

UNIVERSITE KASDI MERBAH-OUARGLA

**FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
ET SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS**

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS



Projet de Fin d'Etudes en vue de l'obtention du diplôme de

Master LMD

Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière : Géologie

Spécialité : Hydrogéologie

Thème

**ETUDE DU VULNERABILITE DES EAUX DE LA
NAPPE SUPERFICIELLE D'OUARGLA A LA
POLLUTION SUD-EST DU SAHARA**

Présenté par : Khirani Med Walid

Devant les jurys :

Président : Mr. ZEDDOURLA

Examineur : Mr .REMITA.A

Encadreur : Mr.BOUSELSAL BOUALEM

Année universitaire 2012/2013

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer ma gratitude et mes sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à l'élaboration de ce mémoire.

❖ **Je remercie, en premier Dieu ALLAH qui m'a donné la bonne santé, la volonté et la patience tout au long de mes études.**

❖ **Je remercie, ma famille pour le soutien exemplaire moral et matériel continu tout au long de mon cycle.**

❖ **Je tiens à remercier avec gratitude mon encadreur Boussalsal Bouelam, de m'avoir guidé et suivi tout au long de ce travail, de m'avoir conseillé, encouragé et aussi, prodigué de précieux conseils. Ses critiques fructueuses ont été, pour moi, une source d'enrichissement. Son aide et sa disponibilité m'ont permis d'avancer dans le travail et de finaliser cette étude.**

❖ **Mes vifs remerciements vont à Mr.ZEDOURI.A Qui m'a fait l'honneur de présider le jury de soutenance et à Mr. REMITA. A Qui accepté de m'accorder une partie de leur temps pour critiqué ce travail**

❖ **Je remercie aussi l'ensemble du personnel de l'ANRH, l'ABH, l'ADE et l'ONA de Ouargla pour leurs conseils et encouragements exceptionnellement les agent de l'laboratoire ANRH**

❖ **Je remercie vivement l'ensemble du personnel du département de géologie.**

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Mon père et Ma mère

Mes frères et sœurs

Mon petit frère popo

Mon encadreur M^r boussalal bouelam

Mes tantes et oncles ainsi que mes cousins et cousines

Toutes mes amies

Khirani med walid

2012/2013



Sommaire

CHAPITRE 01 : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

INTRODUCTION GENERALE

1. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES	P 2
1. 1- Situation Géographique	P 2
1.2- Evolution De La Population	P 4
1.3- Le Cadre Economique	P 4
1.4- Aperçu Géomorphologique	P 5
1.5- Pedologie Et Occupation Des Sols	P 6
2-LE CONTEXTE GEOLOGIQUE	P 8
2.1- Introduction	P 8
2.2- Cadre géologique régional	P 9
2.3- Cadre géologique local	P 13
2.3.1- Affleurements	P 13
2.3.2- Lithostratigraphie	P 18
3-LE CONTEXTE HYDROCLMATOLOGIQUE	P 18
3-1 : Pluviométrie	P 18
3-2 : Températures	P 18
3-3 : L'humidité relative	P 19
3. 4 : La vitesse du vent	P 20
3-5 : Durée d'insolation	P 21
3 -6 : L'évaporation	P 22
3.7-Diagramme pluvio-thermique de GAUSSEN	P 23
3.8 - Bilan hydrique	P 24
4. Conclusion	P 26

CHAPITRE 02 : ETUDE HYDROGEOLOGIQUE

1. INTRODUCTION	P 26
2. Le Continental Intercalaire (CI) 26	P 26
2.1-Etude Piezometrique Du (CI)	P 27
2.2. Géométrie du "CI"	P 28

3. LE COMPLEXE TERMINAL (CT)	P 28
3.1. Présentation du complexe terminal	P 29
3.1.1. Quaternaire	P 29
3.1.2. Mio-pliocène	P 29
3.1.3. Sénonien	P 29
3.1.4. Turonien	P 30
3.2. Etude piézométrique de (CT)	P 30
3.2.1. Nappe Mio-pliocène	P 31
3.2.2. Nappe de Sénonien	P 31
4. LA NAPPE SUPERFICIELLE	P 33
4.1. Faciès lithologique de la nappe phréatique	P 34
4.2. Etude piézométrique de la nappe phréatique	P 34
4.2.1. La piézométrie en 2003 (Fig.26)	P 34
4.2.2. La piézométrie en 2007 (Fig.27)	P 34
4.3. Bilan d'eau de la nappe phréatique	P 37
4.3.1 Equation du bilan d'eau	P 37
4.3.2. Estimation des termes du bilan d'eau	P 39
4.3.3. Bilan d'eau de la cuvette d'Ouargla	P 41
4.3.4 Résumé du bilan d'eau	P 42
5. QUALITE DES EAUX DE LA NAPPE SUPERFICIELLE	P 43
5.1. Les paramètres physicochimiques	P 43
5.1.1. La conductivité électrique (CE)	P 43
5.1.2. Potentiel d'Hydrogène (PH)	P 43
5.2. Faciès chimique des eaux	P 43
5.3. Qualités des eaux à l'irrigation	P 44
5.4. Pollution minérale et organique	P 45
5.4.1. Salinité des eaux da nappe phréatique :	P 46
5.4.2. Carte de conductivité	P 49
5.4.3. Pollution organique	P 49
6. CONCLUSION	P 52

CHAPITRE 03 : VULNERABILITE DES EAUX DE LA NAPPE SUPERFICIELLE D'OUARGLA A LA POLLUTION

1. INTRODUCTION	P 54
-----------------	------

2. PRESENTATION DE LA METHODE GOD (FOSTER ET HIRATA 1991)	P 54
3. DETERMINATION DES PARAMETRES DE GOD :	P 54
3.1. Type de nappe	P 54
3.2. La profondeur de la nappe	P 56
3.3. La lithologie de la zone saturée	P 56
4. LES COTES DES PARAMETRES DE VULNERABILITE DE GOD	P 60
5. La carte de vulnérabilité de la nappe superficielle d'Ouargla	P 63
5. conclusion	P 64

Liste des figures

Fig. 1 : carte de situation géographique (ONA 2004)	P 3
Fig. 2 : gara krima : butte témoin au sud de la ville d'ouargla	P 5
Fig. 3: coupe géomorphologique schématique d'Ouargla (in hamdi-aissa 2000)	P 6
Fig.4 : carte d'occupation du sol (BG 2004)	P 7
Fig. 5: carte géologique régionale (oss, 2003)	P 9
Fig. 6: colonne stratigraphique synthétique du Sahara nord-est septentrional (sonatrach et Schlumberger, 1990)	P 12
Fig. 7: carte géologique locale (BG, 2004)	P 13
Fig. 8: colonne stratigraphique synthétique de la région de Ouargla (ANRH, 2004)	P 17
Fig. 9: répartition annuelle des pluies a Ouargla sur la période 1990-2011(onm)	P 18
Fig.10 : température moyenne mensuelle a Ouargla (période 1990 – 2011) (onm)	P 19
Fig.11 : humidité moyenne en (%) (1990-2011)	P 20
Fig. 12: la vitesse du vent en (m/s) a Ouargla (1990-2011)	P 21
Fig. 13: durée moyenne mensuelle d'insolation en heures. Station d'Ouargla (1990-2011)	P 22
Fig. 14: évaporation moyenne mensuelle en (mm) station d'Ouargla (1990-2011) (onm)	P 23
Fig.15 : diagramme pluvio-thermique de Gaussen	P 24
Fig.16: coupe hydrogéologique du système aquifère ci et ct (Unesco, 1972)	P 26
Fig.17 : carte piézométrique de référence du "ci " (oss, 2003)	P 28
Fig.18 : coupe hydrogéologique transversale du "ci" (Unesco, 1972)	P 29
Fig.19: coupe hydrogéologique transversale du "ct" (Unesco, 1972)	P 30
Fig.20: carte piézométrique de la nappe du mio-pliocène 2004 (nezli 2004)	P 32
Fig. 21: carte piézométrique de la nappe du sénonien 2004 (nezli 2004)	P 33
Fig.22: carte piézométrique de la nappe phréatique dans la cuvette d'Ouargla en 2003 (bg, 2004)	P 35
Fig.23: carte piézométrique de la nappe phréatique de la cuvette d'Ouargla (novembre, 2012)	P 36
Fig. 24: organigramme des termes du bilan d'eau et de leurs relations	P 38
Fig.26: diagramme de piper des eaux phréatiques	P 44
Fig.27: diagramme de Riverside des eaux phréatiques	P 45
Fig.28: carte de salinité de la nappe superficielle d'Ouargla 2003.	P 47

Vulnérabilité des eaux de la nappe superficielle d'Ouargla a la pollution

Fig.29 : carte de conductivité da la nappe superficielle (novembre 2003) (bg2004)	P 48
Fig30 : carte de nitrate da la nappe superficielle (novembre 2003) (bg2004)	P 51
Fig.31 : indices de classification de la vulnérabilité selon la méthode god	P 56
Fig.32 : la carte de profondeur d'eau de la nappe superficielle de novembre 2003	P 58
Fig.33 : faciès lithologique de la nappe phréatique.	P 59
Fig.34: coupes géoélectriques dans dans cuvette d'Ouargla (Zeddouri.2007).	P 60
Fig.35 la carte des côtes de profondeur de la nappe superficielle d'Ouargla	P 61
Fig.36 : la carte de vulnérabilité de la nappe superficielle d'Ouargla	P 63

Liste de tableaux

Tableau 1 : Surfaces occupées par les classes d'occupation du sol (Source : BG 2004)	P 7
Tableau 2 : Précipitations moyenne mensuelle (°c) 1/10, période (1990-20011)	P 18
Tableau 3: Température moyenne mensuelle (°c) 1/10, période (1990-2011	P 19
Tableau4: Humidité moyenne mensuelle (%) (1990-2011)	P 20
Tableau 5 : La vitesse du vent en (m/s) de la période (1990-2011)	P 20
Tableau 6: Durée moyenne mensuelle d'insolation en heures, de la période (1990-2011)	P 21
Tableau 7 : Evaporation moyenne mensuelle en (mm) Période (1990-2011)	P 22
Tableau 8 : Bilan hydrique selon Thornthwaite (Station d'Ouargla, 1978-2009)	P 25
Tableau.9 : Bilan d'eau de la cuvette d'Ouargla	P 41
Tableau.10: Bilan d'eau de la zone d'Ouargla	P 42
Tableau.11: variation de la conductivité	P 43
Tableau.12: variation du PH	P 43
Tablea13. Les côtes des paramètres de vulnérabilité de GOD de la nappe superficielle d'Ouargla.	P 60

INTRODUCTION GENERALE

Le Sahara Algérien étant un des déserts le plus parfaits du monde, l'eau y est absolument en disponible à la survie des hommes, des animaux et des végétaux. Le bassin saharien est une grande entité sédimentaire multicouche. Hydrauliquement, c'est le Système Aquifère du Sahara Septentrionale SASS qui se présente sous la forme de trois niveaux aquifères superposés, séparés ou communiquant à travers des formations semi-perméables : la nappe du continental intercalaire (CI), la nappe du Turonien plus localisée, et la nappe du Complexe Terminal (CT).

La cuvette d'Ouargla appartient au domaine de la plate forme saharien, elle est située dans le bas Sahara Oriental. C'est ainsi aux richesses contenues dans son sous-sol, qu'elle est devenue une importante région à vocation essentiellement industrielle et agricole.

Les eaux souterraines constituent en général des réserves naturelles de bonne qualité qui nécessitent peu de traitement par rapport aux eaux de surface. Cette ressource doit être bien gérée car elle sensible à l'agressions de l'environnement.

Le présent travail a pour but la détermination de la sensibilité de la nappe superficielle d'El-Oued à la pollution et ce par l'emploi des méthodes de vulnérabilités GOD, pour identifier les endroits les plus sensible et pour une gestion adéquate des ressources dans la région, pour ce faire, notre étude s'articule en trois parties:

- 1^{ère} partie : Présentation du site d'étude « la région de Ouargla » ; dans cette partie sera présentée la situation géographique, le cadre socio-économique, la géomorphologie, l'hydroclimatiques et la géologie de la région.
- 2^{ème} partie : étude hydrogéologique ; dans cette partie sera présentée le système aquifère de l'Ouargla, la configuration de la géométrie des aquifères, l'extension et les épaisseurs des formations aquifères, la piézométrie qui permet de déterminer le sens de l'écoulement, les zones de recharges et les exutoires ainsi que les éventuels échanges entre nappes et la qualité des eaux souterraines surtout la nappe superficielle touché par la pollution minérale et organique.
- 3^{ème} partie : Vulnérabilité de la nappe superficielle d'Ouargla à la pollution par la méthode de GOD.

1. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

1. 1- 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.

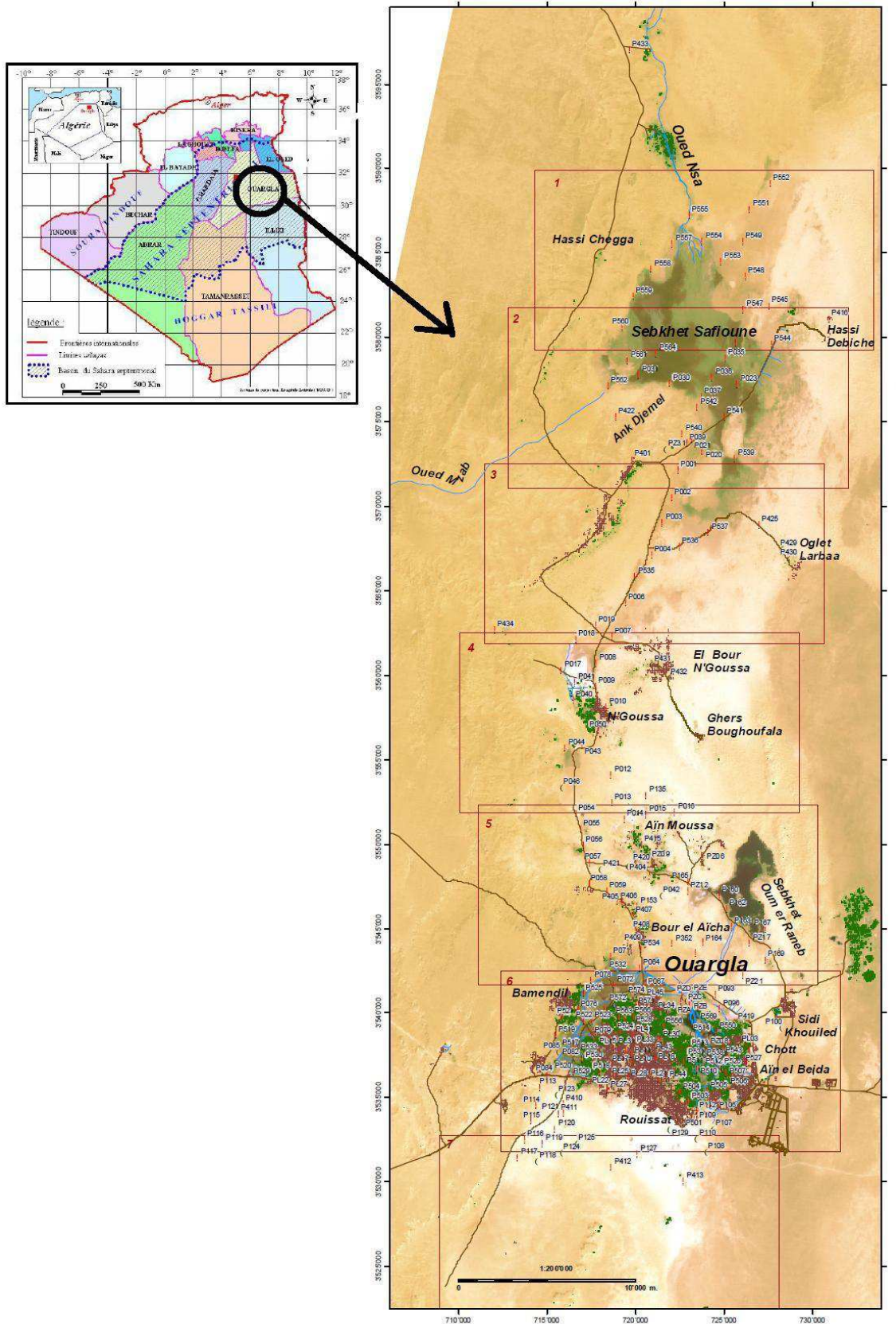


Fig. I : Carte de situation géographique (ONA 2004)

1.2- Evolution De La Population

La population d'Ouargla, d'origine nomade, s'est sédentarisée particulièrement depuis la découverte du pétrole dans la région, et la mise en œuvre du programme spécial dans l'ex wilaya des oasis qui s'est traduit par la réalisation d'un programme d'habitat et d'équipement; mais son évolution est liée à la période post indépendance, au cours de laquelle le nombre d'habitants n'a cessé d'évoluer. (EL AYACHI.B, 1951)

La population de Ouargla et son aire métropolitaine ont évolué de 23,266 habitants en 1966 à 164453 en 1998, ce qui représente un apport démographique de 141387 dont plus de 60% est observé dans l'agglomération de Ouargla. C'est une évolution importante mais qui s'est faite d'une manière contrastée.

1.3- Le Cadre Economique

Les deux tiers environ des personnes qui travaillent sont employés par le secteur public et seulement le cinquième des gens occupés travaille dans l'agriculture, ce qui représente un des taux les plus bas du Sahara. Sidi Khouiled, Ain Beida et N'Goussa vivent essentiellement de l'agriculture. Plus étonnant Hassi Ben Abdallah périmètre agricole créé vers 1970 dans le cadre d'un programme d'Etat ne connaît que 22 % d'agriculteurs dans sa population active. Il est probable que les logements ont exercé un attrait sur des catégories de gens étrangères à l'agriculture.

L'activité agricole n'est plus la ressource essentielle de la région : on a un peu moins de 8000 agriculteurs qui se partagent les 9000 ha irrigués répertoriés dont 6800 sont occupés par des palmeraies qui produisent 30000 tonnes de dattes (moins de 9000 tonnes de 'Deglet-Nour'). Les palmeraies du Chott sont fortement dégradées par les difficultés de drainage et l'urbanisation. La nouvelle agriculture se met en place sur le plateau vers Hassi ben Abdallah et route d'Hassi Messaoud. N'Goussa voit se développer les cultures légumières.

1.4- Aperçu Géomorphologique

L'étude géomorphologique de la région fait apparaître les éléments suivants (Fig. 2) :

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" (Photo : Gara Krima au sud est un exemple des tables éoliennes)



Fig 2 : Gara Krima : butte témoin au sud de la ville d'Ouargla

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.

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

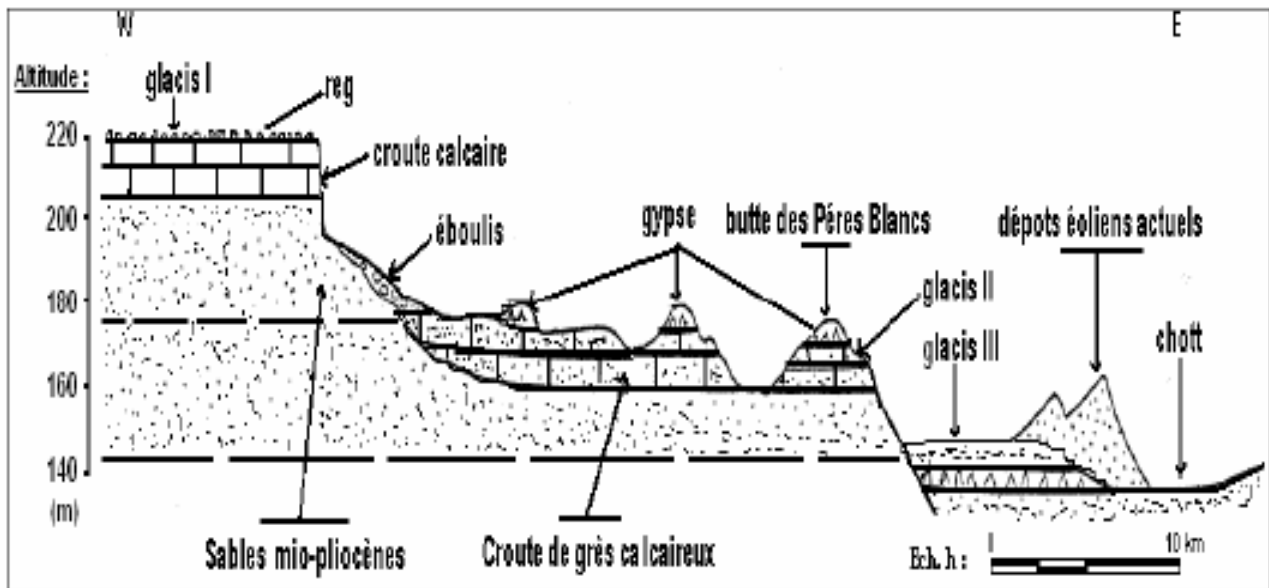


Fig 3. Coupe géomorphologique schématique d'Ouargla (in Hamdi-Aissa 2000).

1.5- Pedologie Et Occupation Des Sols

On note la présence d'une couche superficielle, de 0,4 m d'épaisseur constituée de sable gypseux en voie de grésification. En dessous apparaît un horizon de sable fin gypseux de 0,5 m d'épaisseur en moyenne. Certaines fouilles ont mis en évidence la présence de sable vasard à environ 1,5 m de profondeur. A partir de 0,9 m de profondeur, le sol est constitué d'une couche argilo-limoneuse marron avec une présence importante de cristaux de gypse. Ce matériau serait peu perméable. D'après la carte d'occupation du sol (fig.3) établie par le groupe 'BG' pour l'office national de l'assainissement ONA, les sable et sols nus possèdent la plus grande extension spatiale : une surface de 3095 hectares contenant différents types de sables et sols nus (sols « clairs »).

Les Sebkhias occupent une surface globale de l'ordre de 2023 hectares. Les superficies d'eau sont de 243 ha au niveau de la zone de Ouargla et 1105 ha au niveau de la vallée de Ouargla, 843 ha correspondant à Oum Raneb. La végétation est présente et représentée par les palmeraies avec une surface de 2286 hectares. Les palmeraies de la zone de Ouargla représente 72 % de la palmeraie totale de la vallée.

Le tableau suivant présente les différentes classes d'occupation du sol et les surfaces correspondantes.

Tableau 1 : Surfaces occupées par les classes d'occupation du sol (Source : BG 2004)

Classe	Classification détaillée	Surface totale (hectares)	Surface de la zone de Ouargla (hectares)
7	Sable et sols nus	55461	3094
8	Sebkhas	32011	2023
11	Zone bâtie	3214	2354
15	Eau	1105	243
16 - 19	Végétation	3183	2286

Source : BG 2004

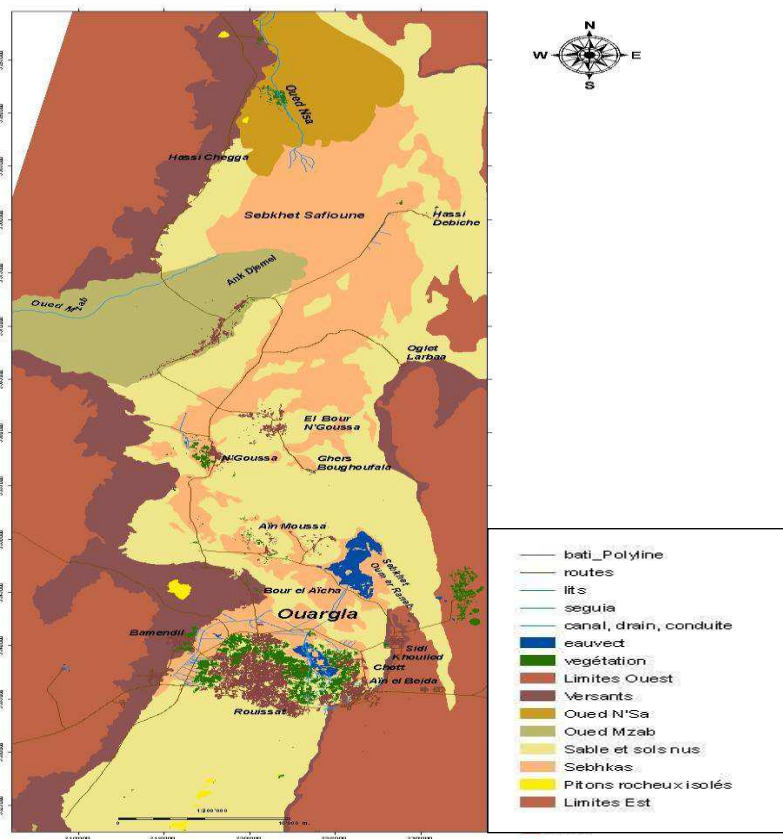


Fig.4 : carte d'occupation du sol (BG 2004)

Le sol est formé de sables dunaires reposant sur des alluvions de l'oued avec localement des formations gréseuses indurées.

