

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



N° Réf :.....

Centre Universitaire de Mila

Institut des Sciences et de la Technologie

Département de Sciences et Techniques

**Projet de Fin d'Etude préparé En vue de l'obtention du diplôme
LICENCE ACADEMIQUE
en Hydraulique
Spécialité : Sciences Hydrauliques**

**Thème
Contribution à l'étude de la nappe du Mio-
pliocène dans la région du Zab chergui**

Préparé par :

BENATMANE Zinealabidine
HED MESSAOUD Walid
OSMANE Kamel

Dirigé par :

CHEBBAH Mohamed

Année universitaire : 2013/2014

Dédicace

Je dédie ce travail à:

Mon père Kamel, ma mère qui ont toujours crus en moi et ont mis à ma disposition tous les moyens nécessaires pour que je réussisse dans mes études.

A mes frères et mes soeurs.

A tout ma famille.

En reconnaissance de tous les sacrifices consentis par tous et chacun pour me Permettre d'atteindre cette étape de ma vie.

tous les membres de ma promotion.

Spécial dédicace à Hamza, Erabbie, amar, chamçe edine, rabah

A tous mes amis.

A tous mes professeurs.

Walid

Dédicace

Je dédie ce travail à:

Mes parents

Vous vous êtes dépensés pour moi sans compter.

*En reconnaissance de tous les sacrifices consentis par tous
et chacun pour me*

Permettre d'atteindre cette étape de ma vie.

Avec toute ma tendresse.

A mon frère et ma sœur.

Spécial dédicace à adel, laribi et abdelmalik.

A tous les membres de ma promotion.

A mes amis.

A tous mes professeurs.

Kamel

DEDICACES

A mes très chers parents qui m'ont beaucoup

Aidé, Soutenu, et encouragé ;

A mes très chères soeurs

A mon beau-frère Karim

A tous mes amis de l'CUM

A toute la famille benatmane

A mon binôme et ami walid avec qui j'ai

Partagé ce modeste travail;

A tous ceux que j'aime tant et que je n'ai

Pas cités.

Je dédie ce mémoire ...

Zinealabidine

Remerciement

Nous tenons à remercier toujours et par cette occasion, en premier et avant tout, <<ALLAH>>, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur Mr : CHEBBAH MOHAMED pour son précieux conseil et son aide durant toute la période du travail.

Et nous remercions spécialement : M . RACHID OSMAN

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours soutenus et encouragés au cours de la réalisation de ce mémoire.

Merci à tous et à toutes.

Introduction Générale

Dans la région des Zibans, les eaux souterraines constituent la principale ressource hydrique exploitée dans la région, que ce soit pour l'alimentation en eau potable des habitants ou pour l'irrigation des cultures.

Dans cette région les aquifères ou nappes souterraines les plus sollicités sont celles du Complexe Terminal avec la Nappe des Calcaires dans le Zab el Gharbi, et celle des Sables ou du Mio-pliocène dans le Zab el Chergui.

La charge chimique de eaux dans ces régions est souvent élevée (eaux moyennement à fortement chargées), ce qui constitue une inquiétude permanente pour les populations en l'absence de moyens de traitement et/ou adoucissement de ces eaux dans la plupart des agglomérations.

Cependant, pour mettre ces eaux au service de la population de cette région, les travaux exigés sont toujours pénibles, longs et coûteux ce qui entraîne de fréquent déséquilibre entre les ressources utilisables et les besoins indispensables. Aussi, dans cette région comme dans beaucoup d'autres, l'implantation des forages se fait d'une manière confuse et aléatoire. Malgré la disponibilité des réserves, le choix du débit prime encore sur celui de la qualité et autant de variétés d'eau sont distribuées et parfois dans une même agglomération.

Devant l'agression quotidienne de ces eaux dans un contexte économique difficile, la recherche de solutions mêmes partielles ou provisoires apparaît plus qu'imposées ; toutefois, la connaissance du chimisme de ces eaux et de ses facteurs déterminants constitue le point clé à toute solution du problème.

L'objectif de notre étude est la caractérisation hydrogéochimique des eaux de la nappe des sables dans leur contexte naturel et ceci dans le but de voir les filiations ou relations qui peuvent exister entre :

- la chimie des eaux et leur contexte pétro-structural
- la répartition spatiale des ions et par conséquent des facies de ces eaux et la géométrie de l'aquifère.

Cependant, comme la qualité chimique de ces eaux n'est en réalité que le résultat final d'un ensemble de processus naturels qui s'opèrent successivement de la source à la zone de stockage. L'étude de ces processus dans leur contexte naturel (caractéristique chimiques, relation chimisme - contexte structural, répartition spatiale - délimitations des zones de chimie différente - des faciès de ces eaux) permette, donc, de déterminer les facteurs influençant ou

contrôlant le chimisme de ces eaux ainsi que leur répartition dans la zone d'étude. Ceci peut aider quant au choix des zones de captage et principalement l'implantation des forages destinés à l'A E P.

A fin de pouvoir aborder le sujet et modestement contribuer à la solution du problème posé, nous étudierons la nappe du Mio-pliocène dans le Zab el Chergui en utilisant les données brutes des analyses physico-chimiques disponibles au niveau de la D.H.W de Biskra concernant sa partie supérieure car sa partie inférieure est peu exploitée dans cette région et donc son étude qui ne sera basée que sur les données de quelques forages nous a paru abusive.

Notre travail comporte deux parties essentielles :

- La première partie sera consacrée à une synthèse bibliographique avec une description du cadre naturel régional de la zone d'étude (géographie, climat, géologie et hydrogéologie) d'une part et la caractérisation du cadre local de la nappe du Mio-pliocène celui du Zab Chergui ou Fosse Sud Aurésienne de l'autre part.
- La deuxième partie se consacrera à l'étude hydro-géo-chimique détaillée des eaux de la nappe du Mio-pliocène (traitement qualitatif et quantitatif - caractérisation et répartition des eaux et leur relation avec le cadre pétro-structural régional et local de l'aquifère).

Nous concluons, par une mise en relief des principaux résultats de cette étude et les recommandations qui se dégagent.

PREMIÈRE PARTIE

Cadre Naturel de la Nappe des Sables

Le but de cette première partie consiste en une présentation d'ensemble du cadre naturel de la nappe des sables dans les Zibans. Nous donnerons un aperçu général sur la fosse sud aurésienne dans son contexte régional : celui du Bas Sahara septentrional. Nous commencerons par une présentation du cadre géomorphologique et climatique du bassin des Grands Chotts ensuite nous aborderons l'étude du contexte géologique (régional et local) et nous terminons cette partie par une étude hydrogéologie de la région. Ce qui nous permettra de mieux préciser le cadre litho-structural de l'aquifère étudié (nappe des sables) dans son contexte naturel global. Ceci nous aidera, dans l'étude hydrochimique, de mieux comprendre ou d'expliquer, la nature et la répartition des faciès des eaux de cet aquifère dans le Zab Chergui.

Ch. I Cadre géographique et climatique

Le Zab Chergui couvre une partie très importante de la willaya de Biskra et s'étale sur toute la partie orientale des Zibans (Zab el Chergui). Partie intégrante du grand bassin oriental du Bas Sahara, elle dessine une cuvette synclinale dissymétrique à surface faiblement pentée vers le Sud et forme, par conséquent, l'exécutoire naturel du bassin des Grands Chotts ce qui lui donne autant de caractéristiques propres que ce soit géomorphologiques, climatiques ou Hydrogéologiques.

1.1. Localisation géographique :

La région d'étude se situe à l'Est de Biskra entre 5°,50' et 60°,45' de longitude est entre 34°,50' et 34°,30' de latitude Nord (figure n°1).

Elle fait partie du Bas Sahara et constitue (on forme) sa partie la plus septentrionale.

Elle est limitée au Nord par les reliefs atlasiques de Djebel Guechrich entre fom-EL-Gherza et Khangeuet Sidi Nadji. Elle forme une dépression au Sud de l'accident Sud atlasique ou les altitudes s'abaissent progressivement du Nord vers le Sud.

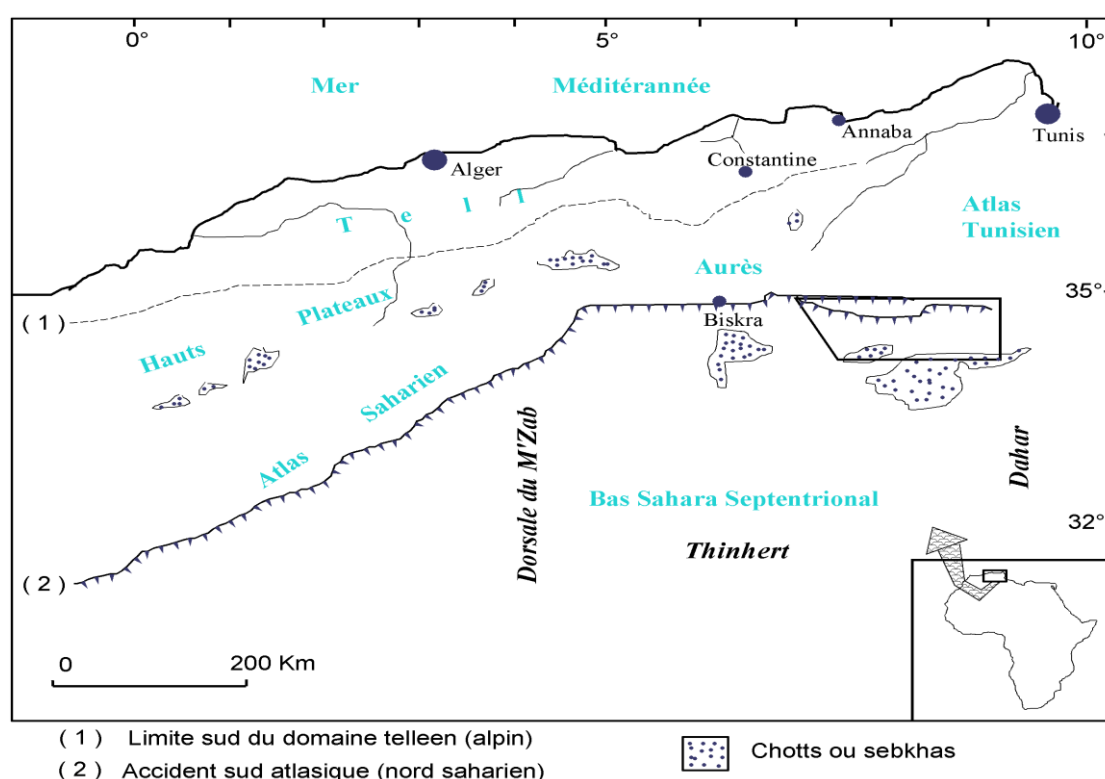


Fig. 1 : unités géomorphologiques du Nord de l'Algérie et localisation de la zone d'étude ;(Chebbah, 2007).

1.2. Le relief :

Le Zab Chergui ou Fosse Sud Aurésienne constitue une zone de transition entre les domaines atlasiques plissés du nord et les étendues plates et désertiques du Sahara au sud.

Elle se divise en trois entités géographiques distinctes :

- Une zone de montagnes qui borde la limite septentrionale de la région (djebel Guechrich et Chaîne de Djebel Rhélliss).
- Une zone de plaines qui couvre la majeure partie de ce territoire.
- Une zone de dépression : qui constitue le point de convergence et d'exécutoire naturel de la majorité des grands oueds de Biskra.

1.3. Climatologie :

1.3.1. Température :

La région d'étude partie intégrante des Zibans, elle est caractérisée par un climat chaud et sec, les minima absolus atteignent rarement le zéro.

La période froide correspond aux mois de décembre – janvier – février et mars dont la température moyenne est de 5⁰C.

Quant aux périodes chaudes, le maximum absolu dépasse très fréquemment la valeur de 45⁰C en juin – juillet et août. Les minima absolus sont toujours supérieurs à 20⁰C.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	O	S	O	N	D	Moy
Moy	11.9	13.7	17.2	21.6	26.2	31.7	35.6	34.6	33.1	23.1	16.9	12.2	22.9

Tableau n° 1: température moyenne mensuelle de la région du Ziban (1980-2012)

(ANAT Biskra).

