

N° d'ordre

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université d'Oran 02 Mohamed BENAHMED

Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers

Département de Science de la Terre



Mémoire

Présenté pour l'obtention grade de
Master en géologie

Option : **Eaux Souterraines et Environnement**

Thème :

Eaux potables de production de l'Oranie. Suivi qualitatif

Présenté par
Slimani Nacira

Soutenu le : 01 /07/2015, devant le jury composé de :

Mr. HASSANI M.I	Professeur	Univ. Oran 2	Président
Mme. ZAIDI-MEBROUK N	Professeure	Univ. Oran 2	Rapporteur
Mr. FOUKRACHE M.	Maitre-Assistant A	Univ. Oran 2	Examineur
Mme. SENADJKIS	Chef de Département	Laboratoire SEOR Oran	invité

Oran, 2015.

Dédicace

*Avec l'aide de dieu tout puissant on a pu achever ce modeste travail que je
dédie à*

*Mes très chers parents qui m'ont toujours encouragée pour que je réussisse
dans mes études qui ont veillé pour mon bien être qui m'ont soutenue dans les
moments les plus difficiles de ma vie. A eux que j'aime et que je respecte
infiniment, le jour est venu pour leur dire Merci...*

*Mes très chères sœurs « Dhiba, Kheira, Messouda, Nadjoua, fairouz » et
chers frères « Ahmed et Saïd »*

Mes petits anges : Slimane, Aicha, Mohamed-ahmed, Malek et Islam.

Et à toute ma famille

*Enfin je le dédie à tous mes maîtres, mes enseignants, à mes amies : Basma,
Fadhila, Farida, Doniazad et Horiya, mes collègues de la promotion de 2ème
année master ESE et tous ceux qui m'aiment.*

SLIMANI NACIRA.



Introduction générale

L'eau existe dans la nature en quantité énormes. On estime qu'elle couvre 70% de la surface du globe. L'eau est un constituant fondamental de notre environnement, c'est le seul composé qui se trouve dans les trois états de la matière (solide, liquide ou gazeux) aux températures ordinaires (DeFrance M, 1996).

Une eau saine est nécessaire à la vie, à l'hygiène et à la prévention des maladies d'origine hydrique. Elle constitue aussi le patrimoine d'une nation. L'eau est une préoccupation constante de toutes les époques et de tous les lieux. Jadis on s'interrogeait sur la pureté microbiologique des eaux, de nos jours on s'inquiète non seulement de sa qualité microbiologique mais aussi de ses caractéristiques physico-chimiques (Gartet A. et al, 2001).

L'eau potable répond à de très grandes exigences de qualité. Cependant, les eaux brutes qu'elles soient souterraines ou superficielles ne remplissent pas toujours les critères requis en terme de qualité chimique et microbiologique (Office Fédéral de la Santé Publique OFSP).

Il est donc essentiel, de quantifier et d'analyser la quantité et la qualité des réserves en eau et de trouver le moyen de gérer cette ressource pour en assurer la durabilité. La qualité des eaux de la région d'Oran a subi, ces dernières années une certaine détérioration, à cause de l'utilisation intensive d'engrais chimiques et de fertilisants dans l'agriculture ainsi que de son exploitation désordonnée. Ces éléments modifient le chimisme de l'eau et la rendent impropre aux usages souhaités.

Notre travail consiste à faire une étude qualitative de l'eau potable produite dans la région d'Oran.

Cette étude s'articule autour de trois chapitres :

- Dans le premier chapitre, une présentation du secteur d'étude, son cadre géographique, climatique, morphologique et géologique.
- le deuxième chapitre, présente le cadre hydrogéologique.
- Enfin, le dernier chapitre comporte une étude hydrochimique effectuée grâce à des analyses chimiques réalisées sur les points d'eau alimentant en eau potable la région d'Oran

Introduction :

La région d'Oran est caractérisée par une frange abrupte et ravinée suivie d'un "plateau " qui culmine vers 110 mètres. Ses caractéristiques géologiques, hydrogéologiques et météorologiques forment un système physique complexe.

I. Cadre géographique :**I.1. Contexte général :**

Le littoral oranais occupe la partie marginale du Sahel occidental de l'Algérie du Nord, caractérisé par une tectonique et sismicité actives. Les terrains de cette région s'organisent en un système de Horst et graben bien connu à l'échelle régionale (Fig.n°01).

Le littoral oranais s'étend sur une longueur de 124 km. Les points d'eaux considérés dans ce travail font partie de ce littoral oranais, constitué au Nord par les massifs côtiers de l'Oranie.