Dans la région d'Ouargla, seuls les terrains du Mio-Pliocène affleurent. Ils sont recouverts par endroits de formations de dépôts datant du Quaternaire et sont composés des ergs et des dunes. La cuvette 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 Ouest.

Après son creusement, la cuvette a été occupée par un lac au fond duquel se sont déposés des sédiments fins argileux ou d'origine chimique, craies, calcédoine et évaporites. Des oueds, descendant de la dorsale "mzabite" à l'Ouest (oued M'Zab, N'Sa et Z'Gag) ou du Tademaït (oued Mya) au Sud, se déversaient dans ce lac en abandonnant leurs alluvions en larges cônes barrant la vallée (Ank Djemel pour l'Oued M'Zab ; oueds N'Sa et Z'Gag au Nord de Sebket Safioune). Avec la fin de la dernière grande période pluviale, le lac s'est retiré. L'oued Mya n'a pu qu'épisodiquement couler de sebkha en sebkha sans beaucoup de vigueur, son cours étant complètement coupé par les reliefs situés à l'aval de Sebket Safioune ou un lac se formait à nouveau à chaque période un peu pluvieuse.

Les alluvions de l'oued N'Sa ferment la vallée au Nord de Sebket Safioune, empêchant un écoulement vers l'aval. Cette fermeture s'est rompue dans sa partie Est et les eaux du lac ont pu s'échapper vers le Nord-Est, en direction de Touggourt du Chott Melrhir.

Actuellement, les plus grandes crues de l'oued Mya s'arrêtent à 200 km à l'amont d'Ouargla. Celles de l'oued M'zab atteignent Sebket Safioune deux fois par siècle, alors que celles de l'oued N'Sa semblent plus fréquentes.

Les travaux des archéologues confirment que la dépression de l'oued Mya n'a été drainée par des cours d'eau qu'à une période très ancienne du Quaternaire et que les sebkhas n'étaient pas fonctionnelles à l'époque néolithique car certains gisements reposent sur elles. Les sebkhas sont apparues au cours d'une période humide antérieure, vraisemblablement le dernier grand pluvial contemporain de la glaciation de Würn.

2-LE CONTEXTE GEOLOGIQUE

2.1- Introduction

Dans ce deuxième chapitre, nous allons exposer une synthèse des travaux de nombreux auteurs qui ont publié des articles et des ouvrages sur la géologie du bassin sédimentaire du Sahara septentrional, que par des chercheurs universitaires, parmi eux nous citons les plus célèbres : G. Busson (1970), J. Fabre (1976), G. Conrad (1969).

2.2- Cadre géologique régional

La région d'Ouargla fait partie Nord-Est du bassin sédimentaire du Sahara septentrional (Fig. II.1), dont les grands traits de la géologie sont:

- Au sud de l'accident Sud atlasique, le socle précambrien formé de terrains éruptifs, plissés et métamorphisés surmonté par des milliers de mètres de sédiments allant du Cambrien jusqu'au Quaternaire.
- Le Paléozoïque du Sahara correspond à des dépôts de climat désertique périglaciaire.

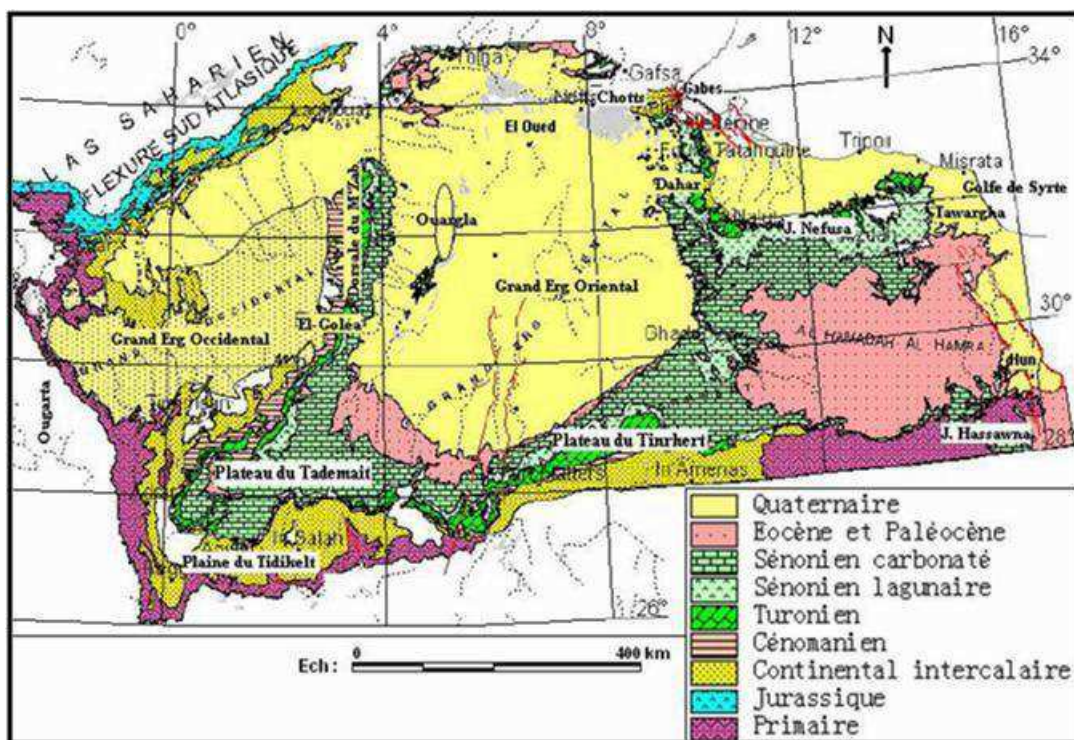


Fig 5: Carte géologique régionale (OSS, 2003)

Autour des affleurements du socle, s'étagent des couches gréseuses et schisteuses des Tassilis. Les mouvements hercyniens du Permo-Carbonifère, vont provoquer l'érosion du bouclier. Il s'installe alors une grande période continentale avec pénéplation post-hercynienne pendant le Trias et le Jurassique et formation d'un manteau de grès, de sable et d'argile, qui va constituer le "Continental Intercalaire".

— *Le Trias* : Busson (1972) souligne la grande variabilité de faciès et d'épaisseur du Trias. Il est divisé en grandes unités lithologiques distinctes qui peuvent être : salifères, argilo-gréseuses ou carbonatées. L'épaisseur de ces différentes formations

varie principalement là où s'intercalent des bancs salifères. L'épaisseur du Trias argilo-gréseux inférieur augmente vers le Nord-Ouest (150-180 m). Elle diminue dans les zones des haut-fonds (Hassi Messaoud et R. El Baguel). Le Trias salifère présente une grande épaisseur (700 m au Nord-Est de Ghadamès), il atteint 1300 m à Hassi Messaoud.

_Le *Jurassique* : Le Jurassique inférieur (Lias et Dogger) comprend principalement des couches évaporitiques constituées essentiellement de sel, d'anhydrite et d'argile auxquelles se superposent des couches franchement marines et qui se présentent sous forme de calcaires et d'argiles avec des bancs d'anhydrite. Par contre, le Jurassique moyen est caractérisé par une transgression couvrant tout le bassin du Grand Erg Oriental et les dépôts y sont épais. Le Jurassique supérieur (Malm) est caractérisé par une permanence relative du régime marin avec des sédiments de milieux confinés. Dans la partie occidentale du bassin, le régime marin accuse une certaine régression à l'image de ce qui se passe plus à l'Ouest et vers le Sud.

Le passage du Jurassique supérieur au Crétacé inférieur se caractérise par des apports terrigènes ayant pour origine les reliefs nourriciers situés au Sud du bassin saharien (Hoggar), (Busson, 1972).

_Le *Crétacé* : L'étude des données des sondages qu'a effectué Busson (1972) a permis de préciser la succession lithologique au cours du Crétacé. Il est constitué par des couches terrigènes fluvio-deltaïques qui sont en contraste lithologique et sédimentaire avec les formations marines du Jurassique supérieur. Il comprend, en partant des formations les plus anciennes :

_Le *Néocomien* : comprend dans le bas Sahara des argiles vertes et rouges avec de l'anhydrite en bancs massifs plus fréquents à la base. Elles sont surmontées par une alternance de dolomies et d'argiles.

_Le *Barrémien* : caractérisé par un épandage généralisé des formations détritiques du Crétacé inférieur jusque dans le bas Sahara. Ces formations se présentent sous forme de grès fins ou grossiers et d'argiles provenant apparemment du Sud (Hoggar). Les intercalations carbonatées sont peu nombreuses et cantonnées au Nord-Est du Sahara algérien.

_L'*Aptien* : c'est un bon repère lithologique dans les sondages. Il est représenté dans la grande partie du bas Sahara, par 20 à 30 m en moyenne, de dolomies alternant avec des lits d'anhydrite, d'argiles et de lignites (sédimentation lagunaire).

_L'*Albien* : il est caractérisé par un remarquable retour de la sédimentation terrigène.

Cet étage regroupe la masse des sables et argiles comprise entre la barre aptienne et l'horizon argileux sus-jacent attribué au Cénomaniens. On remarque que le changement de régime sédimentaire et l'arrivée en masse des sédiments détritiques s'est produit entre le Néocomien et le Barrémien et au cours de l'Albien, (Fabre, 1976).

_Le Cénomaniens : il est formé par une alternance de bancs de dolomies, de calcaires dolomitiques, d'argiles et évaporites (anhydrite ou sel), son faciès varie:

- Au Sud de Ouargla, les argiles et les évaporites dominant.
- Au Nord, au contraire, les bancs de calcaire et de dolomies sont majoritaires.
- De plus, l'épaisseur augmente du Sud vers le Nord (de 50 m dans le Tademaït à 350 m dans le bas Sahara).
- La présence de nombreux banc d'évaporites et d'argiles rendent le Cénomaniens imperméable (Bel et Cuche, 1969).
- Le Cénomaniens inférieur à moyen est argileux dans le Tinrhert et le bas Sahara.
- Le Cénomaniens supérieur y est calcaire, (Busson, 1972).

_Le Turonien : Il se présente sous trois faciès différents, du Sud au Nord :

- Au Sud du parallèle d'El Goléa, il est calcaro-marneux.
- Entre El Goléa et Djamaâ, il est essentiellement calcaire.
- Au Nord de Djamaâ, il est à nouveau calcaro-marneux.

Son épaisseur moyenne varie entre 50 à 100 m. Elle augmente cependant dans la région des chotts où elle dépasse les 300 m (Bel et Cuche, 1969).

_Le Sénonien : Il s'individualise en deux faciès:

- Le Sénonien inférieur (Sénonien salifère et anhydritique) à sédimentation lagunaire caractérisée par des formations argileuses et salifères à anhydrite, il est très peu perméable, (Busson, 1972).
- Le Sénonien supérieur (Sénonien carbonaté) se présente par des formations carbonatées perméables.

_L'Eocène : On distingue deux ensembles différents du point de vue lithologique, à la base:

- L'Eocène carbonaté est formé essentiellement par des dolomies et des calcaires dolomitiques avec quelques intercalations de marnes, d'argile et même d'anhydrite et de sel. La puissance de cette formation varie entre 100 et 500 m, l'épaisseur maximum se situant dans la zone du bas Sahara.

Au sommet:

- L'Eocène évaporitique est formé par une alternance de calcaire, d'anhydrite et de marnes. Son épaisseur atteint une centaine de mètres sous les Chotts, (Bel et Cuhe, 1969).

L'Eocène constitue le dernier épisode marin du Sahara algérien, (Busson, 1972).

_Le *Mio-Plio-Quaternaire* : Le Tertiaire continental du Sahara peut être relativement épais (150 m). Il se présente sous forme d'un faciès sableux et argileux avec du gypse. Dans le bas Sahara, la sédimentation lacustre se présente sous forme de séries sableuses et argileuses connues sous le nom du Continental Terminal (Mio-Pliocène) dont l'épaisseur peut atteindre dans la région des Chotts algéro-tunisiens quelques centaines de mètres. On y identifie, dans la région de Oued Righ, deux niveaux aquifères au sein des sables qui sont séparés par une couche argileuse au milieu (première et deuxième nappe de Oued Righ). 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, 1972).

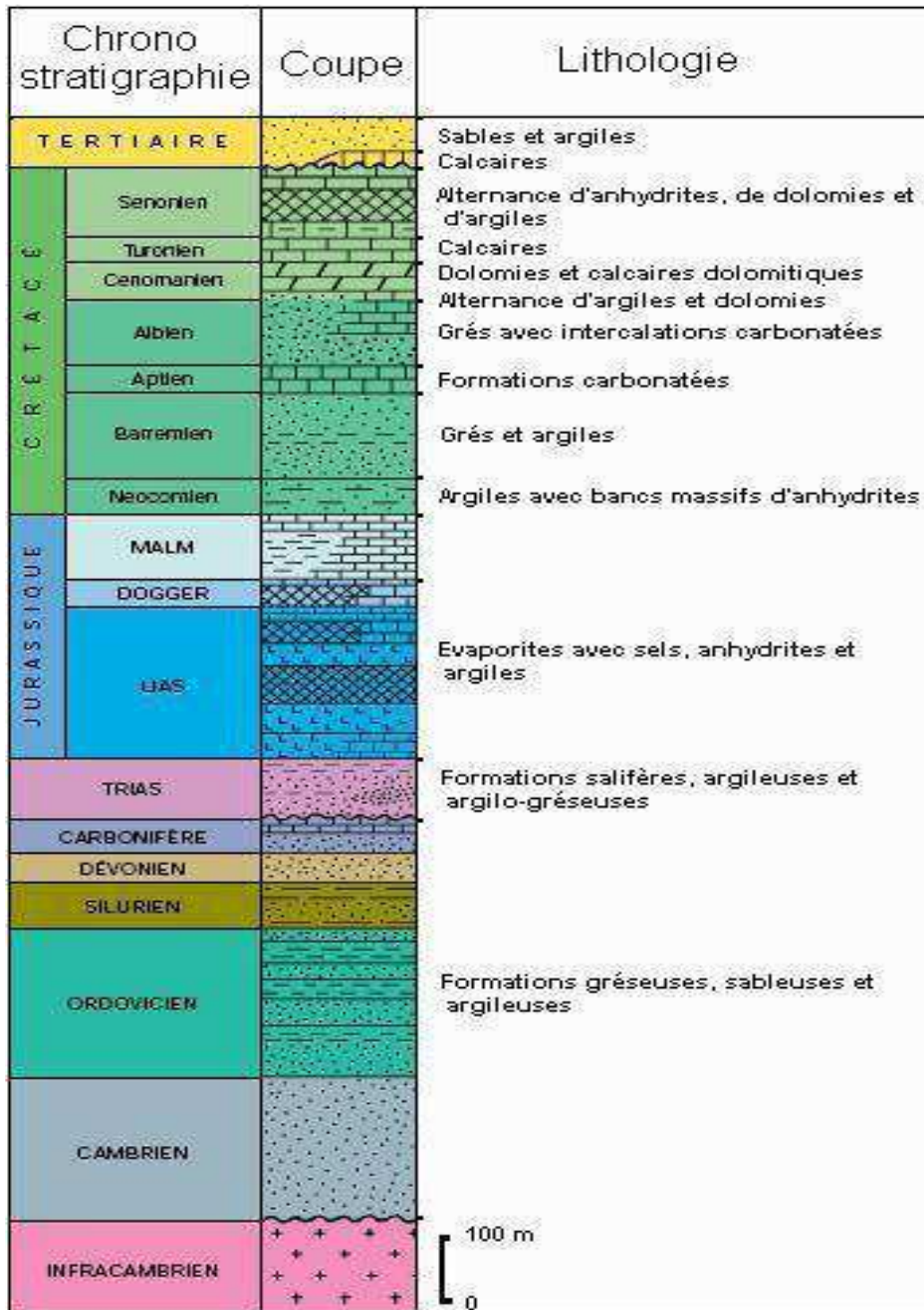


Fig 6: Colonne stratigraphique synthétique du Sahara Nord-Est Septentrional
(Sonatrach et Schlumberger, 1990)

2.3- Cadre géologique local

2.3.1- Affleurements

Dans la région d'Ouargla, seuls les terrains du Mio-Pliocène affleurent, ils sont recouverts par une faible épaisseur de dépôts quaternaires (Ergs et Dunes), (Fig. II.3).

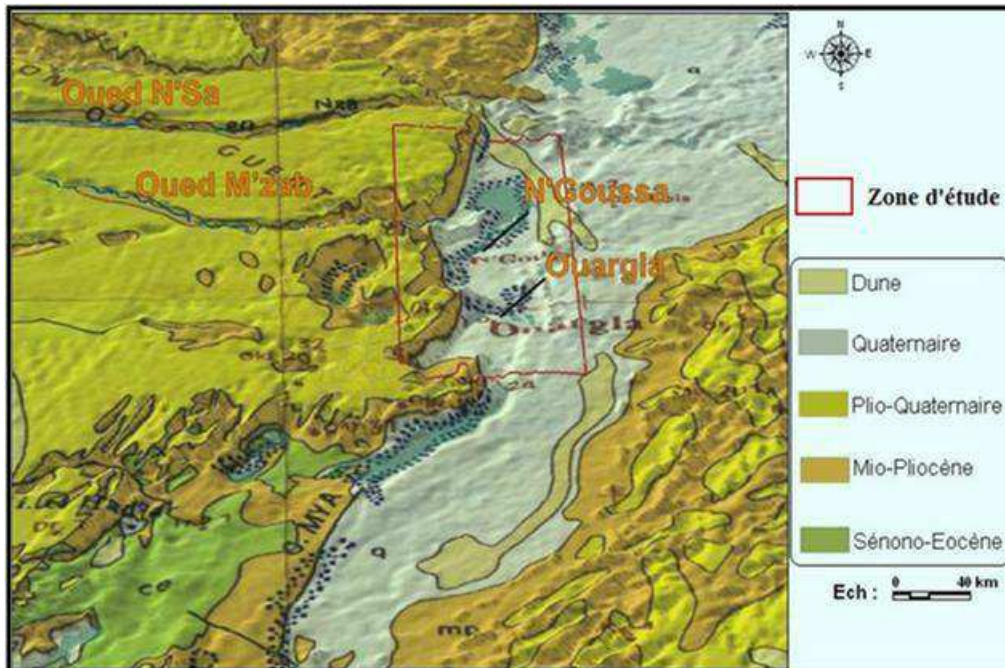


Fig. 7: Carte géologique locale (BG, 2004)

2.3.2- Lithostratigraphie

_Le *Barrémien* : Capté à partir de 1500 m environ. Il présente une alternance de grès et d'argile, avec des intercalations calcaro-dolomitiques.

_L'*Aptien* : Il est constitué par la "barre aptienne" dans la région d'Ouargla, qui est formée de marnes dolomitiques, grises, vertes, brunes ou blanches et de dolomies cristallines. Son épaisseur est variable, généralement inférieur à 50 m.

_L'*Albien* : Il correspond à la série lithologique supérieure du Continental Intercalaire, se sont des grès, argiles et sables. L'épaisseur de ces formations est variable (> 400 m). Les éléments détritiques (non argileux) sont largement prépondérants (70 à 90 %) et sont représentés par des grès fins avec des passées de grès moyens et parfois des intercalations de sables grossiers à limons argileux ou carbonatés. On note des passées d'argiles brunes-rougeâtres, elles sont même pélitiques et sableuses dans les puits les plus septentrionaux.

_Le *Vraconien* : L'intercalation albo-cénomaniennne caractérise un épisode dolomitique remarquable entre les sables de l'Albien et les marnes du Cénomanienn, il est formé de:

_ Dolomies et quelques fois de calcaires dolomitiques parfois argileux contenant de

rare débris de mollusques, les épaisseurs y sont de 50 à 100 m.

_ Argiles et marnes dolomitiques et des éléments détritiques.

_Le *Cénomanién* : Il est formé de deux séries: (inférieure et supérieure):

- La série inférieure est constituée par des argiles dolomitiques et des marnes grises, avec parfois des argiles brunes-rougeâtres ou grises-verdâtres, son épaisseur varie entre 60 et 80 m. On note aussi quelques passées de calcaires dolomitiques en particulier à la partie médiane de la série.

- La série supérieure est formée d'une alternance d'argiles et de marnes dolomitiques grises, parfois d'argiles salifères, de bancs d'anhydrite et de quelques intercalations dolomitiques, son épaisseur est de l'ordre de 70 m.

_Le *Turonien* : Il se présente sous forme d'une dalle "*barre turonienne*" ayant une épaisseur régulière de l'ordre de 70 m. Il s'agit d'une formation essentiellement calcaire; calcaires poreux blancs, parfois grisâtres, pulvérulent, quelques fois dolomitique, de calcaire beige dolomitique et de calcaire fin légèrement dolomitique.

_Le *Sénonien* : Il est constitué de deux formations lithologiques superposées:

- Le Sénonien lagunaire à la base qui est constitué par une alternance irrégulière de bancs d'anhydrite, de dolomies, d'argile et de sel. Les proportions varient d'un point à un autre:

- L'anhydrite forme des bancs dont l'épaisseur peut atteindre 250 m.

- La dolomie constitue parfois des barres plus importantes (≈ 60 m).

-Les niveaux d'argile et de marne ne dépassant généralement pas 120 m d'épaisseur.

- Le Sénonien carbonaté au sommet (200 m environ); calcaire blanc, tendre à moyennement dure, parfois crayeux à vacuolaire avec passées de marne dolomitique grise tendre à pâteuse.

_Le *Sénono-Eocène* : Il est formé essentiellement de carbonates ayant une épaisseur comprise entre 150 et 200 m. Il s'agit de calcaires dolomitiques cristallins ou microcristallins parfois vacuolaire ou crayeux ou plus carrément argileux.

_Le *Mio-Pliocène* : Il correspond au Continental Terminal tel qu'il a été défini par C. Kilian (1931). C'est un puissant ensemble de sables et d'argiles, qui s'étend sur tout le Sahara et qui repose en discordance sur le Sénono-Eocène.

On distingue quatre niveaux différents dans la région de Ouargla, se sont de bas en haut:

- 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 grés-sableux qui devient argileux vers le sommet, c'est le niveau le plus épais (> 30 m) et le plus constant. des Sebkhs □ 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 (croûte hamadienne).

_ Le *Quaternaire* : A la base, il existe un niveau argilo-gréseux qui se présente comme une croûte ancienne. Le niveau le plus superficiel est constitué de sables éoliens parfois gypseux et de produit de remaniement des terrains du Mio-Pliocène.

Les sondages superficiels effectués dans différentes localités de la cuvette, ont permis de rencontrer les ensembles suivants:

- Sur les plateaux, le sol est constitué d'un matériau meuble exclusivement détritique, hérité de l'altération des grès à sable rouge du Mio-Pliocène, c'est le sol le plus pauvre en gypse dans la région, à 10 m de profondeur, il s'agit d'un sol sableux à graviers.

Sur les Chotts et les terrains intermédiaires, l'horizon de surface est une croûte gypseuse épaisse, blanchâtre partiellement couverte de voiles de sable éolien gypso-siliceux. De 10 à 20 cm de profondeur, on trouve un encroûtement gypseux pulvérulent, homogène de couleur jaune rougeâtre très claire. En dessous, on trouve un encroûtement gypseux induré de 40 cm d'épaisseur. Plus en dessous un tuf présente une teneur de gypse décroissante.

Les Sebkhas sont caractérisées par une salure extrêmement élevée, ces croûtes salines reposent sur des matériaux limono-sableux.

Les dunes sont formées des sables éoliens d'origine gréseux provenant de la Hamada mio-pliocène. Elles existent dans les talwegs, sur les bordures as et s

- 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 (croûte hamadienne).

_ Le *Quaternaire* : A la base, il existe un niveau argilo-gréseux qui se présente comme

une croûte ancienne. Le niveau le plus superficiel est constitué de sables éoliens parfois gypseux et de produit de remaniement des terrains du Mio-Pliocène.