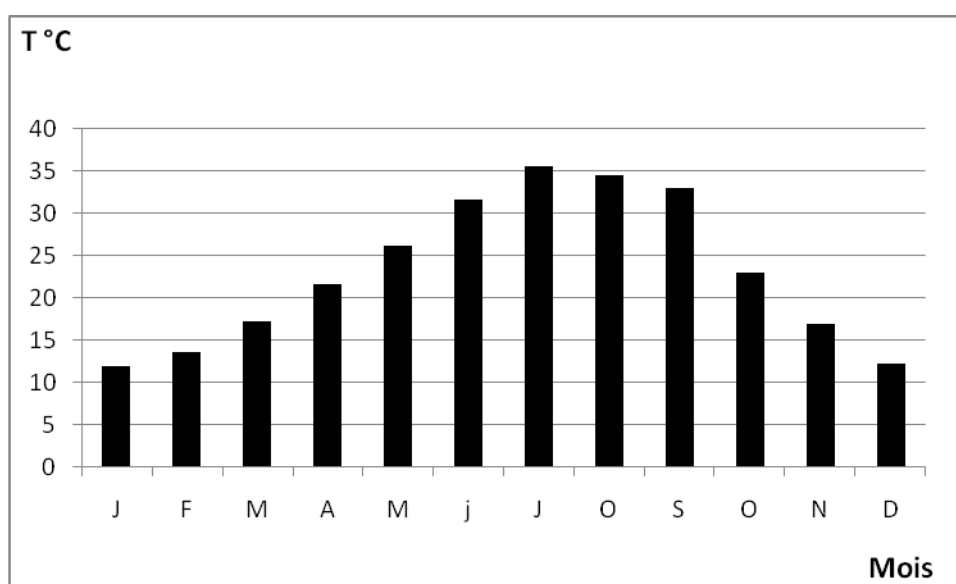


Fig. 2 .Histogramme température moyenne mensuelle de la région du Ziban (1980-2012).

1.3.2. La pluviométrie :

D'après (DUBIEF, 1963), les précipitations sahariennes ont des origines différentes selon les saisons. En été elles sont dues aux dépressions de mousson ; En hiver, elles proviennent des dépressions qui accompagnent la migration vers le sud, des fronts polaires. Pendant les saisons intermédiaires, la précipitation est due aux dépressions Soudano - Sahariennes qui traversent tout le sud du Sahara.

Sur le bassin oriental les moyennes intro - annuelles de pluies sont de l'ordre de 40 à 50 mm pendant l'année. Seule la période d'octobre à avril, avec des pluies éventuelles d'intensité supérieure à 10 mm/24h est favorable à l'infiltration.

Pour la région de la fosse sud - auresienne, les valeurs moyennes annuelles sont faibles, caractérisant un climat semi-aride avec des pluviométries annuelles moyennes de 69,23 mm, toute fois les variations interannuelles sont fortes.

La distribution mensuelle fait apparaître un maxima correspondant aux pluies hivernales (mois de Février).

Les minima d'été sont caractérisés par de très faibles pluies, qui sont presque nulles certaines années, pendant les mois d'Août et Juillet.

Le tableau suivant présenté sur la base d'une série pluviométrique de douze années d'observation entre 1992 et 2004, montre la distribution pluviométrique mensuelle de la région.

Mois\Année	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Total annuel
92/93	-	-	-	-	0.0	165.0	31.0	M	M	M	M	M	196.0
93/94	M	M	M	M	50.0	60.0	66.0	0.0	0.0	M	0.0	0.0	176.0
94/95	M	39.5	0.0	0.0	34.0	0.0	0.5	0.0	0.0	M	M	0.0	74.0
95/96	90	0.0	31.0	29.5	35.5	19.9	11.3	2.4	0.0	0.0	2.0	0.0	208.6
96/97	1.4	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	27.0	0.0	0.0	0.0	0.0	29.1
97/98	2.0	0.0	2.1	3.6	0.5	7.5	0.5	10.9	1.7	18.0	0.0	0.0	46.8
98/99	0.0	9.0	0.5	1.2	24.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34.9
99/00	8.6	6.0	3.0	8.2	0.0	0.0	0.0	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	26.4
00/01	0.0	0.0	0.0	1.3	6.3	0.0	0.0	12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	20.1
01/02	4.3	0.0	14.9	8.9	2.3	0.0	0.0	0.0	5.9	0.0	1.8	2.8	40.9
02/03	0.0	2.9	11.6	0.0	-	0.6	0.5	3.2	0.1	11.8	0.0	0.0	30.7
03/04	6.2	14.2	2.7	5.7	-	5.5	32.5	4.8	2.5	-	-	-	74.1
Moy	9.3	5.96	5.54	4.86	11.65	21.54	4.8	5.3	0.85	2.48	0.326	0.23	69.23

Tableau n° 2 : Série de distribution mensuelle de la pluviométrie enregistrée à la

Station de M'Ziraa entre 1992-2004 (l'ANRH, Biskra).

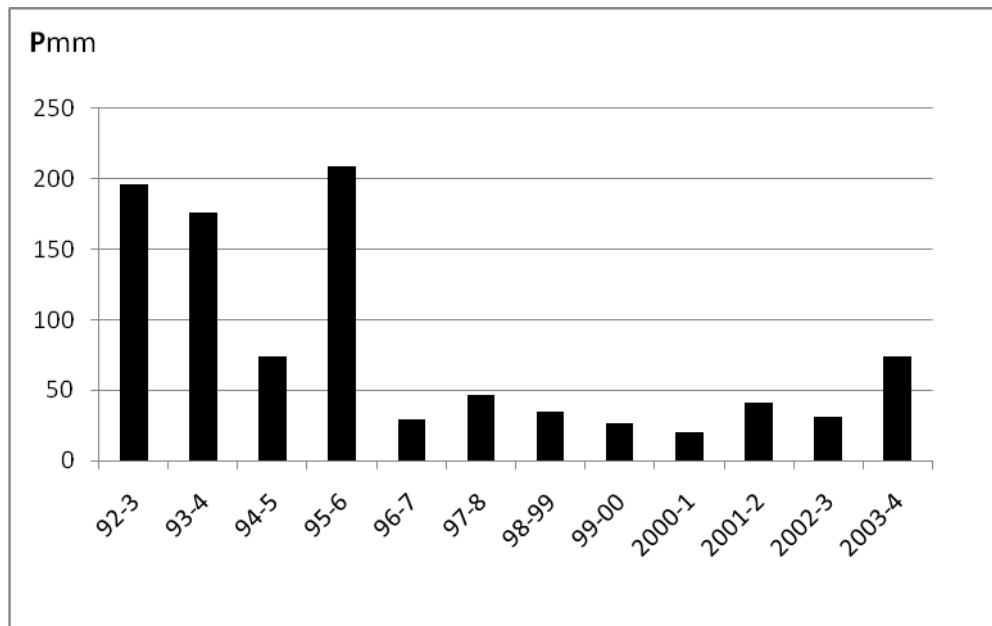


Fig. 3 .Histogramme de distribution annuelle de la pluviométrie enregistrée à la Station de M'Ziraa entre 1992-2004.

La carte de la répartition de la pluviométrie (figure) indique que les régions situées à Est de Biskra (Zab el Chergui) enregistrent une pluviométrie plus faible que celles situées à l'Ouest (Zab el Gharbi).



Figure 4 : Carte de la répartition de la pluviométrie, région de Biskra (Extrait de la carte pluviométrie de l'Algérie au 1/500.000, 1971).

I 5. Conclusion :

De ce qui précède nous retiendrons que :

- La fosse sud –aurésienne est située à l'Est de Biskra entre $5^{\circ},50'$ et $60^{\circ},45'$ de longitude est entre $34^{\circ},50'$ et $34^{\circ},30'$ de latitude Nord.
- Elle constitue une zone de transition entre domaines atlasique plissés du nord et les étendues plates et désertiques du Sahara au sud.
- Le climat de la région est semi-aride.
- Les valeurs moyennes annuelles de la pluviométrie sont faibles (69,23 mm).

Ch. II Cadre Géologique

Dans son ensemble la cuvette du Sahara nord –oriental constitue un vaste bassin sédimentaire subsidés qui s’est formé au cours des ères géologiques (du moins du temps Premier au temps Actuel). Elle présente une structure synclinale de premier ordre souvent perturbée par des structures secondaires opposées (replis) et des fractures, ce qui lui confère autant de particularités paléogéographiques et structurales locales caractéristiques dans plusieurs de cas.

Les formations aquifères dans cette région, sont donc toutes d’origine sédimentaire, la région a connu, en effet au cours de son histoire géologique de longues phases de sédimentation alternativement marines et continentales (Cornet A.,1961) qui ce sont traduites par une diversité de faciès lithologiques et une accumulation en alternance de formations perméables et d’autres imperméables ce qui a favorisé la formation de grands aquifères souterraines parmi lesquels on trouve celui du « Continental Terminal ».

Elle se divise en deux grands domaines; la plate forme saharienne proprement dite au sud et le sillon pré-africain (ou saharien) au nord dont fait partie la Fosse Sud Aurèsienne.

Afin d’éclaircir l’ambiguïté ou la confusion souvent utilisée nous donnerons, Avant de décrire les différentes formations géologiques, une définition du continental Terminal.

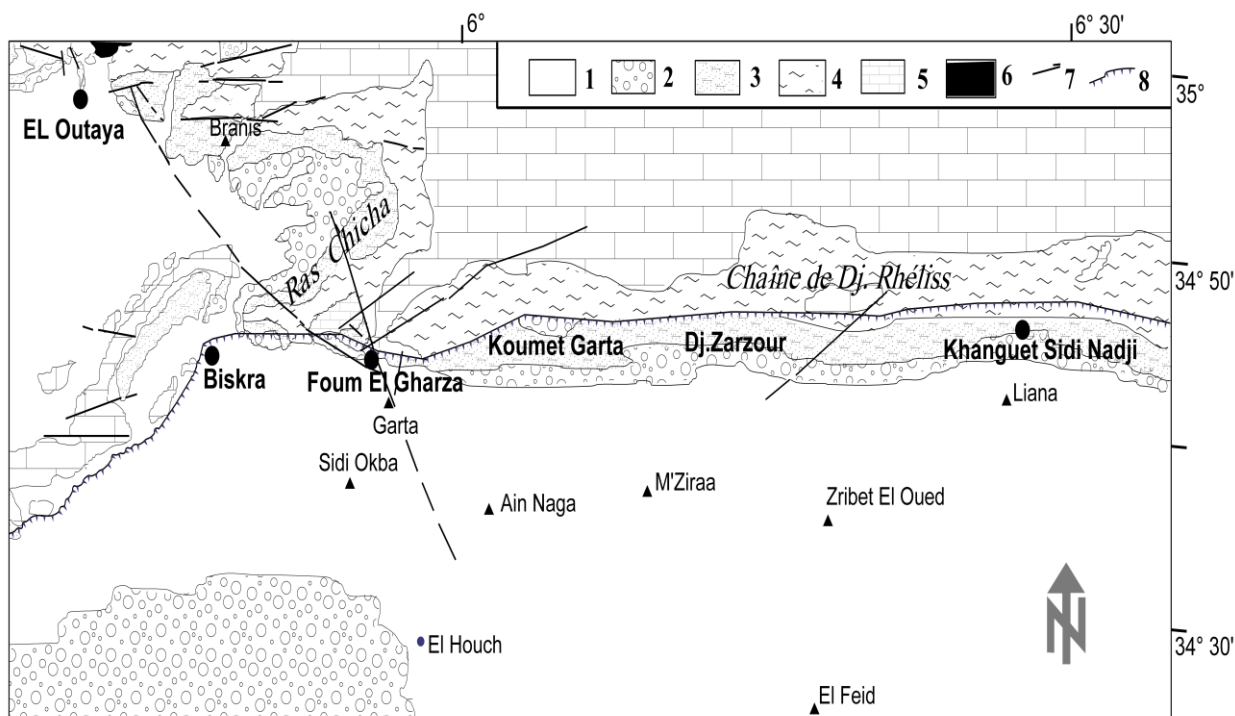


Fig. 5 .Carte géologique du Zab Chergui.

II 1. Lithostratigraphie de la région :

Du point de vue litho-stratigraphique, les formations formant la cuvette du Bas Sahara sont principalement secondaires et tertiaires. Il s'agit surtout de formations carbonatées, pelitiques ou silicoclastiques qui se sont alternées au cours des différents âges et qui ont permis, par leurs caractères pétrographique, granulométrique, et textural, l'individualisation de plusieurs aquifères du crétacé à l'actuel comme le montre la colonne stratigraphique de la figure n°6.

Le dispositif litho-stratigraphique régional se résume dans ce qui suit :

II 1.1. Le Crétacé : dans lequel on distingue:

- **Turonien** : il comporte des argiles gypseuses avec de rares passées de calcaires dolomitiques et une alternance de calcaires gris et d'argiles grises ou vert-foncé avec des passées d'anhydrite massive.
- **Sénonien**
- **Coniacien-Santonien** – : il est, principalement, formé de calcaires Marneux et de marnes blanchâtres.

