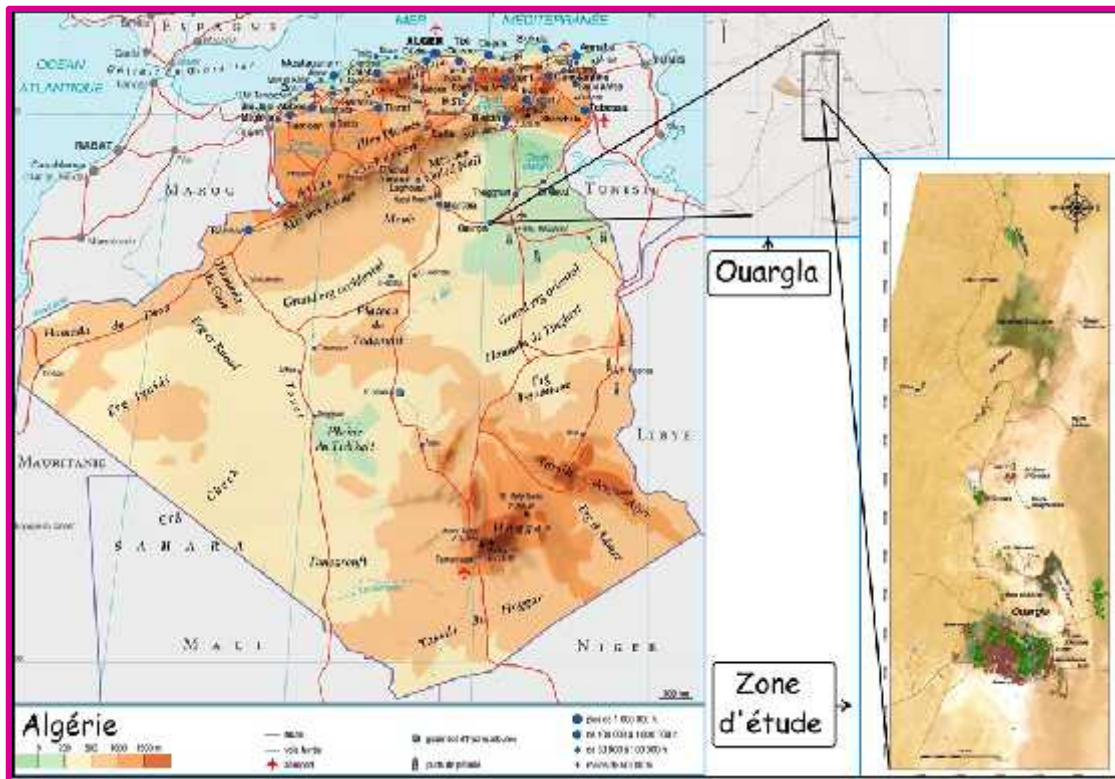


Fig. 01: Situation de la wilaya d'Ouargla

I.3. Aperçu géomorphologique

L'étude géomorphologique de la région fait apparaître les éléments suivants :

I.3.1. La hamada Mio-Plio-Quaternaire : (plateau ou affleurement de grandes dalles rocheuses) : C'est une formation continentale détritique qui forme un plateau dont l'altitude moyenne est de 200 m. Ce plateau s'abaisse légèrement d'Ouest en Est où il est très fortement érodé ne laissant que quelques buttes témoins appelées "goure" (Gara Krime au sud est un exemple des tables éoliennes)

I.3.2. Les glacis : sur les versants Ouest de la cuvette s'étagent du plus ancien au plus récent, d'Ouest en Est sur quatre niveaux de 200 à 140 m d'altitude. Les glacis situés à 180 et 160 m se caractérisent par des affleurements du substrat gréseux du Mio-Pliocène. L'Est de la cuvette est un vaste glacis alluvial à sable grossier situé à 150 m d'altitude.

I.3.3. Les sebkhas : marécages salés, le plus souvent asséchés, occupant le fond d'une dépression. Le chott (ou sebkha) constitue le point le plus bas. Il est constitué de sable siliceux et/ou gypseux à croûte

gypseuse de surface et de subsurface. Le bas fond se caractérise par une nappe phréatique permanente très peu profonde de 1 à 5 m. En aval d'Ouargla, diverses sebkhas alternent avec des massifs dunaires jusqu'à Sebkhet Safioune qui est à 103 m d'altitude point le plus bas de la région

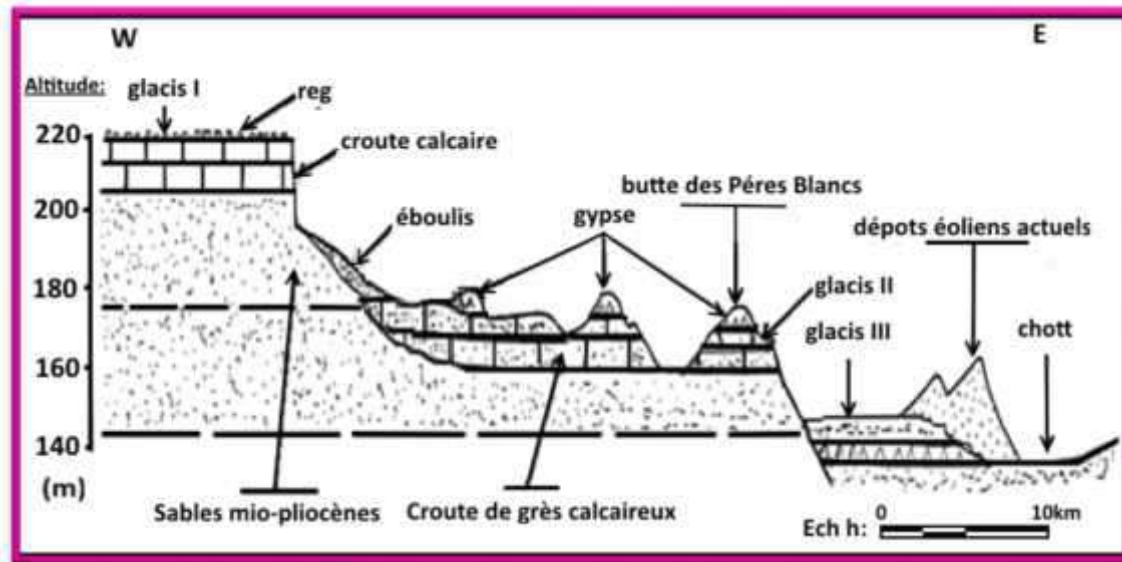


Fig: 02. Coupe géomorphologique schématique de la vallée d'Ouargla

La cuvette de Ouargla est creusée dans les formations continentales du Mio-Pliocène. Il s'agit de sables rouges et de grès tendres à stratifications entrecroisées, avec nodules calcaires, entrecoupés de niveaux calcaires ou gypseux que l'on voit affleurer sur ses bords Est et Ouest.

I.4. Réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique traversant la région est composé des oueds suivants :

- ❖ **Au Sud :** Oued M'ya draine la partie orientale du plateau de Tademaït. Le bassin de l'oued M'ya a la forme d'une vaste gouttière relevée du Sud (800 m) avec une pente très faible (0,1 à 0,2 %) vers le Nord-est. Il s'étend sur 198 00 km², le cours fossile de l'oued M'ya inférieur est jalonné par de vastes sebkhas jusqu'à Ouargla, distant de 200 km environ du point externe. Si l'on admet cependant que l'oued M'ya se jetait dans le chott Melrghir actuel, sa longueur devrait atteindre les 900 km.

- ❖ **A l'Ouest** : Oued M'Zab; leur bassin versant est de superficie d'environ 5000 km², à une altitude de 750 m de la région de Batma E'Rouilla écoulé à la direction Ouest-Est d'une distance de 350 Km vers Sebkheth Safione d'une altitude de 104 m. Les crues peuvent accede Sebkheth Safione.
- ❖ **Au Nord-ouest** : Oued N'sa ; leur Le bassin versant couvre une superficie de 7800 Km², peut présenter des crues importants (**RADJA Belaid.2014**).

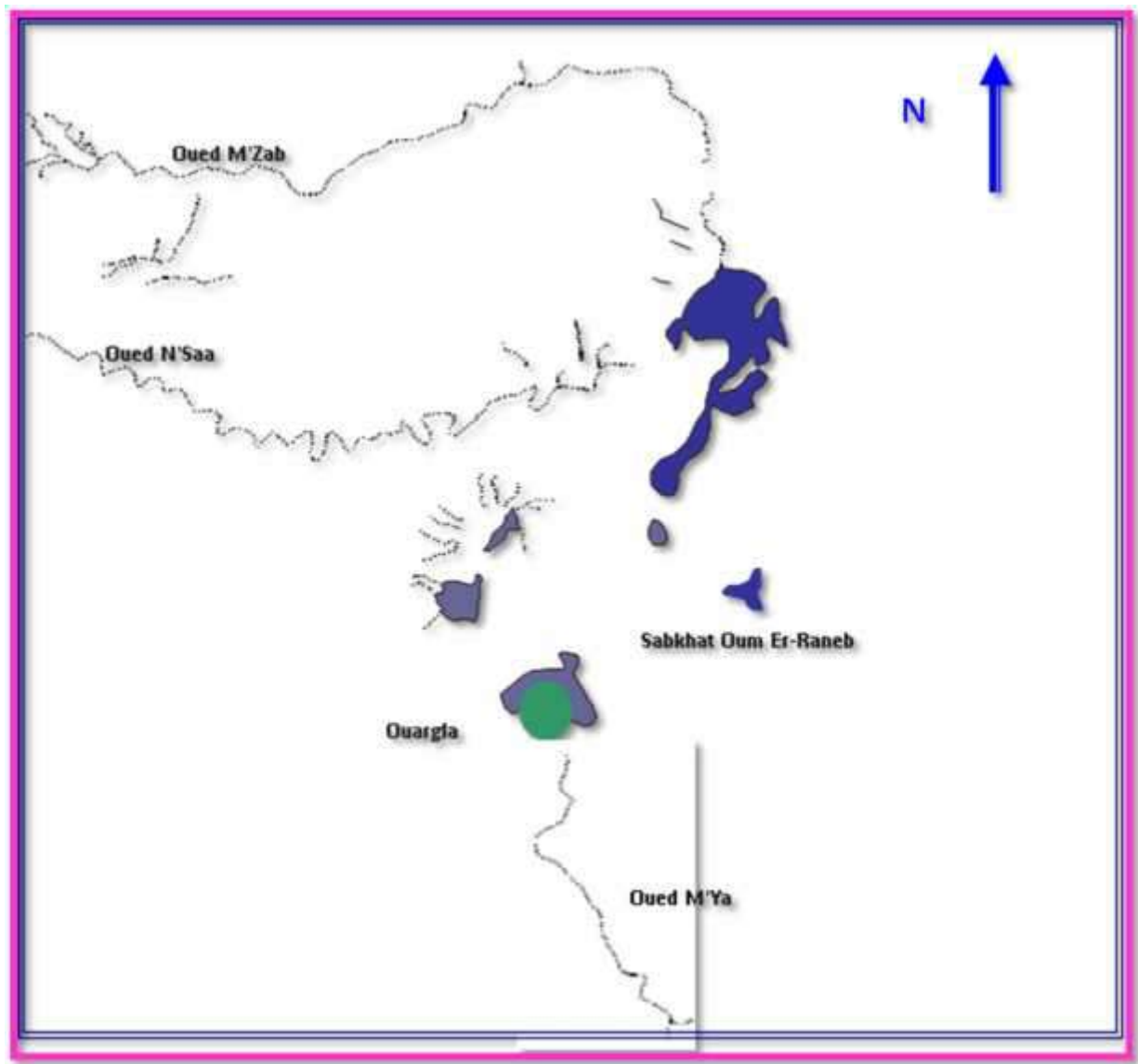


Fig.03: Le réseau hydrographique de la cuvette

I.5.Cadre géologique :

I.5.1.Géologique régionale :

La cuvette d'Ouargla fait partie du bassin Algéro-Tunisien «Mésozoïque saharien», mis en évidence par (BUSSON ,1970) celui-ci appartenant à la plate-forme saharienne. Ce bassin est composé de deux grands ensembles de terrains paléozoïques et mésozoïques séparés par la discordance régionale Hercynienne.

I.5.1.1. Bassins de la plate-forme saharienne :

IL est situé au Sud de l'Algérie alpine appartient au craton Nord-Africain, domaine relativement plus stable. Il comprend un socle précambrien sur lequel repose en discordance une puissante couverture sédimentaire, structurée au Paléozoïque en plusieurs bassins séparés par des zones hautes. On distingue d'Ouest en Est:

- ❖ les bassins de Tindouf et de Reggane situés sur les bordures Nord et Nord-Est du bouclier Reguibat ;
- ❖ bassin de Béchar limité au Nord par le Haut Atlas, au Sud et à l'Ouest par la chaîne d'Ougarta.;
- ❖ le bassin d'Ahnet-Timimoun limité au Nord par le haut fond d'Oued Namous, à l'Ouest par la chaîne d'Ougarta, au Sud par le bouclier Touareg et à l'Est par la dorsale d'Idjerane-Mزاب ;
- ❖ les bassins du Mouydir et de l'Aguemour - Oued M'ya sont limités à l'Ouest par la dorsale d'Idjerane-Mزاب et à l'Est par la dorsale Amguid-El Biod. Au Sud, les sédiments paléozoïques affleurent dans le Mouydir. Au Nord, dans la dépression d'Aguemour-Oued M'ya, comblée par une série paléozoïque et méso- cénozoïque à 5000 metre à Oued M'ya.
- ❖ La synéclise d'Illizi – Berkine (ex Ghadmes) est limitée à l'Ouest par la dorsale d'Amguid-El Biod et à l'Est par le môle de Tihemboka et les confins tuniso-libyens.

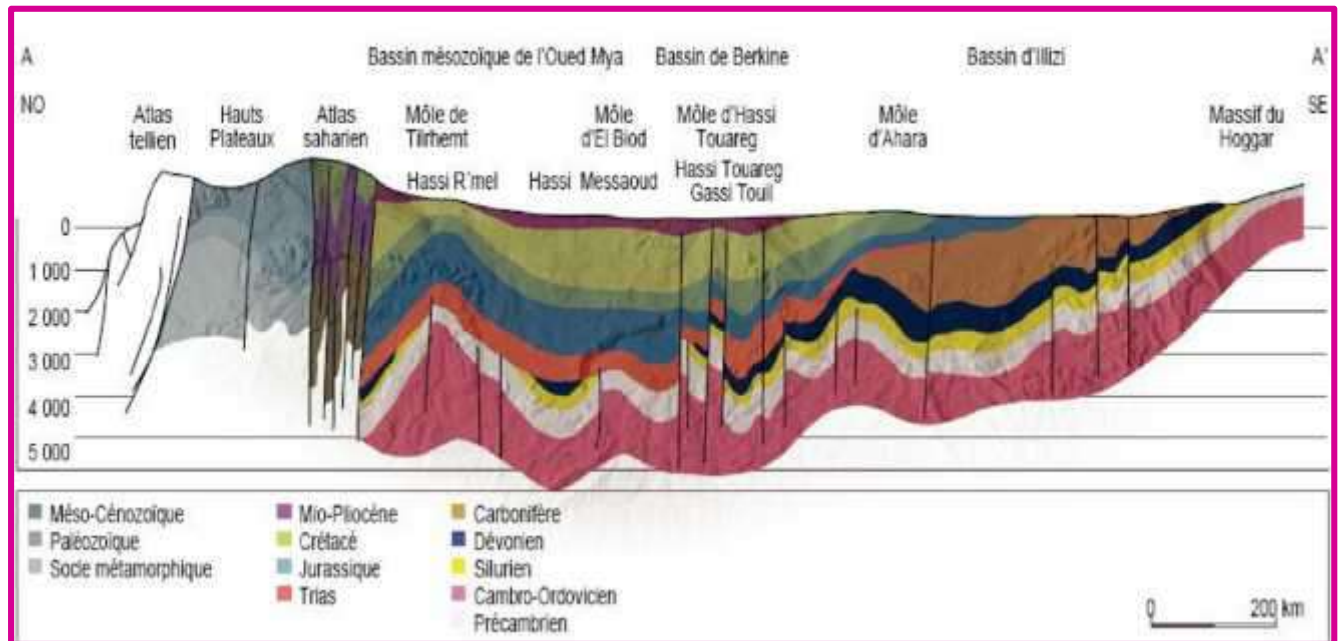


Fig.04-Coupe géo structurale transversale régionale (WEC, 2007)

I.5.1.2.Litho-stratigraphie :

I.5.1.2.a. Paléozoïque :

➤ Cambrien

Les dépôts cambriens reposent sur le socle cristallin sont représentés par des grès et des quartzites à passées conglomératiques.

➤ Ordovicien

Il constitue un ensemble de 500 mètres, allant du Trémadoc à l'Ashgill. Les coupes les plus complètes se situent dans les dépressions de l'Oued M'ya et de Timimoun. Les dépôts fluviatiles s'agencent autour des régions émergées et forment les falaises du Tassili interne. Les dépôts marins se rencontrent au Nord en subsurface en devenant les Chaînes de l'Ougarta. Des traces de glaciation ont été décelées dans l'Ordovicien terminal.

➤ Silurien

Cette période est caractérisée par une sédimentation terrigène fine, argileuse en milieu marin. La série est homogène à environ 600 mètres et est représentée par des argiles noires à Graptolites et des argiles à passées gréseuses et des rares bancs carbonatés. Les argiles noires représentent un repère stratigraphique connu sur l'ensemble de la Plate-forme Saharienne.

➤ **Dévonien**

✧ Dévonien inférieur

Ces dépôts sont argilo-gréseux, présentent des faciès très variés:

- Lochkovien : est représenté par des sédiments argilo-gréseux d'une puissance maximum de 850 mètres dans le Sud-Ouest de la dépression de l'Oued M'ya.
- Praguien est plus développé que le Lochkovien, est surtout gréseux à variations de faciès tant latérales que verticales.
- Emsien : est composé des -calcaire à gréseux, termine le Dévonien inférieur. Dans les régions occidentales, sa limite inférieure à la base constituée d'un banc calcaire appelé "Muraille de Chine".

✧ Dévonien moyen et supérieur

La coupe stratigraphique du Dévonien moyen et supérieur est caractérisée par des lacunes de sédimentation. Les dépôts sont les plus touchés par l'érosion frasnienne ou famennienne. Le Dévonien moyen, dont l'épaisseur varie de 100 m à 250 m, est moins développé que la série précédente. Dans les régions Ouest, il représente le faciès argilo-carbonaté et évolue, vers l'Est, à des argiles à passées marneuses et calcaires avec des bancs de grès. Le Dévonien supérieur représente une extension identique au Dévonien moyen. Dans les régions occidentales, il atteint 1700 m sous un faciès argilo-carbonaté tandis que, dans les régions orientales, ses dépôts argilo-silteux n'atteignent que 900 m environ.

➤ **Carbonifère**

Le Carbonifère correspond au cycle sédimentaire paléozoïque.

I.5.1.2.b. Mésozoïque

➤ **Trias**

D'après (BUSSON, 1970), il existe une grande variabilité de faciès et d'épaisseurs du Trias. Il est divisé en grandes unités lithologiques distinctes qui sont: salifères, argileuses, argilogréseuses et /ou carbonatées. L'épaisseur de ces différentes formations varie où les bancs salifères s'intercalent.

- Le Trias argilo-gréseux inférieur d'épaisseur augmente vers le Nord-Ouest de 150 à 180 m, est diminué dans les zones de hauts-fonds (HassiMessaoud, rhourd . El Baguel).
- Le Trias salifère, présente une grande épaisseur de 700 mètre au N-E de Ghadamès, il atteint 1300 m à H. Messaoud (OSS, 2003).

➤ **Jurassique**

Le Jurassique inférieur et moyen comprend des couches évaporitiques constituées des sels, des anhydrites et des argiles sur les quelles se superposent des couches marines et qui se présentent sous forme des calcaires et des argiles avec des bancs d'anhydrites.

La transgression jurassique couvre le bassin du Grand Erg Oriental. Le Jurassique est caractérisé par une permanence relative du régime marin permanent avec des sédiments du milieu confinés. Le passage du Jurassique au Crétacé inférieur se caractérise par des apports terrigènes d'ont l'origine les reliefs nourriciers situés au Sud du bassin saharien (BUSSON, 1970).

➤ **Crétacé inférieur**

L'étude des données de sondages (BUSSON, 1967, 1970 et 1971) a permis de préciser la succession des paléogéographies au cours du Crétacé inférieur (FABRE, 1976). Il est constitué par des couches terrigènes fluvio-deltaïques avec les formations marines du Jurassique supérieur. Le Crétacé inférieur comprend à partir des formations les plus anciennes:

- Néocomien comprend dans le Bas-Sahara des argiles vertes et rouges avec de l'anhydrite en bancs massifs à la base. Elles sont surmontées par une alternance des dolomies et d'argiles.

- Barrémien est caractérisé par un des formations détritiques du Crétacé inférieur jusqu'au dans le Bas-Sahara. Ces formations présentent des grès fins ou grossiers et des argiles provenant du Hoggar.
- Aptien est un bon repère lithologique dans les sondages. Il est représenté dans la partie du Bas-Sahara, par 20 à 30 m en moyenne, de dolomies alternant avec des lits d'anhydrite, d'argiles et
- Albien est caractérisé par un retour de la sédimentation terrigène. Cet étage regroupe les sables et les argiles comprises entre la barre aptienne et les formations argileuse.

Le changement du régime sédimentaire et l'arrivée des sédiments détritiques s'est produit entre le Néocomien et le Barrémien (FABRE, 1976) et au cours de l'Albien.

➤ **Cénomanién**

Le Cénomanién est formé par une alternance de bancs de dolomies, des calcaires dolomitiques, d'argiles et d'évaporites. Son faciès varie au Sud de Ouargla, les argiles et les évaporites dominent, au Nord, se trouvent les bancs des calcaires et des dolomies. L'épaisseur augmente du Sud vers le Nord. La présence de nombreux bancs d'évaporites et d'argiles rendent le Cénomanién imperméable. [31]

- Le Cénomanién inférieur à moyen est argileux dans le Tinrhert et le Bas-Sahara.
- Le Cénomanién supérieur présente des calcaires (BUSSON, 1970).

➤ **Turonien**

Se présente sous trois faciès différents, du Sud au Nord : au Sud du parallèle d'El Goléa, est calcaro-marneux ; entre El Goléa et Djamaâ, il est calcaire ; au Nord de Djamaâ, il est à nouveau calcaro-marneux. Son épaisseur moyenne varie entre 50 et 100 m et augmente dans la région des chotts. [31]

➤ **Sénonien**

Il s'individualise en deux faciès :

- Sénonien inférieur caractérisé par des formations argileuses et salifères à anhydrite et sel gemme ; il est très peu perméable (BUSSON, 1970).
- Sénonien supérieur ou Sénonien carbonaté présente une formation carbonatée perméable.

➤ **Eocène**

En Algérie, On distingue dans l'Eocène deux ensembles différents du point de vue lithologique :

- A la base, l'Eocène carbonaté est formé par des dolomies et des calcaires dolomitiques avec intercalations de marnes, d'argiles, d'anhydrite et des marnes. La puissance de cette formation varie entre 100 et 500 m. L'épaisseur maximal se situe dans la zone du Bas-Sahara.
- Au sommet, l'Eocène évaporitique est formé par une alternance des calcaires, d'anhydrites et des marnes. Son épaisseur atteint une centaine de mètres sous les Chotts.