Les sondages superficiels effectués dans différentes localités de la cuvette, ont permis de rencontrer les ensembles suivants:

- Sur les plateaux, le sol est constitué d'un matériau meuble exclusivement détritique, hérité de l'altération des grès à sable rouge du Mio-Pliocène, c'est le sol le plus pauvre en gypse dans la région, à 10 m de profondeur, il s'agit d'un sol sableux à graviers.
- Sur les Chotts et les terrains intermédiaires, l'horizon de surface est une croûte gypseuse épaisse, blanchâtre partiellement couverte de voiles de sable éolien gypso-siliceux. De 10 à 20 cm de profondeur, on trouve un encroûtement gypseux pulvérulent, homogène de couleur jaune rougeâtre très claire. En dessous, on trouve un encroûtement gypseux induré de 40 cm d'épaisseur. Plus en dessous un tuf présente une teneur de gypse décroissante.

Les Sebkhass sont caractérisées par une salure extrêmement élevée, ces croûtes salines reposent sur des matériaux limono-sableux.

Les dunes sont formées des sables éoliens d'origine gréseux provenant de la Hamada mio-pliocène. Elles existent dans les talwegs, sur les bordures et les versants rocheux.

Ere	Etages	Prof	Chronostratigraphie					
QUATERNAIRE		10m	Sables					
			Argiles					
			Évaporites					
			Sables					
		CÉNOZOÏQUE	Mio-pliocène		Argiles			
					Gravier			
					Grès			
					Argiles			
					ÉOCÈNE	Moyen	180m	Argiles Lagunaires
								Inférieur
			MESOZOÏQUE	CRETACE	Sénonien	280m	Calcaires	
							Carbonaté	500m
					Sénonien Lagunaire			Anhydrite
								Sel massif
					Argiles			
					Marnes			
Turonien	900m 1000m				Calcaire marneux			
					Dolomies Argiles Anhydrite Marnes			
Cénomannien	1200m				Argile et dolomie			
Vraconien								
Albien	1280m		Sables					
			Grès					
			Argile sableuse					
Aptien	1500m		Dolomies					
Barrémien	1550m		Sables					
			Et					
			Grès					

Fig. 8: Colonne stratigraphique synthétique de la région de Ouargla (ANRH, 2004)

3-LE CONTEXTE HYDROCLIMATOLOGIQUE

3-1 : Pluviométrie

Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 32,29 mm, janvier est le mois le plu Pluvieux (7 mm) et juillet le plus sec (0,1mm en moyenne).Le tableau 01 donne les précipitations moyennes annuelles sur la période (1990-2011

Tableau 2 : Précipitations moyenne mensuelle (°c) 1/10, période (1990-20011)

Mois	Sept	Octo	Nove	Déc	Jenf	Féfri	Mars	Avril	Mai	Juin	juill	Aout
Moy	39.14	59.00	56.38	37.05	70.05	11.81	55.95	12.86	30.10	4.57	1.71	8.90

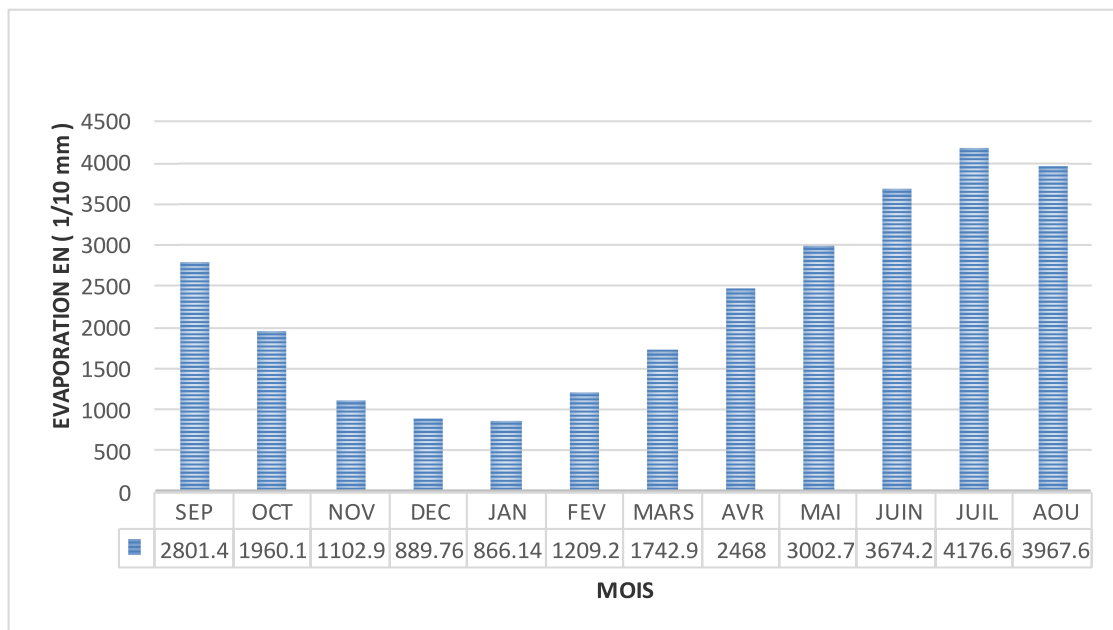


Fig. 9: Répartition annuelle des pluies à Ouargla sur la période 1990-2011(ONM)

3-2 : Températures

Les températures à Ouargla sont caractéristiques du climat saharien avec des valeurs très élevées en été. Où la moyennes annuelles sont de l'ordre de 24,12 °C et la moyenne mensuelle du mois le plus chaud (juillet) dépasse 30°C et celle du mois le plus froid (janvier) est de 12,33°C.

Tableau 3: *Température moyenne mensuelle (°c) 1/10, période (1990-2011*

Mois	Sept	Octo	Nove	Déc	Jenf	Féfri	Mars	Avril	Mai	Juin	juill	Aout
Moy	343.55	251.02	164.48	128.86	123.31	148.00	181.64	236.95	280.45	326.52	357.64	352.36

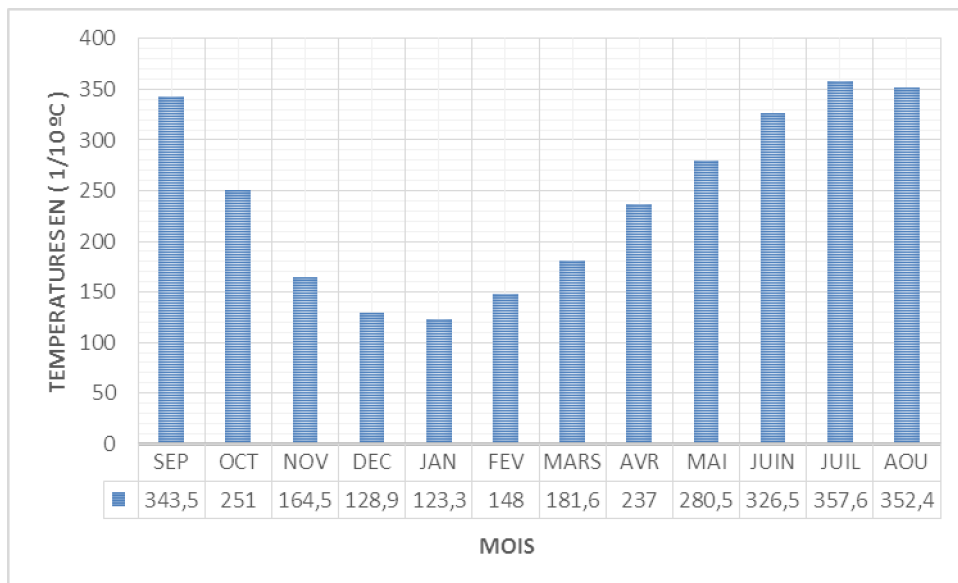


Fig.10 : *Température moyenne mensuelle à Ouargla (Période 1990 – 2011) (ONM)*

3-3 : L'humidité relative

Tableau4: *Humidité moyenne mensuelle (%) (1990-2011)*

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout
moyenne	49.14	54.31	55.64	59.00	59.88	54.02	48.95	47.62	43.31	38.48	31.71	37.90

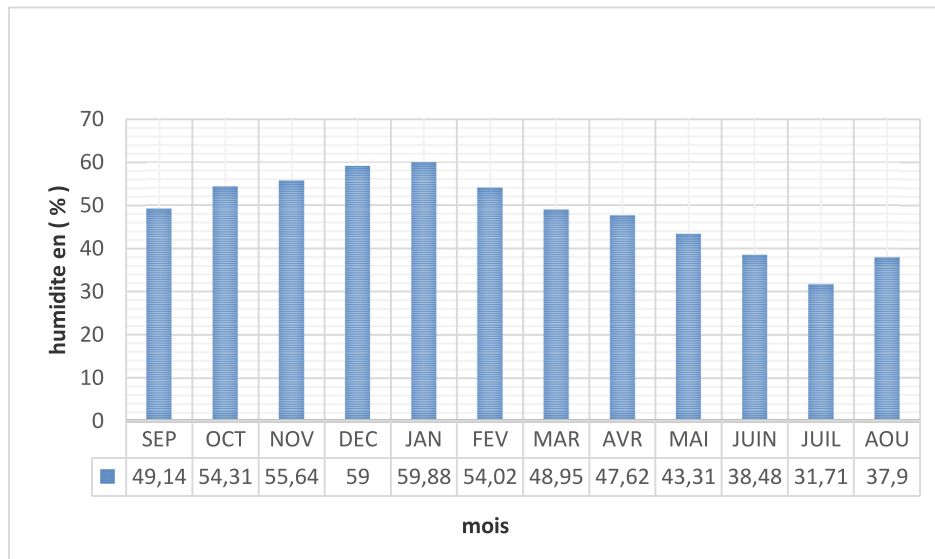


Fig.11 : Humidité moyenne en (%) (1990-2011)

L'humidité moyenne annuelle est de (48,33 %). On remarque que le taux maximal d'humidité est celui enregistré en mois de Janvier et Décembre (59 %). Une valeur minimale est enregistrée au mois de Juillet (31,71%).

3. 4 : La vitesse du vent

Le vent est un phénomène continu au désert où il joue un rôle considérable en provoquant une érosion intense grâce aux particules sableuses qu'il transporte, et participe à la formation de dunes. Des vitesses de vent atteignent parfois 100 Km/h, l'air reste obscurci des journées par le vent de sable et les particules minérales peuvent être soulevées jusqu'à 1500 mètres de haut.

Indépendamment de l'action mécanique que le vent exerce sur les végétaux dont il déchire les parties aérienne, il agit surtout en accentuant l'évaporation.

Tableau 5 : La vitesse du vent en (m/s) de la période (1990-2011)

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout
Moy	19.38	15.90	13.86	14.00	14.48	16.38	16.52	20.90	20.05	16.90	18.10	16.71

Dans la région d'Ouargla les vents soufflent du Nord-est et Sud. Les vents les plus fréquents en hiver sont les vents d'Ouest tandis qu'au Printemps les vents du Nord-est et Sud-ouest.

D'après les données de l'O.N.M (2011), pour la période (1990-2011), les vitesses de vent assez importantes sur toute la période estivale (Avril) avec un maximum entre le mois d'Avril et Mai.

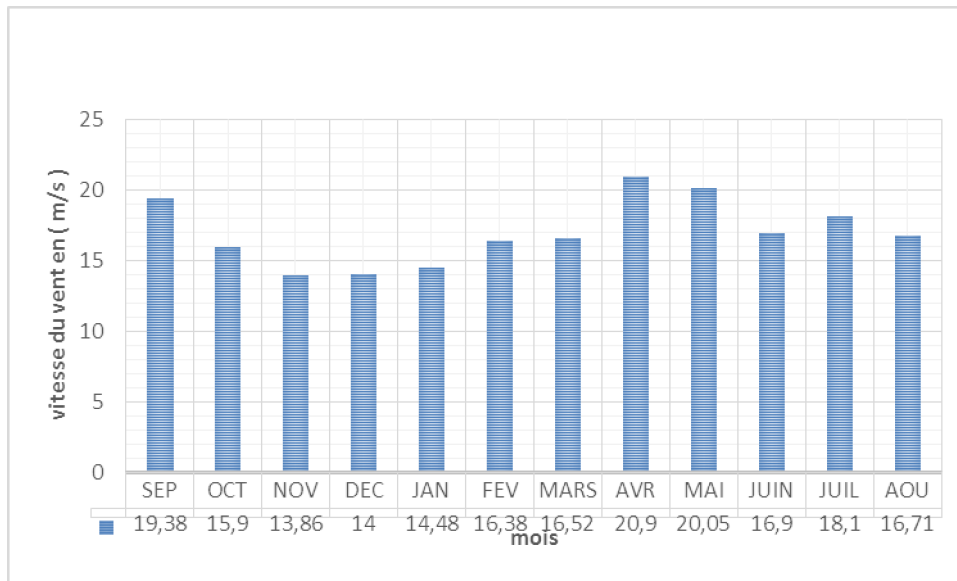


Fig. 12: La vitesse du vent en (m/s) à Ouargla (1990-2011)

3-5 : Durée d'insolation

La vallée d'Ouargla reçoit une quantité de lumière solaire très forte, le maximum est atteint au mois de Juillet avec une durée moyenne de 189.78heures, et le minimum est enregistré au mois de Décembre avec une durée moyenne de 116.00heures. [05]

Tableau 6: Durée moyenne mensuelle d'insolation en heures, de la période (1990-2011),

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout
moy	154.10	149.44	126.73	116.00	140.96	139.10	138.63	161.66	167.17	164.44	189.78	188.40

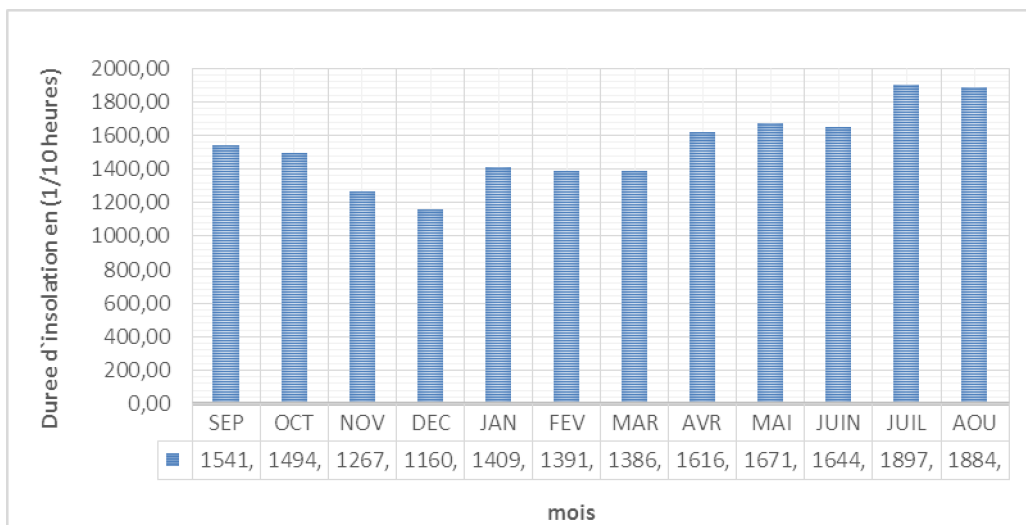


Fig. 13: Durée moyenne mensuelle d'insolation en heures. Station d'Ouargla (1990-2011)

3 -6 : L'évaporation

Pour l'évaporation, la quantité d'eau qui repart dans l'atmosphère dépend uniquement des paramètres physiques tels que la température de l'air, de l'eau, de la vitesse du vent, du degré hygrométrique, de l'ensoleillement, etc.

Tableau 7 : Evaporation moyenne mensuelle en (mm) Période (1990-2011)

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout
Moyenne	2801.38	1960.14	1102.90	889.76	866.14	1209.24	1742.90	2468.00	3002.71	3674.19	4176.57	3967.62

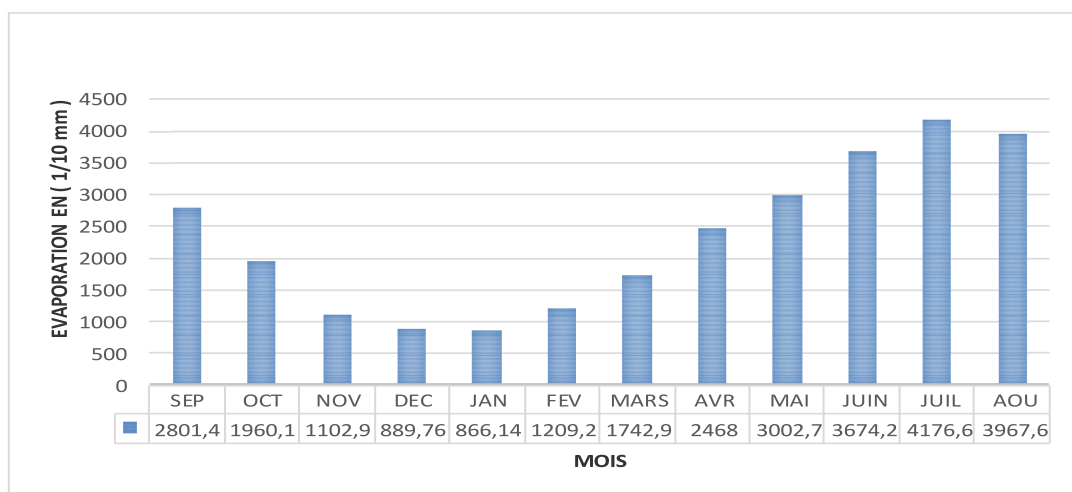


Fig. 14: Evaporation moyenne mensuelle en (mm) Station d'Ouargla (1990-2011) (ONM)

L'évaporation est très élevée, elle est en moyenne de 417.70 mm au mois de Juillet et de 86.61 mm au mois de Janvier, soit 278.61mm moyenne annuelle, elle est très variable suivant les années, les mois et aussi les semaines.

3.7-Diagramme pluvio-thermique de GAUSSEN

Pour déterminer la période sèche, on utilise le diagramme pluvio-thermique. Pour GAUSSEN et BAGNOUL, un mois sec est celui où la précipitation totale en (mm) est inférieure ou égale au double de la température moyenne en (C°).

En traçant le diagramme pluvio-thermique dans lequel la température est portée à l'échelle double de la précipitation, nous avons trouvé la période sèche s'étalant sur 10 mois du mois de Mars jusqu'au mois de Décembre. (Sellama. A, 1998)

Cette courbe nous permet la connaissance de la période sèche pour laquelle on note un manque d'eau, c'est-à-dire la période déficitaire en eau.

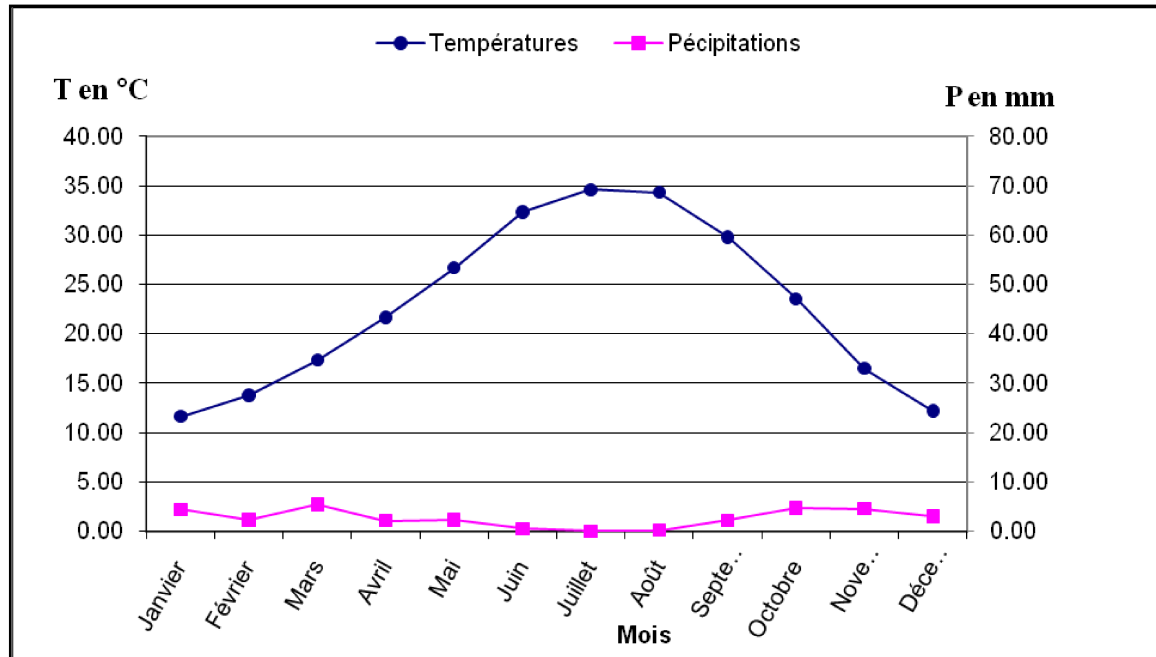


Fig.15 : Diagramme pluvio-thermique de GAUSSEN

(Ouargla, période de 1978-2009)

3.8 - Bilan hydrique

Le calcul de ce bilan hydrique repose sur la détermination de la quantité d'eau rentrant dans le processus d'évapotranspiration et par conséquent, la détermination de la quantité d'eau retournant au sous-sol. Pour cet effet et corrélativement avec la situation observée aujourd'hui, surtout au niveau de la palmeraie et de la zone bâtie, nous pouvons suggérer la méthode de Thornthwaite qui semble la plus proche de la réalité. (Bellaoueur.A, 2008)

Cette méthode est utilisée pour les climats sub-humide et semi-aride. Elle est basée sur la notion de réserve d'eau facilement utilisable (RFU). La quantité d'eau stockée dans la RFU est bornée par 0 (la RFU vide) et RFU max (capacité maximale de la RFU qui est de l'ordre de 0 à 200 mm suivant les sols et sous-sols considérés, avec une moyenne de l'ordre de 100 mm). On admet que la hauteur d'eau stockée dans le sol qui est reprise par l'évapotranspiration est de 30 mm au maximum ; dans la région de Ouargla (J.P. Laborde, 2000)

Au seuil, les pluies n'assurent pas le stockage permanent de l'eau dans la réserve d'eau facilement utilisable (RFU), ce qui produit un besoin des sols agricoles à l'irrigation par les eaux des nappes profondes, pour cela; nous introduisons dans le calcul de ce bilan la notion « apport » qui constitue la somme des précipitations et des apports souterrains.

Le principe de calcul est le suivant : On admet que la satisfaction de l'ETP a priorité sur l'écoulement, c'est-à-dire qu'avant qu'il n'y ait d'écoulement, il faut avoir satisfait le pouvoir

évaporant ($ETP = ETR$). Par ailleurs, la complétion de la RFU est également prioritaire sur l'écoulement.

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

• **Si $P > ETP$ « saison humide » :**

- $ETR = ETP$
- Il reste une quantité d'eau ($P - ETP$) qui est affecté en premier lieu à la RFU et lorsque la RFU est saturée, l'eau va à l'écoulement Q

• **Si $P < ETP$ « saison sèche » :**

- On évapore toute la pluie et on prend à la RFU (jusqu'à la vider) l'eau nécessaire pour satisfaire l' ETR
- Si la RFU = 0 la quantité « $D = ETP - ETR$ » représente le déficit agricole c'est-à-dire la quantité d'eau qu'il faudrait apporter aux plantes pour qu'elles ne souffrent pas de la sécheresse.

• **Si $P = ETP$:**

Dans cette hypothèse toute la pluie est représentée par l'évapotranspiration le bilan d'eau du sol n'est pas modifiée et on aura $P = ETP = ETR$

Tableau 8 : Bilan hydrique selon Thornthwaite (Station d'Ouargla, 1978-2009)

Mois Paramètre	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	An
P (mm)	4.40	2.28	5.42	2.18	2.28	0.53	0.05	0.19	2.23	4.76	4.59	3.01	31.92
ETP_{corr} (mm)	11.66	17.25	36.73	67.36	125.2	202.8	244.2	227.5	143.1	68.42	27.64	11.48	1183.59
RFU (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ETR (mm)	4.40	2.28	5.42	2.18	2.28	0.53	0.05	0.19	2.23	4.76	4.59	3.01	31.92
ETP - P = D (mm)	11.66	17.25	36.73	67.36	125.2	202.8	244.2	227.5	143.1	68.42	27.64	11.48	1183.59
Ex (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

D'après les résultats et les calculs, le bilan est nettement déficitaire sur la totalité de l'année hydrologique.