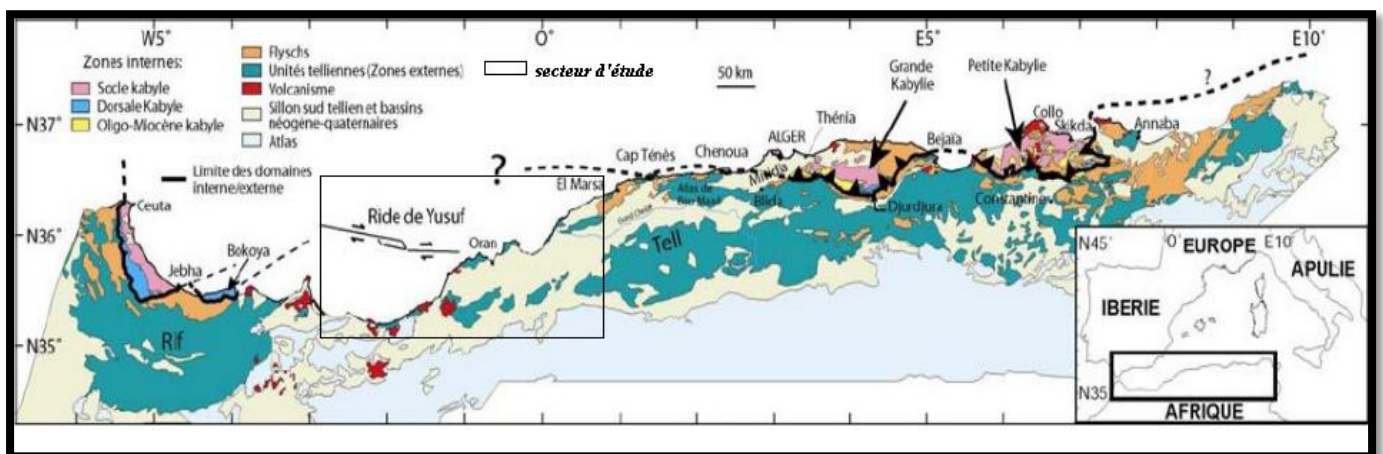


Fig. 01 : Carte géologique du nord de l'Afrique montrant les différentes unités géologiques (Wildi, 1983 ; Domzing et al., 2006).

I.2. Contexte régional :

Le littoral oranais est un chapelet de petits massifs schisteux secondaire, séparés par des plateaux néogènes et quaternaires. Il est une zone assez élevée très abrupte entourée de plaines basses subsidentes, qui s'étend sur une centaine de kilomètres et présente une largeur de 20 à 25 km.

D'après (Y.Gourinard, 1958), ce littoral désigne l'unité structurale comprise entre les marais d'El-Macta à l'Est, les dépressions de la grande Sebkhha d'Oran et les salines d'Arzew au Sud, la méditerranée au Nord et l'Ouest.

D'après Y.Gourinard (1952), on rencontre du Nord-Est au Sud-Ouest les structures suivantes :

- ❖ Le massif d'Arzew et son appendice, le Djebel Khar ou Montagne des Lions.
- ❖ Le massif d'Arzew séparé par Djebel Khar et le plateau d'Oran.
- ❖ La dépression de l'Oued Hammadi.
- ❖ Les massifs des Andalouses prolongés par l'ensemble volcanique de Djebel Tifaraouin.

La zone étudiée s'étend d'Est en Ouest: Arzew, Bir El Djir, Es-Sénia, Oued Tlélat et Boutlélis (Fig.n°02).



Fig. 02 : Localisation géographique du secteur d'étude (1/500.000).

II. Cadre climatologique :

Dans la classification de Köppen, la Wilaya d'Oran est une région à climat méditerranéen chaud, c'est un climat tempéré chaud avec un été sec (méditerranéen).

Les principales caractéristiques climatiques de la zone d'étude se sont basées sur les données relatives à la station d'Es-Sénia (tableau n°01), pour la période 1990-2013.

Tableau n°01 : Coordonnées de la station climatologique d'Es-Sénia.

<i>Station</i>	<i>Altitude (m)</i>	<i>Longitude (E/W)</i>	<i>Latitude (N)</i>	<i>Indicatif ONM</i>
<i>Es-Sénia</i>	<i>90</i>	<i>00°36 W</i>	<i>35°38</i>	<i>490</i>

1. Etude des précipitations :

1.1. Précipitations annuelles :

Les données pluviométriques recueillies au niveau de la station d'Oran Es-Sénia, concernant la série allant de 1990 à 2013, sont représentées dans le tableau n°02.