L'Eocène constitue le dernier épisode marin du Sahara algérien (BUSSON, 1970).

➤ **Mio -plio-Quaternaires**

Le Tertiaire continental du Sahara est épais de 150m. Il se présente sous forme d'un faciès sableux et argileux avec des gypses.

Le Bas-Sahara, présente une sédimentation lacustre sous forme des séries sableuses et argileuses connues sous le nom du Continental terminal dont l'épaisseur atteinte, dans la région des Chotts algéro-tunisiens, quelques centaines de mètres. L'ensemble est surmonté par le Plio-Quaternaire argilo-sableux et gypseux qui résulte de la sédimentation en milieu lacustre durant la phase d'assèchement des lagunes et des chotts (BUSSON, 1970)

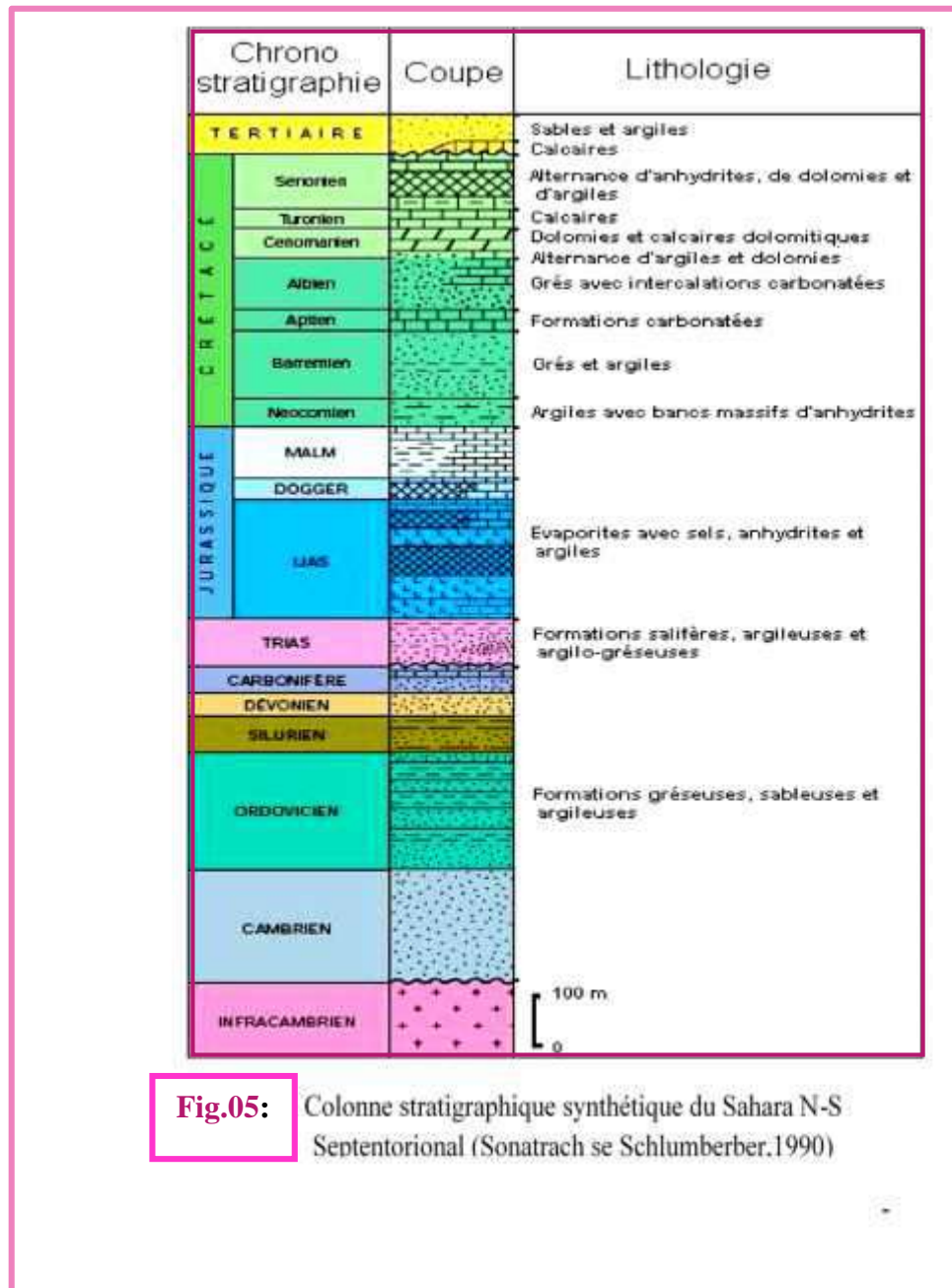


Fig.05: Colonne stratigraphique synthétique du Sahara N-S Septentrional (Sonatrach se Schlumberber,1990)

I.5.1.3. Cuvett du bas-Sahara:

La ville d'Ouargla se trouve dans la dépression d'Oued M'ya. Cette dépression fait partie, du « Bas Sahara ». Le bas-Sahara se limite au Nord par l'accident Sud atlasique à l'Est par les affleurements crétaés du Dahra ; Au Sud par la falaise méridionale du Tihert ; à l'Ouest par la dorsale du M'ZAB ; le bas-Sahara se présente comme une cuvette synclinale. Il est caractérisé par un remplissage sédimentaire

plus ou moins sphérique ayant un diamètre de 600km; divisé en deux parties : le bassin occidental du Tademaït et le bassin oriental du Tihert.

I.5.1.4. Bassin d'Oued M'ya :

Le bassin d 'Oued M'ya est un bassin intracratonique dont se développent les séries types de la province triasique : une formation du Mio-pliocène de 0 à 400 m et une épaisse série mésozoïque. Cette dernière s'épaissit vers le NE du bassin et repose en discordance angulaire sur des formations paléozoïques affectées par l'érosion hercynienne.

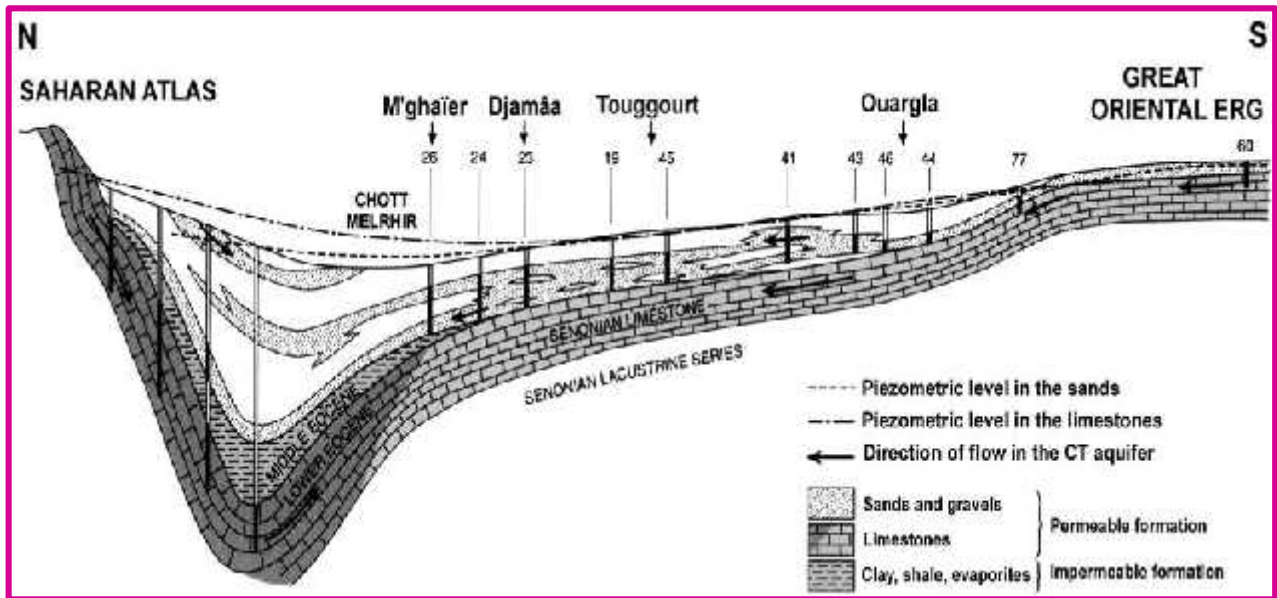


Fig:06. Coupe géologique schématique : N-S (bas sahara.1964)

I.5.2. Géologie locale

La région d'étude correspond à une dépression d'une superficie de 750 Km environ. Elle est située dans le lit Quaternaire de la basse vallée fossile de l'oued M'ya qui descend du plateau du Tademaït au Sud et se termine à Sebket Sefioune. (Dubief, 1963) .

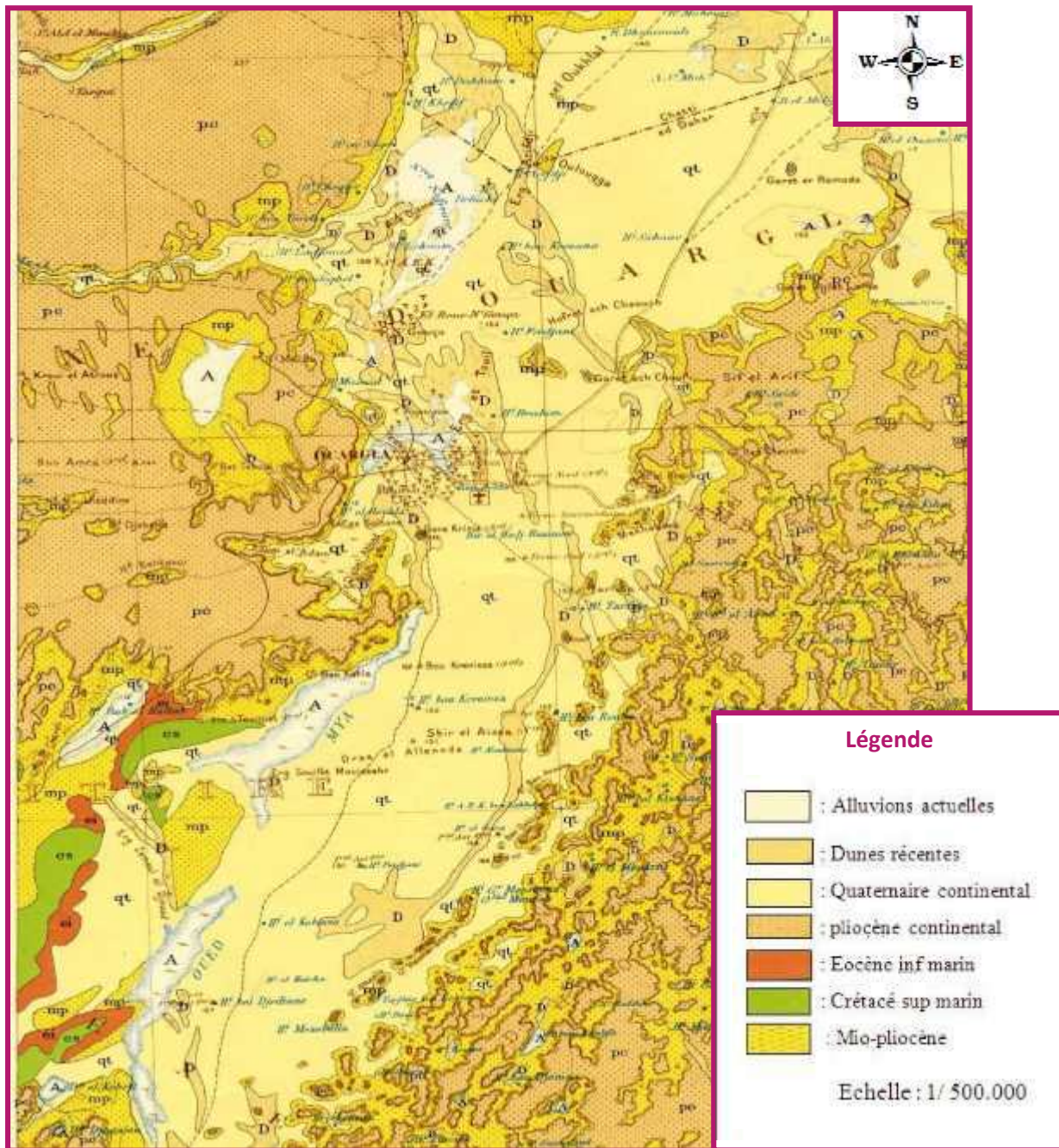


Fig.07-: Carte géologique régionale (extraite de la carte géologique de l'Algérie à l'échelle : 1/500 000, feuille de Constantine).

I.5.2.1. Litho-stratigraphie

La géologie des terrains de Ouargla est connue par une lithologie détaillée allant du Barrémien jusqu'au Mio-pliocène.

I.5.2.1.a. Secondaire

➤ Barrémien

Les principaux constituants de cet étage sont les éléments clastiques en particulier les grés avec des passées d'argiles et parfois il existe les carbonatés. Cet ensemble présente une épaisseur de 300 à 400m et plus.

➤ Aptien

Il constitue une barre « barre aptienne » dans la région de Ouargla, formée de marnes dolomitiques des couleurs des couleurs gris, vert, bruns, ou blanche ; de dolomies cristallines son épaisseur est variable ; elle est comprise entre 20 et 26m.

➤ Albien

Il correspond à la série lithologique supérieur du continental intercalaire. Les épaisseurs d'albien gréseux de 200 à 300m ; les éléments détritiques deviennent prépondérants de 70 à 90%, sont représentés par des grés moyens et d'intercalation de sable grossiers à ciment argileux ou carbonaté. On note des passées d'argile bruns rouge ; gris verts et beiges ; les puits les plus septentrionaux okj20, okj60 présentent des marnes et des argiles dolomitiques gris-vert.

➤ Vraconien

L'intercalation albo-vraconienne caractérise un épisode dolomitique remarquable entre les grés albiens et les argiles cénomaniennes ; elle est formée :

- Dolomies et des calcaires dolomitiques parfois argileux contenant des rares débris de mollusque ; les épaisseurs sont inférieures à 100 m mais supérieures à 50m sur Haoud-Berkaoui.

- Argiles et marnes dolomitiques en proportion et des éléments détritiques.

➤ **Cénomanién**

Il est formé de deux séries :

- Série inférieure

Conductrice et épaisse de 65 à 80m selon les puits elle est argileuse. Dans la région de Ouargla ce sont des argiles dolomitiques et des marnes grises avec des argiles bruns -rouge ou gris-vert, avec passées de calcaires dolomitiques apparaissent à la partie moyenne de l'intervalle.

- Série supérieure

Résistante, et épaisse de 60 à 70 m. Elle est formée d'une alternance d'argiles et des marnes dolomitiques grises, parfois d'argiles salifères de bancs d'anhydrite, avec intercalations de calcaires dolomitiques. Dans certains puits OK101, OKP24 présent des sels gemme.

➤ **Turonien**

Il présente une dalle d'une épaisseur régulière « barre Turonienne » ; Il s'agit d'une série calcaire : calcaire crayeux blanc, parfois grisâtre, pulvérulent, quelques fois dolomitique, de calcaire beige parfois oolitique et de calcaire fin parfois dolomitique.

➤ **Sénonien lagunaire**

Le sénonien lagunaire est particulièrement épais, son épaisseur est de 400 à 600 mètre. Il est formé de:

- Anhydrite inférieure

Son épaisseur atteint des valeurs élevées entre 40 et 50 m et présente des intercalations d'argiles grises à gris-vert et des passées de sel.

- Salifère

Il correspond à l'intervalle compris entre l'anhydrite inférieure et anhydrite moyenne entre 151 et 168 m en plus du sel massif avec des passées d'argiles brun-rouge.

- Anhydrite moyenne

Son épaisseur est supérieure à 100 m, l'intervalle comporte deux parties assez différentes :

- ❖ La base sur une cinquantaine de mètres correspond à une zone d'argiles dolomitiques rouge-brune avec d'anhydrite et des calcaires dolomitiques.
- ❖ Dans la partie supérieure on note une alternance d'anhydrites marnes et des calcaires dolomitiques et des dolomies gypseuses à ostracodes et des calcaires argileux.
- ❖ La zone calcaréo-argileuse est épaisse à l'Est OKP 24, elle est formée de 3% de calcaires, 20% de dolomies, 25% d'argiles et 25% d'anhydrites.

- Anhydrite supérieure

L'épaisseur est importante : une partie s'intègre à l'anhydrite supérieure. L'anhydrite massive souvent gypseuse forme 55% à 77% elle s'intercale des marnes dolomitiques gris à beiges des calcaires dolomitiques parfois vacuolaires.

I.5.2.1.b. Secondaire -Tertiaire

➤ Sénono- Eocène Carbonaté

Dans la région d'Ouargla, il devient impossible de distinguer le Maestrichtien et l'Eocène. La disparition du repère à anhydrite qui sépare ces deux ensembles stratigraphiques. Le sénono –éocène est formé de carbonate ayant une épaisseur entre 150 mètre et 200 mètre. Les carbonates lithologiquement forment le quasi totalités de l'intervalle ; il s'agit des calcaires dolomitiques cristallins et parfois vacuolaires ou crayeux.

➤ Mio-Pliocène

Le Mio–pliocène correspond au continental terminal. C'est un puissant ensemble des sables et d'argiles qui s'étend sur tout le Sahara et repose en discordance sur le sénonien et l'éocène; son épaisseur atteint 180 mètre.

Le Mio-Pliocène est constitué essentiellement de (4) niveaux, de bas en haut on distingue :

- Un dépôt argileux peu épais (<10 m) recouvrant dans la partie centrale de la cuvette et suivant une bande Nord-Sud, le Sénono-Eocène;
- Un niveau gréso-sableux qui devient argileux vers le sommet, c'est le niveau le plus épais (>30 m) et le plus constant;
- Un niveau argilo-sableux dont les limites inférieures et supérieures sont assez mal définies. Cette couche n'apparaît que dans certains endroits;
- Un niveau très épais (30 m) dans la zone des chotts, à sommet affleurant sur de grandes surfaces et souvent constitué par une croûte de calcaire gréseux;

I.5.2.1.c. Quaternaire

Le quaternaire est formé des sables d'une part, d'autre part des produits de remaniement des terrains Mio-pliocène, son épaisseur est de 0 à 20m. L'utilisateur des piézomètres des échantillons ont été prélevés sur la première vingtaine de mètres : l'analyse et l'interprétation des courbes granulométriques montre qu'il s'agit des sables fins parfois moyens à grossier.

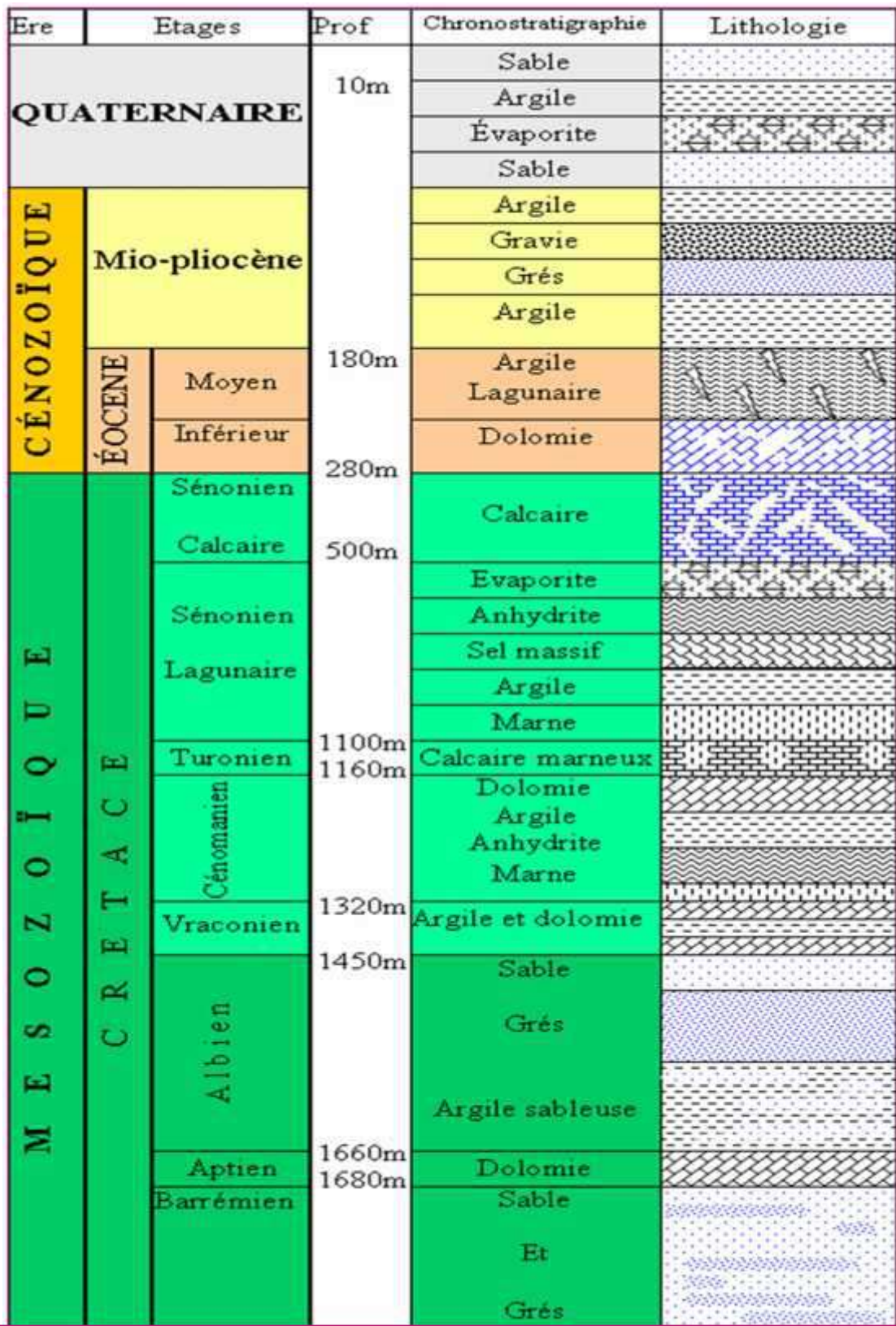


Fig. 08: Colonne stratigraphique synthétique de la région d'Ouargla

I.6. Tectonique régionale et locale

La plate-forme saharienne est le résultat de plusieurs phases tectoniques intenses qui ont affecté la région au cours des temps géologiques.

- Dans le Sahara occidental, les mouvements de l'orogénèse hercynienne sont les principaux responsables de la déformation et de la structuration.
- Dans le Sahara central et de Nord oriental, les mouvements hercyniens et les mouvements de l'époque mésozoïque sont tous les deux responsables de la structuration.

Les principales phases tectoniques qui ont structuré la plate-forme saharienne sont :

I.6.1. Phase panafricaine

Pendant de cette période des accidents profonds sub-méridiens sont provoqués par une collision continentale entre le craton Ouest –africain et le bloc Est –africain. Les grandes failles sub-méridiennes ont joué un rôle important dans la structuration et la sédimentation de la plate-forme saharienne. Cette phase s'achève fin au cours du Cambrien et sera suivie d'une érosion intense.

I.6.2. calédonienne

I.6.2.a. Phase distensive du Cambro-Ordovicien

Cette phase est matérialisée par une variation d'épaisseur et de faciès des séries cambroordoviciennes et l'existence de roches volcaniques à la faveur d'une distension importante.