4. Conclusion :

La wilaya d'Ouargla est localisée au Nord-Est du Sahara septentrional. 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 s'étend sur une superficie totale de l'ordre de 95000 Ha, la surface topographique montre les formes topographique suivants ; la hamada, les glacis et les sebkhas.

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.

Dans la région d'Ouargla seuls les terrains du Mio-Pliocène affleurent, ils sont recouverts par une faible épaisseur de dépôt quaternaire (ergs, dunes). Les logs stratigraphiques des forages d'eau, montre que l'existence des terrains sédimentaires allant du Crétacé au Quaternaire. La lithologie des formations est détritique et évaporitique pour le Quaternaire, détritique, évaporitique et carbonatée pour le Tertiaire et le Crétacé inférieur.

1. INTRODUCTION

L'examen des logs de forages atteignant les différentes formations, nous a permis de mettre en évidence plusieurs horizons aquifères dont la succession de bas en haut est la suivante :

- La nappe dite de L'Albien dans les grès et argiles sableuses du CI.
- Les nappes de complexe terminal (La nappe des calcaires et la nappe des sables).
- La nappe libre (phréatique) contenue par les sables fins argileux et gypseux du

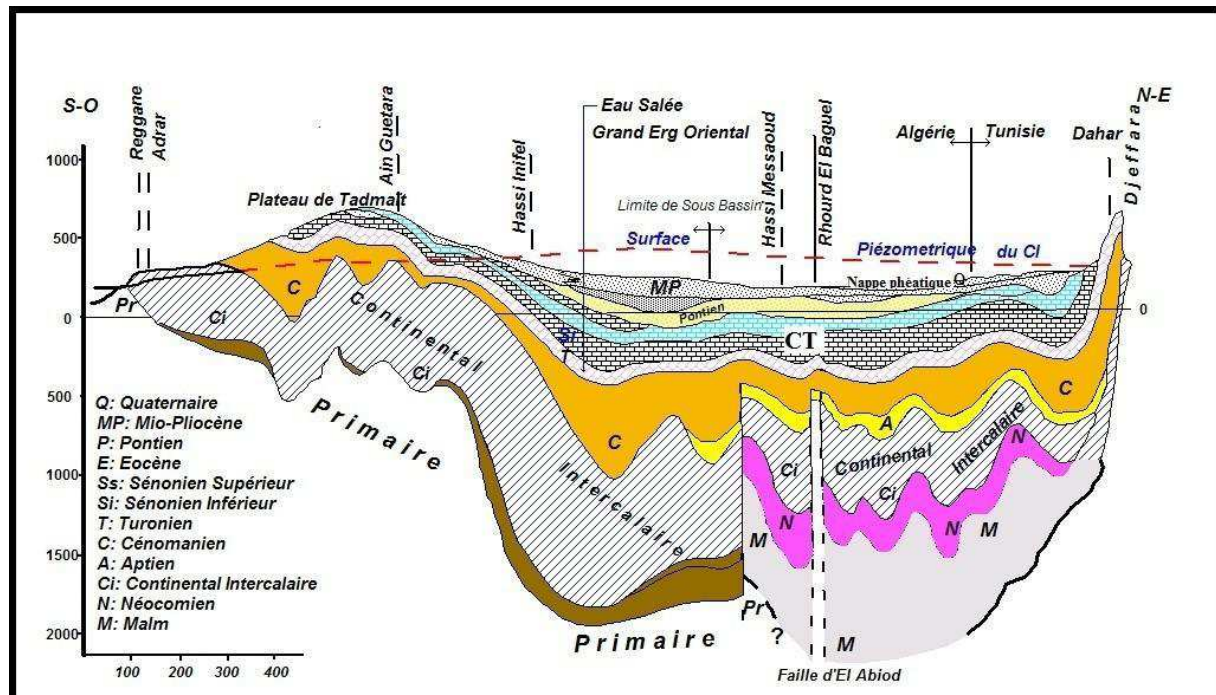


Fig.16: Coupe hydrogéologique du système aquifère CI et CT (UNESCO, 1972)

2. Le Continental Intercalaire (CI)

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

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

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. Le toit de l'aquifère, constitué d'argiles et d'évaporites du Cénomaniens, est continu sur tout le bassin (UNESCO, 1970).

La carte piézométrique établie lors de l'étude "ERESS" en 1972, montre que la partie orientale de l'aquifère est alimentée par :

- Le piedmont Sud atlasique (au Nord-Ouest de Laghouat).
- Le plateau du Tinrhert. au sud.
- 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. La pression à la tête du forage atteint 20 bars. Les forages captant cette nappe sont au nombre de 2 et fournissent un débit annuel de 7 Hm³ densité essentiellement à l'alimentation en eau potable des agglomérations de Rouissat et Ain El Beida, et caractérisée par une transmissivité de 8.10^{-3} m²/s et un coefficient d'emménagement de 10^{-3} m²/s (UNESCO, 1970).

Son eau est chaude (57°C). La salinité de cette eau est de l'ordre de 2g/l. Elle est essentiellement utilisée pour l'alimentation en eau potable et l'excès de pompage sert à l'irrigation.

2.1-Etude Piezometrique Du (CI)

D'après la carte piézométrique établie par l'étude de l'OSS (2003), l'écoulement général des eaux se fait du SW vers le NE.

La carte piézométrique du niveau Albien montre que le niveau piézométrique moyen, dans la cuvette d'Ouargla et ses environs (Haoud Berkaoui, Guellala...), est de l'ordre 330 m et l'écoulement des eaux de l'Albien se fait localement vers les zones à forte exploitation (la ville d'Ouargla).

Concernant la recharge, l'essentiel des ressources de cet énorme réservoir correspond à l'eau infiltrée au cours des périodes pluvieuses du Quaternaire :il s'agit donc d'une ressource fossile. Cependant, une recharge actuelle s'effectue de façon directe par infiltration des ruissellement qui se produisent sur les zones d'affleurement, notamment sur les piedmont de l'Atlas saharien au Nord-Ouest, sur le massif du Dahar à l'Est, sur les rebords ouest (Touat et Gourara), et sur le plateau de Tadmaït au Sud. Au niveau du grand

Erg Occidental, l'infiltration se fait indirectement à travers les sables dunaires et par endroits à travers les formations du CT où il n'existe pas de séparation imperméable entre les deux réservoirs.

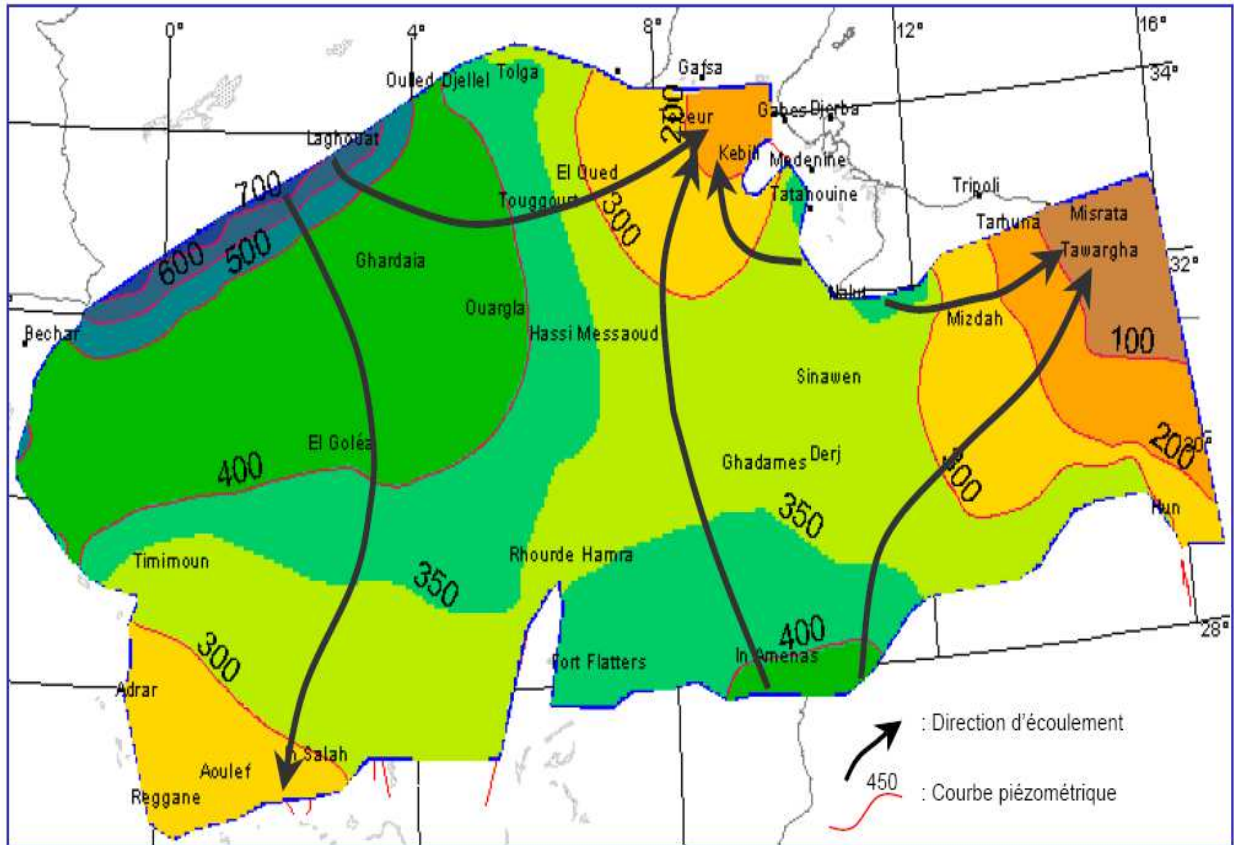


Fig.17 : Carte piézométrique de référence du "CI" (OSS, 2003)

2.2. Géométrie du "CI"

L'aquifère est de plus en plus profond vers le Nord-Est, où le toit de la nappe se trouve à 1500 à 2000 m. Vers la périphérie, la nappe est ascendante, peu profonde, et à température moyenne. L'artésianisme est élevé au centre et maximum dans la région de l'Oued Rhir.

La nappe affleure dans les régions d'Adrar et d'In Salah. Les eaux sont chaudes au Nord-est du bassin (la température moyenne est de 60°C). L'alimentation est faible, environ 268 Mm³/an, grâce aux épandages des oueds descendants de l'Atlas Saharien et à l'infiltration des pluies dans le grand erg occidental. En plus des foggaras et des forages qui sont les exutoires artificiels de la nappe albienne, les eaux s'écoulent principalement vers le Sud et l'Ouest de la nappe où se trouvent les zones évaporatoires du Touat du Gourara et du Tidikelt. Une autre direction d'écoulement se fait vers le Nord-Est, zone côtière tunisienne, à travers les failles géologiques d'El Hamma et de Médenine.

Concernant les exutoires, l'examen de la carte piézométrique montre que les points d'aboutissement des grands axes d'écoulement indiquent quatre exutoires naturels :

- Les rebords occidentaux et méridionaux du Tadmaït,
- L'exutoire tunisien du golf de Gabes,
- L'exutoire libyen du golf de Syrte (source d'Ain Tawarga),
- Les remontées verticales à la faveur de la faille d'El Hamma dans la zone du chott Fedjaj.

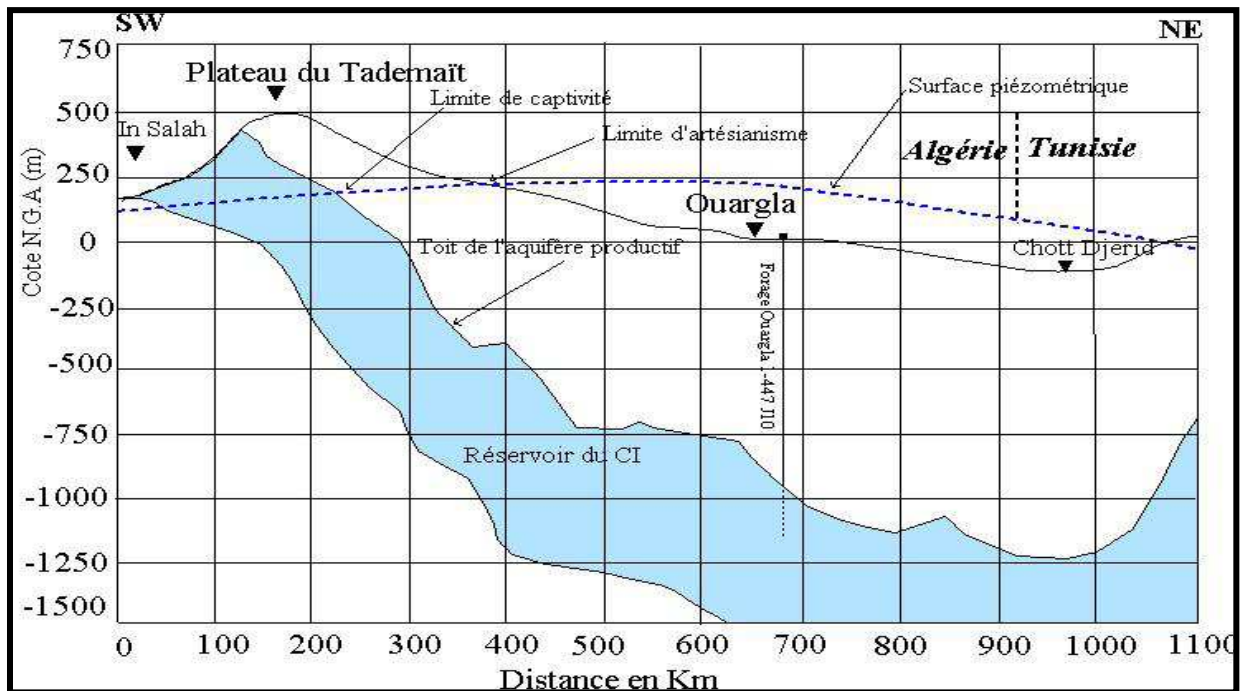


Fig.18 : Coupe hydrogéologique transversale du "CI" (UNESCO, 1972)

3. LE COMPLEXE TERMINAL (CT)

3.1. Présentation du complexe terminal

L'aquifère de complexe terminal contient plusieurs nappes d'eau, de haut en bas, on distingue :

3.1.1. Quaternaire : dans les régions de Ouargla est formé de dépôts sableux ayant une épaisseur qui varie entre 10 et 20 m et constitue un niveau saturé en eau de la nappes phréatique.

3.1.2. Mio-pliocène : il repose en discordance sur le Sénonien, il est formé d'une alternance d'argile et de sable ; l'eau est captée à une profondeur de 60 à 140 m par pompage avec un débit moyen de 30 l/s. Sa salinité est très variable (2 à 7 g/l). Elle est utilisée surtout en irrigation des palmeraies d'Ouargla.

L'exploitation de cette nappe du Mio-pliocène a débuté par le creusement de nombreux puits artésiens en 1883. Ces puits existaient déjà au 14^{ème} siècle, mais ils se sont multipliés en 1883 à l'aide des sondages réalisés par les militaires. L'eau est alors située entre 30 et 60 mètres de profondeur. En 1901, Les puits artésiens du Mio-pliocène atteignent un nombre de 160, alors que l'artésianisme diminue.

Actuellement la situation a fondamentalement changé. L'artésianisme a baissé au point que dans les palmeraies d'Ouargla, la nappe n'est plus jaillissante. Elle est exploitée par pompage dans des forages. Les Autorités, inquiètes des communications qui pourraient s'établir avec la nappe phréatique ont fait boucher les puits. (Elles ont aussi programmé le rebouchage de 30 anciens forages). Cette nappe du Mio-pliocène est à une profondeur de 130 mètres au niveau de Sebkhât Safiouné (45 km au nord d'Ouargla) où elle est encore artésienne. La teneur en sel est d'environ 2 à 3g/l

3.1.3. Sénonien : avec un mur argileux anhydritique du Sénonien lagunaire et au sommet l'Eocène moyen évaporitique en une épaisseur de 230 m. L'eau est captée à une profondeur de 120 à 180m par pompage avec un débit moyen de 30 l/s. Sa salinité est de l'ordre de 1.8 à 3 g/l. Elle est surtout utilisée comme eau potable.

3.1.4. Turonien : forme de calcaires fissurés et constitue lui aussi un aquifère captif dans la région de Hassi-Messaoud, reconnu sur une épaisseur de 60 m reposant sur un substratum imperméable de anhydrite et argileux, (toit Sénonien salifère et un mur Cénomaniens).

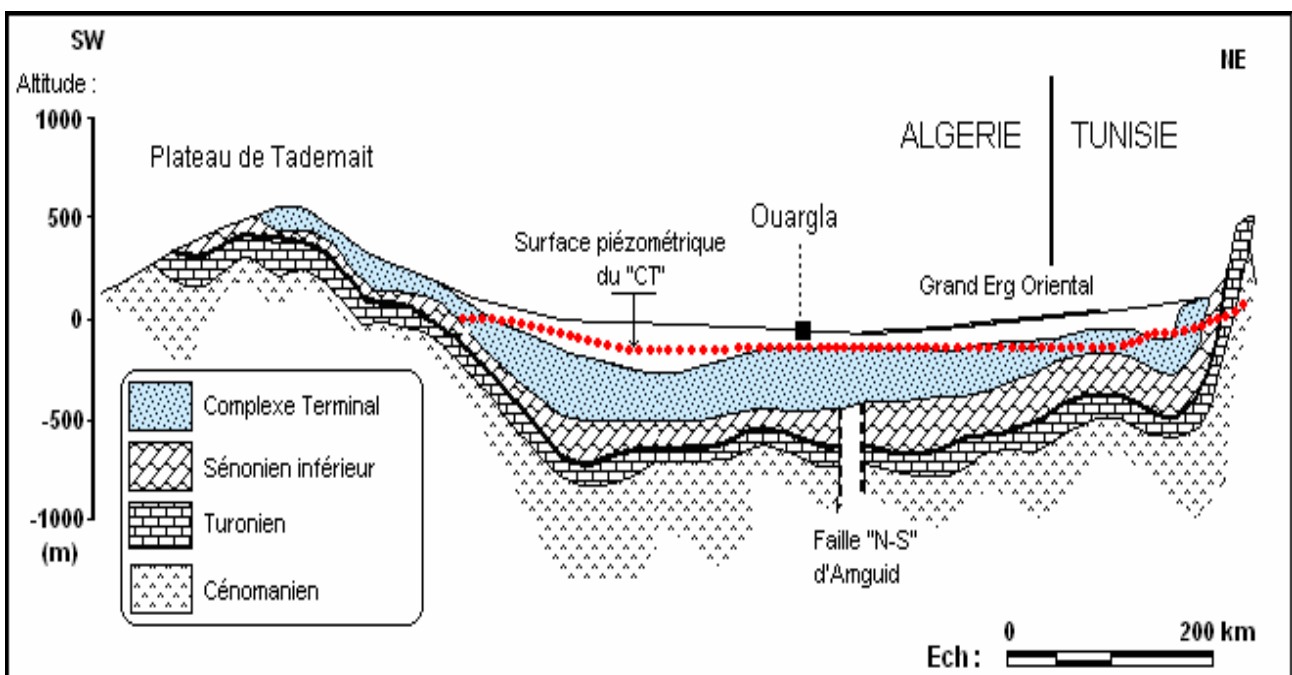


Fig.19: Coupe hydrogéologique transversale du "CT" (UNESCO, 1972)

3.2. Etude piézométrique de (CT)

L'établissement de cartes piézométriques est une étape importante dans l'étude hydrogéologique. Elle permet d'étudier la nappe d'eau souterraine en tenant compte de ses paramètres hydrodynamiques, tels que la transmissivité et le coefficient d'emmagasinement, et renseigne sur les sens d'écoulements souterrains, l'évolution des niveaux piézométriques les gradients hydrauliques et les axes de drainages, donc la carte piézométrique est un document essentiel pour l'hydrogéologie elle exprime la morphologie de la surface piézométrique de la nappe à une période déterminée par ses courbes isopièzes.

Celle-ci fournit des informations sur le tracé des lignes de courant et le sens d'écoulement, pour établir les cartes piézométriques on a utilisé les quelques mesures de niveau disponibles au niveau de la direction de l'ANRH de Ouargla, datent de 2004, a savoir :

- Les mesures de 16 forages captant la nappe du Mio-pliocène,
- Les mesures de 12 forages captant la nappe du Sénonien.

3.2.1. Nappe Mio-pliocène : La carte piézométrique de cette nappe(Fig.24) présente deux directions d'écoulement régional du N-E vers le S-W dans la zone nord (Bour N'goussa) et du sud vers le nord dans la zone sud (la ville d'Ouargla). Les lignes de courant convergent vers la palmeraie de N'goussa. La pente moyenne de surface piézométrique est de l'ordre de 0.6 à 1 ‰. La pente est plus forte sous la villa de Ouargla où les prélèvements sont les plus importants.

Entre Ouargla et N'Goussa la pente est de 0.6‰ puisque la nappe passe de la cote 130 à 118 m sur une distance de 20 km (environ). Sous la palmeraie d'Ouargla la surface piézométrique varie entre 126 et 131 m selon les lieux.

3.2.2. Nappe de Sénonien: La carte piézométrique dressée (Fig.25) montre que la nappe s'écoule du SSW vers le NNE en direction de Chott avec des niveaux piézométriques ne dépassant pas 133 m. on remarque deux zones de forte exploitation la première à l'ouest de la ville de Ouargla au niveau de la palmeraie de Mekhadma, et la deuxième à l'ouest de Sidi Khouiled. Les courbes sont bien espacées indiquant une vitesse d'écoulement généralement faible.

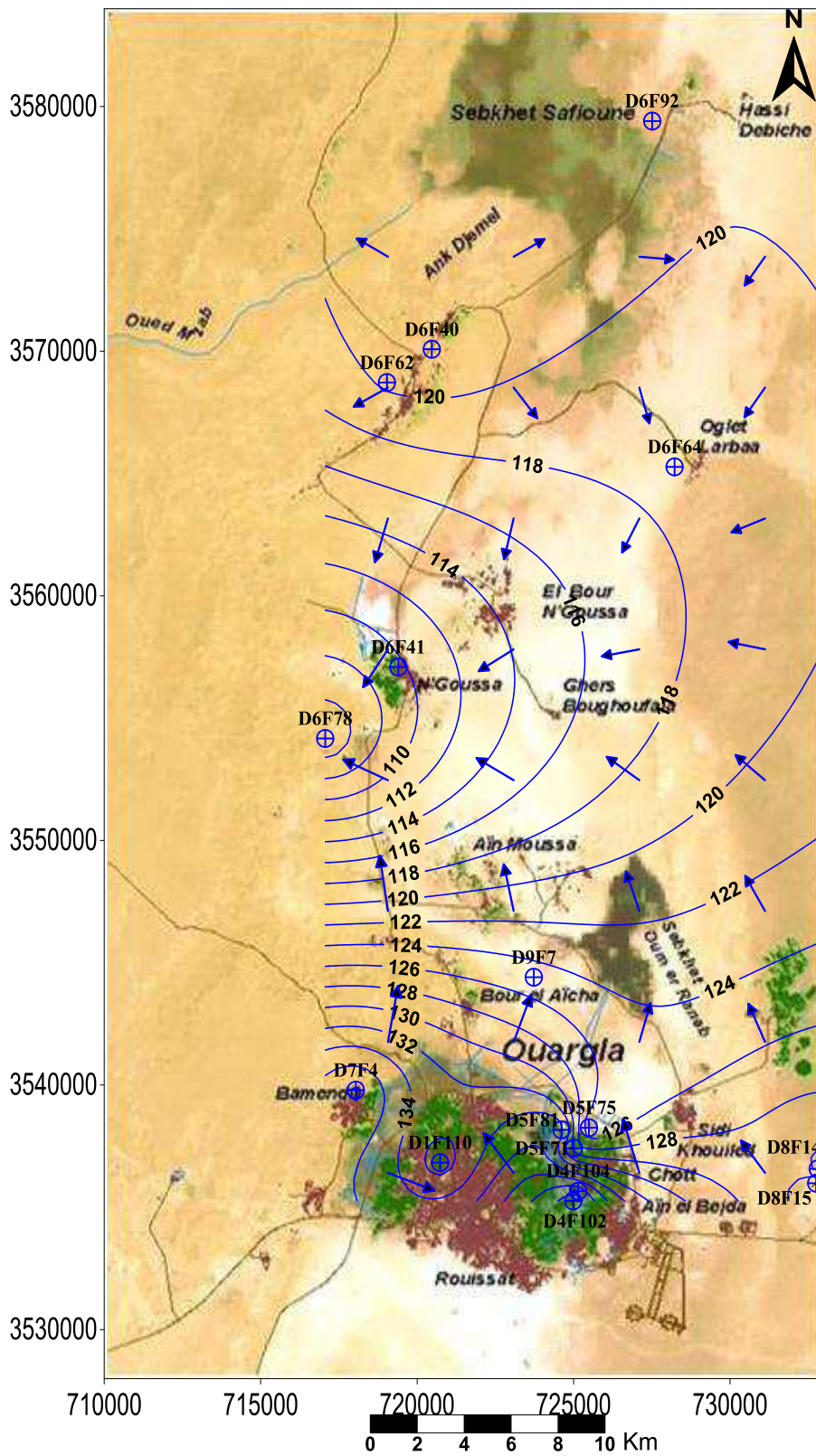


Fig.20: Carte piézométrique de la nappe du Mio-pliocène 2004 (NEZLI 2004).