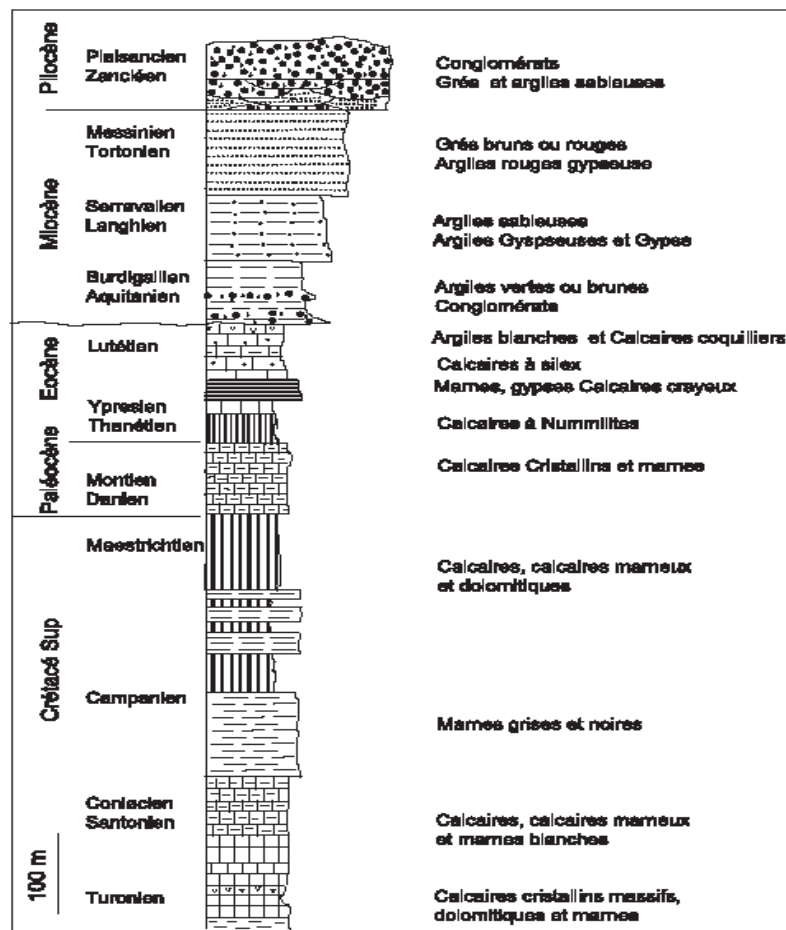


Fig.6 : Log litho-stratigraphique de la région des Zibans (Chebbah, 2007).

- **Campanien** : il comporte des marnes, des marnes calcaires, des calcaires gris et des calcaires oolitique.
- **Maestrichtien** : il est formé d'une alternance de calcaires dolomitiques, de marnes, d'argiles gypseuses avec quelques passées d'anhydrite.

II 1.2. Eocène :

- **Eocène inférieure (Ypresien)** : il est formé d'une succession de bancs de calcaires Crayeux, de dolomies argileuses et de marnes blanches avec quelques niveaux de silex noirs.
- **Eocène moyen (lutétien)** : il est formé d'une alternance d'argiles grises, de gypses et anhydrites et de calcaires dolomitiques

II 1.3. Mio-pliocène :

- **Miocène** : il est constitué d'argiles ou marnes multicolores, de sables ou grés et de conglomérats ou gravies avec présence de gypse presque à tous les niveaux
- **Pliocène** : il est formé principalement de Conglomérats, de bancs de grés et d'argiles sableuses à proximité des massifs passant à des formations rouges sableuses et de gypse dans les plaines.

II 2.4. Quaternaire : il comporte les termes suivants :

- **Ancien** : Conglomérats, surtout, près des montagnes, de dépôts sableux, limoneux et argileux dans les plaines et les dépressions.
- **Moyen** : (Deb–Deb), calcaro-gypseux, alluvions sableuses et argileuses.
- **Récent** : cailloutés et éboués au pied des montagnes, dunes de sables, alluvions sableuses et caillouteuses des lits actuels des oueds.

La limite entre le Mio-pliocène et le substratum crétacé-éocène est marquée par une discordance régionale nette (tectonique, angulaire ou cartographique). De même, il se sépare des formations quaternaires sus-jacentes par une discordance souvent angulaire dans le Quaternaire est presque partout horizontal.

II.2. Tectonique :

Du point de vue tectonique, le secteur étudié ainsi que les régions voisines, ont été l'objet moins trois phases tectogéniques principales :

- La phase éocène ou atlasique (lutétienne).
- La phase miocène (aquitano-burdigalienne).
- La phase plio-quaternaire (Fini -pliocène, quaternaire basal).

Les deux phases principales sont la phase atlasique et celle du Quaternaire basal. Elles correspondent aux deux principales phases de plissement majeures dans toute la région. La première a donné des plis Les plis vastes (plusieurs dizaines de kilomètres) assez réguliers et

souples dont l'orientation est voisine de N 60 E. la deuxième a donné lieu à des plis obliques sur les précédents d'une orientation E – W.

Aussi ces différentes phases tectoroogéniques ont provoqué un important réseau de fractures et failles d'ampleur et d'orientation variables et qui ont pu rejouer durant des périodes différentes. Elles se regroupent en quatre groupes selon leur orientation : N-S à N30°E, N45°E, N80°E à N100°E, N120°E à N160°E. Les deux derniers, les plus fréquemment représentées, montrent dans plusieurs secteurs de la région un passage progressif de l'un à l'autre.

II.3. Géométrie des corps sédimentaires néogène d'après l'étude des affleurements et des données de forages :

La corrélation des coupes de terrain, au niveau de la chaîne de Rhélliss où affleure toute la série du Néogène, et les données des forages profonds effectués dans la fosse et qui ont atteint le substratum dans les localités d'Ain Naga et El Feidh, nous a permis de visualiser l'organisation géométrique de l'ensemble de la série néogène dans la région étudiée – Fosse Sud Aurésienne – en regroupant les différents termes lithologiques présents en ensembles ou unités lithologiques (figure n° 7).

La géométrie 2 D montre, en plus de la disposition synclinale des formations néogènes sur l'ensemble de la cuvette connue depuis les temps, une discordance des ensembles supérieurs sur les ensembles inférieurs avec une augmentation des épaisseurs du Nord (chaîne de Reliss) vers le Sud (centre de la Cuvette). Elle remet en cause une distinction, basé sur la profondeur, des deux sous aquifères reconnus.

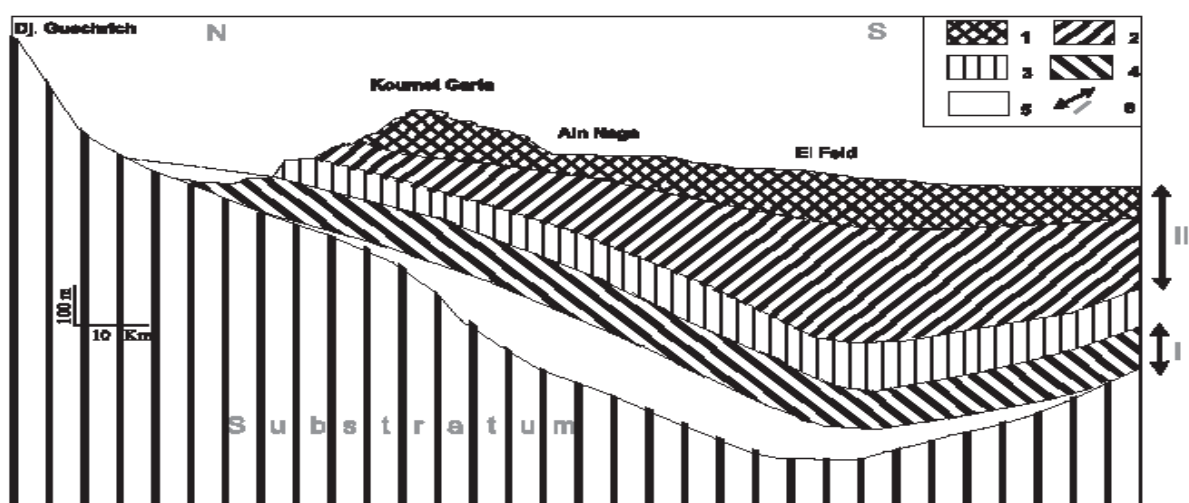


Figure. 7 Caractérisation du réservoir de la nappe des sables.

Unité inférieure : 5- sous unité argilo-sableuse, 4- sous unité argilo-sablo-graveleuse

Unité supérieure : 3-Semi-imperméable, 2 - sous unité gréseuse, 1- sous unité grésogglomératique. I- Aquifère inférieur, II- Aquifère supérieur

II 6. Conclusion :

En conclusion de ce chapitre il convient de se rappeler ici que :-

- Les formations géologiques dans la région d'étude sont d'origine sédimentaire. Elles forment deux ensembles discordants dont le premier est créacé - éocène alors que le second est complètement néogène (Mio-pliocène).
- La région a été le siège d'une tectonique cassante intense et qui se manifeste sur le terrain par plusieurs failles d'orientations différentes.
- Les dépôts néogènes - Continental Terminal - sont constitués de plusieurs ensembles : un ensemble argileux à la base discordant sur le substratum surmonté par un ensemble argilo- sableux ou gréseux ensuite vient un ensemble argilo- sableux ou gréseux fins à passages graveleux et qui se termine par un ensemble gréso-conglomératique...
- La géométrie 2 D de la fosse montre, en plus de la structure synclinale de l'ensemble, une discordance entre les différents ensembles cités ci-dessus avec une réduction des épaisseurs des deux derniers ensembles du Sud (centre de la Cuvette) vers le Nord (chaîne de Reliss).

Ch. III : Cadre hydrogéologique

La Fosse Sud Aurèsienne fait partie du grand bassin hydrogéologique du Bas Sahara et appartient au bassin oriental du Bas Sahara septentrional. Elle présente plusieurs réservoirs souterrains (aquifères) d'importance bien distincte de part leur nature lithologique, leur structure géologique et leur facilité d'exploitation.

III.1. Complexes aquifères du Bas Sahara Nord-oriental :

Dans cette région caractérisée par une aridité marquée et des écoulements superficiels limités, ce sont les eaux souterraines qui font son originalité, car indépendantes des fluctuations climatiques actuelles, exceptées les nappes phréatiques. Elle comporte plusieurs aquifères qui se regroupent en deux grands complexes : -

- Le complexe du Continental Intercalaire (C.I) connue sous le nom de la Nappe Albienne d'une extension qui dépasse de beaucoup la dépression du Bas-Sahara.
- Le Complexe Terminal qui regroupe :
 - o La nappe des calcaires sénoniens et éocènes.
 - o Les nappes du continental terminal (C.T) connues sous le nom des nappes des sables ou du Moi-pliocène.
 - o Les nappes phréatiques du Plio-quadernaire.

III 1. L'aquifère du Continental Intercalaire

La nappe du Continental Intercalaire est contenue dans des formations post-paléozoïques sablo-gréseuses qui vont du Trias à l'Albien et qui sont représentées par une alternance de couches grésosableuses et argileuses où les niveaux perméables prédominent.

Exploitée dans le Bas Sahara algérien depuis 1954, elle couvre la totalité du territoire saharien septentrional sur environ 600.000 km² et s'étend :

- Du Nord au Sud depuis l'Atlas Saharien jusqu'au Tassili du Hoggar.
- D'Ouest en Est depuis la vallée de la Saoura jusqu'au désert Libyen et la Tunisie pré-saharienne.

Son épaisseur moyenne est de 600 m dont presque la moitié est constituée par des grés d'une porosité élevée qui est de l'ordre de 26% (Castany, 1982).

Le schéma hydraulique de l'aquifère établi par Castany, fait apparaître trois zones de directions d'écoulement différentes :

- Une direction d'écoulement Ouest - Est draine la zone du Nord-Est de la nappe, vers le chott Djerid, où les eaux s'évaporent. Un drainage dans la même direction souterraine se fait vers le golfe de Gabes.
- Une direction Sud-Nord alimente la zone du sous bassin hydrogéologique du bas Sahara au Nord-Est à partir de la zone d'alimentation de Tihert.
- Une direction liée à la structure géologique d'ensemble de l'aquifère ; car les grands accidents subméridiens et verticaux du Hoggar se prolongent vers le nord dans la couverture, déterminant un compartimentage dans le réservoir. Cependant la continuité lithologique existe et assure une continuité hydraulique dans l'aquifère.

Les zones d'alimentation de la nappe, dans sa partie orientale sont limitées aux zones d'affleurement du réservoir : au Nord, l'Atlas saharien, à l'Est, la région du Dahar en Tunisie.