I.6.2.b. Phase de compression tectonique (Caradoc)

Cette phase présente changement de contraintes qui sont à l'origine de mouvements compressifs, cette situation se matérialise par la formation de plis le long des accidents majeurs qui sont accompagnés par des soulèvements régionaux.

I.6.2.c. Phase calédonienne tardive

Vers la fin du Silurien et le début du Dévonien, l'équilibre est rompu par un important apport de matériel détritique provenant du Sud- Est, cette phase est caractérisée par des variations d'épaisseurs et de faciès sur les axes structuraux majeurs

I.6.3. Phase hercynienne

La phase hercynienne engendrée les plus importants mouvements qu'a connu la plate-forme saharienne. Elle est à l'origine des principales déformations (failles, flexures, grabens et horsts), le cycle orogénique hercynien est caractérisé par deux principales phases :

I.6.3.a. La phase précoce

Les mouvements précoces d'âge viséen semblent responsables des bombements de type compressifs de l'Ougarta, ils se sont manifestés par les plis allongés de direction (NO-SE) accompagnés par des failles inverses de même direction.

I.6.3.b. La phase tardive

Elle est survenus à la fin du Carbonifère elle à provoquer l'arrêt de la sédimentation. Après des déformations intenses, une importante érosion des séries paléozoïques se trouvaient dans les zones hautes a eu lieu à la fin de la phase hercynienne. La discordance hercynienne est matérialisée par une surface d'érosion qui sépare les séries paléozoïques des séries mésozoïques.

I.6.4. Phase post-hercynienne

A la fin du Trias et vers le début du Jurassique d'autres phases de plissements sont marquées par une tectonique distensive matérialisée par une variation d'épaisseur et de faciès de part et d'autre des accidents NO-SE, NE-SO et des manifestations volcaniques le long de ces failles.

I.6.5. Phase Autrichienne

Au Crétacé inférieur, la phase autrichienne est caractérisée par une tectonique compressive qui est à l'origine d'une reprise des failles inverses préexistantes et la création d'autres failles inverses de direction Nord-Sud.

I.6.6. Phase Pyrénéenne

Au Tertiaire, durant le Sénonien et l'Eocène, les failles de direction NE-SO se sont réactivées par la phase de compression pyrénéenne C'est une phase compressive de direction Nord EstSud Ouest.

A la fin du Pliocène, une phase tectonique intervient, flexurant et failant la bordure de la cuvette de Ouargla, vont pendant le quaternaire, s'écouler l'oued M'ya, Igharghar et Righ; et se former les grandes dunes de l'Erg oriental.

Periode Max D'activite	Direction de la contrainte	Effet sur le system failles	Effet sur la sedimentation
PANAFRICANE	E-W 	Tectonique cassante créant des failles et des fractures conjuguées NW-SE & NE-SW	Compartimentage du carton du sahara central.
COMBRO-ORDOVICIENNE	NW-SE 	Mouvement normal le long des failles N-S	Les variations de l'épaisseur sont contrôlées par la faille. Basculement NW de la plateforme saharienne volcanisme.
TACONIQUE (Caradoc-ashgilien)	E-W 	Mouvement inverse le long des failles N-S résultant Formation des structures N-S	Soulèvement des boucliers, Regubat et Toureg.
CALEDONIENNE (Cairur-Devonien)	E-W 	Mouvement inverse ou décrochant le long des failles N-S	Erosion le long des zones hautes d'orientation N-S & E-W (Tihemboka, Ahara)
FRANSIEN	NW-SE 	Mouvement normal le long des failles NE-SW	Non-dépôt et érosion locale (Mole d'Ahara) volcanisme
VISEEN (Hercynienne précoce)	N40° 	Mouvement inverse ou décrochant le long des failles N-S Début de formation de la chaîne varisque	Erosion sur Tihemboka et soulèvement de l'Ouhgarta.
CARBONIFERE SUP A PERMIEN (Hercynienne principale)	N120° 	Mouvement inverse ou décrochant le long des failles NE-SW (résultat de la formation de pangée)	Erosion sur les axes NE-SW
RIFTING TRIAS-LIAS (AUTRICHIENNE)	NW-SE 	Réactivation des failles NE-SW se terminant ou TAGS et S4	Contrôle de la sédimentation par failles entraînant une variation rapide d'épaisseur le long des failles NE-SW
CRETACE INFERIEUR (Autrichienne)	E-W 	Réactivation des décrochements des failles N-S & NE-SW résultant du mouvement différentiel de la plaque européenne et de la plaque africaine	Erosion des sédiments du crétacé sous L'aprien (l'Arche d'El Biod & Ilizi) Effet léger sur le bassin de Berkine.
EOCENE (pyrénéenne)	N-S & NW-SE 	Début de chevauchement au nord résultant de la convergence de la plaque européenne Décrochement de la faille S. Atlas.	
MIOCENE	NW-SE & NS 	Episode de compression majeur dans le domaine atlasique	Sédimentation prédominante de flyshs au Nord.
POST-VILLAFRANCHIEN (Alpine)	N-S 	Basculement et inversions de blocs. Période finale de compression dans le domaine atlasique. Evénement majeur de collision.	Soulèvement du Hoggar. Basculement du bloc D'El Borma

Fig. 09- Les phases tectoniques de la plate-forme saharienne (Boudjema, 1987)

I.7.Paléogéographie :

L'étude paléogéographique a été tirée des travaux de (Cornet, 1964, Busson 1970) les dépôts des formations marines du primaire, le Sahara a subi des mouvements tectoniques hercyniens verticaux et horizontaux, puis des mouvements post-Triasiques et le Sahara oriental s'affaissent. □ Trias

Se caractérise par des dépôts d'argiles et des calcaires marquant une vaste transgression. Un régime lagunaire s'installé sur l'ensemble de la région.

➤ **Jurassique et le Crétacé inférieur**

Les sédiments accumulés à cette époque sont des sables éoliens, fluviatiles et des argiles continentales. L'ensemble de ces dépôts transformé en grés poreux appelés :

"Continental intercalaire" dans lequel sa partie supérieure représente la nappe albienne.

➤ **Crétacé supérieur et à l'Eocène**

- Vraconien

Un régime de lacs et de lagunes apparaît. Il engendre des dépôts d'argiles, de dolomies, d'argiles sableuses et de grés à ciment calcaire.

- Cénomaniens inférieurs

Une mer peu profonde s'avance vers le Sud jusqu'au Tassili, mais elle connaît plusieurs phases de régressions. Ces dépôts se composent d'une alternance d'argile et d'anhydrite.

- Cénomaniens supérieurs

Le régime est marin avec des dépôts de dolomies et de calcaires dolomitiques.

- Turonien

Il ya existence d'un régime marin, responsable du dépôt de calcaires et de dolomies sur l'ensemble du Sahara. A la fin du Turonien, un retour au régime lagunaire est nettement prononce par des dépôts de bancs d'anhydrites, des dolomies, d'argiles et des sels.

L'ensemble de ces dépôts appartient au Sénonien lagunaire.

- Au Sénonien supérieur

Une nouvelle transgression marine se manifeste, elle est responsable des dépôts de dolomies, de calcaires dolomitiques et d'intercalations de marne, d'argile et d'anhydrite.

- A l'Eocène

Au Nord un mouvement de subsidence révèle par un accroissement des épaisseurs des dépôts carbonates du Sénonien et de l'Eocène de 160 m d'Ouargla. Après l'Eocène inférieur la mer n'occupe qu'un golf très réduit au Nord de la cuvette. Il s'agit d'une mer résiduelle se dépose des calcaires, des argiles, des marnes et des anhydrites.

➤ **Tertiaire Continental**

Quatre niveaux ont put être distingués dans le Tertiaire Continental du Bas-Sahara :

- à la base, un dépôt argileux peu épais recouvre dans la partie centrale de la cuvette, suivant une bande Nord-Sud les formations du Sénonien, de l'Eocène carbonate et de l'Eocène évaporitique.

Il est recouvert par un dépôt grés-sableux qui devient argileux vers le sommet;

- à proximité du niveau supérieur, un deuxième sableux apparait ; la sédimentation continentale s'achève, après la mise en place des formations lagunaires discordantes assure le dépôt d'un calcaire.

Dans notre zone d'étude, l'évolution de la région d'Oued M'ya depuis le Cambrien comporte deux étapes majeures :

- La sédimentation du Paléozoïque, pratiquement restreinte au Paléozoïque inférieur et sa structuration pré-hercynienne.

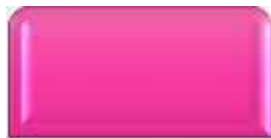
- La création d'un bassin au Trias et son évolution au cours du Mésozoïque et de Tertiaire.

I.8. Conclusion :

Notre zone d'étude fait partie du Sahara Algérien, inclut dans la grande unité structurales de substratums géologiques, qu'il est le bassin sédimentaire du Sahara septentrional ; est présente une tectonique relativement stable, la vallée de l'Oued M'ya s'inscrit dans un dépôt détritique de terrains tertiaires (moi-pliocènes) et quaternaires, dans lequel les sables dominant avec alternance des argiles, des calcaires et du gypse. Les conditions géologiques dans la cuvette du Bas-Sahara et la disposition des formations sédimentaires permet une circulation souterraine des eaux précipitées sur les affleurements, et à l'aide de l'agencement de terrains perméables et imperméables favorables à emmagasiner l'eau. Constituée un grande système des nappes souterraines qui alimentent la région.

Chapitre : 2

Hydro climatologie



Parametres climatiques

-
- La température .
 - La pluviométrie :
 - L'humidité de l'air :
 - Le vent:
 - L'insolation
 - L'évaporation:
 - Indice d'Aridité de DEMARTONNE :
 - Climatogramme d'Emberger
 - Diagramme pluvio-thermique de GAUSSEN
 - Bilan hydrique

II. PARAMETRES CLIMATIQUES

II.1. Introduction

Le climat de la région d'Ouargla est particulièrement contrasté malgré la latitude relativement septentrionale. L'aridité s'exprime non seulement par des températures élevées en Été et par la faiblesse des précipitations, mais surtout par l'importance de l'évaporation due à la sécheresse de l'air.

II.2. La température

C'est un facteur principal qui conditionne le climat de la région. L'analyse des températures sera faite à partir des données recueillies de l'ONM - Ouargla période (1982-2012). La température moyenne annuelle pour un climat aride comme celui d'Ouargla,

Tableau.01: Températures moyennes mensuelles (Station d'Ouargla, 1982-2012)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T moy (°C)	11.87	14.71	18.61	23.13	27.67	32.68	35.57	35.28	30.51	26.25	28.72	12.18

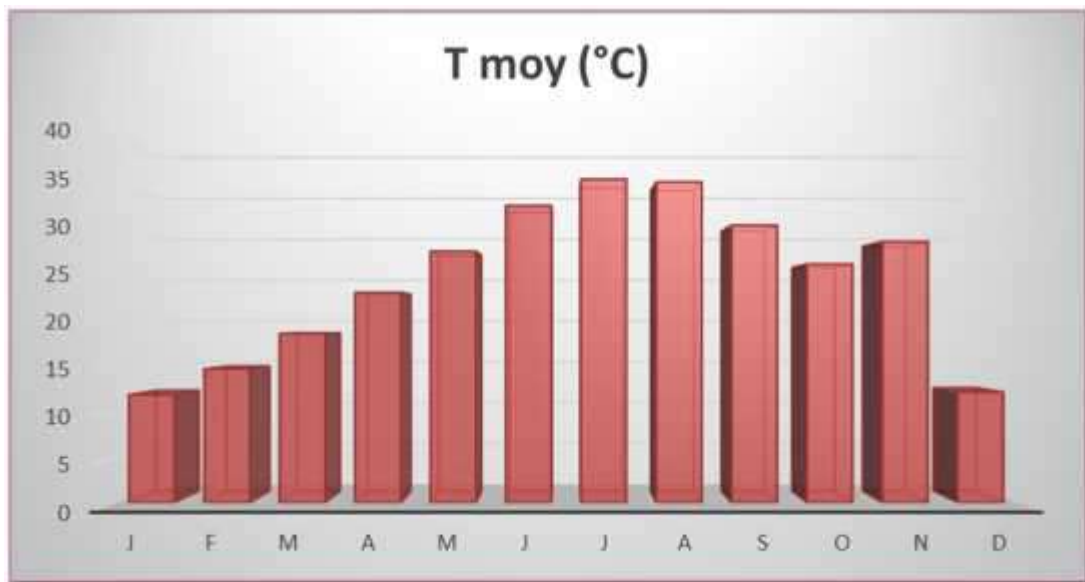


Fig.10: Variation des températures moyennes mensuelles (Station d'Ouargla, 1982-2012)

Chapitre 2 : Hydro climatologie

On remarque que les températures estivales sont très élevées, avec une moyenne comprise entre 32.68 et 35.57°C. Le maximum se situe en Juillet. Pour la température hivernale, elle varie entre 11.87 et 12.18°C et le mois de Janvier est le plus froid. Ceci nous amène à dire que la région d'Ouargla a un Hiver doux et un Été très chaud.

II.3. La pluviométrie :

Le tableau02 et la figure 11 ci-dessous montre la répartition des hauteurs moyennes mensuelles de la précipitation.

Tableau.02: Pluviométrie mensuelle (Station d'Ouargla, 1982-2012)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P moy. (mm)	6.05	0.79	2.91	1.56	0.69	1.418	0.74	0.85	7.17	4.74	8.84	2.09

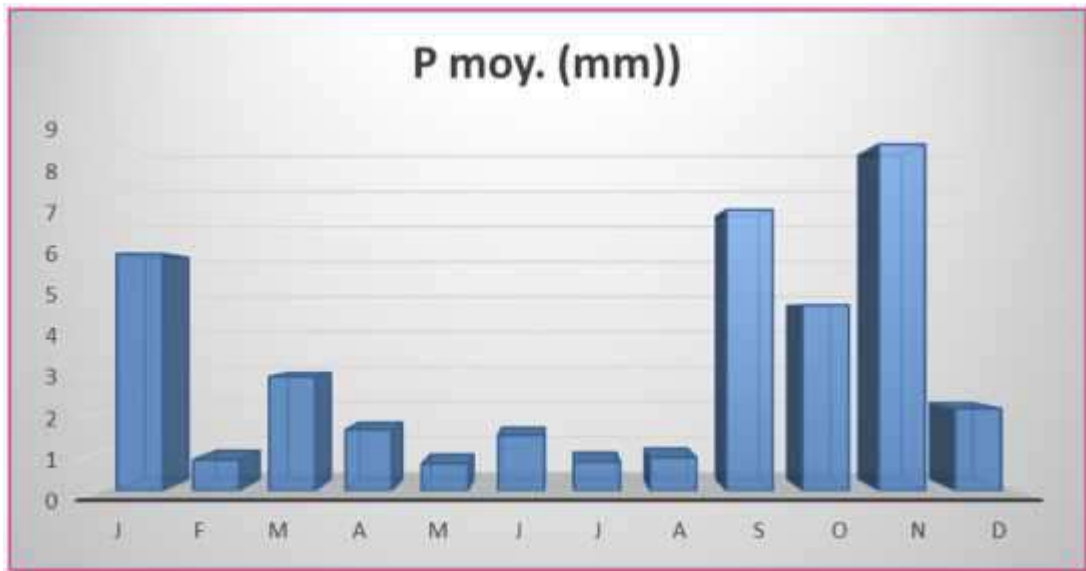


Fig.11: Variation des précipitations moyennes mensuelles (Station d'Ouargla, 1982-2012)

On remarque une grande irrégularité de la pluie; faible pendant l'Hiver et presque nulle en Été. Leur provenance en Hiver est due aux dépressions accompagnants la migration vers le Sud des fronts

polaires, en Été elles sont dues aux dépressions de mousson, alors que pendant la période intermédiaire, ces précipitations sont due aux dépressions Soudano-Sahariennes du Sud vers le Nord (Dubief, 1963).

II.4. L'humidité de l'air :

Le degré hydrométrique de l'air (ou humidité relative) c'est le rapport de la tension de vapeur effective à la tension de vapeur saturante dans les mêmes conditions de température et de pression.

Nous avons indiqué dans le tableau 07 ci-dessous la moyenne mensuelle de l'humidité mesurée à Ouargla (période 1982 – 2012).

Tableau.03: Humidité moyenne mensuelle : (Station de Ouargla, 1982-2012)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
H (moy) %	62.45	50.92	42.05	38.74	32.48	25.54	25.14	27.17	35.9	44.02	52.84	62.29

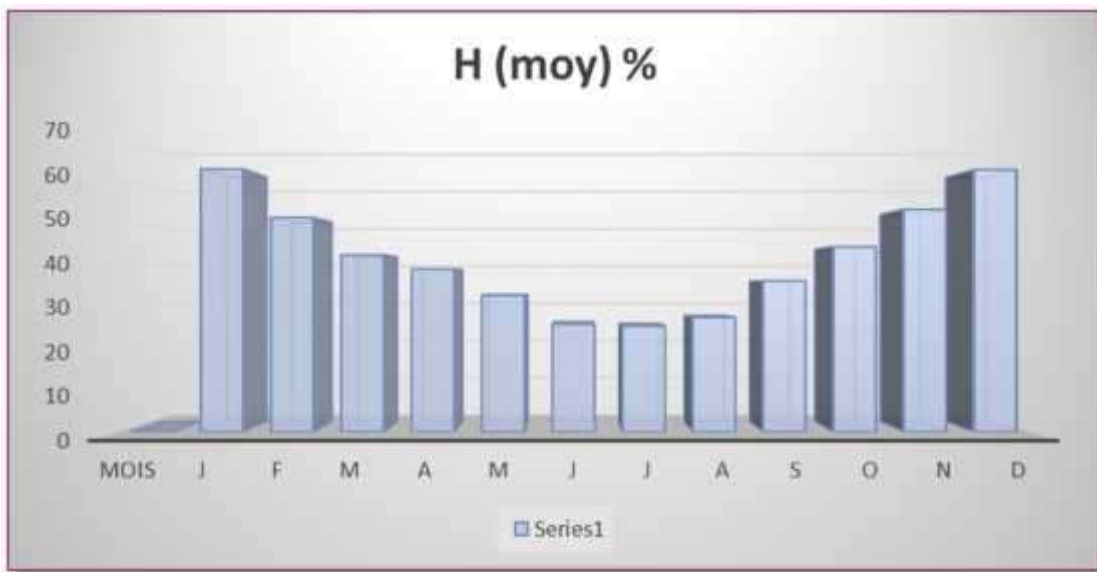


Fig.12: Variation des Humidités moyennes mensuelles
(Station d'Ouargla, 1982-2012)

Nous pouvons résumer les choses en disant que l'humidité relative dépend dans une large mesure de la température qui elle aussi dépend de la quantité de rayonnement reçue sur le sol, il demeure que celle-

Chapitre 2 : Hydro climatologie

ci n'est pas la seule, car d'autres facteurs interviennent aussi, notamment les vents, les nuages et l'ensoleillement. L'humidité moyenne annuelle est de 43.87 %.

II.5. Le vent:

Nous pouvons dire que le vent c'est le paramètre climatique le plus régulier dans la région de Ouargla. Il est déterminé par sa direction et sa vitesse.

Tableau.04: Vitesse moyenne mensuelle du vent (Station de Ouargla, 1982-2012)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Vitesse Moy (m/s)	3.69	4.61	5.48	6.15	5.79	6.12	5.06	4.94	5.30	4.5	4.19	3.87



Fig.13: Variation des vitesses moyennes mensuelles du vent
(Station d'Ouargla, 1982-2012)

On remarque que les vents les plus forts se produisent durant les mois d'Avril à Juillet avec un maximum de 6.15 m/s en Avril, tandis que le reste des mois on a une vitesse faible (3.69m/s en Jan).

II.6. L'insolation

La durée moyenne annuelle de l'insolation est de 3186,90 h/an. Elle enregistre un maximum de 342,21 heures en juillet et un minimum de 219,31 heures en février.

Chapitre 2 : Hydro climatologie

D'après Khadraoui (2005), le climat dans lequel évolue la région d'étude est justement distingué par cette forte insolation.

Tableau.05: insolation moyenne mensuelle (Station de Ouargla, 1982-2012)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
insolation Moy	257.69	241.81	322.88	305.68	336.65	388.84	483.90	436.68	340.8	299.	280.0	237.2



Fig.14: Variation des insolutions moyennes mensuelles
(Station d'Ouargla, 1982-2012)

II.7. L'évaporation:

L'évaporation est un phénomène physique qui augmente avec la température, la sécheresse de l'air et l'agitation de cet air (on sait par exemple que le linge sèche d'autant plus vite qu'il fait plus chaud et qu'il y a davantage de vent). Ce terme représente la restitution de l'eau de la surface terrestre sous forme de vapeur, à l'atmosphère et sous des conditions climatiques et physiographiques. Ces conditions sont pratiquement toujours remplies au Sahara et de ce fait l'évaporation atteint une ampleur considérable. En supposant le cas théorique d'une nappe d'eau libre qui serait constamment alimentée, on a pu mesurer que la tranche d'eau évaporée annuellement dans le Sahara algérien serait de 3 à 5 mètres environ suivant les localités, c'est-à-dire une valeur infiniment plus forte que la tranche d'eau qui tombe sur le sol lors des pluies.

Tableau.06: évaporations mensuelle (Station d’Ouargla, 1982-2012)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P moy. (mm)	192.4	243.3	343.8	432.2	559.2	622.5	652.1	658.4	496.9	404.7	251.8	194.4

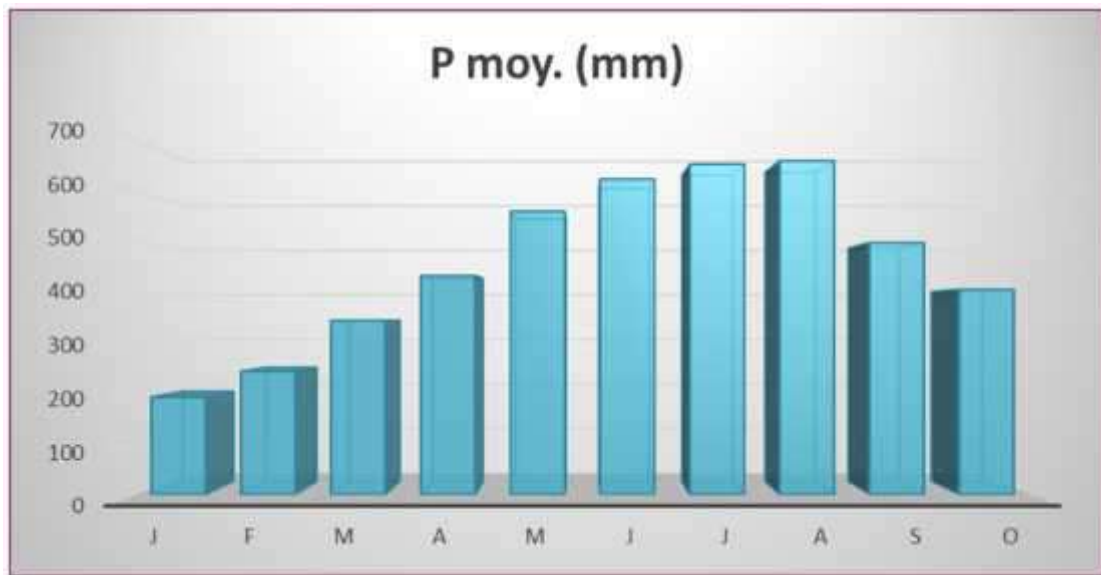


Fig.17: Variation des évaporations moyennes mensuelles (Station d’Ouargla, 1982-2012)

II.8. Indice d'Aridité de DEMARTONNE :

D'après DEMARTONNE l'indice de l'aridité est exprimé comme suit :

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

Avec :

P : les précipitations moyennes annuelles.