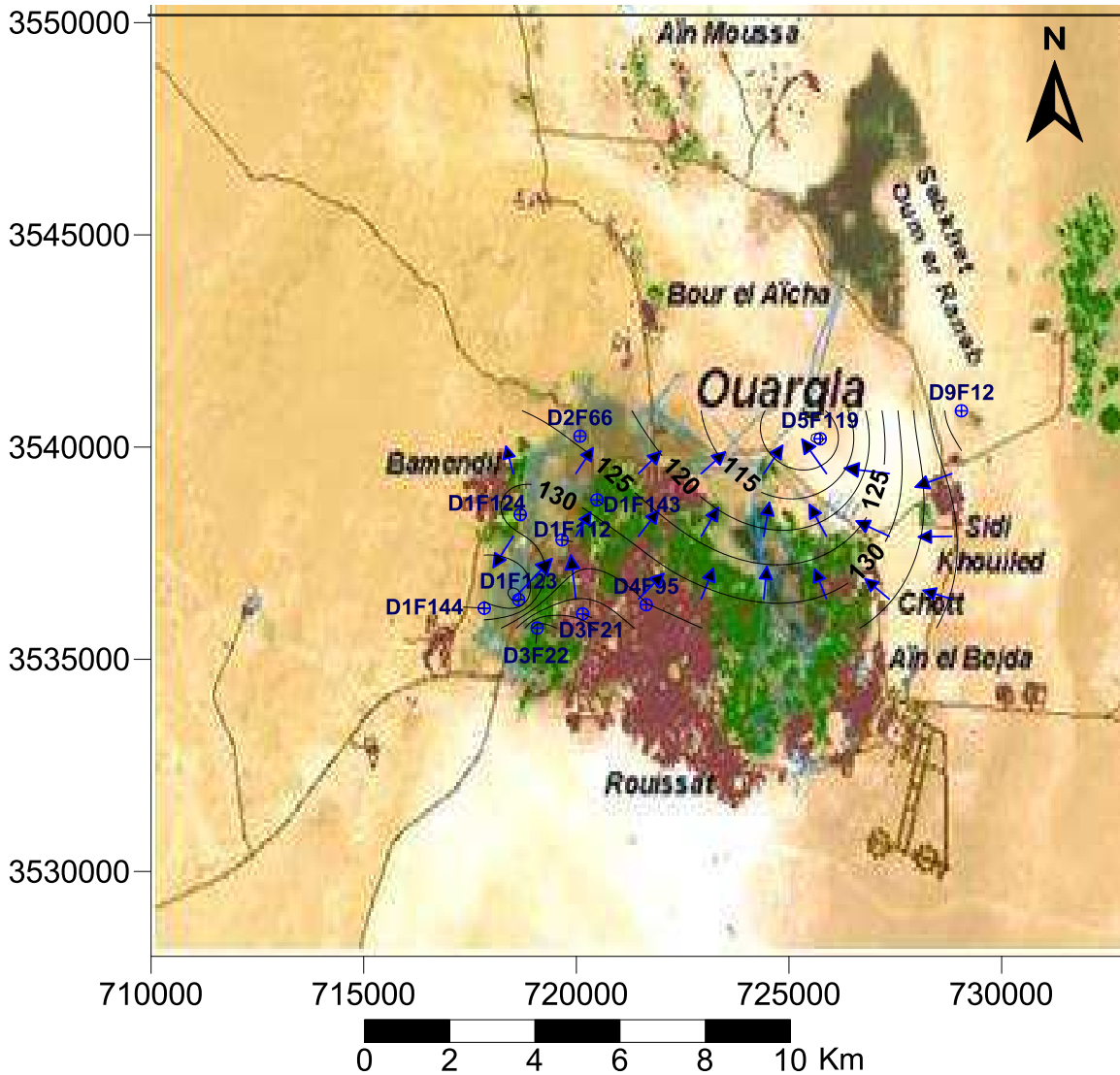


Fig. 21: Carte piézométrique de la nappe du sénonien 2004 (NEZLI 2004).

4. LA NAPPE SUPERFICIELLE

Les nappes phréatiques sont partout présentes au Sahara et se situent généralement dans les zones de dépressions ou les vallées. Elles sont alimentées par les pluies, les crues, les eaux de drainage et aussi très souvent par les remontées naturelles (sources) en provenance des aquifères plus profondes ou encore par les fuites dans les ouvrages exploitants ces dernières.

Les profondeurs des nappes dites libres au Sahara varient entre 1 et 60 m, sauf dans la région des Ziban où elle peut atteindre les 150m, le résidu sec est très variable selon les zones.

4.1. Faciès lithologique de la nappe phréatique

- **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 tuffeux.
- **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 compacté.

4.2. Etude piézométrique de la nappe phréatique

4.2.1. La piézométrie en 2003 (Fig.26)

Le point le plus haut de la nappe est situé au sud d'Ouargla, avec une cote de 134 m, la nappe présente des pentes de 2 ‰ vers Sebkhet Ba-Mendil au Nord, 1,5 ‰ vers le Chott à l'Est et 1 ‰ vers le Sud. La direction d'écoulement générale du Sud vers le Nord.

En limite Sud-Est de la région d'étude, il existe un deuxième point haut, sous une plantation irriguée à partir de la nappe du "CT".

Une faible pente (0,4 ‰) existe entre les piézomètres situés au bord de Sebkhet Ba-Mendil et ceux d'Oum Raneb. Cette pente passe à 1 ‰ d'Oum Raneb en direction de N'Goussa.

A N'Goussa, l'irrigation des plantations crée un point haut d'où les eaux s'écoulent aussi bien vers le Nord que vers le Sud où la nappe est à une cote plus basse. De N'Goussa, la nappe présente une pente de 0,6 à 1 ‰ vers Sebkhet Safioune, point bas de toute la zone.

4.2.2. La piézométrie en 2007 (Fig.27)

Dans la partie sud de la cuvette, la nappe s'écoule du point le plus haut (130 m d'altitude) situé sous la ville d'Ouargla vers les différents Chotts environnant (Ba-Mendil au Nord-Ouest et Oum Raneb au Nord-Est).

Entre la zone des Chotts et N'Goussa, la nappe présente une faible pente (< 1 ‰) en direction de N'Goussa.

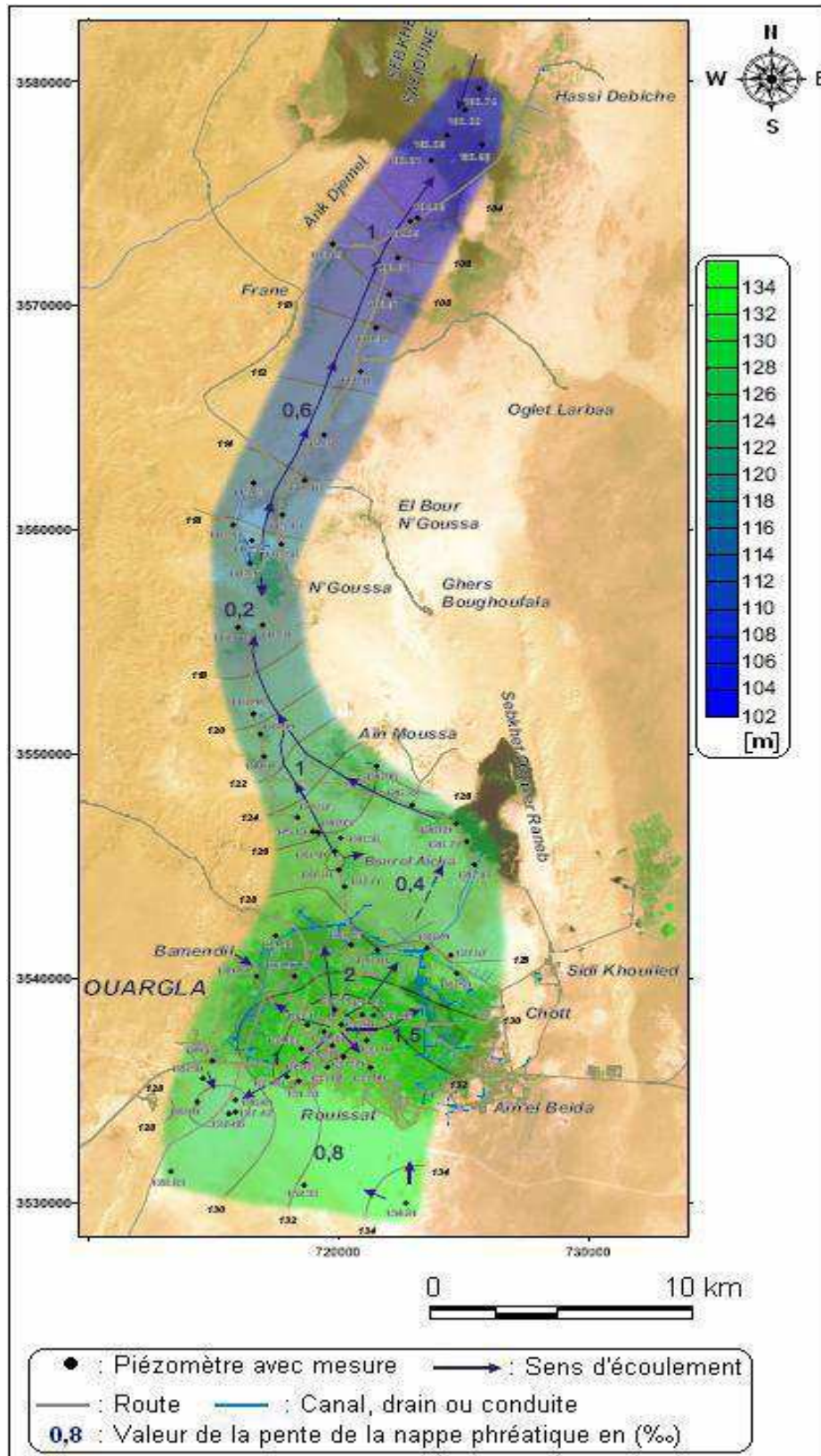


Fig.22: Carte piézométrique de la nappe phréatique dans la cuvette d'Ouargla en 2003 (BG, 2004)

Dans la partie nord de la cuvette (N'Goussa et ses environs), les eaux de la nappe s'écoulent aussi bien vers le Nord que vers le Sud où la nappe est à une cote plus basse.

- 100 à 105 m d'altitude à Sebkhet Safioune toute au Nord;
- 108 m d'altitude aux environs sud de N'Goussa (Garet Mellala).

La nappe présente une direction d'écoulement générale du Sud vers le Nord Nord-Est avec une pente faible ne dépassant pas 2 ‰.

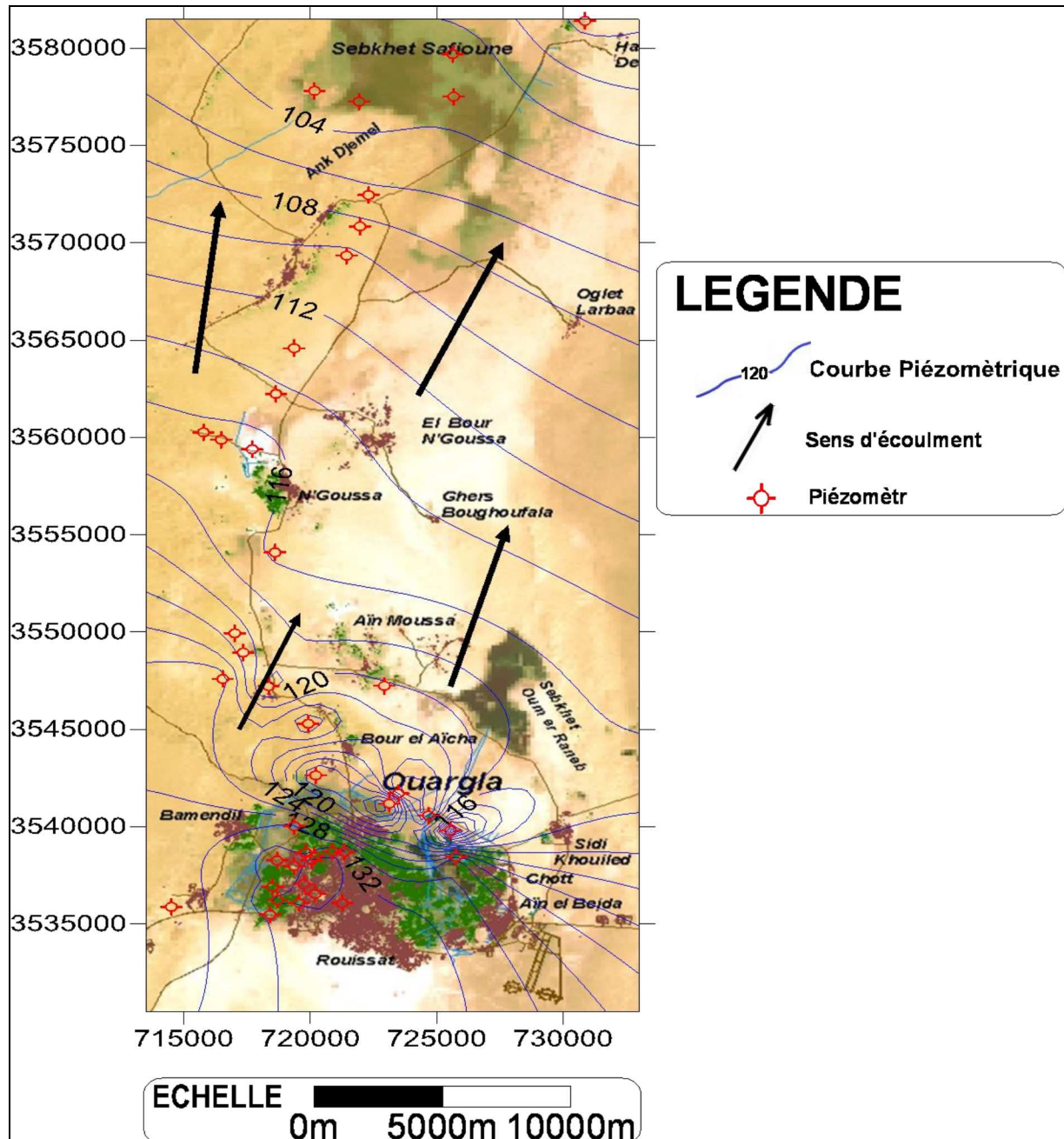


Fig.23: Carte piézométrique de la nappe phréatique de la cuvette de Ouargla (Novembre, 2012)

4.3. Bilan d'eau de la nappe phréatique

Le niveau de la nappe phréatique est réglé par la balance entre le débit des eaux entrant dans la région et celui des eaux en sortant. Un surplus aux entrées (ou un déficit aux sorties, ce qui revient au même) se traduit par une augmentation de la quantité d'eau stockée, d'où une élévation du niveau de la nappe phréatique, alors qu'un déficit aux entrées (ou un surplus aux sorties, par évaporation ou par écoulement, par exemple) se traduit par un prélèvement sur l'eau stockée dans la nappe, d'où une baisse du niveau de celle-ci.

4.3.1 Equation du bilan d'eau

L'équation des termes du bilan correspond aux entrées dans la nappe phréatique moins les sorties

$$\Delta Q = \text{entrées} - \text{sorties}$$

Entrées: Les entrées d'eau dans la nappe phréatique responsables de la remontée du niveau piézométrique de cette nappe sont :

- les eaux provenant du CT et CI par artésianisme et par pompage. Deux types d'utilisation seront différenciés : usage agricole (Irr) et AEP : Q_{F-Irr} et Q_{F-Aep}
- les eaux de pluies rejoignant effectivement la nappe phréatique par infiltration : $Q_{Pré}^{Inf}$

Soit pour les entrées : $\text{Entrées} = Q_{F-Irr} + Q_{F-Aep} + Q_{Pré}^{Inf}$

Sorties: Les eaux sortant de la zone d'Ouargla sont responsable de la descente du niveau piézométrique de cette nappe. Il s'agit de :

- la décharge naturelle vers le sud et le nord, par écoulement souterrain : Q_P^{Ec}
- les cultures et la végétation urbaine : Q_{P-Ab}^{Etr}
- les eaux évaporées par les surfaces d'eau libres et les zones humides : Q_{P-Sb}^{Ev}
- les eaux évapo-transpirées par les activités humaines : Q_{-Hum}^{Ev}
- les eaux évacuées vers Sebkha : Q_{-dr}^{Dr}

Soit pour les sorties : $\text{Sorties} = Q_P^{Ec} + Q_{P-Ab}^{Etr} + Q_{P-Sb}^{Ev} + Q_{-Hum}^{Ev} + Q_{-dr}^{Dr}$

Ce qui donne l'équation suivante pour le bilan d'eau de la nappe phréatique

$$\Delta Q = \text{entrées-sorties} = (Q_{F-Irr} + Q_{F-Aep} + Q_{Pré}^{Inf}) - (Q_P^{Ec} + Q_{P-Ab}^{Etr} + Q_{P-Sb}^{Ev} + Q_{-Hum}^{Ev} + Q_{-dr}^{Dr})$$

Ce bilan se traduit par le fait que l'eau qui entre dans la zone de Ouargla par l'écoulement naturel, la pluviométrie ou le débit des forages profonds est évacuée vers Sabkhet Safioune à travers la station de pompage de Chott, évaporée par la végétation, l'activité humaine ou dans la Sebkhha et le Chott ou encore s'écoule vers le nord et le sud. Le solde positif ou négatif s'accumule dans la nappe ou est prélevé sur ses réserves.

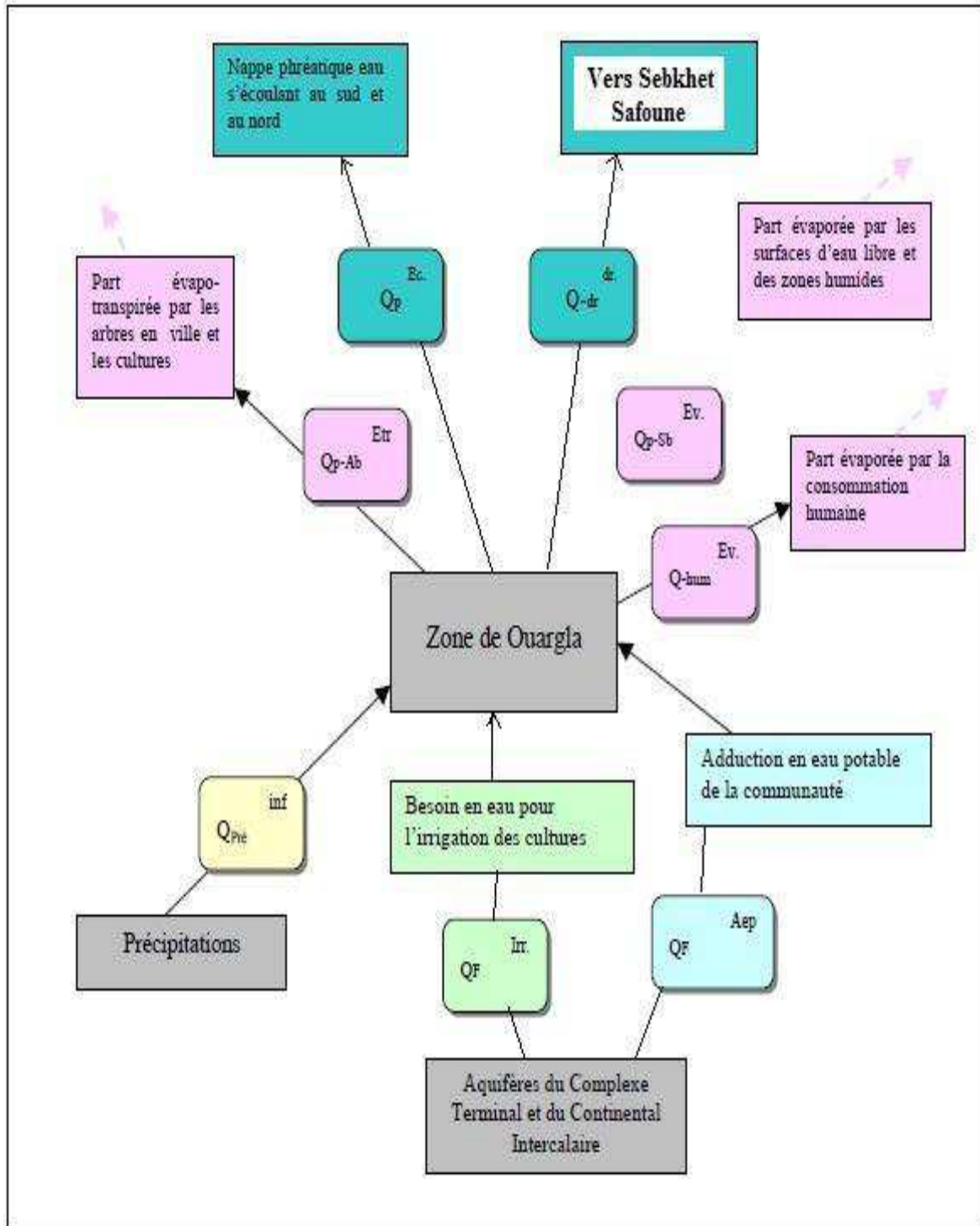


Fig 24: Organigramme des termes du bilan d'eau et de leurs relations

4.3.2. Estimation des termes du bilan d'eau

$$\text{a. Entrées} = Q_{F-Irr} + Q_{F-Aep} + Q_{Pré}^{Inf}$$

Q_{F-Aep} : Débits forages destinés à l'AEP : Selon les données EDEMIAO 2004 et la campagne de mesures de débits : **49309 m³/j**

Q_{F-Irr} : Débits forages destinés à l'irrigation des palmeraies : Selon les données de mesure des débits ANRH et la campagne de mesure des débits 2004 : **102810 m³/j**

$Q_{Pré}^{Inf}$ = Quantité d'eau tombée multipliée par un coefficient d'infiltration pour l'eau de pluie.

- 43 mm par an (moyenne de 10 ans)
- Coefficient d'infiltration 6 %
- Surface de la zone d'Ouargla : 10'327,5 ha

$$Q_{Pré}^{Inf} = 0,043 \text{ m} \times 103'275'000 \text{ m}^2 \times 0,06 / 365 \text{ j} = 730 \text{ m}^3/\text{j}$$

Alor la quantité d'eau entrée dans la nappe phréatique est 152849 m³/j.

$$\text{b. Sorties} = Q_P^{Ec} + Q_{P-Ab}^{Etr} + Q_{P-Sb}^{Ev} + Q_{-Hum}^{Ev} + Q_{-dr}$$

Q_P^{Ec} : écoulement souterrain vers le sud et le nord dû à une anomalie piézométrique (dôme) au niveau de la ville d'Ouargla.

$$Q_P^{Ec} = T \times L \times i \text{ avec } T = \text{Transmissivité} = 2,6 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}, i : \text{Pente} = 2\text{‰} \text{ et } L = 12 \text{ km}$$

Soit un débit de **539 m³/j**

Q_{P-Sb}^{Ev} : les eaux évaporées par les surfaces d'eau libre et les zones humides. Superficie des surfaces d'eau libre, déterminée à partir de l'interprétation de l'image satellitaire : 243 ha.