La minéralisation de l'aquifère est très variable. Elle croît dans des zones d'alimentation vers les exutoires et en profondeur en relation avec les niveaux argileux présents. Dans le bassin oriental elle est maximale au centre du bassin (5 g/l) et diminue vers la périphérie où elle atteint 1.5 à 3 g/l dans le Dahar (Est), le Tihert (Sud) , Ouargla (Ouest) et Zab el Chergui (Nord).

III 2.L'aquifère du Complexe Terminal :

Il se compose de deux ensembles aquifères principaux, d'âge et de lithologie différente, séparés par des formations semi-perméables ou imperméables liées du Cénomaniens. Ce sont :

- Au sommet, le Continental terminal proprement dit, qui couvre la majeure partie du bassin nord-oriental sur une superficie d'environ 350.000 km². Elle est limitée à l'Ouest par la dorsale du M'Zab au Nord par l'accident sud atlasique, à l'Est par le Dahar en Tunisie et au Sud par la falaise méridionale de Tihert selon une ligne passant au nord de l'axe Ain Salah. Elle est constituée par les sables et grés du Mio-Pliocène, couvrant en discordance, pratiquement la totalité de l'Erg oriental depuis la dorsale du M'Zab à l'Ouest jusqu'au Dahar en Tunisie à l'Est.
- A la base, la Nappe des Calcaires qui s'étend sur l'ensemble du bassin. Elle est contenue dans les calcaires du Sénonien et de l'Eocène. Son épaisseur est plus importante dans la région des Zibans (jusqu'à 600 m) et décroît d'une manière significative vers le Sud. Il s'agit d'un aquifère fracturé surtout, en bordure de l'accident sud atlasique.

Par leurs grandes extensions et leurs faibles, ces aquifères sont les plus exploités profondeurs dans la région des Zibans. La nappe des sables est surtout exploitée dans le Zab el Chergui (Fosse Sud Aurésienne : Sidi Okba, Ain Naga, M'ziraa, El Houch, El Feidh,,) par contre, la

nappe des calcaires est exploitée dans le Zab el Gharbi (Tolga, Doucen,,) et la Fosse Aurésienne (Chetma, Sidi Khlil, Droh,).

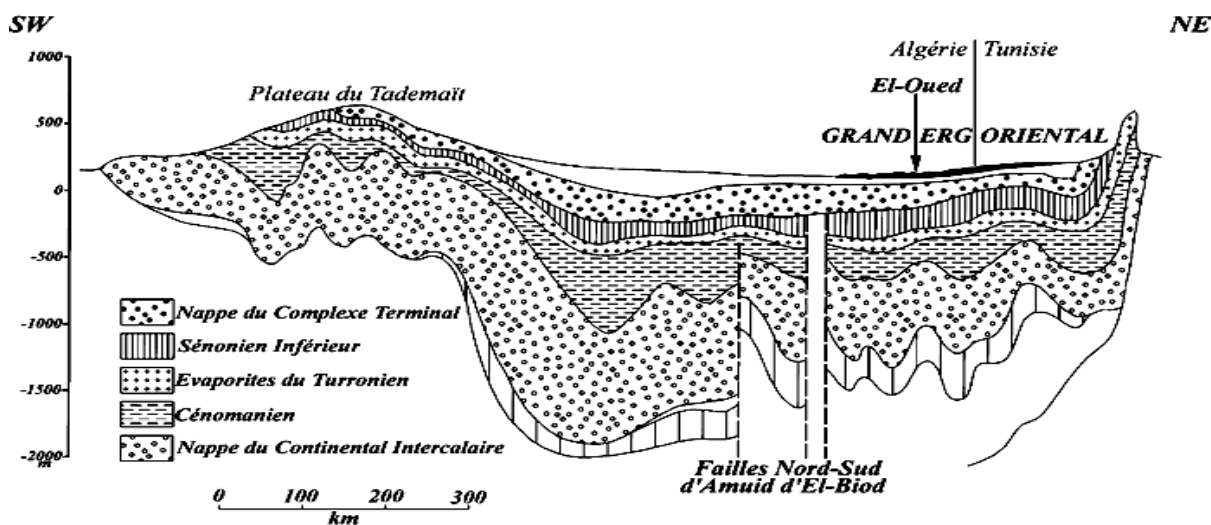


Fig. 8. Coupe hydrogéologique du SASS (in Moula, A. S. et al. 2005).

Dans ce bassin, l'écoulement se fait principalement, du Sud vers le Nord avec des composantes NW-SE ou N-S dans sa partie septentrionale. Et donc les eaux convergent des zones d'alimentation vers les chotts (Merouane, Melghrir, Djerid,), ainsi que vers l'exutoire souterrain du golfe de Gabes. La nappe est en charge au Nord et libre dans sa partie sud. L'alimentation se fait sur les affleurements perméables, par infiltration des eaux de ruissellement apportées par les oueds qui descendent les reliefs de bordure. Un apport non négligeable se fait par l'impluvium propre du Grand Erg oriental. La porosité dépend de la lithologie. Elle est estimée à 30% dans les sables du Mio-Pliocène et à 20% dans les calcaires du Sénonien et de l'Eocène supérieur (Castany, 1982).

Les eaux de ce complexe présentent une grande hétérogénéité verticale et horizontale de faciès corrélative à celle des réservoirs en question. D'une manière générale minéralisation augmente du Sud vers le Nord et il est possible d'identifier, selon Castany, deux zones principales:

- Une zone à minéralisation faible ne dépassant pas 2g/l dans les zones d'infiltration (Nord de Ouargla et l'Ouest du M'Zab et du Dahar).
- Une zone à minéralisation comprise entre 2 et 5g/l (Tunisie, le Nord du Grand Erg oriental - Zibans, Souf, Oued Rhir - et d'Ouargla)

III 3. La nappe des sables :

Elle est Constituée en gros d'une alternance de niveaux argileux, sableux et caillouteux mio-pliocenes, et couvre une grande superficie de la région des Zibans.

Elle est la plus exploitée dans notre zone d'étude qui est la Fosse Sud aurésienne. Elle se subdivise en deux sous-aquifères séparés par une épaisse couche d'argiles et d'argiles sableuses. Le premier (le plus profond) est désigné sous le nom de « Nappe du Pontien » et le second (le moins profond) sous le non de « Nappe du Mio-pliocène indifférencié ».

Le sens d'écoulement principal de la nappe est vers Chott Melghir. L'alimentation de la nappe est assurée par les nombreux accidents de bordure et par infiltration des eaux de crues des oueds (El biod, Guerchich, El Arab).

Unités stratigraphiques	Unités géologiques	Unités lithostratigraphiques	Unités Hydrogéologiques	Complexes Aquifères	
Quaternaire	Alluvions, sables, argiles, conglomérats	Continental Terminal	Nappe phréatique	Nappe du complexe terminal S.S	Nappe du complexe terminal S.L
Moi-pliocène	Alternances d'argiles, sables et conglomérats		Nappe des sables		
Eocène moyen	Argiles gypseuses	Eocène argilo-évaporitique	Semi permeable		
Eocène inf	Calcaires et argiles	Eocène carbonaté	Nappe des calcaires		
Sénonien sup	Calcaires	Sénonien carbonaté			
Maestrichtien					
Campanien					
Sénonien inf	Argiles , gypses, sels	Sénonien lagunaire	Imperméable		
Turonien	Calcaires dolomitiques et dolomies	Turonien dolomitique	Nappe du Turonien		
Cénomanién	Argiles, marnes, marno-calcaires et gypse	Cénomanién argilo-évaporitique	Imperméable		
Albien	Calcaires Marnes - Grés	Albien carbonaté Albien argilo-gréseux	Nappe du Continental Intercalaire	Nappe du Continental Intercalaire	
Aptien	Grés , dolomies	Aptien gréseux			
Barrémien –Lias	Grés				

Complexes aquifères du Bas Sahara Nord-oriental.

Conclusion

En conclusion, il convient de rappeler ici que : -

- le Zab Chergui fait partie du grand bassin hydrogéologique de Chott Melrhir.
- Les principaux aquifères du Sahara septentrional sont :-
Le continental intercalaire et le complexe terminal.
- Le principal aquifère exploité dans le Zab Chergui est celui de la nappe des sables Mio-pliocène.
- Le sens d'écoulement de la nappe du Mio-pliocène se fait en direction de la zone des chotts (Melghir, Merouane,).

Dans cette région caractérisée par une aridité marquée et des écoulements superficiels limités, ce sont les eaux souterraines qui font son originalité, car indépendantes des fluctuations climatiques actuelles, exceptées les nappes phréatiques. Elle comporte plusieurs aquifères qui se regroupent en deux grands complexes : -

- Le complexe du Continental Intercalaire (C.I) connue sous le nom de la Nappe Albienne d'une extension qui dépasse de beaucoup la dépression du Bas-Sahara.
- Le Complexe Terminal qui regroupe :
 - La nappe des calcaires sénoniens et éocènes.
 - Les nappes du continental terminal (C.T) connues sous le nom des nappes des sables ou du Mio-pliocène.
 - Les nappes phréatiques du Plio-quatenaire.

DEUXIEME PARTIE

Analyse Hydro-Géo-Chimique des Eaux De la Nappe du Mio-Pliocène dans le Zab Chergui

L'objet de cette partie consiste en une analyse hydrogéochimique globale des eaux de la nappe du Mio-pliocène dans la Fosse sud-Aurésienne.

Après une présentation et un traitement des données physico-chimiques brutes des eaux de l'ensemble des forages et puits considérés dans notre étude, nous essayons de faire ressortir l'ensemble des principales caractéristiques de ces eaux ainsi que leur répartition spatiale et ceci dans le but de rechercher les principaux paramètres minéralisateurs et d'expliquer la répartition des faciès en relation avec la lithologie et la structure de la région afin de prévoir leur évolution et de proposer des aires d'exploitation plus favorables présentant des eaux moins chargées.

Caractéristiques physico-chimiques des eaux

1. Traitement des données :

Les données brutes des analyses physico-chimiques utilisées dans notre étude correspondent aux prélèvements des eaux de puits ou forages dans la nappe du Mio-pliocène (nappe des sables) effectuées par la D H W de Biskra entre (1979 et 1999) et qui se répartissent sur l'ensemble de la fosse sud aurésienne.

L'ensemble de ces données a été soumis à un test de validité qui consiste au calcul de la déviation relative entre la somme des cations et la somme des anions et qui s'exprime par :

$$\text{Ecart relatif} = (\text{abs} ((\Sigma r^+ - \Sigma r^-) / (\Sigma r^+ + \Sigma r^-)) * 100).$$

Ce paramètre permet de vérifier la précision des méthodes analytiques utilisées et la validité des déterminations chimiques. S'il est inférieur à 5%, les analyses sont considérées comme bonnes; lorsque sa valeur est comprise entre 5% et 10%, les analyses peuvent être à la rigueur retenues ; Par contre au-delà de 10% les analyses doivent être rejetées. Dans ce dernier cas, deux causes essentielles peuvent être évoquées : soit que les méthodes analytiques sont peu précises, soit qu'un ou plusieurs éléments en solutions n'ont pas été dosés.

Pour les eaux de puits de la nappe des sables au niveau de la fosse sud aurésienne; l'écart relatif varie entre 0.01% et 22.5%; cependant seules les analyses ayant un écart relatif inférieur à 10% ont été retenues dans notre étude pour le traitement hydrogéochimique.

Les données brutes des analyses retenues sont reportées dans tableau N° 3.