T : la température moyenne annuelle.

Pour les valeurs de I comprises entre 0 et 5 se trouve le milieu est considéré comme Hyper-arid.

$$I = \frac{3.15}{24.76 + 10} = 0.09$$

Tableau.07: Classification des climats en fonction de la valeur de l'indice de DEMARTONNE

Valeur de l'indice	Type de climat
$0 < I < 5$	Hyper-aride
$5 < I < 10$	Aride
$10 < I < 20$	Semi-aride
$20 < I < 30$	Semi-humide
$30 < I < 55$	Humide

Tableau.08: Indice d'Aridité de DEMARTONE.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	moy
P moy. (mm)	6.05	0.79	2.91	1.56	0.69	1.418	0.74	0.85	7.17	4.74	8.84	2.09	3.15
T moy (°C)	11.87	14.71	18.61	23.13	27.67	32.68	35.57	35.28	30.51	26.25	28.72	12.18	24.76
I = P/T+10	0.27	0.03	0.10	0.04	0.01	0.03	0.01	0.01	0.17	0.13	0.22	0.09	0.09

Pour la période considérée (1996-2012), l'indice d'aridité (de Dermatone) d'Ouargla est de 0.09 traduisant un climat aride

II.9. Climatogramme d'Emberger :

Le quotient pluviométrique d'Emberger (Q_c) élaboré en 1990 est spécifique au climat méditerranéen. Il tient compte des précipitations et des températures, sa position sur un abaque approprié détermine l'étage bioclimatique.

$$Q_c = 3.43 \frac{P}{M-m} \dots\dots\dots$$

Q_c : quotient pluviométrique d'Emberger .

P : pluviométrie annuelle en mm.

M : la température maximale moyenne du mois le plus chaud en °C.

m : la température minimale moyenne du mois le plus froid en °C.

La projection des résultats des données de Ouargla sur la climatogramme d'Emberger (fig.18), a permis de situer son l'étage bioclimatique qui est saharien à hiver doux.

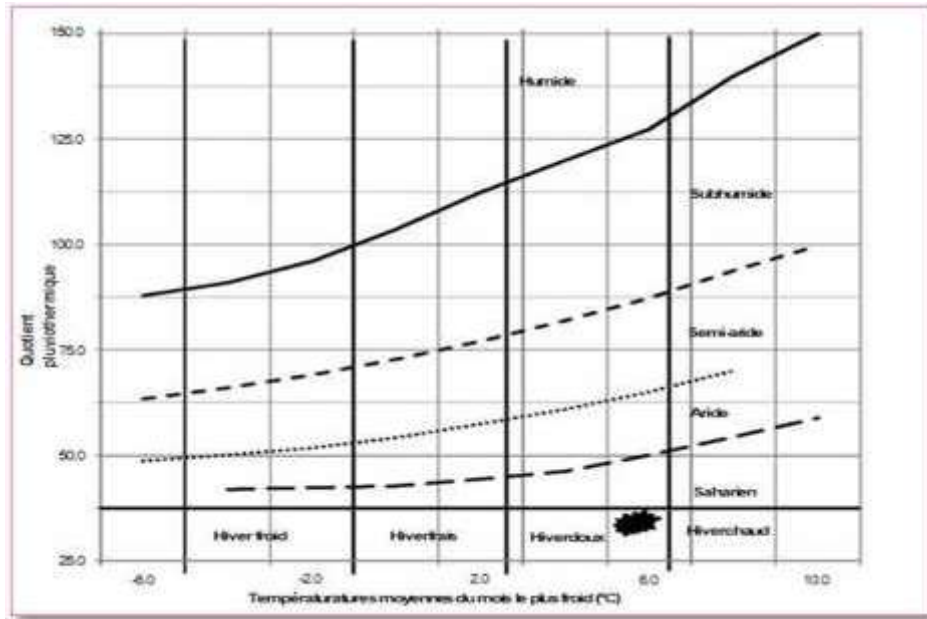


Fig.18: Climatogramme d'Emberger pour la région de Ouargla (1982-2012)

II.10. Diagramme pluvio-thermique de GAUSSEN

Selon la définition de Gausсен, une période sèche est une période pendant laquelle les précipitations totales du mois sont inférieures ou égales au double de la température du même mois. Ce diagramme montre que pour un climat saharien (Figure.11), il n'y a pas de période humide, et que toute l'année est déficitaire.

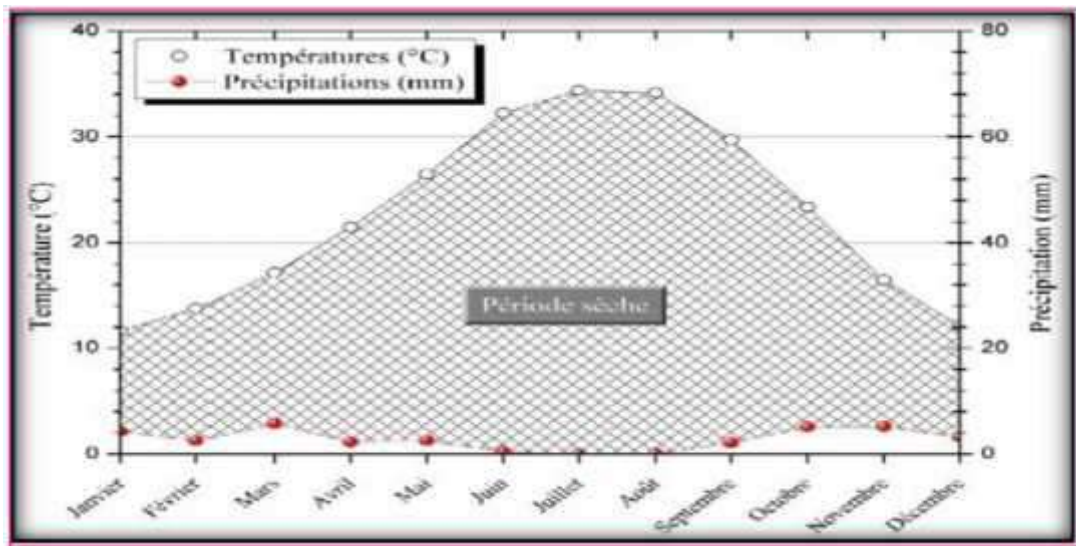


Fig.19: Diagramme ombro-thermique de GAUSSEN de la région d'Ouargla

II.11. Bilan hydrique

Le bilan hydrique de la station d’Ouargla dans la période (1982-2012) d’après la méthode de Thornthwaite est déficitaire ; la quantité d’eau précipitée sera vite évaporée parce que évapotranspiration potentiel l’ETP est plus importante que les précipitations, le ruissellement et la réserve facilement utilisable est nulle pendant les douze mois. Le déficit (DEF) agricole est présent pendant toute l’année, elle atteindra son maximum au mois de juillet (360.64mm).

Tableau 09: Le bilan hydrique de la station d’Ouargla dans la période (1982-2012) d’après la méthode de Thornthwaite

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	An
P (mm)	7.175	4.749	8.848	2.091	6.053	0.79	2.914	1.564	0.691	1.419	0.743	0.85	3.16
ETP_{corr} (mm)	137.9	86.6	99.7	9.8	8.8	15.4	35.2	67.3	121.6	192.6	247.5	230.1	1253
RFU (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ETR (mm)	7.2	4.7	8.8	2.1	6.1	0.8	2.9	1.6	0.7	1.4	0.7	0.9	37.9
ETP – P = D (mm)	130.7	81.9	90.8	7.7	2.7	14.6	32.3	65.7	121	191.2	246.8	229.2	1215
Ex (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

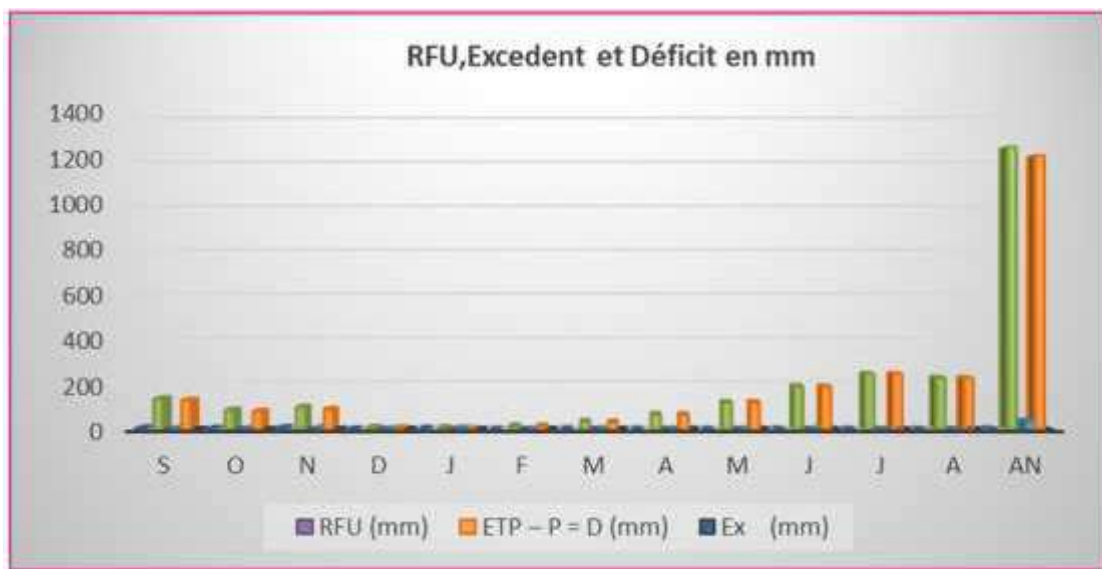


Fig.20: Histogramme du bilan hydrique de la région d’Ouargla (1982-2012).

II.12. CONCLUSION:

Le climat de la région d'Ouargla est de type Saharien, caractérisé par un été chaud, sec et un hiver doux ; la température moyenne mensuelle est de l'ordre de 30.07°C, les précipitations moyennes interannuelles sont de l'ordre de 36.92 mm. Le bilan hydrique est déficitaire à cause des faibles précipitations et une forte évapotranspiration

Chapitre : 3

Hydro géologie

Nappe phréatique

Le système aquifere de sahara septentrional:

- Nappe de continental intercalaire (CI).
- Nappe de complexe terminal(CT).

III-HYDROGEOLOGIE :

III.1. Introduction :

Les eaux souterraines constituent un facteur important, influant sur le comportement géotechnique des sols et l'utilisation des terrains.

Ce facteur n'est pas indépendant des autres, puisque les caractéristiques des eaux souterraines dépendent de la perméabilité des roches dans lesquelles elle se trouve, donc de leur texture, de leur structure et de leur fissuration ainsi que de leur composition chimique, c'est-à-dire de leur nature et de leur état. Les eaux souterraines jouent, de plus, un rôle primordial dans le développement de certains phénomènes géologiques:

Instabilité de pente, phénomènes de dissolution, de tassement et de gonflement de certaines roches.

Il n'est pas étonnant que les conditions hydrogéologiques puissent être étudiées indirectement à partir de l'étude d'autres facteurs en particulier de la géomorphologie.

Les terrains du Bas-Sahara assurant l'infiltration et la circulation souterraine des eaux sont essentiellement représentés par les formations sablo-gréseuses du Continental intercalaire, les bancs de calcaires marins du Cénomaniens-Turonien et du Sénonien-Eocène, les accumulations sableuses fluvio-lacustres du Tertiaire continental.

Le banc Cénomaniens-turonien contient une nappe dont les zones d'alimentation se situent à la périphérie du bassin, dans les régions où affleure la formation. Les eaux circulent dans les calcaires, en direction des parties basses de la cuvette, sous le toit imperméable des argiles du Sénonien inférieur qui peut atteindre une épaisseur de 300 mètres.

Malgré cette disposition favorisant une mise en charge des eaux, les calcaires du Cénomaniens-Turonien ne sont pas exploités dans le Bas-Sahara, car leurs couches plongeantes ne peuvent être atteintes qu'après la traversée de 500 à 600 mètres de morts-terrains au moins et leur fissuration faible ou inexistante, s'opposant à une bonne circulation des eaux, n'assure qu'une productivité très aléatoire .

Généralement on peut dire que le grand bassin sédimentaire du Sahara septentrional contient trois principaux aquifères:

- ✓ A la base la nappe du continental intercalaire: l'un des plus grands réservoirs captifs du monde ;
- ✓ Au milieu la nappe du complexe terminal ;
- ✓ Au sommet Les nappes phréatiques.

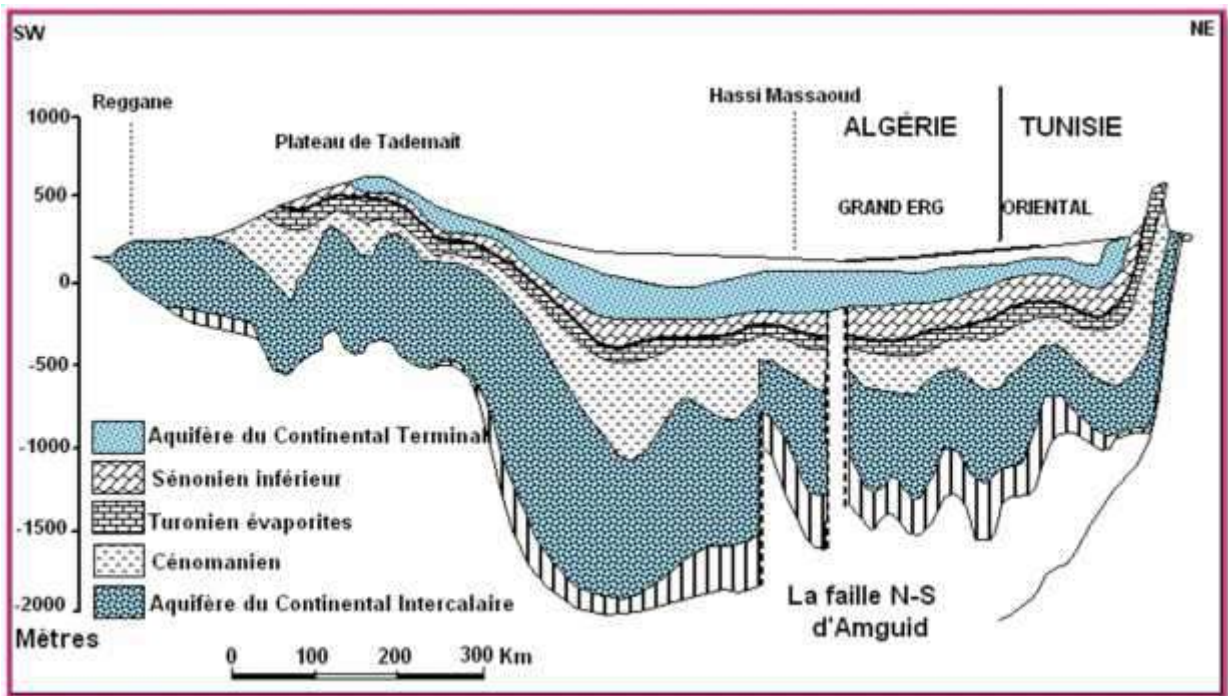


Fig.19 : Coupe hydrogéologique synthétique de Sahara septentrionale (UNESCO 1972).

ERE	Etage		Lithologie	Nature Hydrogéologique
Q u a t e r n a i r e			Sables.	Nappe superficielle (la nappe phréatique)
			Argiles, évaporites.	Substratum (imperméable)
T e r t i a i r e	Mio-Pliocène		Sables.	1 ^{ère} nappe des sables (Complexe Terminal).
			Argiles gypseuses	(semi-perméable)
	Eocène	Pontien	Sables, graviers et grès	2 ^{ème} nappe des sables (Complexe terminal).
		Moyen	Argiles lagunaires	Substratum
S e c o n d a i r e	Crétacé	Inférieur		Nappe des calcaires (Complexe Terminal).
		Sénonien calcaire	Dolomies et calcaires	Substratum
		Sénonien lagunaire	Evaporites, argiles	Substratum
		Cénomanién	Argiles, marnes	Substratum
		Albien		Nappe albienne (Continental Intercalaire).
		Barrémien	Sables et grès	

Fig.20: Synthèse hydrogéologique régionale des différents aquifères (sans échelle).

III.2. Nappe Phréatique

Les sables de surface du Quaternaire renferment la nappe phréatique de l'Oued M'ya. La nappe est présente à l'échelle de la région à des profondeurs rapprochées de la surface du sol. Sa frange capillaire affleure sur la surface du sol sous forme des chotts trouve dans la ville de Ouargla. Cette nappe se localise dans les accumulations alluvionnaires.

en plus des logs des piézomètres effectuées par l'ENA.GEO, ont permis de relever la présence de trois classes de profils géologiques :

- ✓ **Classe A** : C'est la classe la plus répandue, elle représente 75 % des terrains. On distingue :
 - Une première couche dont l'épaisseur varie de 1 à 2 m, constituée de sable fin à moyen légèrement gypseux avec une consistance de moyenne compacité;
 - Une deuxième couche constituée de sable argileux compacté, dont l'épaisseur varie entre 5 et 15 m.
- ✓ **Classe B** : Elle caractérise les chotts et les sebkhas où on distingue :
 - Des encroûtements gypseux très salés dont l'épaisseur varie de 1 à 2 m;
 - Des sables limoneux avec un passage tufeux.
- ✓ **Classe C** : Elle caractérise les versants de la cuvette et le plateau Mio-Pliocène. On distingue :
 - Un matériau détritique constitué de grès consolidé (glacis) et de sable limoneux pauvre en gypse dont l'épaisseur est supérieure de 10 m;
 - Du sable grossier compact.
- **Les Caractéristiques Hydrodynamiques de la Nappe :**

Aucune étude hydrodynamique n'était faite sur la nappe phréatique, mise à part les essais géotechniques du laboratoire des travaux public de sud (LTPS) sur des localités de la cuvette.

a) Granulométrie:

L'examen des courbes granulométriques effectuées par LTPS montre que le sol de la région de Ouargla sont des sables fins à moyens avec un pourcentage d'éléments argileux et limoneux varient de 7 à 12%.

b) Porosité :

La porosité totale d'un échantillon est égale au rapport exprimée en pourcentage (%) du volume du vide au volume totale : $n = VV / VT$. Des mesures de porosité ont été effectuée sur des

échantillons prélevées sur des profiles du sol de la cuvette (LTPS, 1995). Les valeurs de la porosité varient entre 10 et 30%.

c) Coefficient d'emménagement (S):

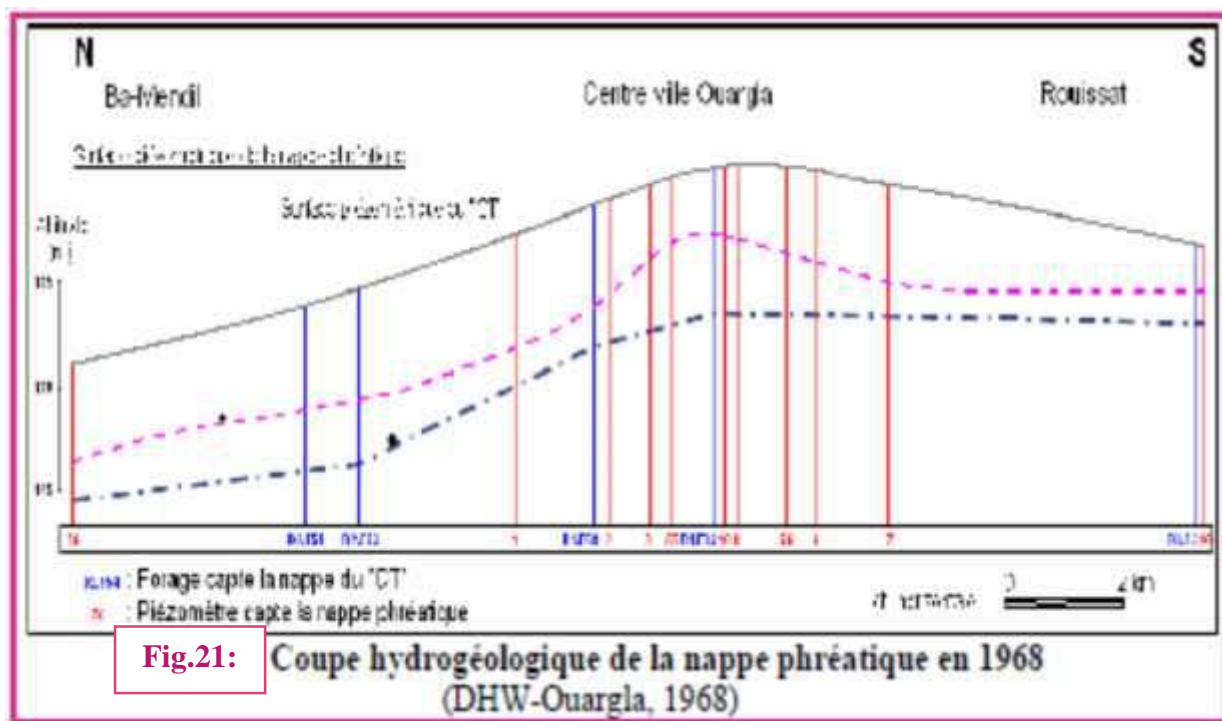
Le coefficient d'emménagement est le volume d'eau exprimé en pourcentage (%), que l'on peut retirer par gravité d'un prisme vertical de terrain saturé de section unité,

Les valeurs de S varient entre 10^{-2} et $2 \cdot 10^{-1}$.

d) Perméabilité (K) et Transmissivité (T):

La perméabilité est une propriété d'un milieu solide poreux qui laisse traverser par l'eau, Elle s'exprime par la vitesse d'infiltration de l'eau de gravité par unité de pente.

La transmissivité: c'est la productivité d'un captage dans un aquifère dépend du coefficient d'une perméabilité « **K** » et de l'épaisseur « **e** » de l'aquifère « $T=K \cdot e$ ».



III.3. Le système aquifère de Sahara septentrional:

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS) s'étend sur une vaste zone dont les limites sont situées en Algérie, Tunisie et Libye.

Ce bassin renferme une série de couches aquifères qui ont été regroupées en deux réservoirs appelés le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT).

Le domaine du SASS couvre une superficie d'environ 1 000 000 km² dont 70 % se trouvent en Algérie, 24 % en Libye et 6 % en Tunisie et s'étend du Nord au Sud, depuis l'Atlas saharien jusqu'aux Affleurements du Tidikelt et du rebord méridional du Tinrhert et d'Ouest en Est depuis la vallée du Guir Saoura jusqu'au Graben de Hun en Libye.

Ce bassin se subdivise en trois sous-entités : les deux sous-bassins du Grand Erg Occidental et du Grand Erg Oriental qui sont des cuvettes à écoulement endoréique aboutissant dans des dépressions fermées «chotts et sebkhas» et le plateau de la Hamada El Hamra.