L'évaporation d'un plan d'eau dépend des conditions atmosphériques et de la salinité de l'eau. Au niveau de Ouargla, des mesures sur bac ont donné des évaporations variant entre 1881 mm/an pour l'année 1957-1958 et 3219 mm/an 1960-1961. Une évaporation moyenne de 2600 mm/an a été retenue. L'évaporation sur plan d'eau est estimée à 80 % de l'évaporation mesurée sur bac. Une diminution de 7 % de l'évaporation est observée avec une eau à 100 g/l de sels en solution. Soit une évaporation pour les surfaces d'eau

libre de 1,96 m par an. Superficie des sebkhas, correspondant aux zones humides, déterminée à partir de l'interprétation de l'image satellitaire : 2023 ha

La formule d'évaporation en climat aride de Coudrain et Ribstein $Q = 72 \times Z^{-1,5}$ a été vérifiée dans la zone de Ouargla. La profondeur moyenne de l'eau dans la sebkha autour d'Ouargla étant de 0,6 m, l'évaporation moyenne est de 0,15 m/an à 60 cm de profondeur.

Q_{P-Sb}^{Ev} : les eaux évaporées par les surfaces d'eau libres et les zones humides.

$$Q_{P-Sb}^{Ev} = 2430000 \text{ m}^2 \times 1,93 \text{ m}/365 \text{ j} + 20230000 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m}/365 \text{ j} = 12849 + 8314 = 21163 \text{ m}^3/\text{j}$$

Q_{P-Ab}^{Etr} : les cultures et la végétation urbaine. L'évaporation par les palmiers et une couverture de 30% de chiendent sont estimés, pour la zone d'Ouargla à 15'000 m³/année/ha.

La superficie urbaine recouverte de végétation varie d'un quartier à l'autre. La moyenne est de 7 %

Superficie des palmeraies, déterminée à partir de l'interprétation de l'image satellitaire : 2286 ha

Superficie des zones urbaines, déterminée à partir de l'interprétation de l'image satellitaire : 2354 ha.

$$Q_{P-Ab}^{Etr} = 15'000 \text{ m}^3/\text{année}/\text{ha} \times (2286 \text{ ha} + 0,07 \times 2354 \text{ ha}) / 365 = 100717 \text{ m}^3/\text{j}$$

Q_{Hum}^{Ev} : les eaux évapo-transpirées par les activités humaines sont estimées à 22 l/jour/habitant. La population en 2003 est estimée à 180 000 habitants

$$Q_{Hum}^{Ev} = 180000 \text{ habitants} \times 22 \text{ l}/\text{jour}/\text{habitant} = 3960 \text{ m}^3/\text{j}$$

Q_{dr} : les eaux évacuées vers Oum Raneb à travers la station de pompage ont été mesurées par des loggers placés sur les 4 pompes de la station. Pour l'année 2003, une moyenne de 26470 m³/j a été évacuée.

La somme des débits sortent de la nappe phréatique est 152849 m³/l.

4.3.3. Bilan d'eau de la cuvette d'Ouargla

Les résultats du calcul de bilan hydrique, sont résumés dans le tableau 9.

Tableau.9 : Bilan d'eau de la cuvette d'Ouargla

Entrées	m ³ /j	m ³ /j
Précipitations:	730	
Forages AEP	49'309	
Agriculture	102'810	
Sorties		
EVT humain		3'960
EVT palmeraie		93'945
EVT végétation ville		6'772
Eau libre		12'849
Sebkha		8'314
vers Oum Raneb		26'470
Écoulement		539
Totaux	152'849	152'849

L'eau, aussi bien dans la ville, dans la palmeraie et dans la sebkha se trouve relativement proche de la surface du sol. La nappe ne peut donc pas jouer de rôle tampon important. C'est la station de pompage de Chott qui permet de régler actuellement le bilan d'eau de la zone d'Ouargla à travers le niveau d'eau dans le canal de drainage. Autrefois les habitants pouvaient être amenés à quitter, jusqu'à plusieurs fois par année, leurs maisons situées dans les zones basses qui étaient inondées par la montée des eaux qui s'élevaient en hiver en fonction des apports et du déficit d'évapotranspiration.

Les besoins pour l'agriculture dans la région d'Ouargla sont estimés à 0,71 litres/seconde/ha. Lors de la réalisation du bilan d'eau, le manque d'eau destiné à l'agriculture a été mis en évidence. Seuls 0,52 l/s/ha sont utilisés dans les palmeraies d'Ouargla.

Le déficit se traduit par une salinisation des sols au détriment de la qualité et de la productivité de la palmeraie. Dans l'hypothèse où le réseau de drainage agricole, les pratiques d'irrigation et de lessivage seraient optimisés, il faudrait s'attendre à un apport supplémentaire de plus de 35000 m³/j, qu'il faudrait évacuer de la zone de Ouargla.

La pente générale de la nappe phréatique ainsi que les transmissivités sont faibles dans l'agglomération d'Ouargla et les palmeraies qui l'entourent. Les quantités d'eau qui s'écoulent sont peu importantes. Les apports d'eau extérieurs (C.I, C.T. ou précipitations) restent pratiquement sur le site et ont fait monter le niveau de la nappe en remplissant les pores du terrain, créant un dôme sous la région. Les réseaux de drainage et de collecte des

eaux usées permettent un écoulement vers les points bas qui étaient autrefois ennoyés en hiver quand l'évaporation était faible.

4 .3.4 Résumé du bilan d'eau

Tableau.10: Bilan d'eau de la zone d'Ouargla

Entrées	m ³ /j	m ³ /j
Précipitations:	730	
Forages AEP	49'309	
Agriculture	102'810	
Sorties		
EVT humain		3'960
EVT palmeraie		93'945
EVT végétation ville		6'772
Eau libre		12'849
Sebkha		8'314
vers Oum Raneb		26'470
Ecoulement		539
Totaux	152'849	152'849

Source: O.N.A.

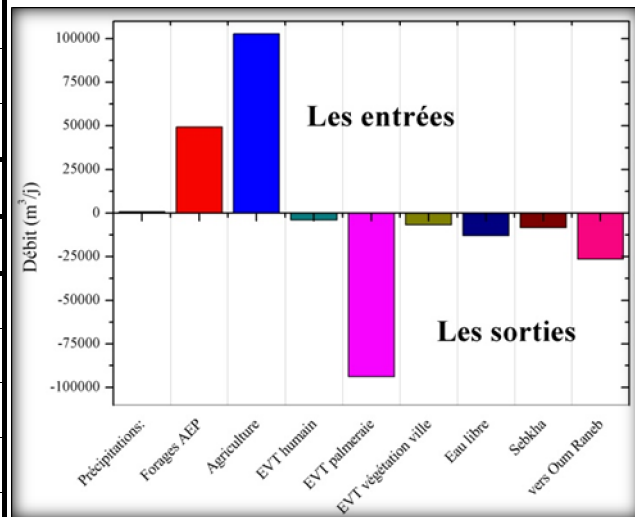


Fig.25: Bilan d'eau de la zone d'Ouargla

L'eau, aussi bien dans la ville, dans la palmeraie et dans la sebkha se trouve relativement proche de la surface du sol. La nappe ne peut donc pas jouer de rôle tampon important. C'est la station de pompage de Chott qui permet de régler actuellement le bilan d'eau de la zone d'Ouargla à travers le niveau d'eau dans le canal de drainage. Autrefois les habitants pouvaient être amenés à quitter, jusqu'à plusieurs fois par année, leurs maisons situées dans les zones basses qui étaient inondées par la montée des eaux qui s'élevaient en hiver en fonction des apports et du déficit d'évapotranspiration.

Les besoins pour l'agriculture dans la région d'Ouargla sont estimés à 0,71 litres/seconde/ha. Lors de la réalisation du bilan d'eau, le manque d'eau destiné à l'agriculture a été mis en évidence. Seuls 0,52 l/s/ha sont utilisés dans les palmeraies d'Ouargla.

Le déficit se traduit par une salinisation des sols au détriment de la qualité et de la productivité de la palmeraie.

5. QUALITE DES EAUX DE LA NAPPE SUPERFICIELLE

5.1. Les paramètres physicochimiques

5.1.1. La conductivité électrique (CE)

La conductivité (Tableau.15) des eaux de la nappe phréatique est dépasser largement les normes de potabilité de l'OMS ($>1000 \mu\text{S.cm}^{-1}$) ; voir supérieure à $2500 \mu\text{S.cm}^{-1}$, sa valeur est compris entre 2600 et $11800 \mu\text{S.cm}^{-1}$.

Tableau.11: variation de la conductivité

Nappe	Superficielle (phréatique)
Paramètre	CE
Moy	5100.33
Min	2600
Max	118000

5.1.2. Potentiel d'Hydrogène (PH)

Les valeurs de pH, mesurées dans les eaux de la nappe phréatique (Tableau.16), paraissent proches de la neutralité à légèrement alcalins.

Les eaux phréatiques possèdent des PH variant entre (7.83 et 8.20), ce qui est analogue avec ce qui se produit dans les nappes à l'échelle régionale.

Tableau.12: variation du PH

Nappe	Superficielle(phréatique)
Paramètre	PH
Moy	8.02
Min	7.83
Max	8.20

5.2. Faciès chimique des eaux

Le faciès chimique est le type d'eau, nous avons utilisé le diagramme de PIPER (Fig.28), c'est un programme informatique qui nous permet d'après les résultats d'analyses physico-chimiques de positionner sur le diagramme nos résultats et avoir par suite la famille à laquelle appartient l'eau échantillonnée.

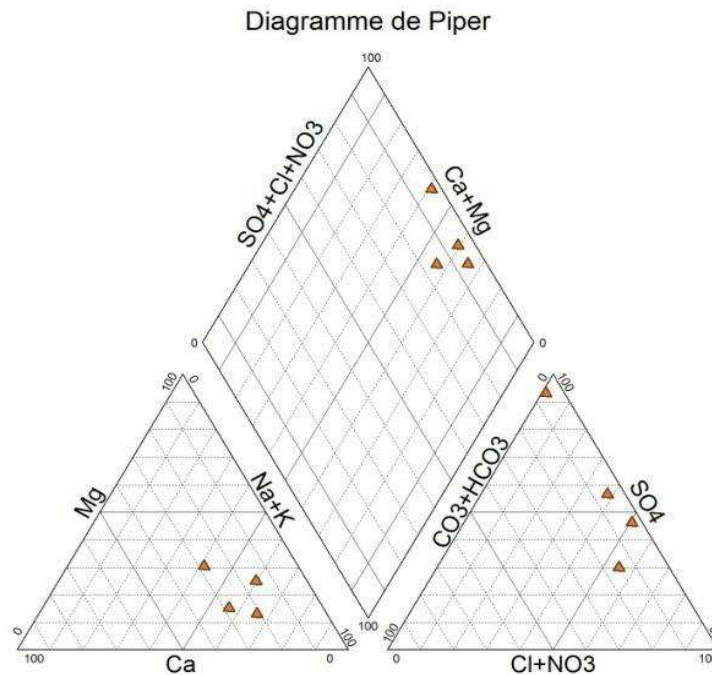


Fig.26: diagramme de piper des eaux phréatiques

Après la représentation sur le diagramme de Piper, nous pouvons classer les anions et cations majeurs ; donc la nappe phréatique est de type chlorurées sodiques et potassiques.

5.3. Qualités des eaux à l'irrigation

Notre région d'étude est à vocation agricole, une activité qui demande beaucoup d'eau afin de subvenir aux besoins des diverses cultures. L'eau destinée à l'irrigation doit présenter des caractéristiques physico-chimiques tolérables par les plantes.

Les eaux trop minéralisées créent divers problèmes pédologiques et agronomiques, ces sels peuvent nuire aux cultures et perturber leur croissance entraînant une baisse du rendement.

Parmi les éléments responsables de ces problèmes on cite le sodium ; les fortes teneurs en cet élément provoquent un changement de la structure physique du sol à cause du gonflement des particules d'argiles. Celles-ci seront par la suite dispersées rendant ainsi la circulation de l'eau plus lente au sein du sol. Cette dégradation des caractéristiques physiques du sol se traduit par une baisse de sa perméabilité et de son aération.

Dans le but d'étudier la qualité des eaux de l'aquifère à l'irrigation, on a fait recours à la méthode de RICHARDS (logiciel Diagramme). Il met en évidence différentes classes d'eau qui ont été définies sur la base du taux d'absorption de sodium (S.A.R) et sur la concentration de l'eau sous la forme de la conductivité électrique (en $\mu\text{s}/\text{cm}$ à 25°C).

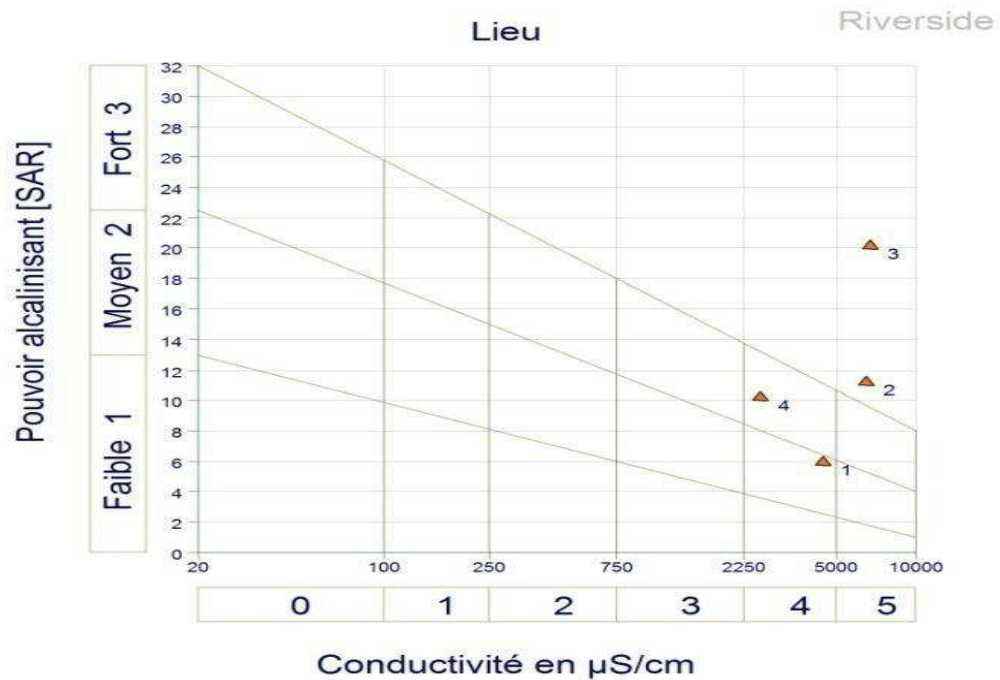


Fig.27: Diagramme de Riverside des eaux phréatiques

Les valeurs obtenues à partir des échantillons analysés ont été reportés sur le diagramme de RICHARDS (fig.29) où on remarque que l'ensemble des points d'eau se situe dans les deux dernières classes dont le risque de salinisation est moyen à fort.

5.4. Pollution minérale et organique

La qualité d'une eau souterraine est caractérisée par un certain nombre de paramètres physiques, chimiques, déterminant à leur tour des caractères organoleptiques seuls immédiatement perceptibles pour l'utilisateur. Afin de suivre l'évolution du faciès chimique et de la qualité des eaux dans la zone d'étude, nous avons pris en considération les variables suivantes :

- la dureté de l'eau correspondant à sa minéralisation en calcium et magnésium
- le pH qui dépend de la teneur en ions;
- la teneur en gaz dissous issus de l'atmosphère (O₂ et CO₂);
- la teneur en substances minérales dissoutes généralement sous forme ionique: anions (bicarbonates, chlorures, sulfates) et cations (calcium, magnésium, sodium, potassium);

Une teneur trop élevée d'un ou plusieurs composants chimiques cause des désagréments au consommateur (saveur, risques sanitaires) et aux canalisations (corrosion, entartrage...) L'eau est alors jugée impropre à la consommation (et à sa distribution) à moins de subir au

préalable un traitement approprié. D'autre part, une teneur élevée d'un élément chimique peut être l'indice d'une pollution par d'autres substances toxiques.

5.4.1. Salinité des eaux de la nappe phréatique :

a. Carte de salinité :

L'eau peut être considérée comme une solution électrolytique, car presque tous ses constituants dissous, majeurs et mineurs, sont présents sous forme ionique. Grâce à la présence de ces ions, l'eau devient susceptible de se laisser traverser par un courant électrique (la salinité).

Généralement les eaux de la cuvette montrent une nette augmentation de la salinité entre les deux périodes d'observation, provoquée par l'augmentation de la température par conséquent par le phénomène d'évaporation intense.

Cette nappe n'est pas exploitée à cause de sa grande salinité (plus de 15 g/l). En outre elle est polluée car elle se mélange aux eaux dans certains points et elle reçoit aussi les eaux de drainage de la palmeraie.

Les eaux de la nappe phréatique présentent une forte salinité (>15 g/l) ajouté à cela une contamination de cette nappe par les eaux usées, ce qui présente une menace de pollution pour les autres nappes. Cette importance des concentrations est due à l'influence de plusieurs facteurs, surtout le facteur climatique dans une zone hyperaride, caractérisé par la température élevée générant.

b. Les origines de la salinité : Le calcium (Ca^{++}) montre que tout le calcium de la cuvette a une origine évaporitique (résultat de la dissolution des sels des gypses), sauf les eaux de rejet au niveau de sebkhat Oum Raneb montrent une origine carbonatée.

Les chlorures et sodium (Na-Cl) montre généralement un équilibre entre le Na-Cl. Cependant, on note qu'aux niveaux du piézomètre P160 de la sebkhat Oum Raneb un fort enrichissement en sodium par l'interaction eau-roche ce qui confirme les échanges de bases de Ca et Mg de l'eau contre le Na du sol.

Les chlorures et les nitrates (Cl^- et NO_3^-) montre la majorité des chlorures et des nitrates sont le résultat d'un apport anthropique divers (les eaux usées et les eaux d'irrigation riches en fertilisants).

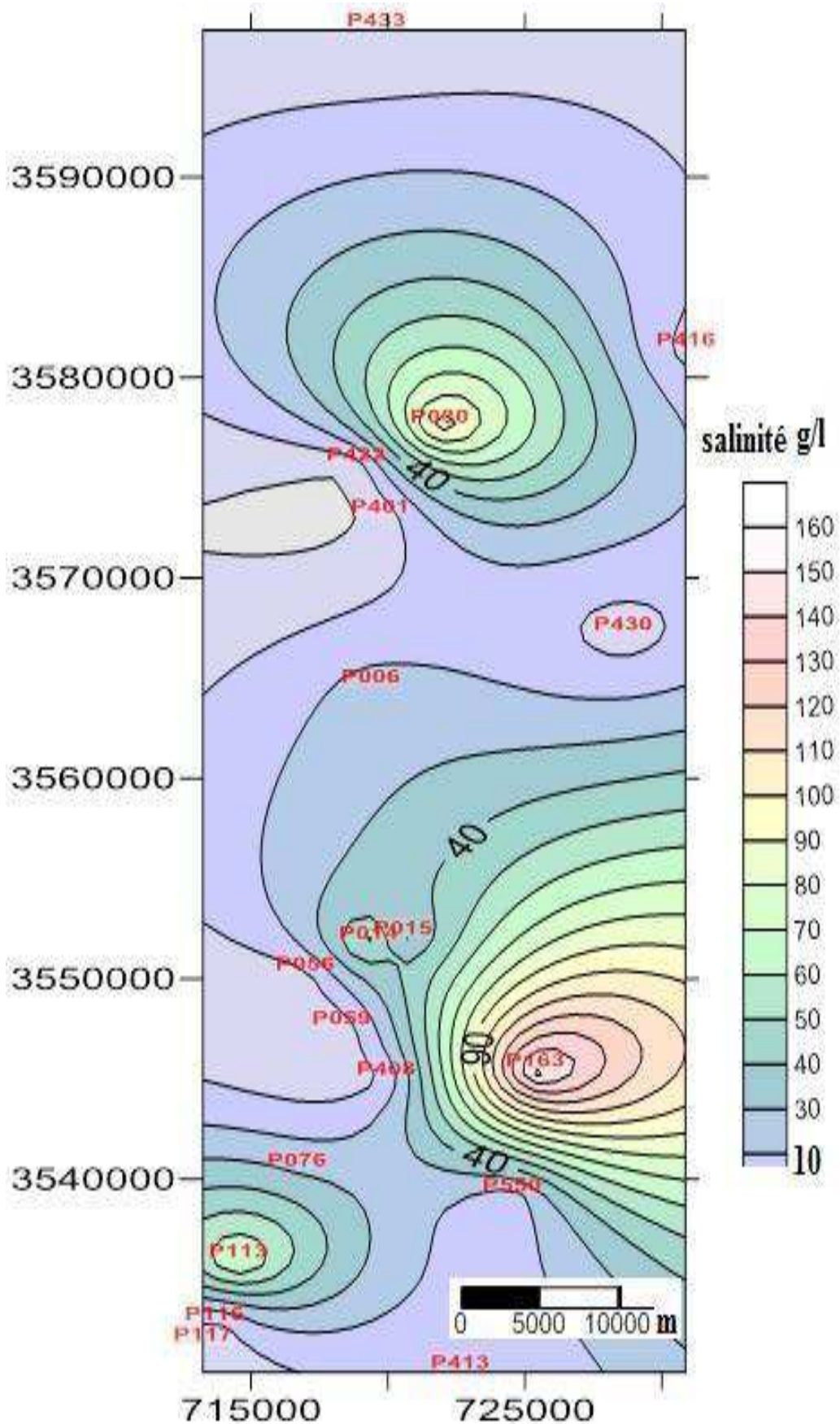


Fig.28: Carte de salinité de la nappe superficielle d'Ouargla 2003.

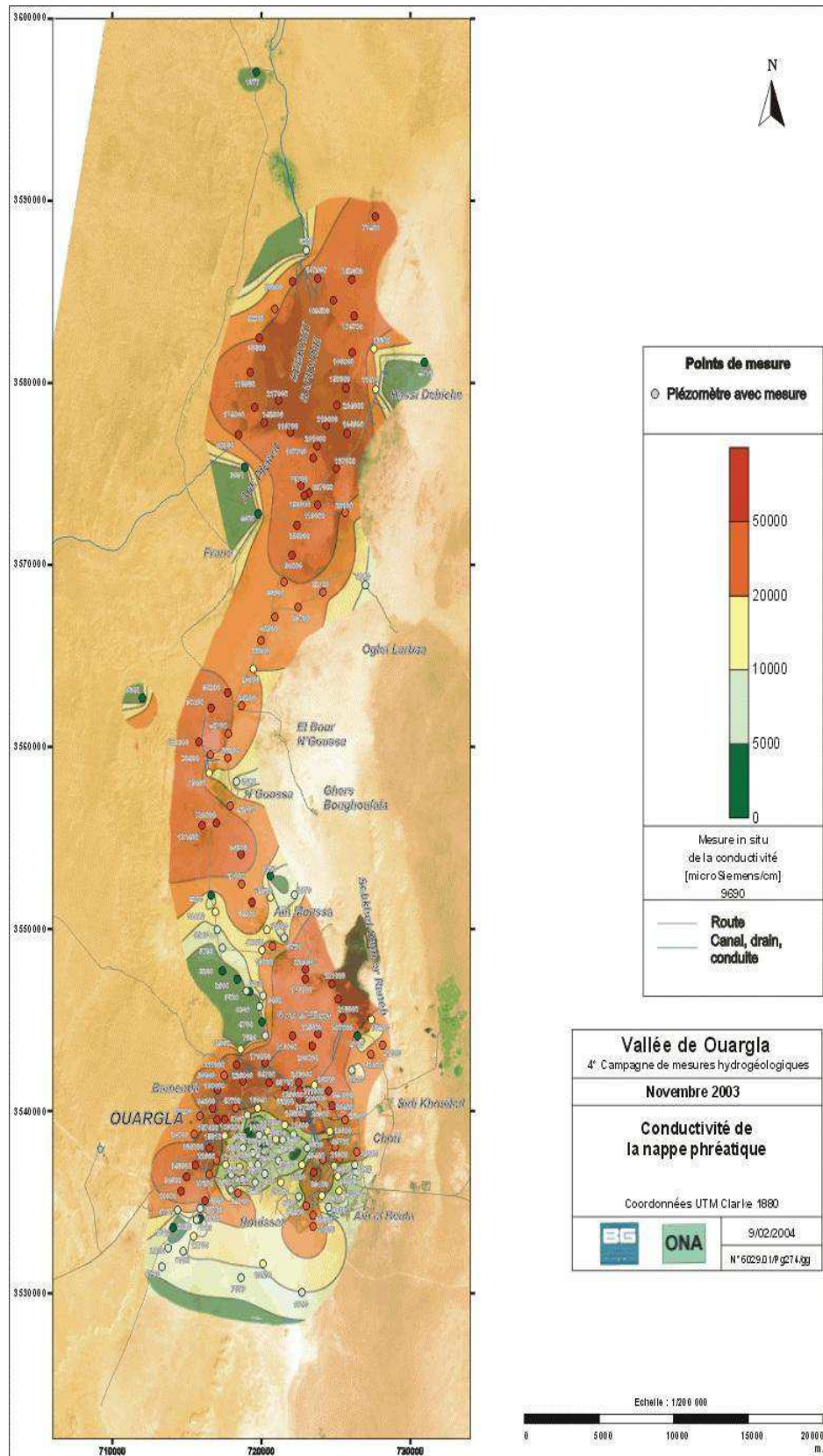


Fig.29 : Carte de conductivité da la nappe superficielle (Novembre 2003) (BG2004).