Tableau n° 02: Pluies interannuelles à la station d'Es-Sénia (1990-2013).

Année	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
P annuelle (mm)	427.27	307.09	270.26	474.25	216.66	400.62	315.23	429.29
Année	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
P annuelle (mm)	214.66	227.58	291.32	472.44	260.61	383.07	356.63	212.34
Année	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
P annuelle (mm)	310.9	478.82	410.98	247.76	422.18	416.57	415.27	472.21

D'après le graphe obtenu (Fig.n°03), nous constatons une variabilité interannuelle marquée durant la période 1990-2013, avec un minimum enregistré en 2005 (212 mm) et un maximum en 2007 (478 mm).

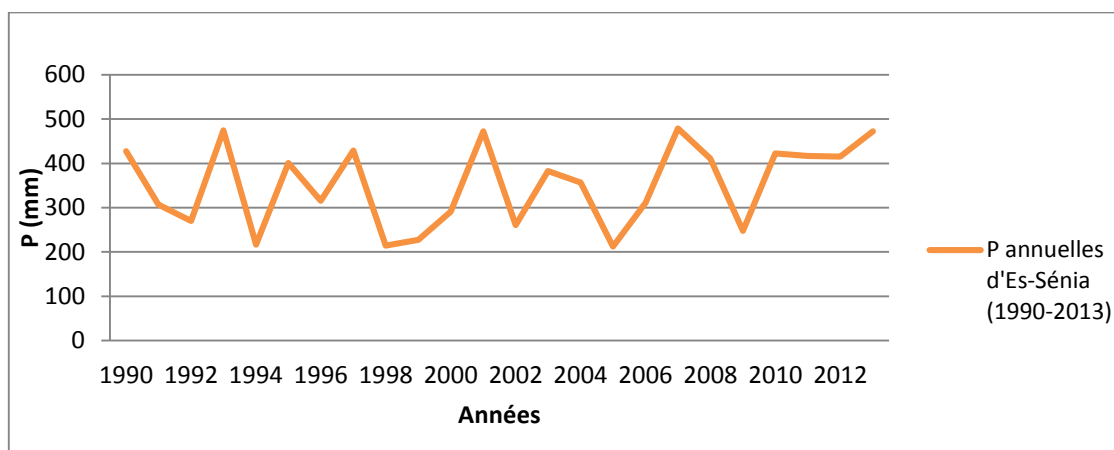


Fig. 03 : Variation interannuelle des précipitations de la station d’Es-Sénia (1990-2013).

1.2. Précipitations moyennes mensuelles :

Les précipitations moyennes mensuelles sont présentées sur le tableau n°03 :

Tableau n° 03 : Précipitations moyennes mensuelles.

Mois	Sept.	Oct.	Nov	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Moy
P (mm)	14.53	46.67	66.25	46.97	39.16	36.45	35.84	33.98	23.8	4.41	1.2	2.14	351.4

Le graphe des précipitations moyennes mensuelles (fig. n°04) distingue deux périodes : L’une *pluvieuse* allant d’*Octobre* à *Avril* et une autre *sèche* allant de *Mai* jusqu’à *Septembre*.

Le maximum apparait en novembre avec **66.25 mm**, le minimum quant à lui apparait en Juillet **1.2 mm**.