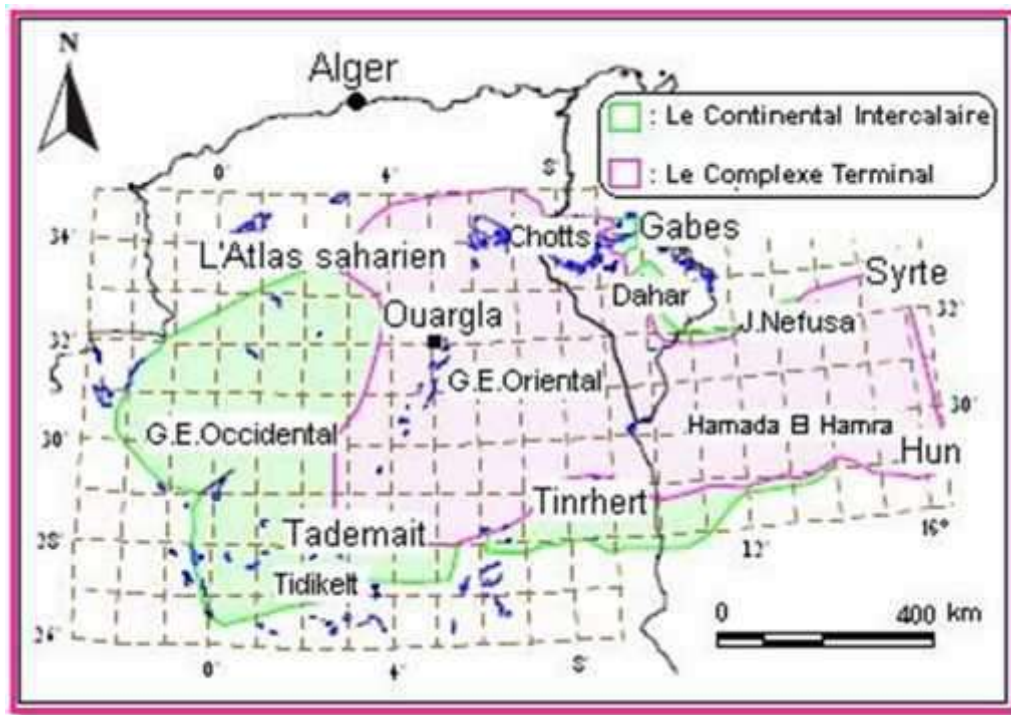


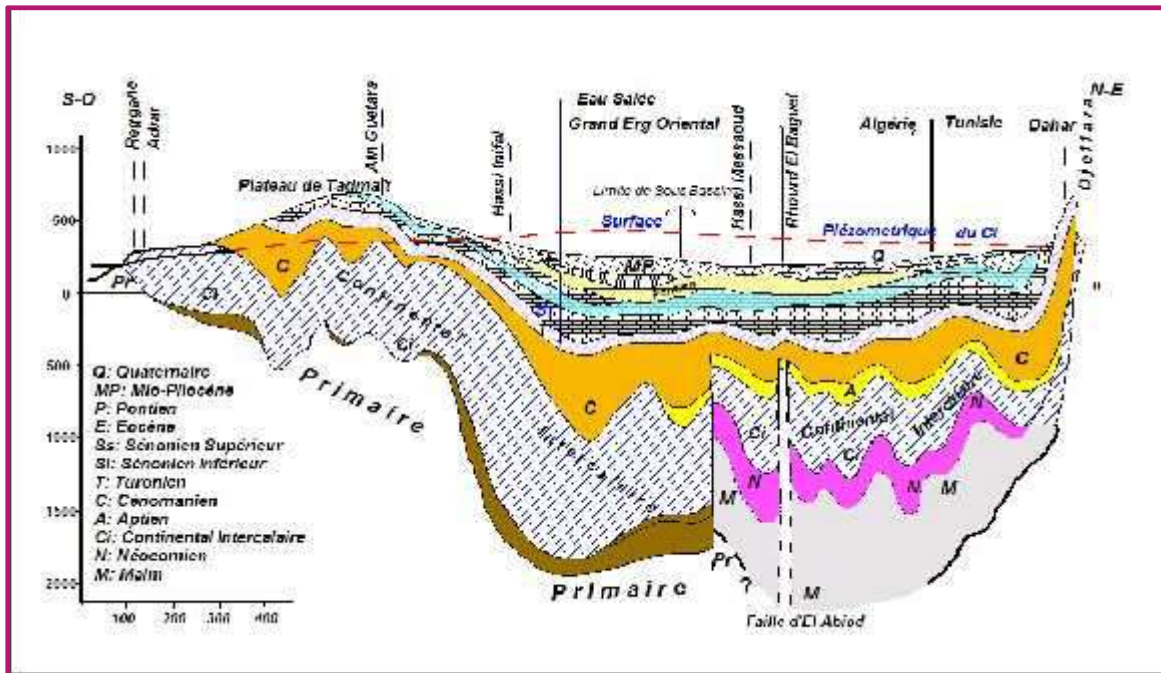
Fig. 22 : Délimitation du "SASS" (OSS, 2003)

Nous rappelons ci-dessous les définitions des nappes du "CI" et du "CT".

Le terme « Continental Intercalaire » désigne un épisode continental localisé entre deux cycles sédimentaires marins :

- ❖ A la base, le cycle du Paléozoïque qui achève l'orogénèse hercynienne;
- ❖ Au sommet, le cycle du Crétacé supérieur, résultat de la transgression cénomaniennne.

Le Complexe Terminal est un ensemble assez peu homogène incluant des formations carbonatées du Crétacé supérieur et des épisodes détritiques du Tertiaire, principalement du Miocène (Busson, 1970; Fabre, 1976).



Source ANRH

Fig. 23- Coupe hydrogéologique du bassin hydrogéologique (UNESCO, 1972)

III.3.1. Nappe du Continental Intercalaire (C. I.) :

Le réservoir du C.I. est contenu dans les formations continentales du crétacé inférieur (Barrémien et Albien), Composé essentiellement de grès, sables et argiles.

Le réservoir s'étend sur environ 600 000 km², il est continu du Nord au Sud depuis l'Atlas Saharien jusqu'au Tassili et le Hoggar, d'Ouest en Est depuis la vallée de la Saoura jusqu'au désert libyen.

Au Nord-est de la dorsale du M'Zab, le toit de l'aquifère, constitué d'argiles et d'évaporites du Cénomaniens, est continu sur tout le bassin.

La profondeur augmente du Sud au Nord, de 1000 m au bas Sahara, à 2000 m sous les chotts, provoquant ainsi une forte charge de la nappe sur tout le bassin oriental.

Le substratum est de formations argilo-sableuses et argileuses ou carbonatées d'âge de plus en plus récent du Sud vers le Nord.

La carte piézométrique établie lors de l'étude, montre que cette partie orientale de l'aquifère est alimentée par :

- ❖ Le piedmont Sud atlasique (au Nord-Ouest de Laghouat);
- ❖ Le plateau du Tinrhert. au sud;

Chapitre3 : Hydro géologie

❖ Le plateau du Dahr (Tunisie).

Les eaux en provenance du Nord-Ouest se divisent sur l'axe de la dorsale du M'zab approximativement suivant deux directions:

une partie s'écoule vers le Sud et le Sud-ouest (Gourara, Touât et Tidikelt), et l'autre partie s'écoule suivant une direction Ouest-Est vers le golf de Gabes qui constitue son exutoire naturel.

Les eaux en provenance du plateau du Tinrhert s'écoulent vers le Nord-est sous l'Erg Oriental en direction de l'exutoire de Tunisie.

Sur la région d'Ouargla, la nappe de C.I est captée à une profondeur comprise entre 1300 et 1400 m, le débit exploité par forage est de 100 l/s, en moyenne.

Les forages captant cette nappe sont au nombre de 2 destinés essentiellement à l'alimentation en eau potable des agglomérations de Rouissat et Ain El Beida, et caractérisés par une transmissivité de 8.10^{-3} m²/s et un coefficient d'emmagasinement de 10^{-3} m²/s.

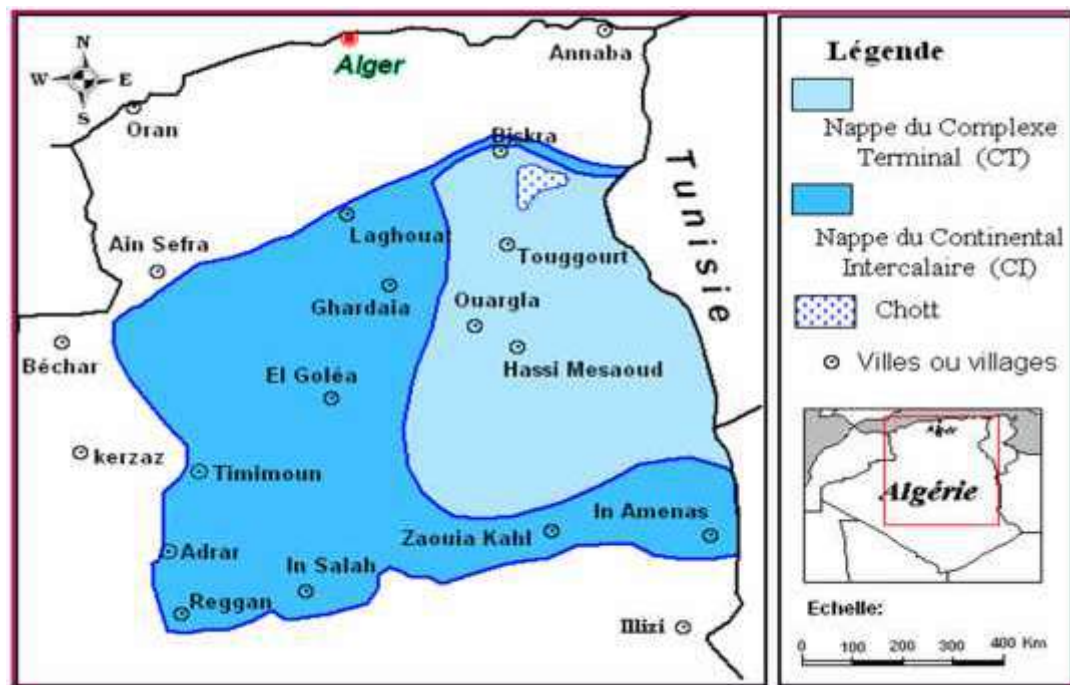


Fig.24: Carte des ressources en eau souterraines (CI et CT), extrait de recueil des communications, 2002.

III.3.2. Nappe du complexe terminal (C. T.) :

Le système aquifère du complexe terminal couvre la majeure partie du bassin oriental du Sahara septentrional sur environ 350 000 Km².

Le terme "nappe du complexe terminal" regroupe sous une même dénomination plusieurs aquifères situés dans des formations géologiques différentes.

Cette nappe peut circuler dans l'une ou encore dans les deux formations litho stratigraphiques suivantes:

- ✓ Le Sénonien et l'Eocène carbonatés.
- ✓ Le Mio-Pliocène sableux.

La première carte piézométrique de la nappe du complexe terminal a été établie et publiée par CORNET A. (1961).

Elle a été reprise et complétée par J.AILAIRE à l'aide des renseignements fournis par les forages pétroliers lors de l'étude de l'UNESCO(1972).

Cette même carte a été révisée et complétée grâce à la densité des forages pétroliers et hydrauliques.

Les axes et les directions d'écoulement sont indiqués sur cette carte piézométrique.

L'allure des isopièzes montre que la nappe peut être alimentée par les zones de bordures suivantes :

III.3.2.1. Alimentation à partir de l'Atlas saharien :

Entre Biskra et la frontière tunisienne, les courbes isopièzes sont parallèles à l'Atlas,

l'alimentation peut avoir deux origines :

- A travers la flexure Sud-atlasique.
- Par infiltration des crues des Oueds à l'aval de l'accident atlasique.

III.3.2.2. Alimentation par le plateau du Tademaït et Tinherth :

Les eaux qui s'infiltrent sur le plateau de Tademaït et du Tinherth, s'écoulent vers le Nord et convergent vers l'exutoire principal : la zone des chotts Merouane et Melrhir.

III.3.2.3. Alimentation par les monts du M'Zab :

Le réseau très dense des Oueds du versant oriental du M'Zab joue un rôle important dans l'alimentation de la nappe des sables Mio-Pliocène lors des crues exceptionnelles (crues de Oued N'sa et M'Zab qui atteignent Sebkheth Safioune au Nord de la cuvette).

Les exutoires sont constitués principalement par les grandes cuvettes d'évaporation : chotts Melrhir et Merouane.

- ❖ La profondeur du "CT" est comprise entre 100 et 600 m et sa puissance moyenne est de l'ordre de 300 m (Fig.2-5).

Le Complexe Terminal affleure aux endroits suivants :

- Au Nord, dans le sillon des chotts algéro-tunisiens;
- A l'Est, le long du flanc oriental du Dahar;
- Au Sud, sur les plateaux de Tinrhert et de Tademaït;
- À l'Ouest, sur la dorsale du M'Zab.

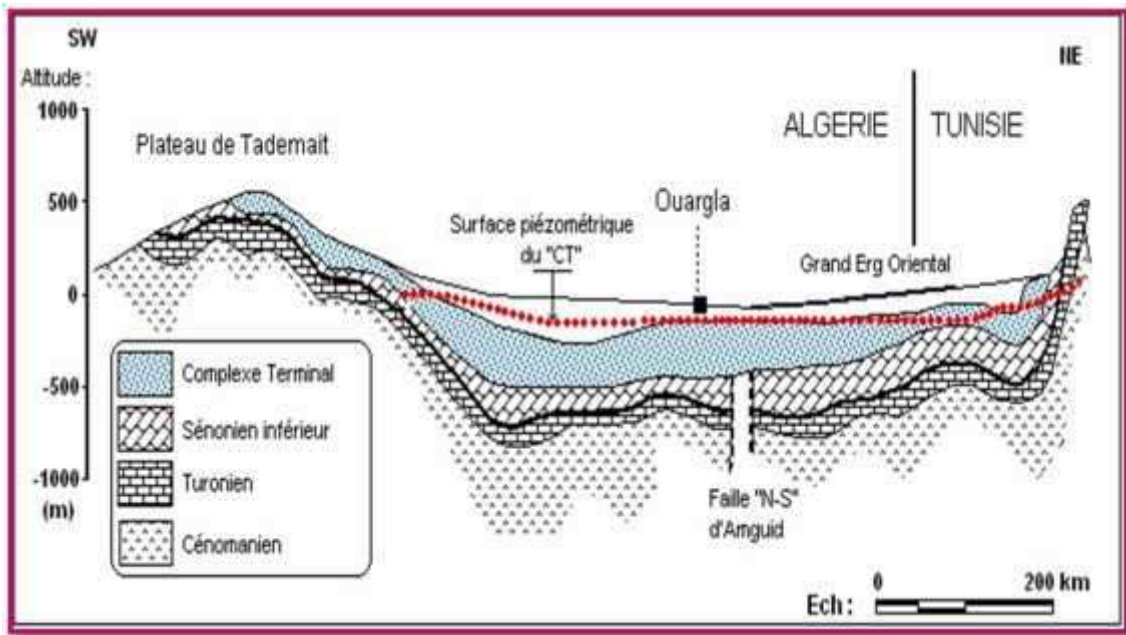


Fig. 25 : Coupe hydrogéologique transversale du "CT" (UNESCO, 1972)

Les paramètres hydrodynamiques au niveau de la zone d'étude sont définis comme ce suit :

- ❖ Le débit exploité était de l'ordre de $8 \text{ m}^3/\text{s}$ en 1900 dans l'O.Rhir, la cuvette d'Ouargla, les sources du Djérid et Aïn Tawargha.

Ce débit n'a pas cessé de croître, pour atteindre $44,5 \text{ m}^3/\text{s}$, soit $1\,400 \text{ hm}^3/\text{an}$ en 2000.

Par contre, la diminution de la fraction artésienne du débit exploité est spectaculaire, de 100% en 1900, elle est tombée à 58 % en 1970 et à près de 3 % en 2005 (M. Baba sy, 2005).

- ❖ 8.10^{-3} à $9.10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ pour la transmissivité;
- ❖ 5.10^{-3} à 3.10^{-2} pour le coefficient d'emménagement.

III.4. – Conclusion :

La formation du nappe phréatique ;sables de surface du Quaternaire ,cette nappe se localise dans les accumulation alluvionnaires et caractérisés par granolométrie variant de 07 à 12% et porosité (n) variant entre 10 à 30% coeff-emagasinement (S) variant entre 10^{-2} et 2.10^{-1} et Permiabilité égale la transmissivité (K=T).

La formation du "CI" est représentée par des dépôts continentaux sablo-gréseux et sablo-argileux du Crétacé Inférieur. C'est un système aquifère multicouche dont la profondeur atteint localement 2000 m et dont la puissance varie entre 200 et 400 m, à Ouargla, il est exploité entre 1 150 m et 1 350 m de profondeur.

Les paramètres hydrodynamiques ont été mesurés par des pompages d'essais puis homogénéisés et complétés par le calage des modèles de simulation hydrodynamique (ERESS, 1985). Une valeur de $8.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ a été définie pour la transmissivité et 10^{-3} pour le coefficient d'emmagasinement (ANRH-Ouargla, 2001).

La recharge actuelle de la nappe du "CI" estimée à $8,5 \text{ m}^3/\text{s}$ sur le territoire Algérien s'effectue par infiltration des précipitations sur les bordures du bassin, tout au long des oueds qui descendent des massifs montagneux, notamment de l'Atlas Saharien au N-W et du Dahar à l'Est. Des ruissellements en bordure de plateaux peuvent également participer à l'alimentation de la nappe sur les bords de Tademaït et de Tinrhert, de même que l'infiltration des pluies sur le Grand Erg Occidental.

Les formations du "CT" sont très hétérogènes, elles englobent localement les assises perméables du Sénonien calcaire et du Mio-Pliocène.

La profondeur est comprise entre 100 et 600 m et sa puissance moyenne est de l'ordre de 300 m.

Les prélèvements dans le "CT" étaient de $16,3 \text{ m}^3/\text{s}$ pour le territoire algérien en 1998. Le niveau piézométrique est en baisse générale, cette baisse deviendra catastrophique dans une trentaine d'années dans les zones les plus exploitées où elle pourrait dépasser 200 m.

Chapitre : 4

Modélisation

Outils:

- Généralités sur le logiciel ;
- Equation de flux d'eau souterraine;
- Différence finie;
- Limites;
- les paramètres hydrodynamiques nécessaires pour la modélisation

les étapes de l'élaboration d'un modèle:

- Introduction des données;
- Les résultats du modèle;

Calage du modèle:

Introduction:

La modélisation est un outil désigné pour représenter une version simplifiée de la réalité. En hydrogéologie la modélisation sert à simplifier la représentation d'un système hydrogéologique.

Dans ce chapitre nous examinerons les étapes de la modélisation et on va identifier les objectifs et les outils utilisés et les conditions aux limites du système aquifères de la cuvette d'Ouargla. Puis valider le modèle et afficher les résultats finals.

IV.1. Les objectifs :

Les objectifs de la modélisation visée par cette étude sont nombreux, entre autre nous citons :

- ★ Comprendre le fonctionnement actuel du système
- ★ Prédire le comportement futur du système
- ★ S'il y a lieu, permettre l'analyse en intervalles de temps au lieu du temps continue
- ★ La quantification des débits d'eau transitant dans les nappes CI et CT en connaissance de la distribution d'écoulement des eaux et ainsi pour mieux comprendre le fonctionnement hydrodynamique du système.

En suite logique au schéma conceptuel de fonctionnement, un des objectifs est de simuler le comportement de système selon des scénarios proposés.

Dans notre étude on va se contenter uniquement de modéliser l'écoulement souterrain en régime permanent et laissant l'étude de transfert de polluant à d'autres occasions.

IV.2. Outils :

IV.2.1 .Généralités sur le logiciel:

IV.2.1.2. MODFLOW : MODFLOW est le modèle d'écoulement de différence finie modulaire US Geological Survey, qui est un code informatique qui permet de résoudre l'équation d'écoulement des eaux souterraines. Le programme est utilisé par l'hydrogéologue pour simuler l'écoulement des eaux souterraines dans les aquifères. Le code source est un logiciel de domaine public gratuit, écrit principalement dans Fortran, et peut compiler et exécuter les systèmes d'exploitation Microsoft

Windows ou Unix.

Depuis son développement initial au début des années 1980, l'USGS a fait quatre versions majeures, et est maintenant considéré comme le code standard de facto pour la simulation de l'aquifère.

IV.2.1.3. Historique de logiciel :

Visual MODFLOW (VMOD) est un logiciel développé par Waterloo hydrogéologique. Initialement publié en 1994, Visual MODFLOW a été la première interface graphique disponible dans le commerce pour le moteur de modélisation des eaux souterraines open source appelé MODFLOW. En mai 2012, une nouvelle version .NET du logiciel a été rebaptisé que Visual MODFLOW Flex.

Le programme combine également des extensions propriétaires, comme MODFLOW-SURFACT, MT3DMS (masse de transport multi-espèces 3D) et un explorateur de modèle en trois dimensions. Visual MODFLOW prend en charge MODFLOW-2000, MODFLOW-2005, MODFLOW TN-O, MODFLOW-LGR, MODFLOW-SURFACT et SEAWAT.

La version originale de Visual MODFLOW a d'abord été publiée en Août 1994, et a été développé pour DOS par **Nilson Guiguer, Thomas Franz et Bob Cleary**.

Il était basé sur l'USGS MODFLOW-88 et les codes MODPATH, et ressemblait au programme FLOWPATH qui a également été développé par Waterloo hydrogéologique Inc.

La première version basée sur Windows a été publié en 1997 et les principaux programmeurs étaient **Sergei Schmakov, Alexander Liftshits, et Sean Wilson**.

Une version .NET qui comprenait non-réseau à base, les fonctions de modélisation conceptuelle graphiques a été publiées en 2012.

Le 10 Janvier 2005, Waterloo hydrogéologique a été acquis par Water Services Technology Group de Schlumberger.

Le 1er mai 2012, Waterloo hydrogéologique a publié sa prochaine génération de Visual MODFLOW appelé Visual MODFLOW Flex.

Le 13 Mars, 2015, Waterloo hydrogéologique a été acquis par **Nova Metrix**.

la version utilisée dans la modélisation il, **Visual MODFLOW Flex**.

III.2.2. Equation de flux d'eau souterraine:

-L'équation différentielle partielle régissant l'écoulement souterrain pour un aquifère confiné utilisé dans MODFLOW est:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right] + W = S_S \frac{\partial h}{\partial t}$$

Ecrit les paramètres

$K_{xx} K_{yy} K_{zz}$: Sont les valeurs de la conductivité hydraulique le long des axes de coordonnées x, y et z (L / T)

h : est le potentiel hydraulique (L).

W : S un flux volumétrique par unité de volume représentant des sources et / ou des puits d'eau, où les valeurs négatives sont des extractions, et les valeurs positives sont des injections (T⁻¹).

S_S : Est le coefficient d'emmagasinement spécifique du milieu poreux (L⁻¹).

t : Est le temps (T).