5.4.2. Carte de conductivité

La carte a été réalisée à partir des 182 points d'eau repartis dans la zone d'étude, les valeurs élevées de la conductivité (en rouge sur la carte pour les valeurs supérieures à 50'000 microS/cm à 25° C) sont localisées dans les sebkhas et dans les régions basses où la nappe est peu profonde et l'évaporation importante :

- Sebkhet Safioune au Nord, avec des conductivités de 90'000 à 219'000 microS/cm
- Petites sebkhas au nord et au sud de N'Goussa avec des conductivités de 33'500 à 188'300 microS/cm
- Petite sebkha au nord d'Aïn Moussa avec une conductivité de 58'400 microS/cm
- Un grand couloir, qui prend la ville d'Ouargla en écharpe depuis la sebkha d'Oum Raneb au Nord-Est (avec des valeurs de 223'000 à 176'100 microS/cm), descend vers le Sud et le Sud-Ouest en direction de Chott et de la sebkha de Bamendil pour s'arrêter à 1 km au sud de la route de Ghardaïa (avec des valeurs de 22'500 à 226'000 microS/cm).

La plus faible conductivité est mesurée au P433 sur le flanc de la vallée de l'oued N'Sa au nord de la Sebkhet Safioune avec une conductivité de 1877 S/cm.

Cette faible conductivité n'est pas isolée mais des conductivités basses sont mesurées sur une série de points d'eau encadrant toute la zone d'étude, dans des zones plus élevées sur les versants est et ouest de la vallée, ainsi qu'au Nord est au Sud. La profondeur de la nappe y étant plus grande, la nappe est à l'abri de l'évaporation et de l'augmentation corrélative de la salinité. De plus de l'eau de ruissellement, lors d'événements pluvieux exceptionnels, s'accumule dans les dunes au pied des versants et permet le développement de palmiers bour dans ces régions.

On a mesuré 3'590 et 4'600 μ S/cm au nord de Frane, 4770 S/cm à Hassi Debiche, 8'230 microS/cm à Oglet Larbaa, 7'130 au sud de Ouargla et 2'600 μ S/cm dans la région de Bour El-Aïcha.

5.4.3. Pollution organique

La pollution organique se réfère aux substances polluantes contenant de la matière organique (fécales, boues, résidus de bois, .etc.), celles-ci s'appellent les matières organiques biodégradables. Elle engendre une diminution de la teneur en oxygène dissous, due à la décomposition de la matière organique par les bactéries.

Les rejets urbains contiennent des molécules organiques, des métaux, des huiles, des graisses, des détergents et des rejets industriels.

Les fertilisants agricoles ont le même effet que les déchets organiques ; Les nitrates, les pesticides et les phosphates proviennent du drainage et du lessivage des terres arables, contaminent ainsi les eaux souterraines. Ils facilitent la croissance du phytoplancton à tel point que les particules végétales mortes peuvent produire des conditions anoxiques.

Ainsi les matériaux organiques sont susceptibles d'être attaqués par les bactéries, par conséquent, on assiste à un processus oxydant qui réduit les composés organiques en composés inorganiques stables comme le CO_2 , l' H_2O et le NH_3 .

a. Les nitrates (NO_3^-) :

Une carte des nitrates a été réalisée à partir de 174 points d'eau repartis dans la zone d'étude, les fortes teneurs supérieures à 100 mg/litre (en violet sur la carte) sont situées au Nord, dans la Sebket Safioune, puis à l'est de Frane dans des Sebkhas loin de zones exploitées. Elles correspondent à des zones terminales d'évaporation, dans lesquelles il n'y a pas de lessivage et où les eaux et les sels qu'elles contiennent se concentrent.

Les faibles teneurs (en vert clair sur la carte) inférieures à 20 mg/litre sont situées à Ank Djemel et vers l'arrivée de l'oued N'Za dans la Sebket Safioune, au nord, à l'ouest de N'Goussa et, paradoxalement, vers la sebkha d'Oum Raneb et aux environs de Ouargla notamment dans sa palmeraie, ainsi qu'au sud de Ouargla.

De faibles concentrations en nitrates, inférieurs à 20 mg/l ont été mesurées dans la plupart des palmeraies d'Ouargla excepté les palmeraies de Bamendil et de Chott où les concentrations de nitrates sont comprises entre 37 mg/l et 140 mg/l.

Les zones de faibles concentrations en nitrates correspondent à des zones où la végétation a consommé les nitrates. C'est le cas des palmeraies lorsque l'apport de nitrates est insuffisant ou d'Oum Raneb. Dans les zones urbaines, les relativement fortes concentrations de nitrates sont dues aux fosses septiques ou aux fuites du réseau d'assainissement.

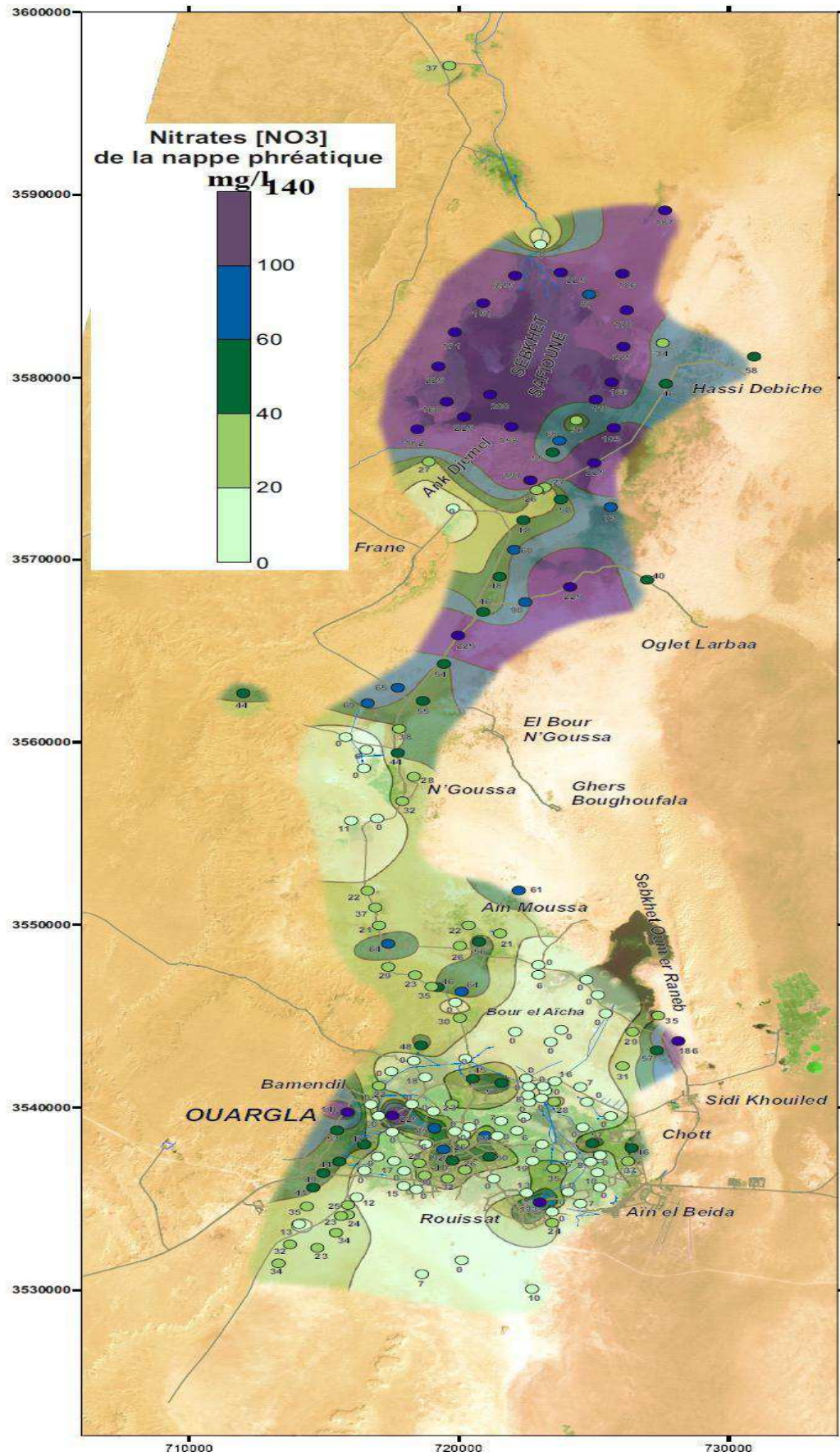


Fig30 : Carte de nitrate da la nappe superficielle (Novembre 2003) (BG2004).

d. Les phosphates (PO_4) : Le phosphate peut se trouver sous différentes formes oxydées, méta HPO_3 , pyro $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$ et ortho H_3PO_4 , en milieu aqueux, les formes méta et pyro tendent vers la forme ortho pour dès le pH de 5 à 8.

Les eaux souterraines montrent une variation de la concentration en phosphate en période des basses eaux des valeurs entre 0.01 mg.l^{-1} et 0.7 mg.l^{-1} . Au les concentrations augmentent pour atteindre les valeurs entre 0.02 mg.l^{-1} et 10 mg.l^{-1}

Les eaux de surface montrent au mois de février des concentrations allant de 0.11 mg.l^{-1} (rejet Khafji) à 16 mg.l^{-1} (canal Bamendil). Ce qui montre deux groupes des eaux de surface qui sont :

- Les drains (station Chott, canal Bamendil et drain Saïd Otba) présentant les drains de la nappe superficielle, l'accumulation et le transfert des eaux usées. Donc sont des eaux courantes même à faible débit, avec un renouvellement continu des eaux usées riche en matière organique. Les valeurs sont élevées, entre entre 8 et 17 mg.l^{-1} .
- Les dépressions (rejet Khafji, sebkhat Oum Raneb et chott Ain Baïdha) présentant l'affleurement de la nappe superficielle et l'accumulation de toutes sortes des eaux usées. Donc sont des eaux stagnantes. Les valeurs sont très faibles 0.12 et 0.56 mg.l^{-1} .
- Au mois de juin les valeurs sont élevées allant de 0.31 mg.l^{-1} (drain ITAS) à 16 mg.l^{-1} (sebkhat Oum Raneb).
- Généralement les résultats des concentrations en nitrates au niveau des eaux de surface montrent des valeurs inverses que celles de l'oxygène dissous, dans les deux périodes, confirmant la consommation de l'oxygène en présence du phosphore.

6. CONCLUSION :

La sous sol d'Ouargla renferme trois nappes ; nappe superficielle, la nappe de complexe terminale et la nappe de continentale intercalaire.

La nappe superficielle est la cause du phénomène de la remontée, qui touché la région dans les dernières années. La nappe phréatique circule dans les sables dunaires et les alluvions de l'oued Mya. Elle est en moyenne à 1,5 m de profondeur par rapport au sol. Elle forme un dôme au niveau de la ville d'Ouargla provoquant des nombreuses nuisances.

Les profondeurs les plus faibles (entre 0,15 m et 0,25 m) ont été mesurées à proximité du chott d'Oum Er Raneb lorsque le niveau d'eau de ce dernier était au plus haut. La nappe est également à plus faible profondeur en bordure des palmeraies

En considérant l'ensemble de la vallée, il semblerait que le niveau piézométrique est en baisse régulière d'une année sur l'autre à l'exception des points suivants :

Zones irriguées proches du chott d'Oum Er Raneb, agglomération d'Ouargla. L'évolution de la profondeur de la nappe est jugée anarchique et dépendant largement des fuites du réseau d'AEP, du niveau d'assainissement et de drainage de la palmeraie, et en fin de saison hivernale, la nappe au niveau de la Sebkha Safiouna est entre 1,15 et 1,5 mètre de profondeur.

En été le niveau baisse de 6 à 13 cm par ascension capillaire et évaporation.

La nappe phréatique repose sur un substratum imperméable de plus de 20 mètres d'épaisseur qui empêche toute communication entre la nappe phréatique et la nappe du Moi-Pliocène sous jacente.

Les eaux de la nappe phréatique se caractérisent par une conductivité électrique très importante et traduit une minéralisation excessive des eaux de cette nappe. Cette dernière se trouve influencée, tant par les évaporites que par les carbonates, et tant par les chlorures que par les sulfates. Le faciès géochimique dominant est chloruré sodique. La qualité des eaux de la nappe superficielle de la cuvette d'Ouargla montre des eaux non potable pour la consommation humaine a cause de la pollution en nitrate, en phosphate, en nitrite .etc. Avec un risque sévère pour le sol et les plantes.

1. INTRODUCTION :

Les cartes de vulnérabilité aux pollutions constituent une base d'information essentielle pour la gestion des ressources en eau, pour l'évaluation des risques de pollution des nappes et la mise en place de mesures destinées à la prévention des pollutions accidentelles, il existe plusieurs méthodes pour l'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines. Nous avons choisie la méthode de GOD.

2. PRESENTATION DE LA METHODE GOD (FOSTER ET HIRATA 1991)

La méthode GOD a été développée par Foster en 1987. Elle présente la vulnérabilité de l'aquifère face à la percolation verticale de polluants à travers la zone non saturée et ne traite pas de la migration latérale des polluants dans la zone saturée.

La méthode GOD utilise une approche empirique où la vulnérabilité des aquifères est définie en fonction de l'inaccessibilité de la zone saturée, au sens de la pénétration du polluant, et de la capacité d'atténuation que la couche sus-jacente présente à la zone saturée [3]. L'approche employée pour ce modèle a recours à trois paramètres, à savoir ; le premier réside dans l'identification du type d'aquifère en fonction de son degré de confinement (C_i), le deuxième correspond à la profondeur de la nappe (C_p) et le troisième est défini par la lithologie de l'aquifère (C_a). Les côtes attribuées aux classes des différents paramètres sont inférieures ou égales à "1".

L'Indice GOD (IG) qui permet d'évaluer la vulnérabilité de l'aquifère à la pollution est obtenu par la multiplication de ces trois paramètres. La cartographie de la vulnérabilité à la pollution des aquifères par la méthode GOD est faite par le calcul de l'Indice GOD (IG) selon l'équation (1) (Murat et *al.* 2003).

$$IG = C_a \times C_l \times C_d \quad (1)$$

3. DETERMINATION DES PARAMETRES DE GOD :

3.1. Type de nappe

La nappe superficielle d'Ouargla est une nappe libre, dont le niveau est souvent proche de la surface (parfois moins de 1 mètre), généralement entre 1 et 2 m, mais qui peut dépasser 18 m au Sud de Ouargla ou sous les reliefs (BG 2004).

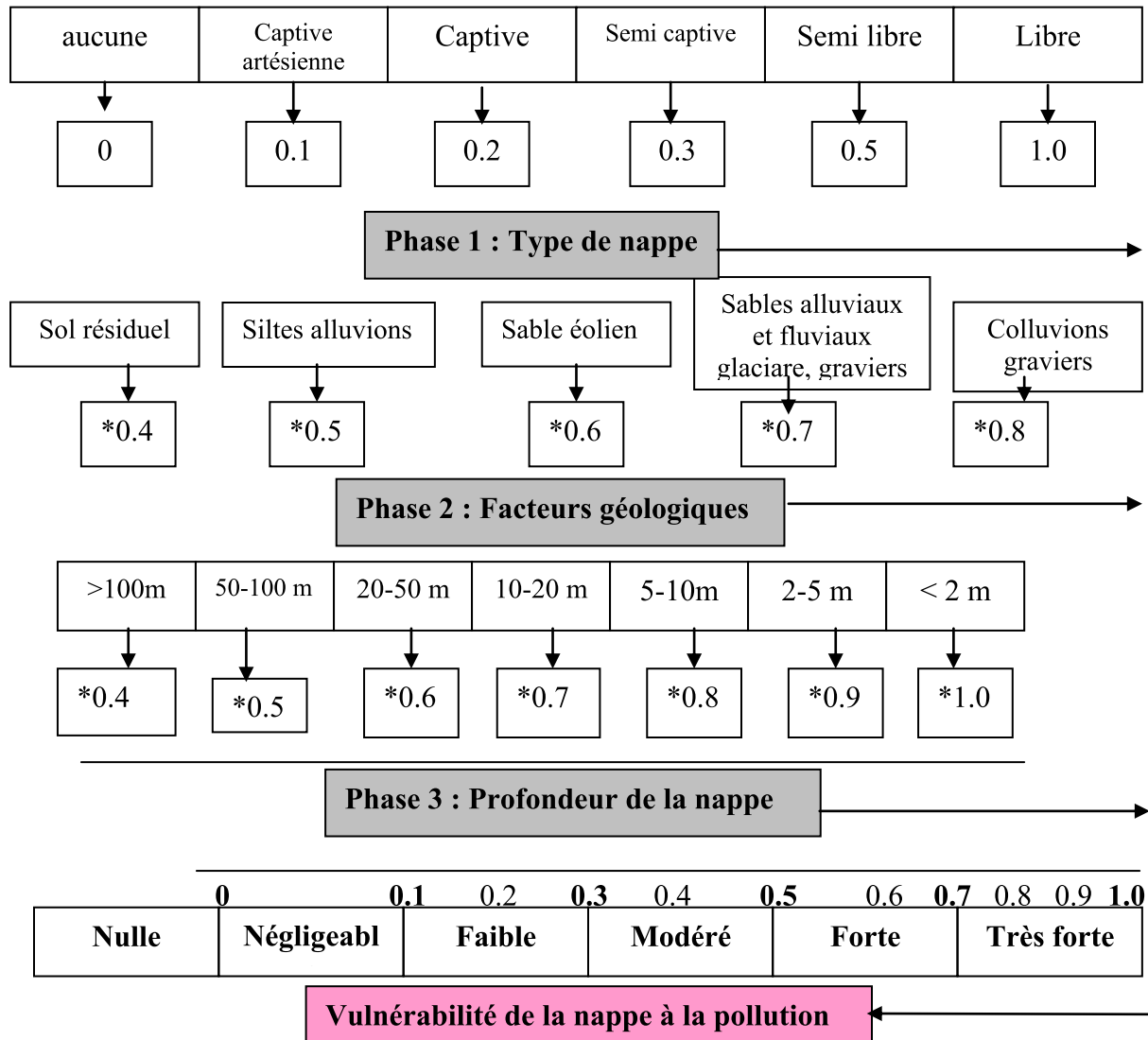


Fig.31 : Indices de classification de la vulnérabilité selon la méthode GOD

3.2. La profondeur de la nappe

La carte de profondeur d'eau de la nappe superficielle de novembre 2003, montre que ; les régions dans lesquelles la nappe phréatique est la plus profonde (en bleu-violet sur la carte) sont situées au sud-ouest de Ouargla, au sud de Oum Raneb, dans la région de Bour el Aïcha, dans un puits au nord, dans les collines de Ank Djemel et dans les versants au nord-ouest de N'Goussa.

Ces zones où la nappe est profonde ne correspondent pas à des dépressions du niveau piézométrique, mais à des points hauts de la topographie (dans des conditions naturelles). En général la salinité y est faible, la nappe ayant été protégée de l'évaporation par une couverture importante.

Les zones dans lesquelles la nappe phréatique est la moins profonde (en jaune clair et en vert clair sur la carte) sont situées à proximité de palmeraies irriguées (Ouargla, N'Goussa) ou de rejet des eaux (à proximité de la Sebkhet d'Oum Raneb).

Cette carte a été réalisée à partir de 184 points d'eau opérationnels en novembre 2003 répartis dans la zone d'étude.

La série de zones où la nappe est moins profonde est située dans des points bas topographiques. Ils forment un alignement depuis le pourtour d'Ouargla jusqu'à la Sebkhet Safioune. Le point où la nappe se trouve le plus près de la surface du sol dans la région de la Sebkhet Safioune se trouve au sud de la Sebkha

3.3. La lithologie de la zone saturée

La nappe phréatique est contenue dans les formations perméables sablo-gypseuses du Quaternaire. Les sondages carottés effectués par "LTPS", en plus des logs des piézomètres effectués par l'ENA.GEO, ont permis de relever la présence de trois classes de profils géologiques (Fig.).

- **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 tuffeux.
- **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 compacté.

Vulnérabilité des eaux de la nappe superficielle d'Ouargla a la pollution

Les travaux effectués par Zaddouri.A 2007(Fig.), montre que la lithologie de la nappe superficielle est constitué de sable et de gravier avec présence de gypse et des niveaux de tuf (concrétion calcaire) dans les chotts et les sebkhas.