N èch	X	Y	Z	PH	Cond	TH(F)	R,S	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	CL	HCO ₃	NO ₃	Ecart relatif
1	794,1	174,8	125	8,3	14	57,6	868	198	20	68	11	392	192	79	2	-0,33
2	796,9	171	80	7,9	31	97	1970	158	140	274	22	1035	263	165	12	0,27
3	792,8	167,5	60	8	48	100,2	2990	192	127	564	70	9010	805	348	1	-0,91
4	786,5	172,2	122	7,9	38	83,8	2052	52	172	408	34	8015	595	122	25	-0,84
5	786,9	172,4	122	7,8	30	92,2	1860	208	98	274	27	500	470	275	21	4,47
6	793,8	164	50	8,2	37	71,6	2268	132	94	500	30	635	675	268		0,41
7	793,6	165,5	45	8,2	38	90,2	2446	256	64	500	28	750	687	342	1	-0,01
8	796,2	164,9	40	8,1	44	104,2	2888	218	121	648	35	650	1100	165	1	2,88
9	794,3	165,4	45	8,3	44	104,3	2942	220	120	648	35	740	1100	183		0,67
10	792,8	166,9	60	7,8	49	228,4	3036	480	264	400	36	1980	675	317	4	-0,93
11	793,9	169	65	7,7	44	111	2915	224	134	582	42	630	970	323	11	2,99
12	800,3	162,5	9	8,2	35	78,3	2196	134	109	334	25	520	475	293		3,22
13	803,8	161	7	8,2	37	133,1	2485	248	173	332	18	1000	525	232	3	2,76
14	809,8	161,4	5	7,7	31	83	1672	158	106	308	14	808	375	214		-0,69
15	810,2	1614	7	7,9	26	125,7	2000	438	40	158	12	1040	185	128	6	5,43
16	811,9	164	25	8,2	27	78,7	2142	200	70	180	36	810	275	98	10	-3,54
17	825	164,8	25	7,9	22	50,5	1364	120	50	290	36	302	525	189	4	-1,14
18	820	159,1	0	8,2	18	57,9	1116	176	34	158	14	392	225	207	4	2,44
19	819,1	159,2	4	7,8	28	79,5	1800	236	50	308	15	670	400	323	13	-1,63
20	822,2	163,4	35	8,3	18	54,7	1116	188	19	176	25	500	245	73	4	1,84
21	866	184	75	7,9	33	115,2	2080	272	115	256	18	1180	180	134		4,39
22	820,7	165,3	35	8,1	18	69,5	1198	150	78	122	28	334	265	226	5	4,74

23	822,5	168,1	50	8,1	19	79,7	1248	232	53	104	25	650	95	183	13	4,31
24	820,6	169	75	8,1	16	59,8	1100	134	58	108	25	535	110	146	2	0,60
25	829,8	169,8	75	8,1	15	54,7	998	132	53	100	25	500	100	122	5	2,21
26	828	172,7	140	8,3	20	59,8	1240	200	24	176	39	508	295	98	25	-0,60
27	830,2	171,1	65	8,4	16	59,9	992	174	40	100	11	324	227	171	19	1,24
28	834,1	162,1	67	8,3	32	79,6	1984	212	65	398	37	700	600	79	27	1,56
29	836,8	164,3	53	8,3	22	81,5	1364	208	72	214	19	560	360	165		3,31
30	839,5	161,3	48	7,9	20	79,3	1308	176	86	244	22	625	160	201	11	12,75
31	840,6	161,4	45	8,2	22	89,3	1500	198	97	192	24	740	190	207	8	5,18
32	842,6	161,5	43	8	23	100,5	1510	238	100	134	24	800	165	165	18	4,64
33	840	170,2	42	8,1	34	151,1	3394	350	155	166	23	1370	225	79	6	2,62
34	843,6	164,1	60	8,1	28	98,4	1736	236	96	240	16	500	540	201	42	1,73
35	862,6	172,8	13	8	28	74,4	1716	120	108	278	13	1010	160	262	30	-5,03
36	870,4	145	45	7,6	39	172,1	2356	396	178	210	2	1350	290	177	1	5,54
37	870,8	145	44	8,2	29	144	2560	310	162	224	11	1530	205	92	27	-0,73
38	865,2	171,5	130	8,7	27	80,4	1706	210	68	250	16	590	370	195	1	2,85
39	866,3	177,6	175	8,1	35	85,7	3393	294	30	446	40	1290	275	73	6	2,31
40	865,2	172,8	130	8,1	23	69,6	1902	180	60	234	15	500	325	293	1	0,34
41	799,5	150,6	10	8,2	69	247,9	4466	380	372	700	54	990	1775	195	4	5,09
42	779	150,25	20	8,1	43	125,8	2790	298	125	410	50	810	875	244	7	-1,34
43	799,6	142,5	10	7,9	80	181,4	7376	460	162	1070	56	1660	1700	92	6	0,23
44	799,5	142,5	10	8,1	57	161,4	3534	500	89	62	38	2100	385	116	36	-22,5
45	807,7	145,9	0	7,9	61	133,2	3806	270	160	760	35	1300	1075	207	16	-0,20
46	808,3	145,6	10	8,2	67	153,6	4165	152	281	780	32	1340	1338	250	4	-2,97
47	806,6	145,4	10	8,3	56	178,8	3698	314	244	780	49	850	1900	165	1	-1,89
48	814,4	145,3	10	8	50	139,9	3354	244	192	708	27	1100	1100	61	1	4,15
49	800,1	145,4	8	8,57	50	99,4	3132	202	119	820	24	920	1100	207	1	2,48
50	805,3	145,4	7	7,8	72	119,4	3700	368	67	900	54	1200	1150	177		3,37
51	807,6	145,6	-3	7,9	46	198,6	4464	410	234	840	46	2600	620	232	4	1,44
52	815	145,1	12	8,3	63	138,2	2852	290	160	530	17	788	1012	177	2	3,48
53	849	135	75	7,8	24	185,8	3910	400	209	436	18	2270	450	140		-4,56
54	866	184	75	8	50	60,0	2106	204	22	280	23	490	450	122	8	-0,99
55	849	139,5	40	7,7	55	142,3	2980	270	182	800	17	2290	460	159	7	-4,17
56	872	130	50	8,2	65	260,4	3688	600	269	192	13	2250	675	195	7	-2,86
57	873	131	-1	8	207	165,0	7022	460	122	748	39	1510	515	67	7	2,68
58	862,8	124	2	7,9	35	426,2	16520	600	672	4500	300	4640	1084	122	6	4,93
59	886	138	40	8,3	21	99,5	3270	318	49	400	13	900	5800	232	12	1,18
60	883,8	141	40	8,5	50	54,8	1302	170	30	240	24	588	500	98	2	-2,20
61	884,1	124,95	-1	8	31	164,6	3100	620	24	600	35	2500	325	122		-3,30
62	880	134	40	8,1	29	95,5	1922	236	89	300	17	500	355	207	9	1,77
63	893	130	0	7,9	38	140,1	1964	400	98	142	12	1050	625	134	7	3,21
64	879	147,4	40	8,1		178,7	2356	388	199	352	28	1230	295	134	4	4,42
65	871,3	130	0	7,8		151,3	2604	162	76	166	8	540	700	153	5	3,65
66	875,2	138	11	8,2	19	71,7	1244	430	102	342	15	850	230	165	1	4,77
67	875,2	134,6	11	8,6	42	149,3	2604	224	72	116	19	782	735	110	6	-1,46
68	878	130	50	8,3	22	85,5	1886	290	18	326	25	600	185	238	3	2,10
69	888,5	140,6	50	8,1	28	79,8	1736	150	37	204	5	500	465	220	14	3,29

TABLEAU N° 3: Données brutes des analyses physico-chimiques valides des eaux de Puits ou forages de la nappe du Mio-pliocène dans la Fosse sud Aurésienne.

Cond: conductivité électrique [us/cm],

PH: ph mesuré sur le terrain,

RS: résidu sec [mg/l],

TH: dureté totale de l'eau calculée [°F],

Les concentrations des éléments sont exprimées en [mg/l]

Les résultats de ces analyses exprimés en milliéquivalents ainsi que leurs balances ioniques sont portés dans le tableau N° 4.

N èch	Ca	Mg	Na	K	SO4	CL	HCO3	NO3	$\Sigma(r^+)$	$\Sigma(r^-)$
1	9,9	1,67	2,96	0,28	8,17	5,41	1,30	0,03	14,81	14,90
2	7,9	11,67	11,91	0,56	21,56	7,41	2,70	0,19	32,04	31,87
3	9,6	10,58	24,52	1,79	18,96	22,68	5,70	0,02	46,50	47,36
4	2,6	14,33	17,74	0,87	16,98	16,76	2,00	0,40	35,54	36,14
5	10,4	8,17	11,91	0,69	10,42	13,24	4,51	0,34	31,17	28,50
6	6,6	7,83	21,74	0,77	13,23	19,01	4,39	0,00	36,94	36,64
7	12,8	5,33	21,74	0,72	15,63	19,35	5,61	0,02	40,59	40,60
8	10,9	10,08	28,17	0,90	13,54	30,99	2,70	0,02	50,05	47,25
9	11	10,00	28,17	0,90	15,42	30,99	3,00	0,00	50,07	49,40
10	24	22,00	17,39	0,92	41,25	19,01	5,20	0,06	64,31	65,53
11	11,2	11,17	25,30	1,08	13,13	27,32	5,30	0,18	48,75	45,92
12	6,7	9,08	14,52	0,64	10,83	13,38	4,80	0,00	30,95	29,02
13	12,4	14,42	14,43	0,46	20,83	14,79	3,80	0,05	41,71	39,47
14	7,9	8,83	13,39	0,36	16,83	10,56	3,51	0,00	30,48	30,90
15	21,9	3,33	6,87	0,31	21,67	5,21	2,10	0,10	32,41	29,07
16	10	5,83	7,83	0,92	16,88	7,75	1,61	0,16	24,58	26,39
17	6	4,17	12,61	0,92	6,29	14,79	3,10	0,06	23,70	24,24
18	8,8	2,83	6,87	0,36	8,17	6,34	3,39	0,06	18,86	17,96
19	11,8	4,17	13,39	0,38	13,96	11,27	5,30	0,21	29,74	30,73
20	9,4	1,58	7,65	0,64	10,42	6,90	1,20	0,06	19,28	18,58
21	13,6	9,58	11,13	0,46	24,58	5,07	2,20	0,00	34,78	31,85
22	7,5	6,50	5,30	0,72	6,96	7,46	3,70	0,08	20,02	18,21
23	11,6	4,42	4,52	0,64	13,54	2,68	3,00	0,21	21,18	19,43
24	7,2	4,83	4,70	0,64	11,15	3,10	2,39	0,03	16,87	16,67
25	6,6	4,42	4,35	0,64	10,42	2,82	2,00	0,08	16,01	15,31
26	10	2,00	7,65	1,00	10,58	8,31	1,61	0,40	20,65	20,90
27	8,7	3,33	4,35	0,28	6,75	6,39	2,80	0,31	16,66	16,25
28	10,6	5,42	17,30	0,95	14,58	16,90	1,30	0,44	34,27	33,22
29	10,4	6,00	9,30	0,49	11,67	10,14	2,70	0,00	26,19	24,51
31	9,9	8,08	8,35	0,62	15,42	5,35	3,39	0,13	26,95	24,29
32	11,9	8,33	5,83	0,62	16,67	4,65	2,70	0,29	26,67	24,31
33	17,5	12,92	7,22	0,59	28,54	6,34	1,30	0,10	38,22	36,27
34	11,8	8,00	10,43	0,41	10,42	15,21	3,30	0,68	30,65	29,60
35	6	9,00	12,09	0,33	21,04	4,51	4,30	0,48	27,42	30,33
36	19,8	14,83	9,13	0,05	28,13	8,17	2,90	0,02	43,82	39,21
37	15,5	13,50	9,74	0,28	31,88	5,77	1,51	0,44	39,02	39,59
38	10,5	5,67	10,87	0,41	12,29	10,42	3,20	0,02	27,45	25,93
39	14,7	2,50	19,39	1,03	26,88	7,75	1,20	0,10	37,62	35,91
40	9	5,00	10,17	0,38	10,42	9,15	4,80	0,02	24,56	24,39
41	19	31,00	30,43	1,38	20,63	50,00	3,20	0,06	81,82	73,89
42	14,9	10,42	17,83	1,28	16,88	24,65	4,00	0,11	44,42	45,64
44	25	7,42	26,96	0,97	43,75	10,85	1,90	0,58	36,09	57,08
45	13,5	13,33	33,04	0,90	27,08	30,28	3,39	0,26	60,77	61,02
46	7,6	23,42	33,91	0,82	27,92	37,69	4,10	0,06	65,75	69,77
47	15,7	20,33	33,91	1,26	17,71	53,52	2,70	0,02	71,20	73,95
48	12,2	16,00	30,78	0,69	22,92	30,99	1,00	0,02	59,67	54,92
49	10,1	9,92	35,65	0,62	19,17	30,99	3,39	0,02	56,28	53,56
50	18,4	5,58	39,13	1,38	25,00	32,39	2,90	0,00	64,50	60,30

51	20,5	19,50	36,52	1,18	54,17	17,46	3,80	0,06	77,70	75,50
52	14,5	13,33	23,04	0,44	16,42	28,51	2,90	0,03	51,31	47,86
53	20	17,42	18,96	0,46	47,29	12,68	2,30	0,00	56,83	62,26
54	10,2	1,83	12,17	0,59	10,21	12,96	2,00	0,13	24,80	25,30
55	13,5	15,17	34,78	0,44	47,71	19,01	2,61	0,11	63,89	69,44
56	30	22,42	8,35	0,33	46,88	14,51	3,20	0,11	61,10	64,69
57	23	10,17	32,52	1,00	31,46	30,54	1,10	0,11	66,69	63,20
58	30	56,00	195,65	7,69	96,67	163,38	2,00	0,10	289,34	262,14
59	15,9	4,08	17,39	0,33	18,75	14,08	3,80	0,19	37,71	36,83
60	8,5	2,50	10,43	0,62	12,25	9,15	1,61	0,03	22,05	23,04
61	31	2,00	26,09	0,90	52,08	10,00	2,00	0,00	59,98	64,08
62	11,8	7,42	13,04	0,44	10,42	17,61	3,39	0,15	32,70	31,56
63	20	8,17	6,17	0,31	21,88	8,31	2,20	0,11	34,65	32,49
64	19,4	16,58	15,30	0,72	25,63	19,72	2,20	0,06	52,01	47,60
65	8,1	6,33	7,22	0,21	11,25	6,48	2,51	0,08	21,86	20,32
66	21,5	8,50	14,43	0,38	17,71	20,70	2,70	0,02	45,25	41,13
67	11,2	6,00	5,04	0,49	16,29	5,21	1,80	0,10	22,73	23,40
68	14,5	1,50	14,17	0,64	12,50	13,10	3,90	0,05	30,81	29,55
69	7,5	3,08	8,87	0,13	10,42	4,08	3,61	0,23	19,58	18,33

TABLEAU N° 4: Calcul des concentrations en milliéquivalents par litre et vérification de la balance ionique.