VI.2.3. Différence finie :

La forme de différence finie du différentiel partiel dans un domaine aquifère discrétisé (représenté par des lignes, des colonnes et des couches) est:

$$\begin{aligned}
 & CR_{i,j-\frac{1}{2},k} \left(h_{i,j-1,k}^m - h_{i,j,k}^m \right) + CR_{i,j+\frac{1}{2},k} \left(h_{i,j+1,k}^m - h_{i,j,k}^m \right) + \\
 & CC_{i-\frac{1}{2},j,k} \left(h_{i-1,j,k}^m - h_{i,j,k}^m \right) + CC_{i+\frac{1}{2},j,k} \left(h_{i+1,j,k}^m - h_{i,j,k}^m \right) + \\
 & CV_{i,j,k-\frac{1}{2}} \left(h_{i,j,k-1}^m - h_{i,j,k}^m \right) + CV_{i,j,k+\frac{1}{2}} \left(h_{i,j,k+1}^m - h_{i,j,k}^m \right) + \\
 & P_{i,j,k} h_{i,j,k}^m + Q_{i,j,k} = SS_{i,j,k} (\Delta r_j \Delta c_i \Delta v_k) \frac{h_{i,j,k}^m - h_{i,j,k}^{m-1}}{t^m - t^{m-1}}
 \end{aligned}$$

où

$h_{i,j,k}^m$ Est le potentiel hydraulique à la cellule i, j, k au moment de l'étape m.

CV, CR et CC sont la conductance hydraulique, ou la conductance de la branche entre

$P_{i,j,k}$ Est la somme des coefficients de tête des termes de source et d'évier

$Q_{i,j,k}$ Est la somme des constantes des termes source et évier,

où $Q_{i,j,k} < 0.0$ S sortent du système d'eaux souterraines (comme le pompage) et

$Q_{i,j,k} > 0.0$ Est écoulé (comme l'injection) $SS_{i,j,k}$ Est le stockage spécifique

$\Delta r_j \Delta c_i \Delta v_k$ Sont les dimensions de la cellule i, j, k qui, lorsqu'elles sont multipliées,

représentent le volume de la cellule; et t^m Est l'heure à l'étape m.

$$\begin{aligned}
 & CV_{i,j,k-\frac{1}{2}} h_{i,j,k-1}^m + CC_{i-\frac{1}{2},j,k} h_{i-1,j,k}^m + CR_{i,j-\frac{1}{2},k} h_{i,j-1,k}^m \\
 & + \left(-CV_{i,j,k-\frac{1}{2}} - CC_{i-\frac{1}{2},j,k} - CR_{i,j-\frac{1}{2},k} - CR_{i,j+\frac{1}{2},k} - CC_{i+\frac{1}{2},j,k} - CV_{i,j,k+\frac{1}{2}} + HCOF_{i,j,k} \right) h_{i,j,k}^m \\
 & + CR_{i,j+\frac{1}{2},k} h_{i,j+1,k}^m + CC_{i+\frac{1}{2},j,k} h_{i+1,j,k}^m + CV_{i,j,k+\frac{1}{2}} h_{i,j,k+1}^m = RHS_{i,j,k}
 \end{aligned}$$

Cette équation est formulée en un système d'équations à résoudre comme suit:

ou

$$HCOF_{i,j,k} = P_{i,j,k} - \frac{SS_{i,j,k} \Delta r_j \Delta c_i \Delta k}{t^m - t^{m-1}}$$

$$RHS_{i,j,k} = -Q_{i,j,k} - SS_{i,j,k} \Delta r_j \Delta c_i \Delta v_k \frac{h_{i,j,k}^{m-1}}{t^m - t^{m-1}}$$

Ou sous forme de matrice comme suit: $A\mathbf{h} = \mathbf{q}$

$$HCOF_{i,j,k} = P_{i,j,k} - \frac{SS_{i,j,k} \Delta r_j \Delta c_i \Delta k}{t^m - t^{m-1}}$$

$$RHS_{i,j,k} = -Q_{i,j,k} - SS_{i,j,k} \Delta r_j \Delta c_i \Delta v_k \frac{h_{i,j,k}^{m-1}}{t^m - t^{m-1}}$$

ou:

A est une matrice des coefficients de tête pour tous les noeuds actifs dans la grille

\mathbf{h} Est un vecteur de valeurs de tête à la fin de l'étape m pour tous les noeuds dans la grille;

\mathbf{q} : is a vector of the constant terms, *RHS*, for all nodes of the grid.

VI.2.4. Limites

L'eau doit avoir une densité constante, une viscosité dynamique (et par conséquent une température) dans tout le domaine de la Les principaux composants de l'anisotropie de la conductivité hydraulique utilisée dans MODFLOW sont affichés. Ce tenseur ne permet pas d'anisotropies non orthogonales, comme on pouvait s'y attendre du flux dans les fractures. L'anisotropie horizontale pour une couche

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} K_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & K_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & K_{zz} \end{bmatrix}$$

entière peut être représentée par lcoefficient "TRPY"

VI.2.5. Les paramètres hydrodynamiques nécessaires pour la modélisation :

les paramètres plus important dans la modélisation par le logiciel de MODFLOW:

q: est le vecteur vitesse de Darcy, [LT^{-1}]

μ : viscosité dynamique du fluide, [$ML^{-1}T^{-1}$]

k: est la perméabilité intrinsèque du milieu, [L^2]

p: est la pression, [$ML^{-1}T^{-2}$]

ρ : est la masse volumique du fluide, [ML^{-3}]

g: est l'accélération de la pesanteur, [LT^{-2}]

z: cote du point considéré par rapport au plan horizontal de référence, [L]

γ : poids spécifique de l'eau, [$ML^{-2}T^{-2}$]

S₀: coefficient d'emménagement

D_{ij}: coefficient de dispersion hydrodynamique, [L^2T^{-1}]

C_s: concentration de la source ou du puits [ML^{-3}]

C_a: concentration du contaminant adsorbé dans le sol [MM^{-1}]

k₁: constante de vitesse de réaction de premier ordre [T^{-1}]

r: effets d'adsorption et de réaction chimique [$ML^{-3}T^{-1}$]

n: porosité effective

F: puits ou source

Φ : Charge hydraulique

$$\Phi = \frac{p}{\rho g} + z$$

$$K = \frac{\rho g}{\mu} \text{ Conductivité hydraulique, } [LT^{-1}]$$

VI. 3. Les étapes de l'élaboration d'un modèle :

VI.3.1. Introduction des données :

Après avoir défini les conditions initiales et les conditions aux limites et après avoir procédé à la discrétisation du domaine à modéliser en un certain nombre de mailles, nous introduisons pour chaque maille les données physiques du système.

III.3.1.1. la géométriques des nappes:

* **Limites géographiques** : cuvette s'étend entre les coordonnées (UTM, Clarke 1880) :

$X = 710000$; $Y = 3530000$ et $X = 730000$; $Y = 3\ 600000$. $Z_{max}=250m$. $Z_{min}=3500$.

- * Au Nord, Sebkhath sefioune.
- * A l'Est, Erg-Etouil et Sidi khouiled ,Ain Elbeida.
- * Au Sud, Rouissat,Sedrata.
- * A l'Ouest , Pateou ,Affleurment grésseus

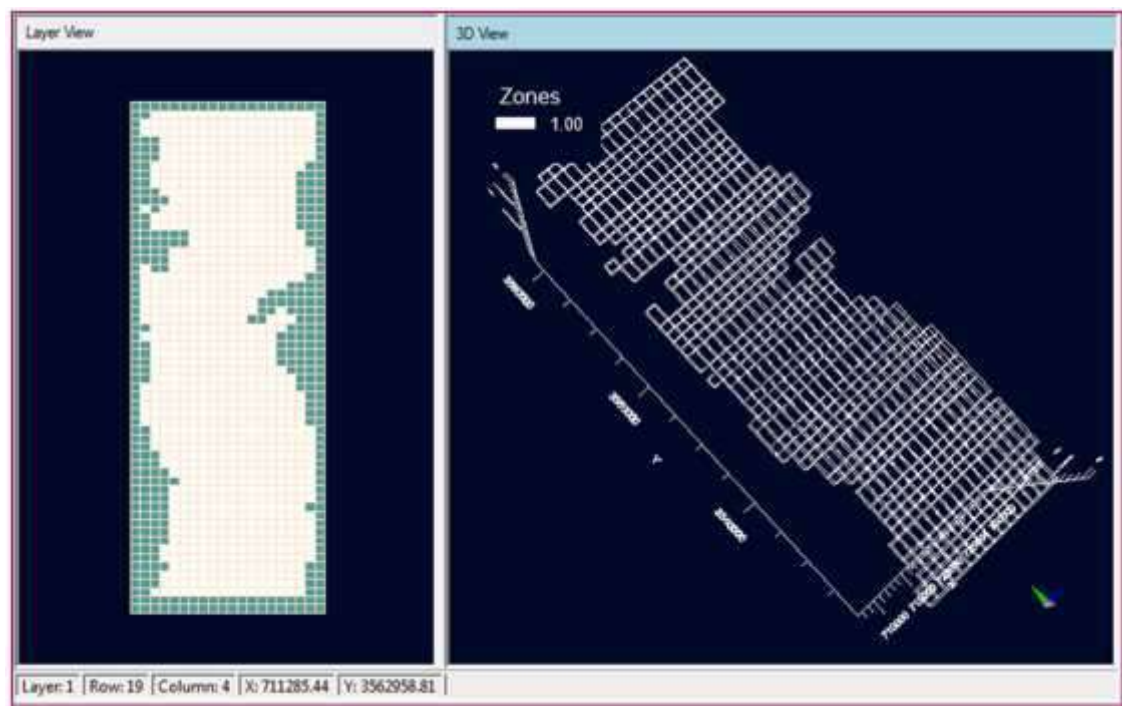


Fig.26 : Modèle 3D de limites géographiques.

***La structure interne de model de zone etude:**

Cette modèle compose par 2 unités le CT et le nappe phréatique comme une unité et le CI le deuxième unité

ERE	Etage		Lithologie	Nature Hydrogéologique	
Quaternaire			Sables.	Nappe superficielle (la nappe phréatique)	
			Argiles, évaporites.	Substratum (imperméable)	
Tertiaire	Mio-Pliocène		Sables.	1 ^{ère} nappe des sables (Complexe Terminal).	1 ^{er} Unité
			Argiles gypseuses	(semi-perméable)	
	Pontien	Sables, graviers et grès	2 ^{ème} nappe des sables (Complexe terminal).		
	Eocène	Moyen	Argiles lagunaires	Substratum	
Inférieur			Nappe des calcaires (Complexe Terminal).		
Secondaire	Crétacé	Sénonien calcaire	Dolomies et calcaires	Substratum	2 ^{eme} Unité
		Sénonien lagunaire	Evaporites, argiles	Substratum	
		Cénomanién	Argiles, marnes	Substratum	
		Albien		Nappe albienne (Continental Intercalaire).	
		Barrémien	Sables et grès		

Fig.20: Synthèse hydrogéologique régionale des différents aquifères (sans échelle).

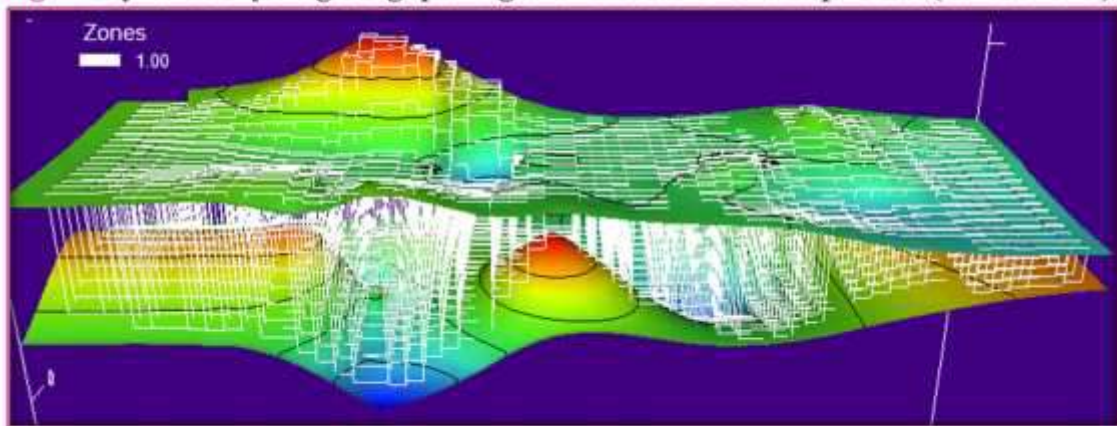


Fig.27 : Modèle 3D de surface de sol.

*Le substratum imperméable général du système : est constitué, suivant les zones, par le Trias ou le Jurassique argilo-marneux et évaporitique ou plus communément par les formations argileuses ou argilo-sableuses du Paléozoïque (OSS, Octobre.2002).

On distingue deux systèmes principaux : le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT), dans notre région d'étude ; vallée d'Oued M'ya, leur géomorphologie et la nature lithologique de sous-sol permet la présence d'un troisième nappe dite la nappe phréatique

a. la géométriques de complexe terminal :

Leur profondeur est comprise entre 100 et 600 m et sa puissance moyenne est de l'ordre de 300 m, suivants limité par:

- Au Nord, Sebkhath sefioune.
- A l'Est, Erg-Etouil et Sidi khouiled ,Ain Elbeida.
- Au Sud, Rouissat,Sedrata.
- A l'Ouest,Pateou ,Affleurment grésseus
- * **L'aquifère du Turonien.**
- ***** **L'aquifère du Sénonien et de l'Eocène carbonatés:** l'épaisseur varie de 50 à 250 mètres.
- * **L'aquifère du Mio-Pliocène:** dont épaisseur de 50 à 100 mètres.

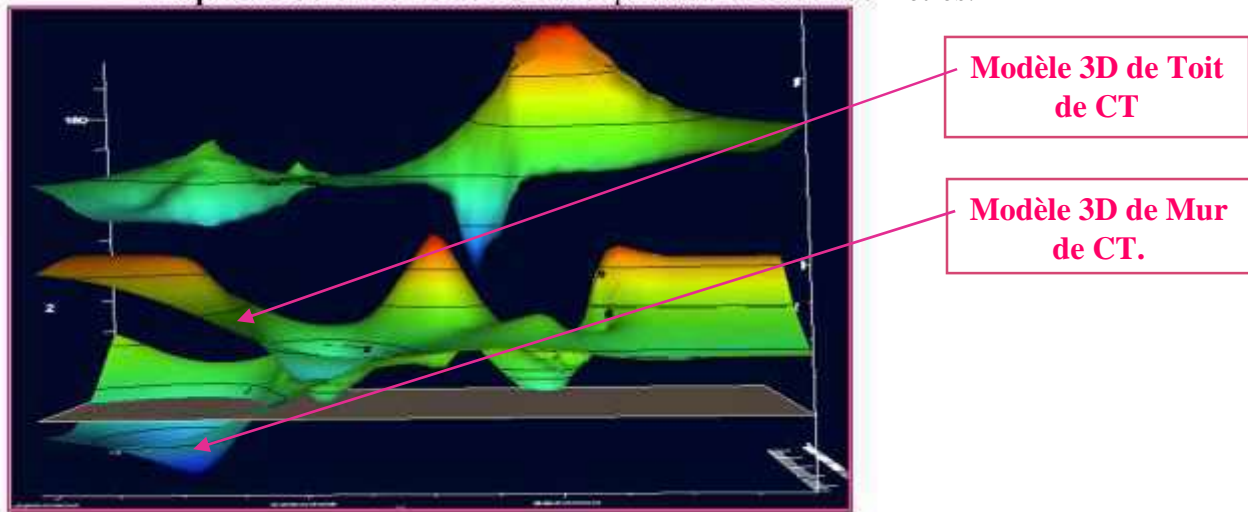


Fig.28: Modèle 3D du système aquifère du complexe terminale CT.

modèle en 3D de complexe terminale représente, la stratification des différentes formations perméable et imperméable qui forment le système aquifères, les formations sont tabulaires, où on remarque que un soulèvement dans la coté west , et une bassement au coté Nord.

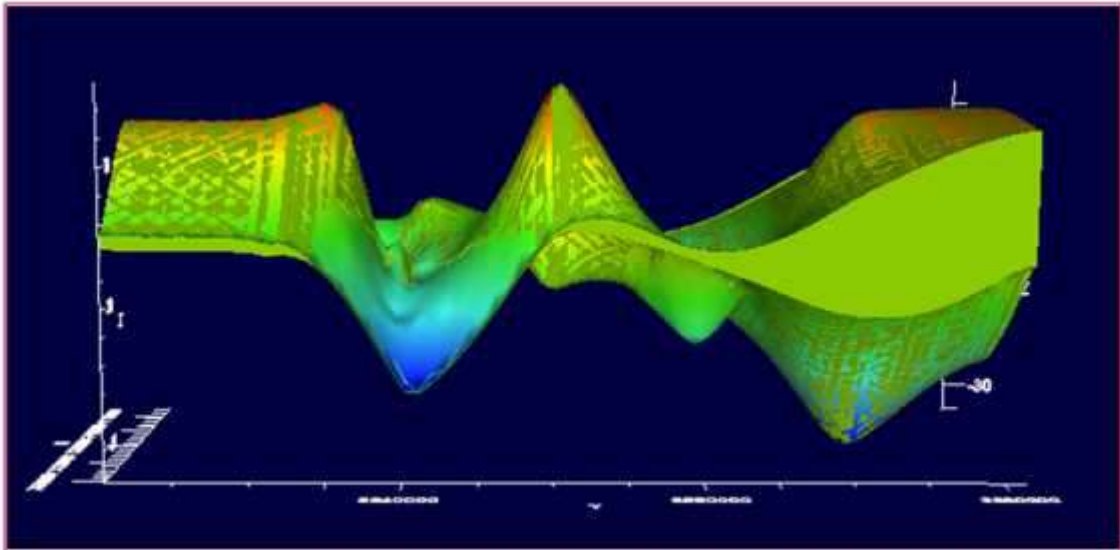


Fig.29: la géométries 3D de complexe terminal

b. la géométries de continentale intercalaire :

-Toit du CI:

le toit de CI est défini comme étant la première formation surmontant les séries sableuses du Crétacé inférieur. ce toit varie d'un endroit à l'autre du bassin, de la dolomie de l'Aptien aux argiles et marnes du Vraconien. a l'échelle du bassin saharien le le Continental intercalaire.

-Mur du CI :

Le substratum est de formations argilo-sableuses et argileuses ou carbonatées d'âge de plus en plus récent du Sud vers le Nord. A profondeur 3500m.

L'épaisseur du CI :

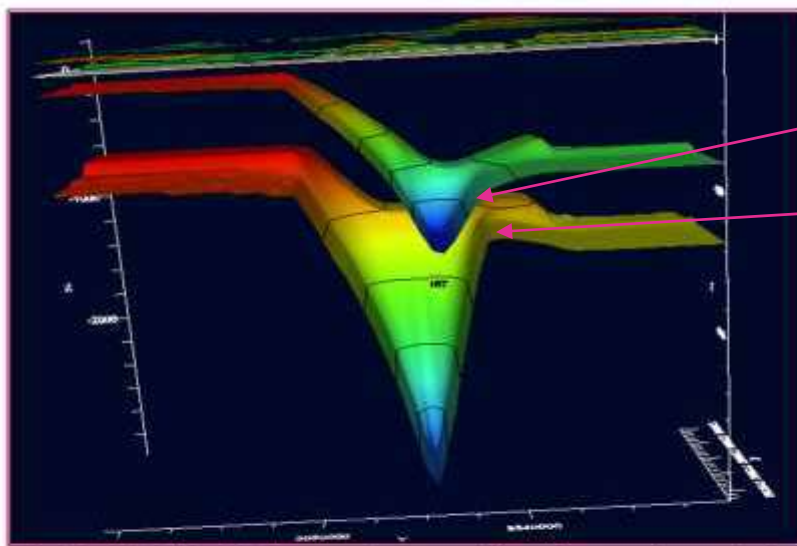
L'épaisseur moyenne du CI est de

Au Nord. 1000m

A l'Est entre 800 et

Au Sud. 600m

A l'Ouest 2000m



Modèle 3D de Toit de CI.

Modèle 3D de Mur de CI.

Fig.30: Modèle 3D du système aquifère du continentale intercalaire CI.

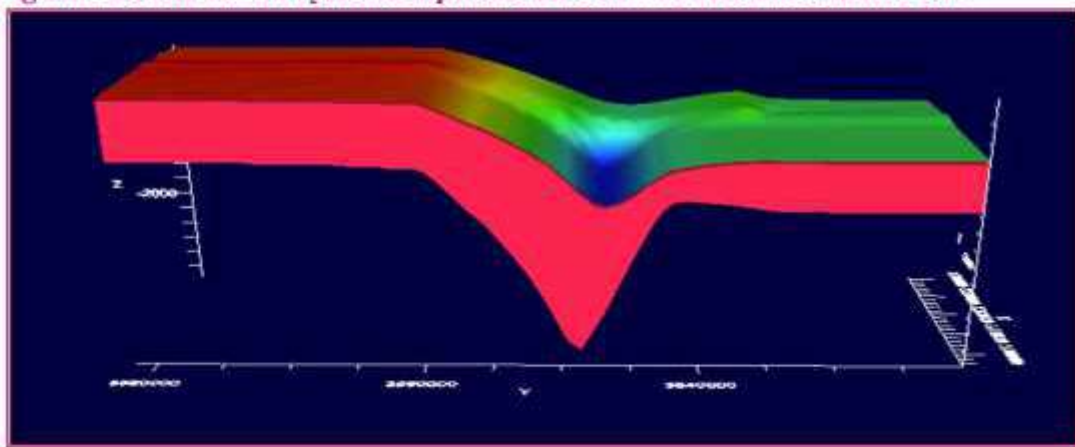


Fig.31: la géométriques 3D de du continentale intercalaire CI.

IV.3.2. Les forages de pompages :

IV.3.2. La piézométrie :

42 piézométries : 10 p de CI et 32 p de CT

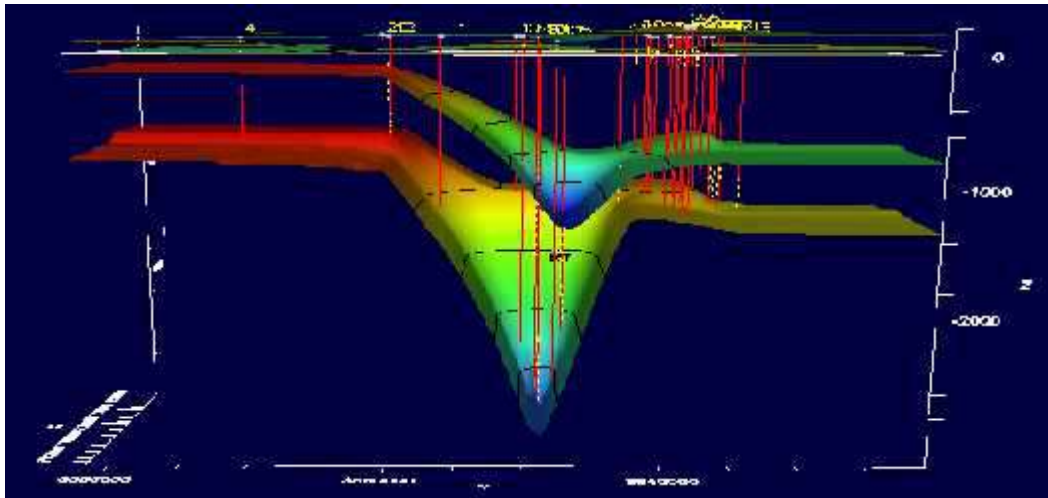


Fig.32: les forages dans le model.