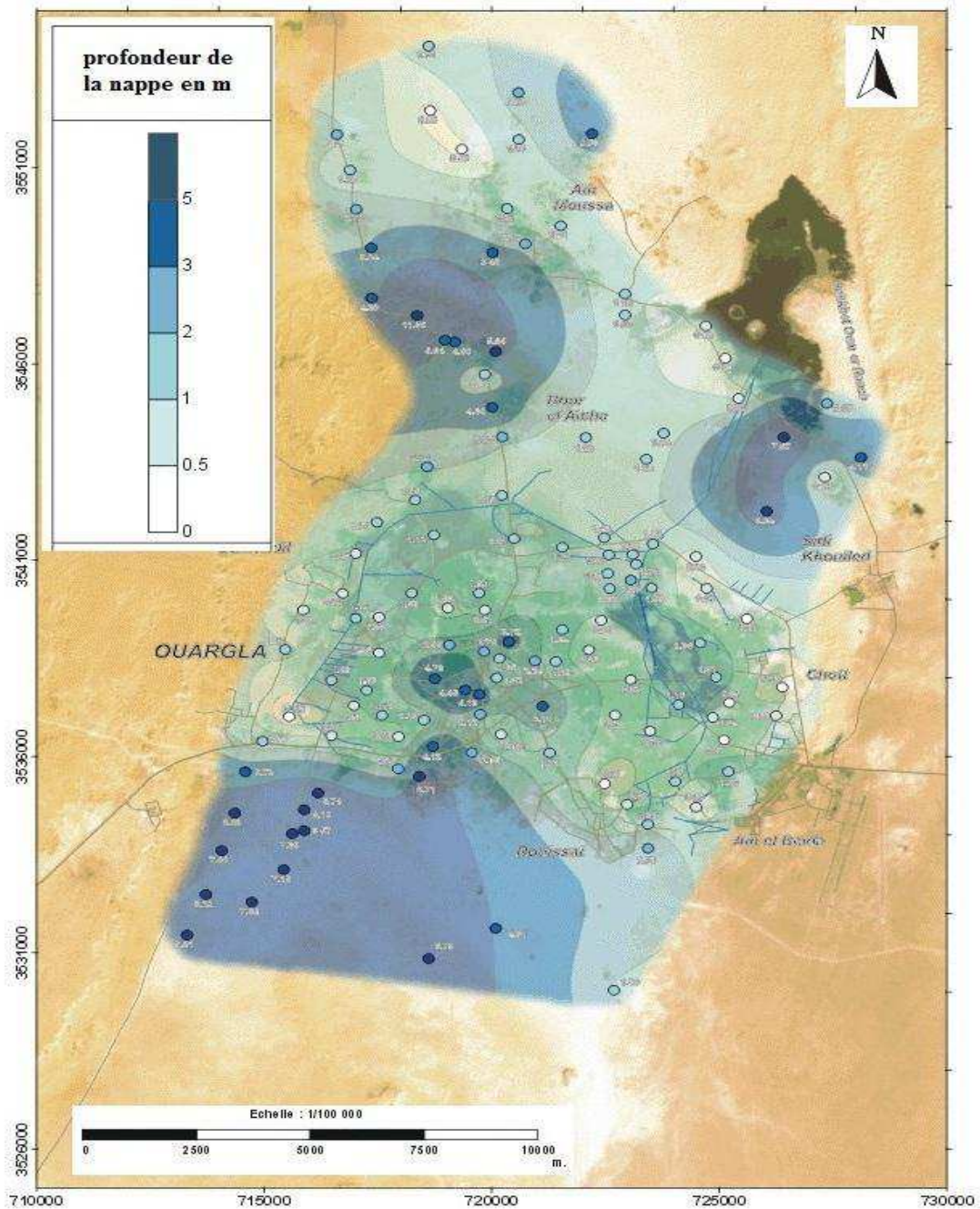


Fig.32 : La carte de profondeur d'eau de la nappe superficielle de novembre 2003

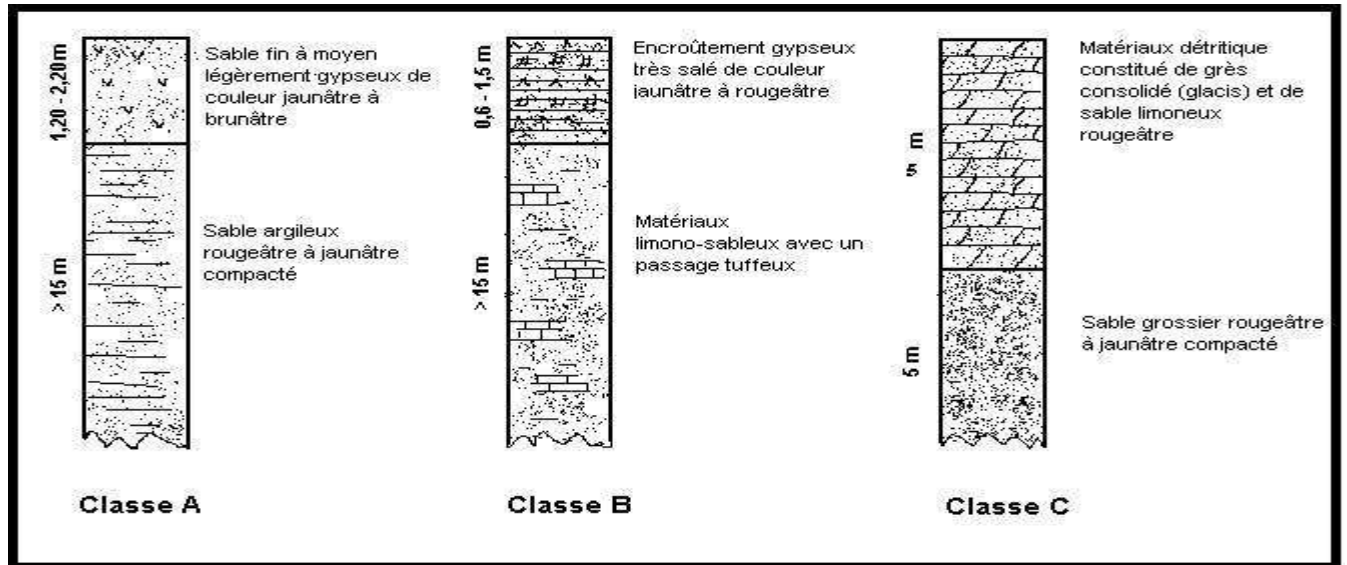


Fig.33 : Faciès lithologique de la nappe phréatique.

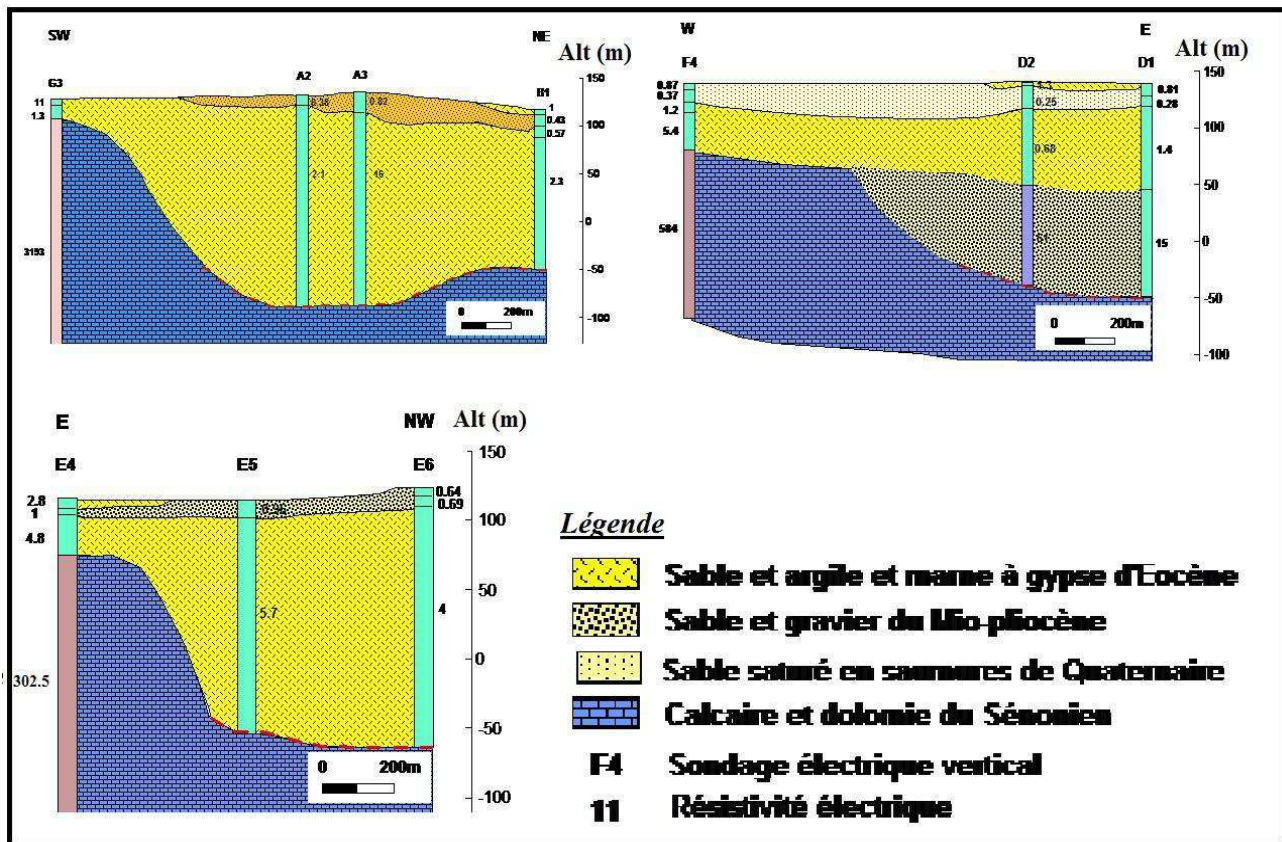


Fig.34: Coupes géoélectriques dans la cuvette d'Ouargla (Zadouri, 2007).

4. LES COTES DES PARAMETRES DE VULNERABILITE DE GOD

Le tableau (2), résume les résultats tirés de l'étude des paramètres de vulnérabilité GOD. Dans cette méthode on constate que la profondeur de la nappe est le seul paramètre qui influe sur le degré de vulnérabilité d'un point donné dans la zone d'étude à cause de l'homogénéité observé dans la zone d'étude.

Tablea13. Les côtes des paramètres de vulnérabilité de GOD de la nappe superficielle d'Ouargla.

Paramètre	Classe	côte
G	Libre	1
O	Sable et graviers	0.7
D	10 à 20 m	0.7
	5 à 10 m	0.8
	2 à 5 m	0.9
	Inférieure à 2 m	1

Les côtes de profondeur de la nappe superficielle, varient de 0.7 à 1(Fig.13).

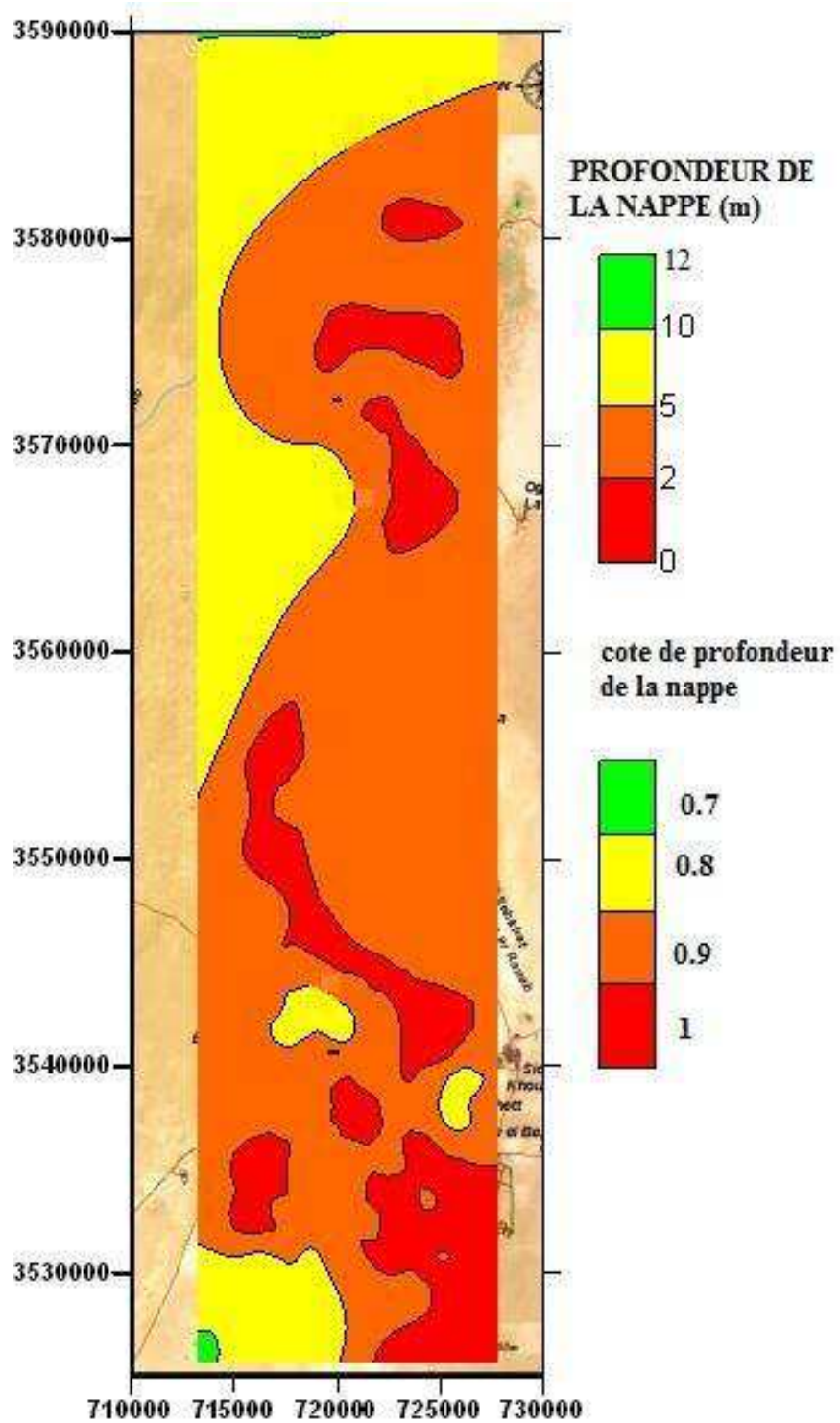


Fig.35 La carte des côtes de profondeur de la nappe superficielle d'Ouargla

5. La carte de vulnérabilité de la nappe superficielle d'Ouargla

L'examen de la carte de vulnérabilité (Fig.), montre que la nappe superficielle d'Ouargla à une vulnérabilité forte a très forte.

Les zones où la nappe est très forte vulnérabilité sont situées dans des points bas topographiques. Ils forment un alignement depuis le pourtour d'Ouargla jusqu'à la Sebket Safioune. Ce sont les zones urbaines, les zones des Sebket, et les zones agricoles irriguées à partir des nappes profondes.

Les zones où la nappe est de forte vulnérabilité sont situées dans des points est profonde ne correspondent pas à des dépressions du niveau piézométrique, mais à des points hauts de la topographie. La nappe est protégée par une couverture importante.

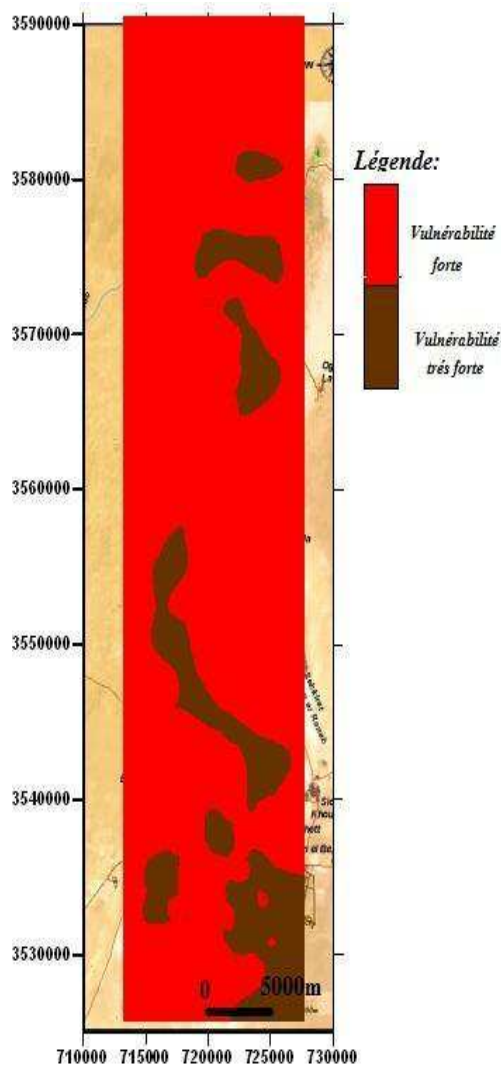


Fig.36 : La carte de vulnérabilité de la nappe superficielle d'Ouargla

5. Conclusion :

L'examen de la carte de vulnérabilité (méthode de GOD) montre de la nappe superficielle d'Ouargla à une vulnérabilité très forte à forte, a cause de faible profondeur de la nappe, le seul paramètre qui change dans tous l'extasie de la nappe superficielle.

Vulnérabilité des eaux de la nappe superficielle d'Ouargla a la pollution

Conclusion générale

La wilaya d'Ouargla est localisée au Nord-Est du Sahara septentrional. 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 s'étend sur une superficie totale de l'ordre de 95000 Ha, la surface topographique montre les formes topographique suivants ; la hamada, les glacis et les sebkhas.

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.

Dans la région d'Ouargla seuls les terrains du Mio-Pliocène affleurent, ils sont recouverts par une faible épaisseur de dépôt quaternaire (ergs, dunes). Les logs stratigraphiques des forages d'eau, montre que l'existence des terrains sédimentaires allant du Crétacé au Quaternaire. La lithologie des formations est détritique et évaporitique pour le Quaternaire, détritique, évaporitique et carbonatée pour le Tertiaire et le Crétacé inférieur.

La sous-sol d'Ouargla renferme trois nappes ; nappe superficielle, la nappe de complexe terminale et la nappe de continentale intercalaire.

La nappe superficielle est la cause du phénomène de la remontée, qui touché la région dans les dernières années. La nappe phréatique circule dans les sables dunaires et les alluvions de l'oued Mya. Elle est en moyenne à 1,5 m de profondeur par rapport au sol. Elle forme un dôme au niveau de la ville d'Ouargla provoquant des nombreuses nuisances.

Les profondeurs les plus faibles (entre 0,15 m et 0,25 m) ont été mesurées à proximité du chott d'Oum Er Raneb lorsque le niveau d'eau de ce dernier était au plus haut. La nappe est également à plus faible profondeur en bordure des palmeraies

En considérant l'ensemble de la vallée, il semblerait que le niveau piézométrique est en baisse régulière d'une année sur l'autre à l'exception des points suivants :

Zones irriguées proches du chott d'Oum Er Raneb, agglomération d'Ouargla. L'évolution de la profondeur de la nappe est jugée anarchique et dépendant largement des fuites du réseau d'AEP,

Vulnérabilité des eaux de la nappe superficielle d'Ouargla a la pollution

du niveau d'assainissement et de drainage de la palmeraie, et en fin de saison hivernale, la nappe au niveau de la Sebkha Safioune est entre 1,15 et 1,5 mètre de profondeur. En été le niveau baisse de 6 à 13 cm par ascension capillaire et évaporation.

La nappe phréatique repose sur un substratum imperméable de plus de 20 mètres d'épaisseur qui empêche toute communication entre la nappe phréatique et la nappe du Mio-Pliocène sous jacente.

Les eaux de la nappe phréatique se caractérisent par une conductivité électrique très importante et traduit une minéralisation excessive des eaux de cette nappe. Cette dernière se trouve influencée, tant par les évaporites que par les carbonates, et tant par les chlorures que par les sulfates. Le faciès géochimique dominant est chloruré sodique. La qualité des eaux de la nappe superficielle de la cuvette d'Ouargla montre des eaux non potable pour la consommation humaine a cause de la pollution en nitrate, en phosphate, en nitrite .etc. Avec un risque sévère pour le sol et les plantes.

L'examen de la carte de vulnérabilité (méthode de GOD) montre de la nappe superficielle d'Ouargla à une vulnérabilité très forte à forte, a cause de faible profondeur de la nappe, le seul paramètre qui change dans tous l'extasie de la nappe superficielle.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AMMOUR.F, TOUIL.Y. (2007): Etude des possibilités de la réutilisation des eaux de drainage dans la cuvette de Ouargla.
- ABD EL-RAHMAN, (1998) : Etude hydrogéologique de la nappe phréatique de la cuvette de Ouargla, Rapport interne ANRH- Ouargla.-ANAT (2003) : Etude de modernisation de l'agglomération de Ouargla (Décembre 2003)
- BELLAOUER. A, (2008) : Etude hydrogéologique des eaux souterraines de la région de Ouargla Soumise à la remontée des eaux de la nappe phréatique et Perspectives de solutions palliatives.
- BELLAOUEUR.A, ABIDI SAAD.M. (2004) : Etude hydrogéologique du Continentale intercalaire et du Complexe terminal dans la cuvette de Ouargla. Mémoire Ing en hydrogéologie. Univ, Constantine.
- BEL F. CUCHE D. (1970) : Mise au point des connaissances sur la nappe du Complexe Terminal, ERSS, Ouargla.
- BOUSELSAL.B (2007) : Etude hydrogéologique et hydrochimique de la nappe phréatique d'El-Oued. Mémoire de magistère, université d'Annaba.109 p
- BUSSON G. (1970) : Principes, méthodes et résultats d'une étude stratigraphique du Mésozoïque saharien. Thèse Paris.
- DUBIEF J. (1963) : Le climat du Sahara. Institut des recherches sahariennes. Mémoire hors série, tome1 et2.
- DUBOST D. (1992) : « Aridité, agriculture et développement : le cas des oasis algérienne » in sècheresse n° 2, vol.3, Juin 92.
- FABRE.J. (1976) : Introduction à la géologie du sahara algérienne. SNED, Alger, algérie.
- HALASSA.Y. (2007) : La cartographie géotechnique de la région de Ouargla. Mémoire ing. Univ de Ouargla.
- J.P. LABORDE (2000) : éléments d'hydrologie de surface, Université de Nice - Sophia Antipolis.
- KHECHANA.S (2007) : Etude de la gestion intégrée des ressources en eau dans la vallée d'oued souf (sud est Algérie). Mémoire de magistère, université d'Annaba.

Vulnérabilité des eaux de la nappe superficielle d'Ouargla a la pollution

- LAGHRIB. A. (2007) : Influence des eaux de la nappe phréatique sur les ouvrages hydrauliques et génie civil. « Cuvette de Ouargla ».
- MAHBOUB.K. (2002) : Etude hydrogéologique du Complexe Terminal et du Continental Intercalaire dans le Tiers sud de la ville de Oued R'high « Touggourt ».
- MARESCOT.L. (2007): Géophysique appliquée à l'archéologie. Partie 1: méthodes électriques, sismiques et gravimétriques
- OULED BELKHIR : Contribution à l'étude et établissement du bilan hydrologique de la cuvette de Ouargla. Thèse de magistère. Univ SAAD DAHLEB EB-BLIDA.
- RICHARD. L. (2000) : Géophysique appliquée au génie civil
- SELLAMA.A. (1998) : Etude hydrogéologique des nappes aquifères de Ouargla. Mémoire ing. Univ de Constantine.
- UNESCO. (1970): Projet ERSS. Etude des ressources en eau du Sahara septentrional. Rapport final, Paris.
- S. BOUTALEB. Impact de la géologie et du climat des bassins versants sur la qualité des eaux d'une grande nappe alluviale en climat semi-aride. Application aux relations hydrologiques entre le Haut-Atlas-Occidental et la plaine du Souss. Th. Doct. Univ. Sci. D'Agadir Maroc 170 (2000).
- J. L. BANNER. Controls on the regional – scale salinization of the Ogallala aquifer, Southern High Plains, Texas, USA. Applied Geochemistry (2000).
- I.D. NEZLI. Mécanismes d'acquisition de la salinité et de la fluoration des eaux de la nappe phréatique de la basse vallée de l'Oued M'ya (Ouargla), mémoire de Magister, Univ. Annaba (2004)
- S. RIAD. Typologie et analyse hydrologique des eaux superficielles à partir de quelques bassins versants représentatifs du Maroc, Thèse de Doctorat de l'université d'Agadir (2003).
- R.F. Lelièvre. L'évaporation dans les Chott et sebkhas de la région de Ouargla. Rapport N° 2, Geoh.266 (Octobre 1969)
- ZEDDOURI. A- caractérisation hydrogéologique et hydrochimique des nappes du complexe terminal de la région d'ouargla.UKMO. Thèse de doctorat. P172

Résumé

Vulnérabilité des eaux de la nappe superficielle d'Ouargla a la pollution

La région d'étude est localisée au Nord-Est du Sahara septentrional. Elle occupe le fond d'une cuvette dans la basse vallée de l'oued Mya. Elle s'étend sur une superficie totale de l'ordre de 95000 Ha,

La qualité des eaux de la nappe superficielle de la cuvette d'Ouargla montre des eaux non potable pour la consommation humaine a cause de la pollution en nitrate, en phosphate, en nitrite .etc. Avec un risque sévère pour le sol et les plantes.

Les eaux de la nappe phréatique se caractérisent par une conductivité électrique très importante et traduit une minéralisation excessive des eaux de cette nappe

L'examen de la carte de vulnérabilité (méthode de GOD) montre de la nappe superficielle d'Ouargla à une vulnérabilité très forte à forte, a cause de faible profondeur de la nappe, le seul paramètre qui change dans tous l'extasie de la nappe superficielle.

Vulnerability of water surface slick Ouargla to pollution

The study area is located in the north-east of the northern Sahara. It occupies the bottom of a basin in the lower valley of the Oued Mya. It covers a total area of about 95,000 ha,

The water quality of surface water in the bowl Ouargla shows non-potable water for human consumption because of the pollution of nitrate, phosphate, nitrite. Etc... With a severe risk to the soil and plants.

The waters of the aquifer is characterized by a very high electrical conductivity and resulting excessive mineralization of the ground water

An examination of the vulnerability map (method GOD) shows the surface slick Ouargla a very high vulnerability to strong, because of shallow groundwater, the only parameter that changes in all the ecstasy of shallow aquifer.

حساسية الطبقة العلوية للمياه الجوفية لورقلة من التلوث

تقع منطقة الدراسة في الشمال الشرقي من شمال الصحراء. وتحتل الجزء السفلي من الحوض في وادي السفلي من واد ميا. وهو يغطي مساحة إجمالية قدرها حوالي 95,000 هكتار
نوعية المياه السطحية في حوض ورقلة يبين المياه غير الصالحة للشرب للاستهلاك البشري بسبب التلوث من النترات والفوسفات والنترت. إلخ. مع خطورة شديدة على التربة والنباتات.
وتتم المياه الجوفية من قبل الموصلية الكهربائية العالية جدا والناجمة من التمعدن المفرط للمياه الجوفية
دراسة الخريطة (طريقة GOD) يبين سطح ورقلة ثغرية عالية جدا