2. Paramètres statistiques :

Les paramètres statistiques (moyenne, écart type, coefficient de variation et delta) ont été calculés pour chacune des variables physico-chimiques et sont reportés dans le tableau N°x. A l'exception des Carbonates, des Nitrates et du PH qui montrent des valeurs acceptables, l'ensemble des paramètres mesurés a des valeurs moyennes et extrêmes qui dépassent la limite des normes des potabilités admises.

	PH	COND	R,S	Ca	Mg	Na	K	SO4	CL	HCO3	NO3	TH
M	8,08	38,61	2658,26	267,80	118,52	439,97	30,30	1011,93	630,04	179,04	9,15	116,10
S	0,22	25,95	2083,44	123,97	99,16	550,31	35,54	705,57	753,13	71,75	9,30	61,27
Mini	0,22	14	868	52	18	68	2	302	95	61	1	50,5
Maxi	8,7	207	16520	620	672	4500	300	4640	5800	348	42	426,2
Delta	8.48	193	15652	568	654	4432	298	4338	5705	287	41	375.7

Tableau N° 5: Paramètres statistiques des caractéristiques des eaux de puits de la nappe

Du Mio-pliocène. M : moyenne arithmétique, S: écart type, Mini : valeur minimale, Maxi : valeur maximale, Delta : étendue (Maxi –Mini).

- D'une manière générale, les eaux de puits de la nappe du Mio-pliocène ont une minéralisation moyenne élevée (868 < R.S < 7022) à l'exception du puits n°59 qui montre une valeur très élevée (16520) à PH légèrement basique.
- Parmi les cations, c'est d'abord le Sodium qui a la valeur moyenne la plus élevée (433mg/l) devant le calcium (270 mg/l) le magnésium étant plus faible (117.8 mg/l).
- Parmi les anions, ce sont les sulfates qui prédominent avec une valeur moyenne de 1004.8 mg/l devant le chlore (625.78 mg/l) après viennent les bicarbonates (179.5 mg/l). Par contre, les nitrates présentent la valeur moyenne la plus faible (7.88 mg/l). La variabilité des éléments en solution exprimée par le coefficient de variation en % (ou par l'écart-type) est très importante pour la majorité des paramètres analysés (cond. = 79.92 %, RS = 99.72 %, Ca = 97.10%, Mg = 93.47 %, Na = 98.2% K = 7435 %, So₄, Cl = 95.00 %, TH = 93.32 %) et montre que ces eaux présentent de grandes différences de qualité chimique d'un point à l'autre. La valeur la plus faible est attribuée aux nitrates (NO₃= 20.88 %) et le PH (20.7 %). Notons enfin que le coefficient de variation le plus élevé correspondant à celui du Résidu Sec (RS).
- La qualité de ces eaux d'après leur dureté totale TH (°F) est très dure avec (50.5 < TH < 426.24°F) qui est largement supérieure à 30°F.

Le calcul des formules ioniques, reportées sur le tableau n°6, fait ressortir des caractéristiques chimiques très variables. Certaines eaux présentent un faciès sulfaté magnésien ou calcique secondairement chloruré sodique alors que d'autres ont un faciès sulfaté sodique secondairement chloruré magnésien ou encore franchement chloruré sodique.

N°éch	Ca	Mg	Na	K	SO4	CL	HCO3	NO3
1	66,87	11,26	19,97	1,91	54,80	0,22	0,22	36,29
2	24,65	36,41	37,18	1,76	67,66	0,61	0,61	23,25
3	20,65	22,76	52,73	3,86	40,03	0,03	0,03	47,88
4	7,31	40,33	49,91	2,45	46,98	1,12	1,12	46,37
5	33,36	26,20	38,22	2,22	36,55	1,19	1,19	46,45
6	17,87	21,20	58,85	2,08	36,11	0,00	0,00	51,90
7	31,53	13,14	53,56	1,77	38,49	0,04	0,04	47,67
8	21,78	20,14	56,29	1,79	28,66	0,03	0,03	65,58
9	21,97	19,97	56,27	1,79	31,21	0,00	0,00	62,72
10	37,32	34,21	27,04	1,44	62,95	0,10	0,10	29,02
11	22,98	22,91	51,91	2,21	28,58	0,39	0,39	59,50
12	21,65	29,35	46,93	2,07	37,33	0,00	0,00	46,11
13	29,73	34,56	34,61	1,11	52,78	0,12	0,12	37,46
14	25,92	28,98	43,93	1,18	54,47	0,00	0,00	34,18
15	67,57	10,28	21,20	0,95	74,52	0,33	0,33	17,92
16	40,68	23,73	31,84	3,76	63,95	0,61	0,61	29,35
17	25,32	17,58	53,20	3,90	25,95	0,27	0,27	61,00
18	46,65	15,02	36,42	1,90	45,46	0,36	0,36	35,28
19	39,67	14,01	45,02	1,29	45,42	0,68	0,68	36,67
20	48,76	8,21	39,70	3,33	L	0,35	0,35	37,15
21	39,11	27,56	32,01	1,33	77,18	0,00	0,00	15,92
22	37,46	32,46	26,49	3,59	38,21	0,44	0,44	41,00
23	54,77	20,85	21,35	3,03	69,70	1,08	1,08	13,77

24	41,45	27,83	27,03	3,69	66,86	0,19	0,19	18,59
25	41,24	27,59	27,16	4,01	68,02	0,53	0,53	18,39
26	48,42	9,68	37,05	4,84	50,63	1,93	1,93	39,75
27	52,21	20,00	26,09	1,69	41,53	1,89	1,89	39,34
28	30,93	15,81	50,49	2,77	43,91	1,31	1,31	50,88
29	39,71	22,91	35,52	1,86	47,59	0,00	0,00	41,37
31	36,74	30,00	30,98	2,28	63,47	0,53	0,53	22,03
32	44,61	31,24	21,84	2,31	68,56	1,19	1,19	19,12
33	45,78	33,79	18,88	1,54	78,69	0,27	0,27	17,47
34	38,51	26,11	34,05	1,34	35,19	2,29	2,29	51,39
35	21,88	32,82	44,08	1,22	69,38	1,60	1,60	14,86
36	45,19	33,85	20,84	0,12	71,73	0,04	0,04	20,83
37	39,72	34,60	24,96	0,72	80,51	1,10	1,10	14,58
38	38,26	20,65	39,60	1,49	47,41	0,06	0,06	40,20
39	39,08	6,65	51,55	2,73	74,83	0,27	0,27	21,57
40	36,65	20,36	41,43	1,57	42,71	0,07	0,07	37,53
41	23,22	37,89	37,20	1,69	27,91	0,09	0,09	67,67
42	33,54	23,45	40,13	2,89	36,98	0,25	0,25	54,01
44	41,43	12,29	44,67	1,61	76,65	1,02	1,02	19,00
45	22,21	21,94	54,37	1,48	44,39	0,42	0,42	49,63
46	11,56	35,61	51,58	1,25	40,01	0,09	0,09	54,02
47	22,05	28,56	47,63	1,76	23,95	0,02	0,02	72,37
48	20,44	26,81	51,58	1,16	41,73	0,03	0,03	56,42
49	17,94	17,62	63,34	1,09	35,78	0,03	0,03	57,85
50	28,53	8,66	60,67	2,15	41,46	0,00	0,00	53,73
51	26,38	25,10	47,00	1,52	71,74	0,09	0,09	23,13
52	28,26	25,98	44,91	0,85	34,30	0,07	0,07	59,57
53	35,19	30,64	33,35	0,81	75,95	0,00	0,00	20,36
54	41,13	7,39	49,09	2,38	40,36	0,51	0,51	51,23
55	21,13	23,74	54,45	0,68	68,70	0,16	0,16	27,38
56	49,10	36,69	13,66	0,55	72,46	0,17	0,17	22,42
57	34,49	15,25	48,77	1,50	49,77	0,18	0,18	48,31
58	10,37	19,35	67,62	2,66	36,88	0,04	0,04	62,32
59	42,17	10,83	46,12	0,88	50,91	0,53	0,53	38,24
60	38,55	11,34	47,32	2,79	53,16	0,14	0,14	39,73
61	51,68	3,33	43,49	1,50	81,27	0,00	0,00	15,60
62	36,09	22,68	39,89	1,33	33,00	0,46	0,46	55,78
63	57,72	23,57	17,82	0,89	67,32	0,35	0,35	25,57
64	37,30	31,89	29,43	1,38	53,83	0,14	0,14	41,42
65	37,06	28,98	33,02	0,94	55,37	0,40	0,40	31,89
66	47,97	18,97	32,21	0,86	43,05	0,04	0,04	50,33
67	49,27	26,40	22,19	2,14	69,61	0,41	0,41	22,27
68	47,06	4,87	46,00	2,08	42,30	0,16	0,16	44,33
69	38,30	15,75	45,30	0,65	56,82	1,23	1,23	22,28

Tableau N° 6 : Calcul de la formule ionique de chaque analyse.

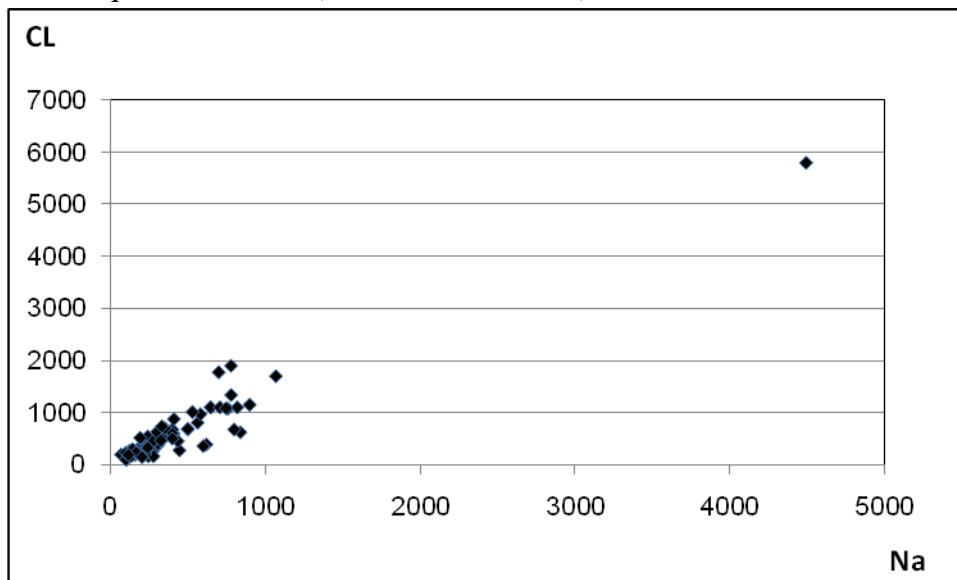
Les concentrations relatives des éléments sont exprimés en (%) par rapport à la somme des concentrations des éléments de même signe.

3. Corrélations cations –anions :

Il est souvent difficile d'établir des relations plus sûres entre les faciès des eaux et les formations tant que l'on ne connaît pas leurs sources ; Comme l'utilisation des diagrammes paramétriques permet de visualiser les relations entre les différents éléments considérés ainsi que leurs évolutions, ceci peut donc nous aider à déterminer ou à préciser la nature des matériaux sources de la minéralisation.