III.3.3.L'introduction des Paramètres hydrodynamique des nappes :

- ★ **La perméabilité K:** $K = Q/A \cdot i$, mètres par seconde (m/s). Sa valeur évolue de 10^{-1} ou 10^{-2} m/s dans les terrains les plus perméables à 10^{-7} m/s pour les formations peu perméables.

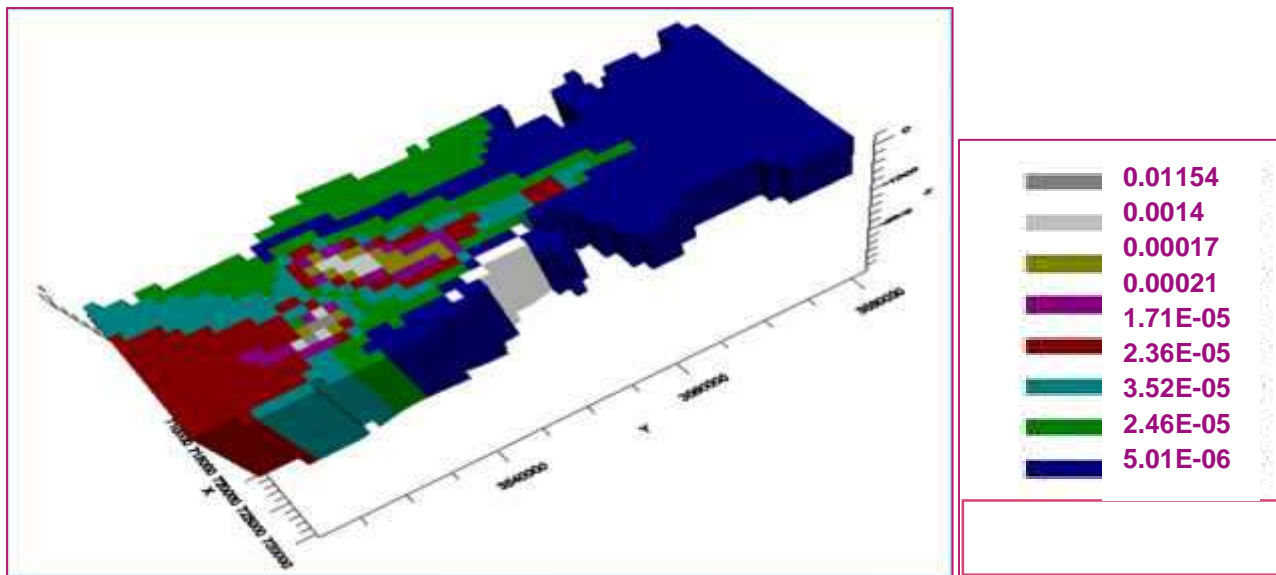


Fig. 33: Répartition initiale des perméabilités CT.

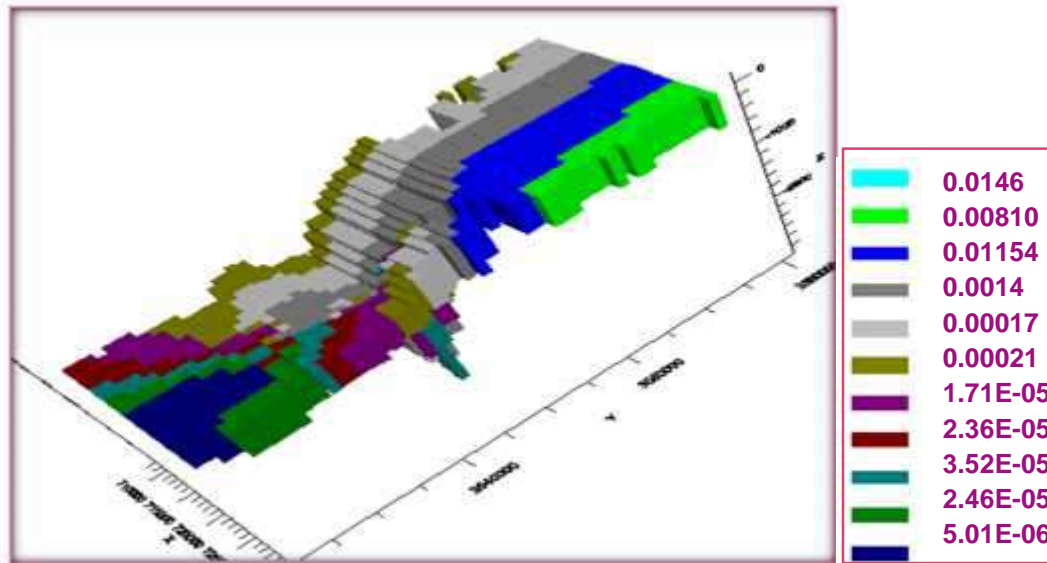
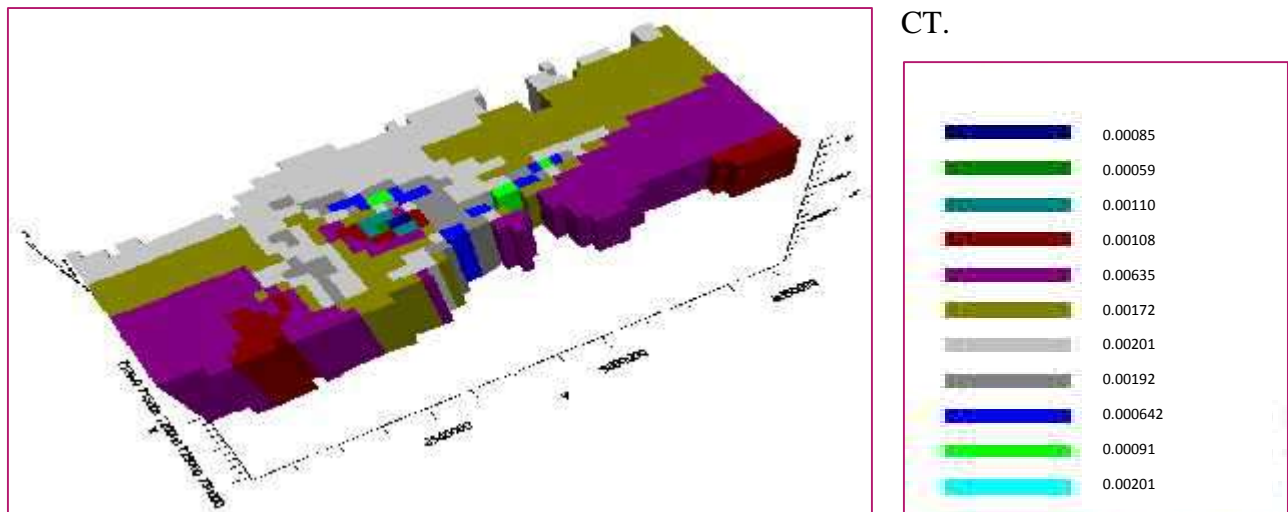


Fig. 34: Répartition initiale des perméabilités CI.

- ★ **La transmissives T** : représente le débit d'un niveau aquifère sur toute son épaisseur, $T = K.e$, et s'exprime en m^2/s , sa valeur évalue de $(8.10^{-3} \text{ à } 9.10^{-2} \text{ m}^2/s)$ pour le CT.
- ★ **débit de pompage constant (m^3/s) Q (en m^3/s)**: constant pour chaque un forage et les valeur évalue $(120 \text{ à } 960 \text{ m}^3/\text{Day})$ pour le CT et $(2400 \text{ à } 4200\text{m}^3/\text{Day})$ pour li CI.
- ★ **Le coefficient d'emmagasinement S** : est le rapport du volume d'eau libéré par unité de surface, sa valeur varie de 10^{-3} à 10^{-6} pour les nappes captives, CI, et $(5.10^{-3} \text{ à } 3.10^{-2})$ pour le



CT.

Fig.35: Répartition initiale de coefficient d'emmagasinement S dans CT.

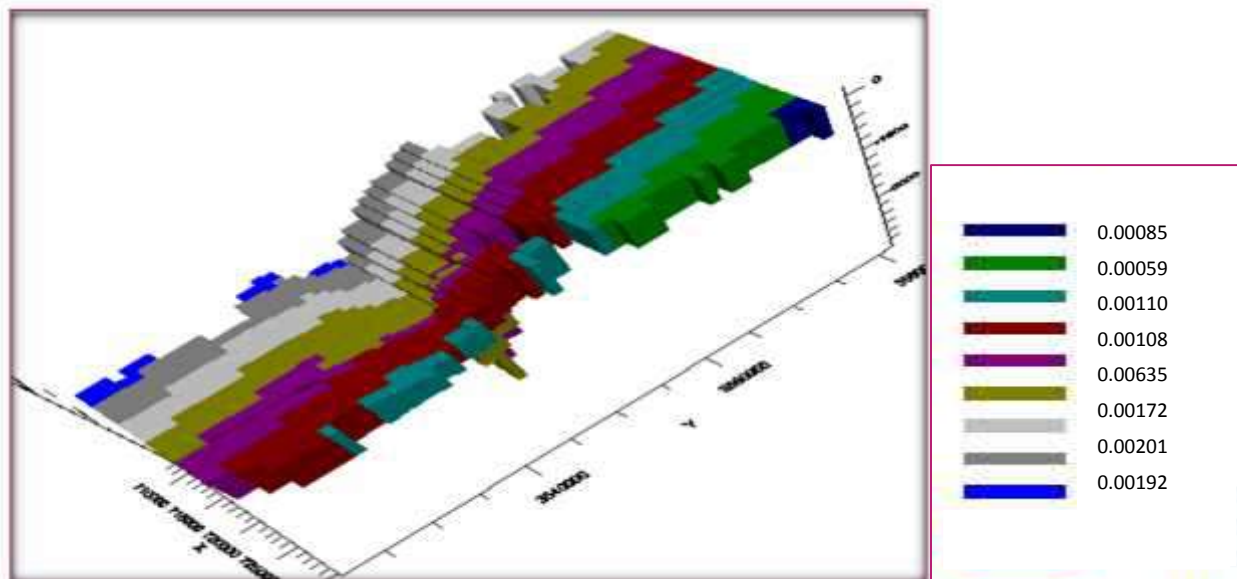


Fig.36: Répartition initiale de coefficient d'emmagasinement S dans CI.

★ **Recharge:** sa valeur pour CT (37.5 mm/yr), et (43.2 mm/yr) pour CI. (ANRH.2005)

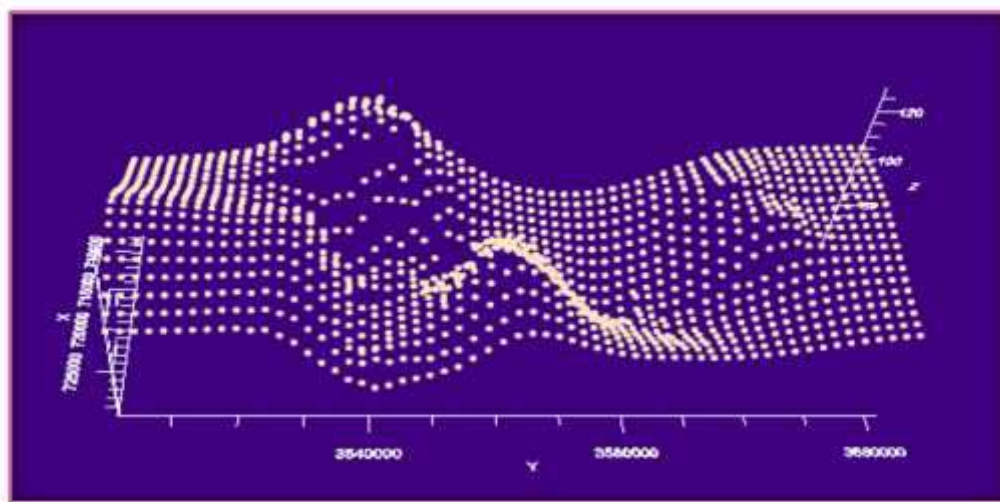


Fig. 37: Répartition initiale de la recharge pour l'année 2005 du CT.

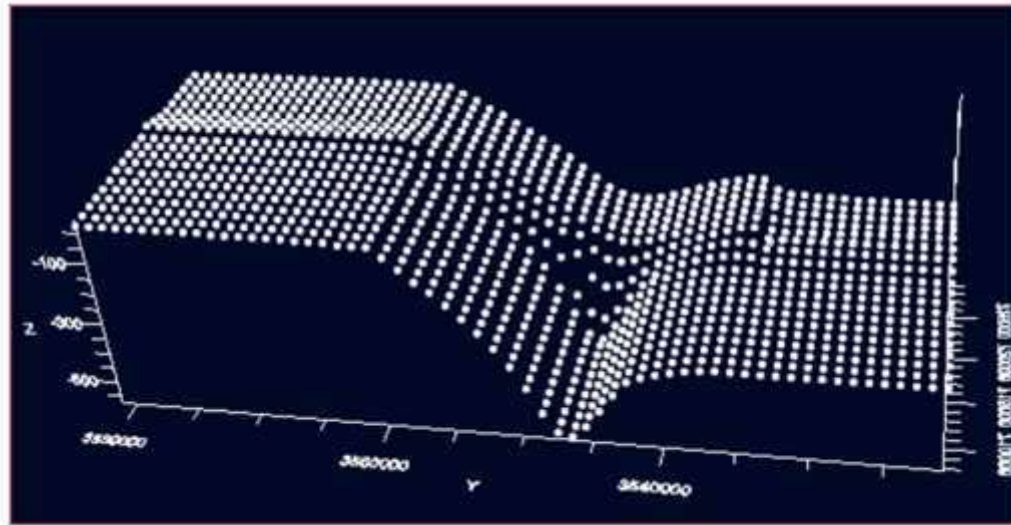


Fig. 38: Répartition initiale de la recharge pour l'année 2005 du CI.

★ **Evapotranspiration:** voir chapitre II

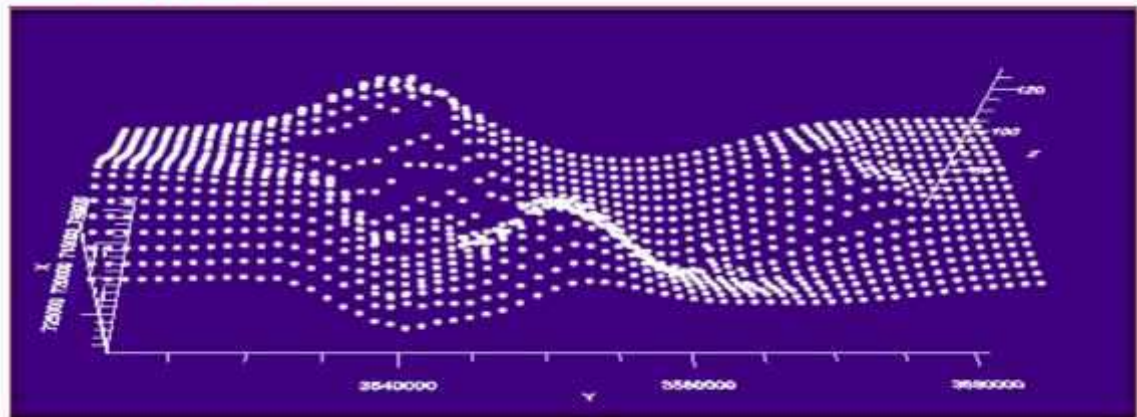


Fig. 39: Répartition initiale de la recharge pour l'année 2005 Unit (phréatique et CT).

III.3.3. Conditions de potentiel:

Les observations piézométriques montrent des niveaux potentiels constants dans l'ouest égal à 140 m, et dans le sud égal à 144 m dans le CT.

Et Les observations piézométriques montrent des niveaux potentiels constants dans l'ouest égal à 820 m, et dans le sud égal à 900 m dans le CI.

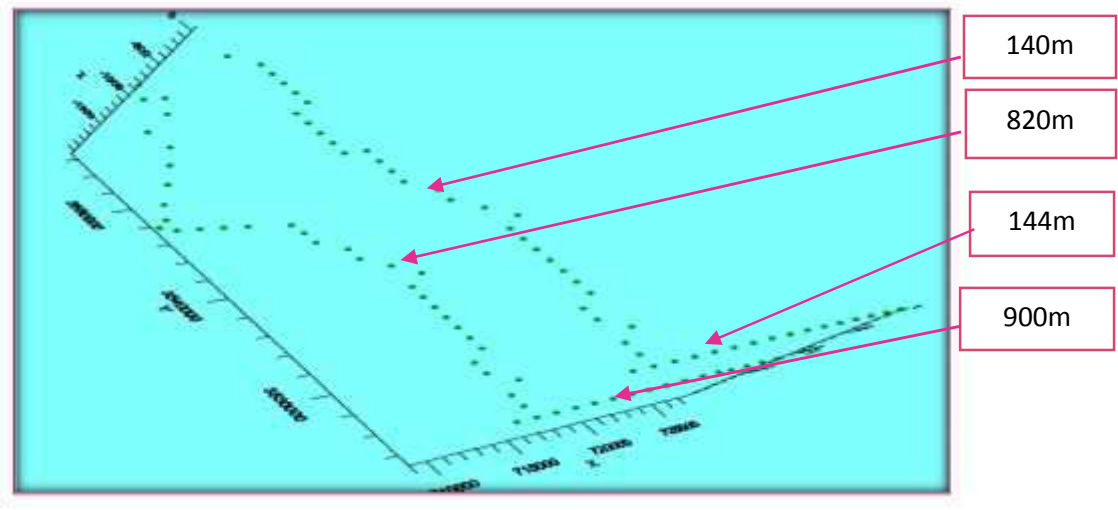


Fig. 40: Conditions de potentiel.

III.3. 2. 1. Calage du modèle :

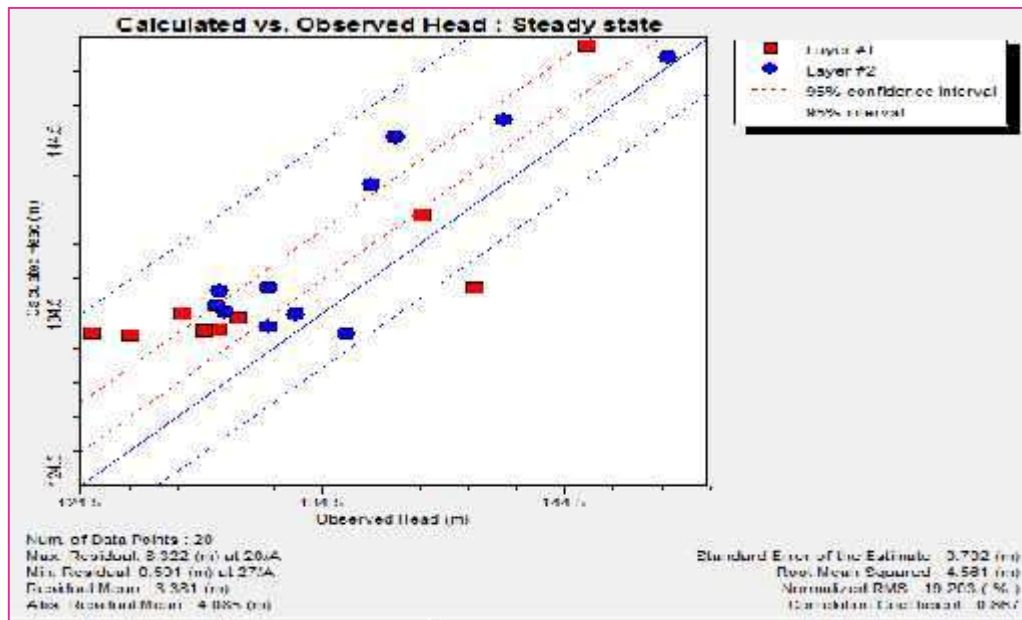


Fig.40. Calage du modèle en régime permanent : CT.

Le graphe de corrélation montre que après opération de calage des données observées introduite au modèle nous avons pu avoir des résultats optimisé de l'ordre de : Coefficient de corrélation 0.867et

RMS 4.561 pour la nappe CT et pour la nappe CI le coefficient de corrélation est égale à 0.912 et le RMS 4.702.

Il est a noté que pour arriver à des résultats meilleurs, il faut que notre modèle répond aux conditions suivantes :

- Une bonne connaissance du modèle conceptuel.
- Une répartition de données représentatives dans l'espace.
- Une base de données introduite fiable.

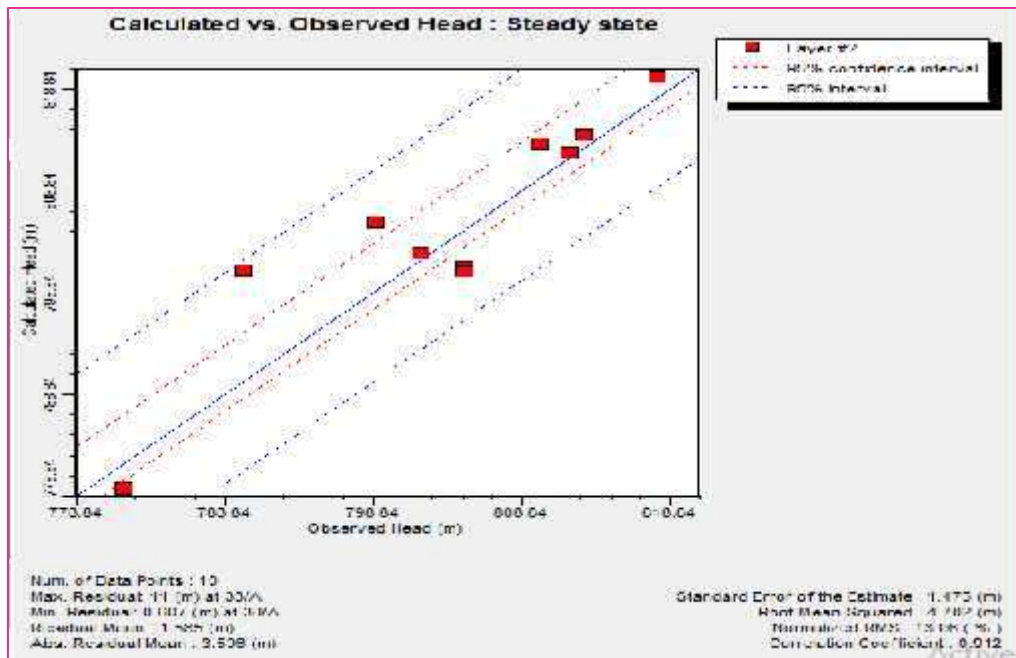


Fig. 41. Calage du modèle en régime permanent : CI.

Le bilan :

	Entrée (IN)	Sortie (OUT)
Stockage	0.00	0.00
Côte constante	0.00	0.00
Puits	0.00	11.178.00
Recharge	10007.00	0.00
Evapotranspiration par la nappe	0.00	0.00
General-head	767880.00	69700.00
Total IN	79110.00	-
Total OUT	-	879110.00
Différence: IN - OUT	-290	
Pourcentage d'anomalie	0.01%	

Tableau 10: Budget d'écoulement journalier moyen en m3/j de CT.

On remarque dans le tableau(10) que la quantité d'eau stockée dans la nappe est nulle, ce qui implique que les entrées sont inférieures aux sorties, le déficit est estimé à 290m³/j, ceci est due aux pompages excessifs.