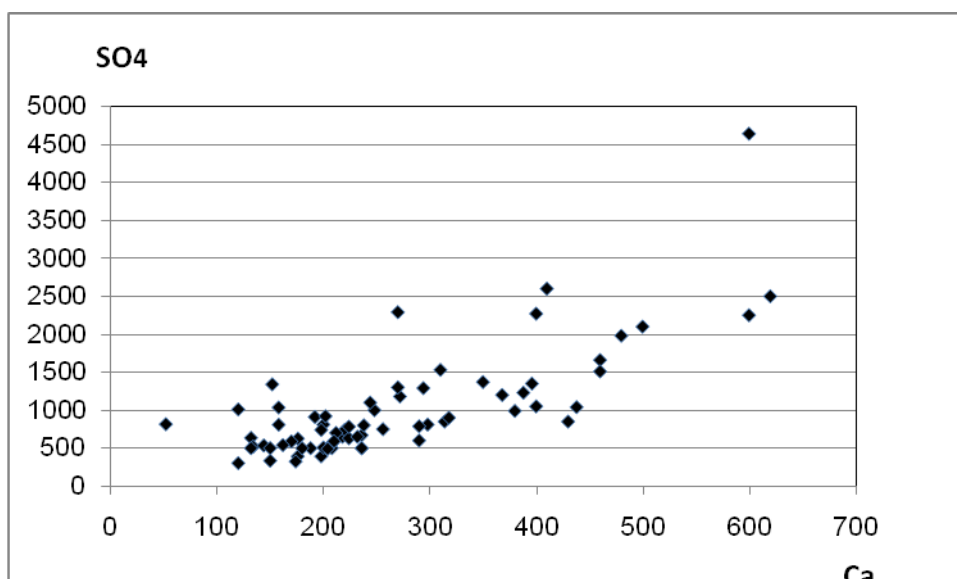
a. Le digramme (Na-Cl) :

Le digramme de dispersion (Na-Cl) montre une bonne corrélation entre Na et CL avec une évolution positive entre ces deux éléments, ce qui implique une seule source de minéralisation qui sont les sels (dissolution du NaCl).



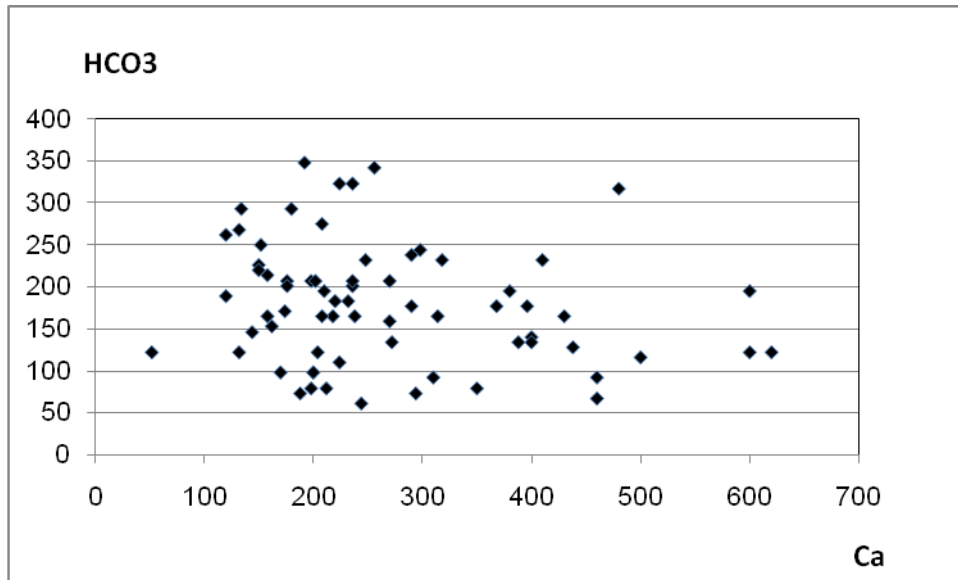
b. Le digramme (Ca-SO₄) :

Le diagramme (Ca-SO₄) montre aussi une bonne corrélation avec une évolution positive, ce qui implique la présence d'une source sulfatée (gypse).



c. Le digramme (Ca-HCO₃) :

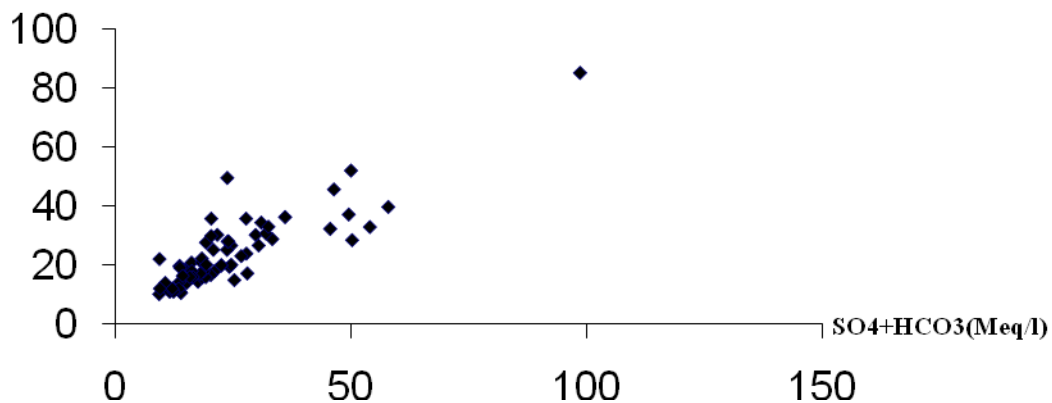
Le digramme (Ca-HCO₃) qui montre une corrélation quasiment inexistante, entre les deux éléments avec une évolution négative où (Ca) évolue plus rapidement que le (HCO₃) ceci indique que seule une partie de Ca provient d'une source carbonatée interne ou externe à l'aquifère en question.



d. Le digramme ((Ca+Mg) - (SO₄+HCO₃)):

Le digramme ((Ca+Mg) - (SO₄+HCO₃)) montre une bonne corrélation avec une évolution positive entre ce groupe d'éléments, ce qui justifie la présence de deux sources en Ca, une première source sulfatée et une deuxième carbonatée.

Ca+Mg(Meq/L)



IV 4. Répartition spatiale des teneurs en ions :

Nous avons dressé les cartes des iso-concentrations des différents éléments physico-chimiques, en utilisant un logiciel informatique de cartographie (surfer). Ce dernier peut tracer tout type de cartes telles que les cartes de localisation ou encore les cartes contours d'égalité de valeurs (ex : cartes des iso concentrations).

D'une manière générale l'ensemble des cartes de iso- concentration présentent des variations spatiales importantes avec des maxima de teneur significatifs dans le secteur sud-est et en partie dans le secteur ouest de la région et traduisent une zonalité hydro chimique nette.

IV 4.1. Carte de répartition de (R.S) :

Les concentrations du résidu sec dans la fosse sud aurésienne (fig. 9) qui varient entre une valeur minimale de (868 mg/l) et une valeur maximale de (7022 mg/l), montrent un accroissement des concentrations du NW (Sidi Okba) vers le SW (El Haouch) ou du Nord vers SE (El Feidh).

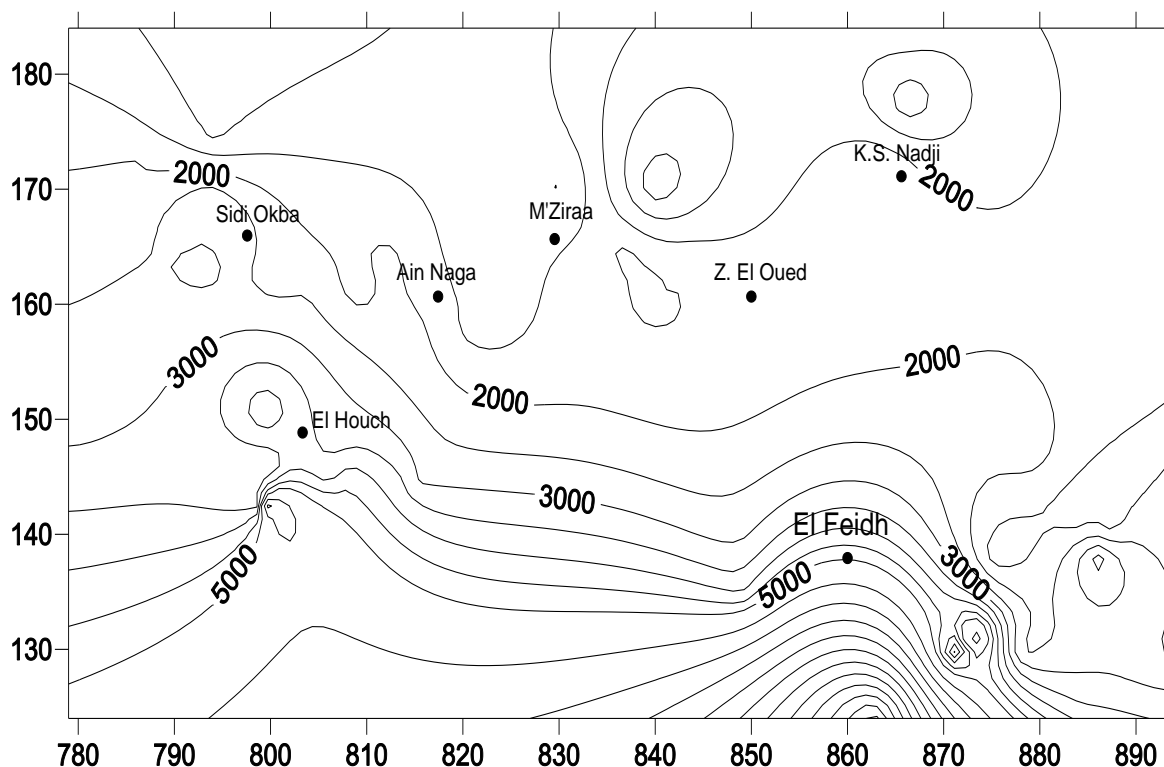


Fig. 9 : Répartition des iso-concentrations en RS (mg/l).

Cartes de répartition de (TH, Ca + Mg, Na + K, Cl et SO₄) :

Les cartes de répartition spatiale de ces différents paramètres, montrent des cartes d'allures, grossièrement, semblables.

Les principales informations que l'on peut tirer de ces différentes cartes sont les suivants :

- Cations ou anions augmentent de manières significatives du Nord-ouest au Sud-est ou encore du Nord au Sud.
- Les fortes concentrations sont principalement localisées au sud de la région près de Chott Melrhir.
- La carte de répartition des TH montre que les régions d'El Haouch et d'El Feidh sont celles qui présentent les valeurs les élevées en TH.

Cependant, il est à noter que la carte de la répartition des conductivités est comparable à celle du TH.

Classification des eaux :

Pour classer et faire ressortir les différents faciès chimiques de ces eaux, les données hydro chimiques ont été projetées sur le digramme de piper.

Toutefois, si Le digramme de Piper est bien adapté pour l'étude comparative d'un nombre important d'échantillons, il présente un risque d'erreur dans la comparaison des échantillons du fait d'une représentation en (%) des ions dont il faut prendre en toute précaution lors de l'interprétation.