	Entrée (IN)	Sortie (OUT)
Stockage	0.00	0.00
Côte constante	0.00	0.00
Puits	0.00	16013.00
Recharge	11820.00	0.00
Evapotranspiration par la nappe	0.00	0.00
General-Head	27300000.00	11853000.00
Total IN	27423000.0	-
Total OUT	-	27418000.00
Différence: IN - OUT	4607	
Pourcentage d'anomalie	0.02%	

Tableau 11: Budget d'écoulement journalier moyen en m³/j de CI.

On remarque dans le tableau(11) que la quantité d'eau stockée dans la nappe est nulle, ce qui implique que les entrées sont inférieures aux sorties, le déficit est estimé à 4607.00m³/j, ceci est due aux pompages excessifs.

La quantité d'eau enlevée des nappes n'est pas remplacée par la recharge. Ce qui menace d'un épuisement total des nappes dans l'avenir.

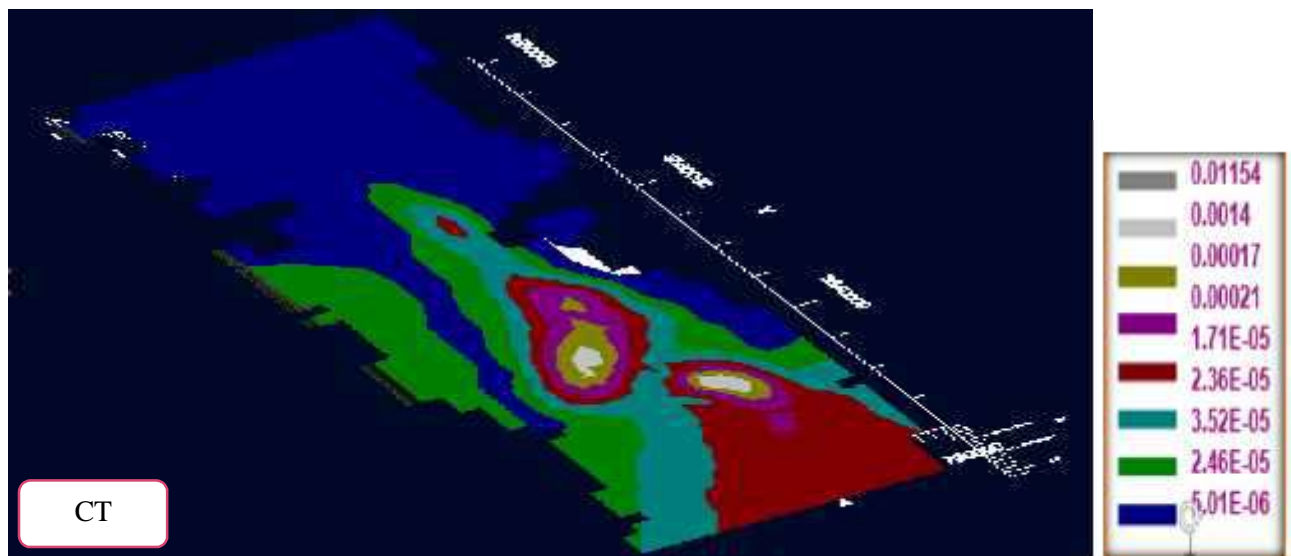


Fig. 42: Répartition initiale des perméabilités après calage.

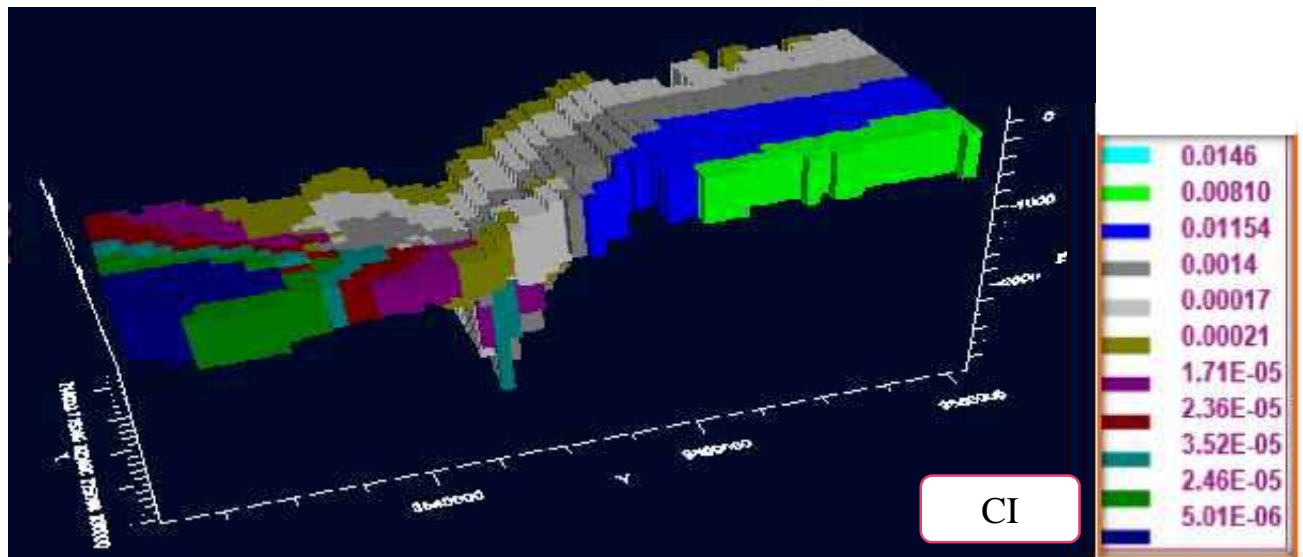


Fig. 43: Répartition initiale des perméabilités après calage.

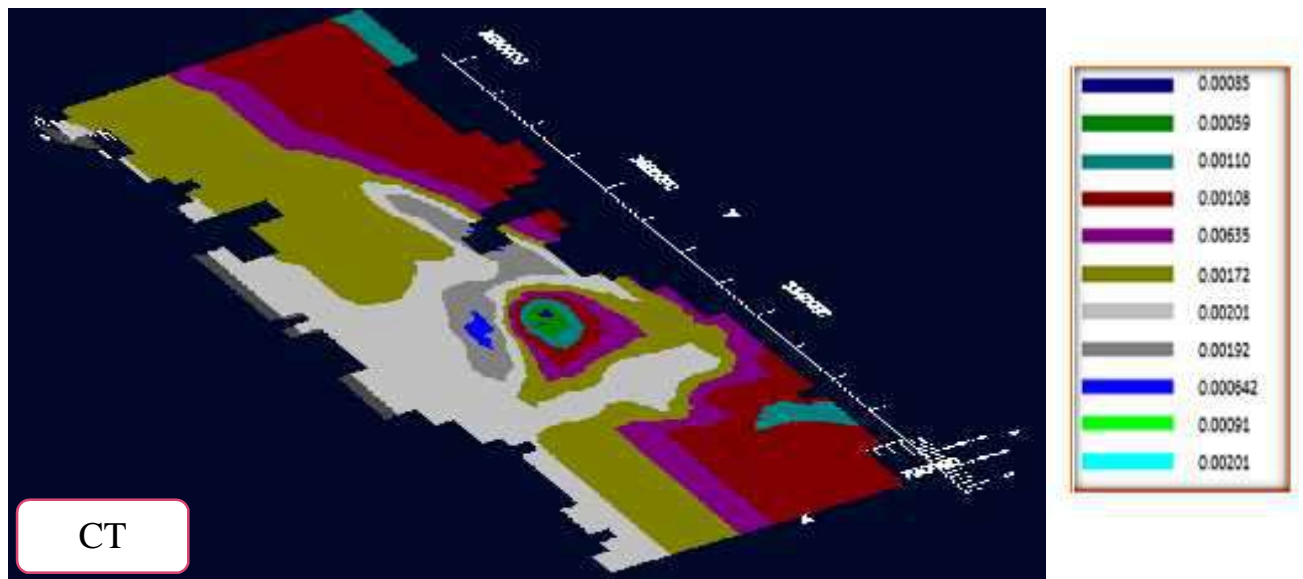


Fig.44: Répartition initiale de coefficient d'emmagasinement S après calage.

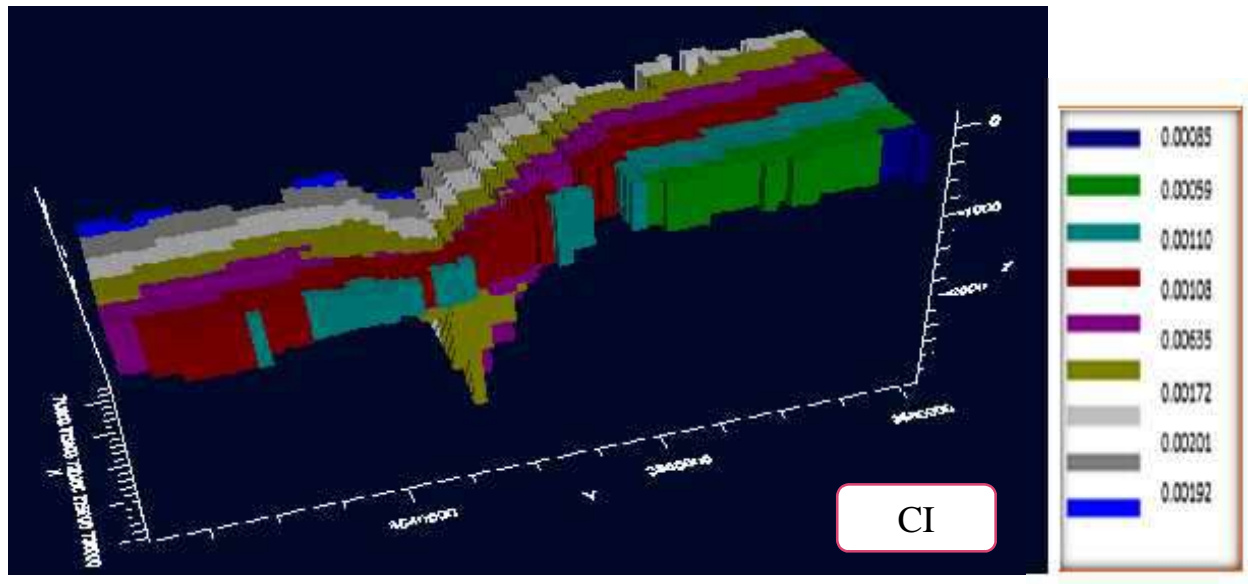


Fig.45: Répartition initiale de coefficient d'emmagasinement S après calage.

Conclusion:

L'application du modèle VISUAL MODFLOW sur le système aquifère de Sahara septentrional permis d'établir le calage en régime permanent.

Les résultats confirment la hydrogéologique de cohérence où nous avons eu la structure de complexe terminale et continental intercalaire et un modèle pour l'écoulement des eaux souterraines chaque;

Le continental intercalaire généralement à une profondeur 1000m à 2000m et L'épaisseur moyenne du CI est;

Au Nord.100m, Au l'Est entre 800 et, Au Sud.600m, A l'Ouest 2000m.

Et un modèle pour l'écoulement des eaux souterraines avec coefficient de corrélation est égal à 0.912 et le RMS 4.702.

Le complexe terminale à une profondeur de 20m à 60m, et épaisseur moyenne ;

Au Nord.800m., Au l'Est entre 520 et, Au Sud.600m, A l'Ouest 200m.

Et un modèle pour l'écoulement des eaux souterraines avec coefficient de corrélation est égal à 0.867 et le RMS 4.561.

Et une quantité d'eau stockée dans les s est nulle avec le déficit est estimé à 4607m³/j pour le CI et 290m³/j pour le CT, ce qui implique que les entrées sont inférieure aux sorties.

Remerciement

Au terme de ce travail.

- * *M. ZERROUKI Hichem., notre promoteur, pour son aide précieuse et son confiance et pour leur suivi et braquement à avoir d'avancer dans le travail et de finaliser cette étude, malgré tous les obstacles multiples et Bien que la distance est restée me guider*

Remerciements aussi à:

- ❖ *M. NEZLI Imed Eddine, d'avoir accepté d'examiner ce travail*
- ❖ *M. ZEDDOURI.AZZIZ, pour l'honneur qu'il nous a fait, en présidant le jury.*
- ❖ *M.CHEBBOUB Moadh, informaticien pour suive moi en la logiciel.*
- ❖ *Mem Dr. CHEBBOUB Asma, pour suive moi à la méthodologie.*
- ❖ *M.CHEBBOUB Houdifa, engrener Électroniques Digital.*

Ainsi qu'à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail,

- ∞ *Hydraulique-Ouargla*
- ∞ *ANRH-Ouargla*
- ∞ *ADE-Ouargla*

Introduction générale.....

Chapitre. I : présentation de la région d'étude.

I.	: LA SITUATION GEOGRAPHIQUE, APERCU GOMORFOLOGIQUE ET GEOLOGIQUE DE ZONE D'ETUDE ...	1
I.1.	Introduction:	1
I.2.	Localisation géographique et limites :.....	1
I.2.1.1.	La Situation géographique :.....	1
I.3.	Aperçu géomorphologique :.....	2
I.3.1.	La hamada Mio-Plio-Quaternaire :.....	2
I.3.2.	Les glacis :.....	2
I.3.3.	Les sebkhas :.....	2
I.4.	Réseau hydrographique :.....	3
I.5.	Cadre géologique :.....	5
I.5.1.	Géologique régionale :.....	5
I.5.1.1.	Bassins de la plate-forme saharienne :.....	5
I.5.1.2.	Litho-stratigraphie :.....	6
I.5.1.3.	Cuvett du bas-Sahara :.....	11
I.5.1.4.	Bassin d'Oued M'ya :.....	12
I.5.2.	Géologie locale :.....	12
I.5.2.1.	Litho-stratigraphie :.....	14
I.6.	Tectonique régionale et locale :	19
I.6.1.	Phase panafricaine :	19
I.6.2.	calédonienne :	19
I.6.3.	Phase hercynienne :.....	20
I.6.4.	Phase post-hercynienne :.....	20
I.6.5.	Phase Autrichienne :.....	20

I.6.6. Phase Pyrénéenne :	20
I.7.Paléogéographi :	23
I.8.Conclusion :	25

Chapitre. II: Hydro climatologie

II. PARAMETRES CLIMATIQUES :	1
II.1. Introduction:	1
II.2. La température :	1
II.3. La pluviométrie :	2
II.4. L'humidité de l'air :	3
II.5. Le vent:	4
II.6. L'insolation:	4
II.7. L'évaporation:	5
II.8. Indice d'Aridité de DEMARTONNE :	6
II.9. Climatogramme d'Emberger :	7
II.10. Diagramme pluvio-thermique de GAUSSEN:	8
II.11. Bilan hydrique.....	9
II.12. CONCLUSION:	10

Chapitre. III : hydrogéologique.

III-HYDROGEOLOGIE :	1
III.1. Introduction :	1
III.2.Nappe Phréatique :	3
III.3. Le système aquifere de sahara septentrional:	4
III.3.1.Nappe du Continental Intercalaire (C. I.) :	6
III.3.2.Nappe du complexe terminal (C. T.) :	8
III.3.2.1.Alimentation à partir de l'Atlas saharien :	8
III.3.2.2.Alimentation par le plateau du Tademaït et Tinhert :	8
III.3.2.3.Alimentation par les monts du M'Zab :	8
III.4. – Conclusion :	10

Chapitre. IIII : Modélisation :

Introduction:

IIII.1.Les objectifs :	1
IIII.2. Outils :	1
IIII.2.1 .Généralités sur le logiciel:	1
IIII.2.1.1. MODFLOW :	1

III.2.1.2. Historique de logiciel:	2
III.2.2. Equation de flux d'eau souterraine:	2
III.2.3. Différence finie:	2
III.2.4. Limites:	4
III.2.5. Les paramètres hydrodynamiques :	5
III.3. Les étapes de l'élaboration d'un modèle :	4
III.3.1. Introduction des données :	6
III.3.1.1. la géométriques des nappes:	7
a. la géométriques de complexe terminal:	8
b. la géométriques de continentale intercalaire :	9
III.3.2.L'introduction des forages:	11
III.3.3.L'introduction des Paramètres hydrodynamique des nappes :....	11
III.3.4. Conditions de potentiel:	14
III.4. Calage du modèle :	
III.5.Cenclusion :	

*De figures****Chapitre. I: présentation de la région d'étude .***

Fig. 01: Situation de la wilaya d'Ouargla.....	2
Fig. 02. Coupe géomorphologique schématique de la vallée d'Ouargla.....	3
Fig.03: Le réseau hydrographique de la cuvette.....	4
Fig.04- Coupe géo structurale transversale régionale (WEC, 2007)	6
Fig.05- colonne stratigraphique synthétique du sahara N-S septentrional	11
Fig:06. Coupe géologique schématique : N-S (bas sahara.1964).....	12
Fig.07-: Carte géologique régionale (extraite de la carte géologique de l'Algérie à l'échelle : 1/500 000, feuille de Constantine).....	13
Fig. 08: Colonne stratigraphique synthétique de la région d'Ouargla.....	18
Fig. 09- Les phases tectoniques de la plate-forme saharienne (Boudjema, 1987)....	22

Chapitre. II: Hydro climatologie.

Fig.10: Variation des températures moyennes mensuelles (Station d'Ouargla, 1982-2012).....	1
Fig.11: Variation des précipitations moyennes mensuelles (Station d'Ouargla, 1982-2012).....	2
Fig.12: Variation des Humidités moyennes mensuelles (Station d'Ouargla, 1982-2012)..	3
Fig.13: Variation des vitesses moyennes mensuelles du vent (Station d'Ouargla, 1982-2012).....	4
Fig.14: Variation des insolation moyennes mensuelles (Station d'Ouargla, 1982-2012).....	5
Fig.15: Variation des évaporations moyennes mensuelles (Station d'Ouargla, 1982-2012).....	6
Fig.16: Climatogramme d'Emberger pour la région de Ouargla (1982-2012).....	7
Fig.17: Diagramme ombro-thermique de GAUSSEN de la région d'Ouargla.....	8
Fig.18: Histogramme du bilan hydrique de la région d'Ouargla (1982-2012).....	9

Chapitre. III : hydrogéologique.

Fig.19 : Coupe hydrogéologique synthétique de Sahara septentrionale (UNESCO 1972).....	2
Fig.20: Synthèse hydrogéologique régionale des différents aquifères (sans échelle)..	2
Fig.21: coupe hydrogéologique de nappe phréatique en 1968(DHW- Ouargla .1968)..	4
Fig. 22 : Délimitation du "SASS" (OSS, 2003).....	5
Fig. 23- Coupe hydrogéologique du bassin hydrogéologique (UNESCO, 1972).....	6
Fig.24: Carte des ressources en eau souterraines (CI et CT), extrait de recueil des	

communications, 2002.....7

Fig. 25 : Coupe hydrogéologique transversale du "CT" (UNESCO, 1972).....9

Chapitre. III : Modélisation :

Fig.26 : Modèle 3D de limites géographiques.....7

Fig.27 : Modèle 3D de surface de sol7

Fig.28: Modèle 3D du système aquifère du complexe terminale CT.....8

Fig.29: la géométriques 3D de complexe terminal.....9

Fig.30: Modèle 3D du système aquifère du continentale intercalaire CI.....11

Fig.31: la géométriques 3D de du continentale intercalaire CI.....11

Fig.32: les forages dans le model.....12

Fig. 33: Répartition initiale de la perméabilité CT.....12

Fig. 34: Répartition initiale de la perméabilité CI.....13

Fig.35:Répartition initiale de coefficient d'emmagasinement S CT.....13

Fig.36:Répartition initiale de coefficient d'emmagasinement S CI.....14

Fig. 37: Répartition initiale de la recharge pour l'année 2005de CT.....14

Fig. 38: Répartition initiale de la recharge pour l'année 2005de CI.....15

Fig. 39: Conditions de potentiel.....16

Fig. 40: Calage du modèle en régime permanent :CT.....14

Fig. 41: Calage du modèle en régime permanent :CI.....15

Fig. 42: Répartition initiale des perméabilités après calage de CT.....18

Fig. 43: Répartition initiale des perméabilités après calage de CI.....19

Fig.44:Répartition initiale de coefficient d'emmagasinement S après calage de CT..19

Fig.45:Répartition initiale de coefficient d'emmagasinement S après calage de CI..20

Chapitre. I : présentation de la région d'étude:**Chapitre. II: Hydro climatologie.**

Tableau.01: Températures moyennes mensuelles (Station d'Ouargla, 1982-2012)..	1
Tableau.02: Pluviométrie mensuelle (Station d'Ouargla, 1982-2012).....	2
Tableau.03: Humidité moyenne mensuelle : (Station de Ouargla, 1982-2012).....	3
Tableau.04: Vitesse moyenne mensuelle du vent (Station de Ouargla, 1982-2012)..	4
Tableau.05: insolation moyenne mensuelle (Station de Ouargla, 1982-2012).....	5
Tableau.06: évaporations mensuelle (Station d'Ouargla, 1982-2012).....	6
Tableau.07: Classification des climats en fonction de la valeur de l'indice de DEMARTON.....	7
Tableau.08: Indice d'Aridité de DEMARTONE.....	7
Tableau 09: Le bilan hydrique de la station d'Ouargla dans la période (1982-2012) d'après la méthode de Thorntwaite.....	9
Tableau 10: Budget d'écoulement journalier moyen en m ³ /j.....	16
Tableau 11: Budget d'écoulement journalier moyen en m ³ /j.....	17

Références bibliographiques

[01]-**FABRE. J. (1976)** : Introduction à la géologie du Sahara d'Algérie et des régions voisines. SNED, Alger,p 421.

[02]-**NEZLI. I.D**: la geologie de Sahara d'Algérie " région d'Ouargla "Magister

[03]-**A.N.R.H.** les forages,2005.

[04]-**A.B.H.** les paramètres hydrodynamique.2005.

[05]-**OSS.SASS.** Hydrogéologie de SASS.

[06]-**ROUVILLOIS-BRIGOL M. (1975)**:Le pays d'Ouargla (Sahara Algérienne).Edition département géographique. Paris. Sorbonne, p390.

[07]-**BELAOUAR ABD ELAZZIZ: hydrogéologie général de SASS.** Magister.

[08]-**Zeddouri A. (2010)** : « Caractérisation hydrogéologique des nappes du complexe terminal de la région de Ouargla (Sud-Est algérien) ». Thèse de Doctorat, UnivBadji Mokhtar, Annaba, p 109.

[09]-**OUBIRA SAFA**: géologie d SASS, Ingénieur.

[10]-**NEZLI. I.D**: Caractérisation hydrogéologique des nappes du complexe terminal de la région d'Ouargla. Thèse Dr (2012)

[11]-**Cornet, A. (1964)**: Introduction a l'hydrogéologie du Sahara, Algérie. Revue géographie physique et de géologie dynamique, Vol. 6, Num-1.p 5,72.

[12]-**Cornet, A. Gousskov, N. (1952)**: Les eaux du Crétacé Inférieur Continental dans le Sahara algérien (nappe dite albiennne). XIX Cong. Géol. Inter. La géologie et les problèmes de l'eau en Algérie. Tome II. Données sur l'hydrogéologie algérienne, p144 ,169.

Références électroniques:

1. Schlumberger water services.
2. Visual MODFLOW flex.2015.
3. www.waterloohydrogeologic.com.
4. scholar.google.com