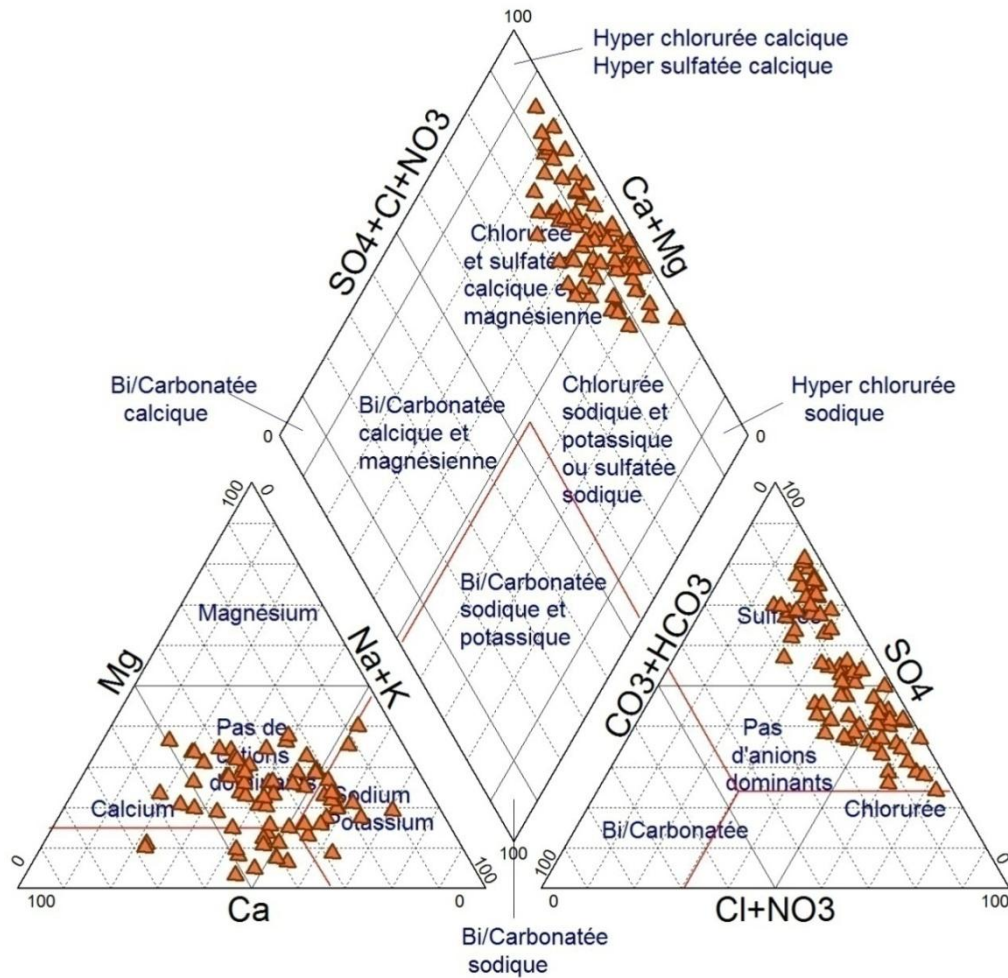
Sur le diagramme de Piper on constate que :-

Pour les cations, les eaux des différents puits se regroupent en deux grandes familles A et B. les eaux de la famille (A) présentent un faciès sodique et celles de la famille (B) présentent un faciès mixte avec des teneurs relativement élevées en magnésium à l'exception du puits (64) qui présente un faciès calcique.

Pour les anions, la distinction entre les deux familles n'est pas nette, cependant, on note une évolution inverse de SO_4 par rapport à $(Cl + NO_3)$ de la famille (A) vers la famille (B) ($SO_4 \uparrow$, $(Cl+NO_3) \downarrow$ ou inversement.

Pour l'ensemble cations-anions la distinction entre les deux familles est nettement claire et on note une évolution naturelle de ces eaux vers un faciès sulfate sodique ou chloruré sodique et potassique.

Diagramme de Piper



Il ressort que les eaux de la nappe des sables dans le Zab chergui se classent en deux familles principales :-

- la première a faciès chloruré sodique et potassique A et caractérise les eaux de puits situés au Nord de la zone d'étude.
- la deuxième a un faciès mixte sulfaté calcique et magnésien B et caractérise les eaux de puits situés au sud de la zone d'étude.

Répartition spatiale des faciès des eaux :

Comme les faciès chimiques des eaux souterraines dépendent de plusieurs facteurs, en particulier, ceux liés au contexte naturel global notamment la lithologie des aquifères et leur structure qui contrôlent leurs conditions d'écoulement ou de renouvellement, il est important de bien individualiser l'ensemble des faciès hydrochimiques présents dans un système aquifère donné tel que celui de la Fosse-Sud-Aurésienne qui présente autant de singularités.

Nous essayons dans ce qui suit de voir cette répartition en de la forme de la nappe, des orientations de fracturation et des sens d'écoulement.

La distribution géographique des deux familles d'eaux (A) et (B) fait apparaître une relation nette avec la nature des formations lithologiques présentes et la structure de l'ensemble du complexe néogène au niveau du Zab Chergui, principalement la forme et la profondeur du mur argileux du niveau aquifère. La famille (B) regroupe les puits situés au Sud donc le centre de la fosse synclinale et qui constitue le couloir d'écoulement principal vers Chott Melrhir, par contre les puits de la famille (A) sont situés plus au Nord

Relation faciès chimique des eaux – cadre litho-structural de l'aquifère :

Nous avons vu que les eaux de la nappe du Mio-pliocène présente deux principaux faciès chimiques (sulfaté calcique et magnésien, chloruré sodique et potassique) et que leur minéralisation est essentiellement due à des sulfates, des sels et des carbonates.

Les formations aquifères de la fosse sud aurésienne sont constituées de sables ou grès, d'argiles ou marnes avec persistance de niveaux évaporitiques de gypse dans presque tous les niveaux mais rarement de carbonate.

Ces différents termes s'alternent en bancs souvent de faibles épaisseurs, donc l'aquifère est plus fin, la circulation de l'eau est lente, le temps de contact eau-roche augmente d'où l'augmentation de la salinité et l'influence des argiles devient plus marquée, ce qui traduit un phénomène de concentration en ions par dissolution.

La minéralisation due à la concentration en sels dissous dans la fosse ne peut être que le résultat d'un drainage des eaux chargées (avec migration des ions) qui suivent le sens d'écoulement car il n'existe pas de sels dans les formations aquifères.

Les sulfates sont dus à la dissolution du gypse in situ et qui se manifeste dans presque tous les niveaux du Mio-pliocène.

Les carbonates peuvent en partie provenir de la dissolution de quelques niveaux supérieurs carbonatés mais nous pensons que la plus importante proportion vient du lessivage des massifs carbonatés aurésiens.

Les eaux chargées en ces éléments en s'écoulant vers Chott Melrhir se trouvent encore ralenties ou freinées en arrivant au centre de la fosse (secteur d'El Feidh,,,) ceci favorise l'accroissement des concentrations. Ceci explique les fortes concentrations des secteurs se trouvant plus au sud de la région.

IV 7. Conclusion :

En conclusion de ce chapitre, il convient de rappeler ici que : -

- Dans la région d'étude, les eaux de la nappe Mio-pliocène sont moyennement à fortement chargées dont les ions prédominants sont : Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} pour les cations et Cl^- , SO_4^{2-} pour les anions.
- Les cartes d'iso- concentrations montrent de grandes variations spatiales dont les concentrations maximales se manifestent dans les secteurs les plus proches de Chott Melrhir...
- Les faciès chimiques qui caractérisent les eaux de cette nappe sont le chloruré sodique et potassique ainsi que le sulfaté calcique et magnésien.

Le premier se manifeste dans les régions septentrionales (Nord) par contre le second dans ses parties méridionales (Sud).

CONCLUSION GENERALE

Dans le Zab Chergui (fosse Sud Aurèsienne) la nappe des sables est la plus sollicitée que ce soit pour l'AEP ou pour l'irrigation; Contenue dans des formations sableuses du Mio-pliocène qui s'organisent en plusieurs ensembles à base discordante sur son substratum, Elle présente deux niveaux aquifères séparés par une épaisse formation peu ou pas perméable dans laquelle s'alternent des argiles et des argiles sableuses.

La corrélation des données d'affleurement et de sondages a permis une construction 2 D de l'ensemble néogène et par conséquent la géométrie de l'aquifère. Elle montre une structure synclinale désymétrique qui est fortement enfoncée au sud dans le secteur d'El Feidh et une discordance des ensembles supérieurs sur les ensembles de base avec une réduction de leurs épaisseurs du Sud (centre de la Cuvette) vers le Nord (chaîne de Reliss).

Le niveau aquifère supérieur (communément désigné par 'nappe du Mio-pliocène indifférencié) est le plus exploité, ses eaux sont moyennement à fortement chargées dont les ions prédominants sont : Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} et présentent deux familles à faciès chimiques évolutifs :

- la première à faciès chloruré sodique et potassique caractérise les eaux de puits situés au Nord de la fosse et qui sont moins chargées.
- la deuxième à un faciès mixte sulfaté calcique et magnésien caractérise les eaux de puits situés au sud de la fosse et qui sont les plus chargées dans le secteur d'El Feigh.

L'analyse par domaine de l'aquifère, nous a aidé dans l'explication de l'évolution de la salinité globale. Et comme le montre les cartes de répartition des ions ainsi que les faciès, le chimisme de ces eaux est fortement influencé par les différents paramètres liés au système aquifère global (lithologie, structure, orientations des cassures, sens des écoulements et la géométrie propre de l'aquifère) où les orientations des cassures coïncident avec les couloirs principaux d'écoulement.

Les cartes d'iso- concentrations montrent que les concentrations maximales se manifestent dans les secteurs les plus proches de Chott Melrhir qui forme en même temps l'exécutoire naturel des eaux de surface et le creux de la structure synclinale.

L'exploitation des résultats obtenus, qui restent partiels, peut aider les décideurs dans le bon choix des champs de captage et l'implantation des forages principalement destinés à l'AEP dans des secteurs contenant des eaux moins chargées en l'absence de moyens de traitement et d'adoucissement dans cette région comme dans beaucoup d'autres du territoire national.

Bibliographie :

CHEBBAH M., 2007. Lithostratigraphie, Sédimentologie et Modèles de Bassins des dépôts néogènes de la région de Biskra, de part et d'autre de l'Accident Sud Atlasique (Zibans, Algérie). Thèse Doctorat d'Etat, Univ.

CHEBBAH M., KOWALSKI W., ET PHARISAT A. (2001) : Sédimentologie des séquences du « Continental Terminal » des environs de Biskra (sillon pré-saharien, Algérie). Soc.Hist.Nat. du pays de Montbéliard, France ; pp261-270.

CHEBBAH M. (1998) : Cadre litho-structural et zonalité hydro – chimique des aquifères : Cas de la nappe des calcaires – Biskra – 3^{ème}Sém.Nat.Hyd. Biskra, Oct. 1998.

CASTANY G. (1982) : Bassin sédimentaire du Sahara septentrional (Algérie-Tunisie) : Aquifères du continental intercalaire et du complexe terminal, in Hydrogéol.Géol.Ing., N°2, pp127-147.

CORNET A. (1961): Introduction à l'hydrogéologie saharienne, Rev. de géogr. Phys. ET de géol. Dyn. 2, Vol. VI, Fasc. 1, 5-72.

DUBIEF J. (1963): Le climat du Sahara. Institut de Recherches sahariennes, Algérie, Mémoire hors série.

GUIRAUD R., 1978. Le continental terminal en Algérie, Ann.Fac.Sci.Dakkar, 31, 85-87.

LAFFITTE R. (1939) : Etude géologique de l'Aurès. Bull. Serv. Carte géol. Algérie, 2ème sér, Stratigr. Descript. Région. N°15, 451p.

MOULA A. S. ET GUENDOUZ A. (2005) Etude des ressources en eau souterraines en zones arides (Sahara algérien) par les méthodes isotopiques. Hydrologie of the Mediterranean and Semi arid regions (proceedings of an international symposium held at Montpellier, April 2003), IAHS Publ. No. 278, 2005.

NESSON C., 1975. L'évolution des ressources hydrauliques dans les oasis du Bas Sahara algérien. Mem.Doc, Ed. CNRS, 117.

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau 01: température moyenne mensuelle de la région du Ziban (1980-2012) (ANAT Biskra).....	5
Tableau 02 : Série de distribution mensuelle de la pluviométrie enregistrée à la station de M'Ziraa entre 1992-2004 (l'ANRH, Biskra).....	6
Tableau 03 : Données brutes des analyses physico-chimiques valides des eaux de puits ou forages de la nappe du Mio-pliocene dans la Fosse sud aurésienne.....	20
Tableau 04: Calcul des concentrations en milliéquivalents par litre et vérification de la Balance ionique.....	21
Tableau 05: Paramètres statistiques des caractéristiques des eaux de puits de la nappe.....	22
Tableau 06 : Calcul de la formule ionique de chaque analyse.....	24

LISTE DES FIGURES :

Figure 01 : unités géomorphologiques du Nord de l'Algérie et localisation de la zone d'étude ;(Chebbah, 2007).....	4
Figure 02 : Histogramme température moyenne mensuelle de la région du Ziban (1980-2012).....	5
Figure 03 : Histogramme de distribution annuelle de la pluviométrie enregistrée à la Station de M'Ziraa entre 1992-2004.....	6
Figure 04 : Carte de la répartition de la pluviométrie, région de Biskra (Extrait de la carte pluviométrie de l'Algérie au 1/500.000, 1971).....	7
Figure 05 : Carte géologique du Zab Chergui.....	8
Figure 06 : Log litho-stratigraphique de la région des Zibans (Chebbah, 2007).....	9
Figure 07 : Caractérisation du réservoir de la nappe des sables.....	11
Figure 08 : Coupe hydrogéologique du SASS (in Moula, A. S. <i>et al.</i> , 2005).....	15
Figure 09 : Répartition des iso-concentrations en RS (mg/l).....	27