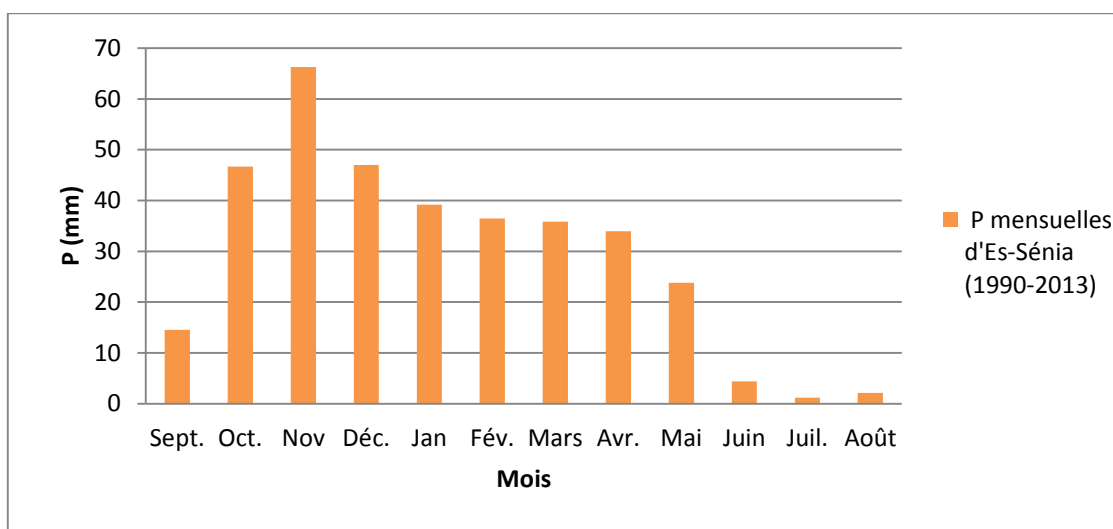


Fig.n°04 : Répartition mensuelle des précipitations pour la station d’Es-Sénia (1990-2013).

1.3. Précipitations saisonnières :

Elles sont représentées en tableau n° 04 et la figure n°05:

Tableau n°04 : Variations saisonnières des pluies à la station d'Es-Sénia (1990-2013).

Pluviométrie mm	Sept	Oct.	Nov	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil.	Aout	Total
Mensuelle	14.53	46.67	66.25	46.97	39.16	36.45	35.84	33.98	23.8	4.41	1.2	2.14	351.4
Saisonnière	127.45			122.58			93.62			7.75			
%	36.27			34.88			26.64			2.21			100

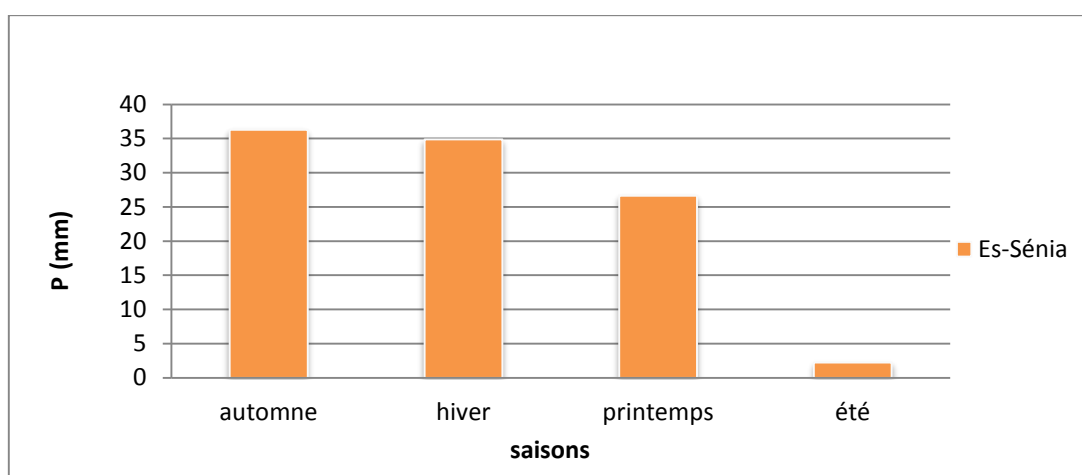


Fig. 05 : Précipitations saisonnières de la station d'Es-Sénia (1990-2013).

Le régime climatique de la région est de type **AHPE**.

2. Etude des températures :

Les températures moyennes mensuelles et annuelles régissent directement sur le climat en interaction avec les autres facteurs météorologiques et biogéographiques.

Les températures moyennes mensuelles, les maximales et les minimales sont représentées dans le tableau ci-dessus :

Tableau n°05 : Températures mensuelles pour la station d'Es-Sénia (1990-2013).

Mois	Jan.	Fév.	mars	Avr.	mai	juin	Juil.	août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Moy.
T°min	5.43	6.23	8.65	10.29	13.74	17.74	20.52	20.73	18.07	14.3	9.79	6.69	12.68
T°max	16.91	17.96	19.2	21.92	24.7	28.19	31.14	32.31	28.11	25.75	21	17.75	23.66
T°moy	11.17	12.09	13.92	16.1	19.22	22.96	25.83	26.02	23.09	20.02	15.39	12.22	18.17

Les variations des températures moyennes mensuelles de la station d’Es-Sénia (1990-2013) sont représentées sur la figure n°06 :

a. La température maximale :

Le minimum est enregistré au mois de janvier de 16.91 °C et le maximum au mois d’Août de 32.31°C.

b. La température minimale :

La valeur la plus basse s’observe pendant le mois de janvier (5.43°C), le maximum le plus élevé apparaît en Août (20.73°C).

c. La température moyenne :

Le mois de janvier reste le plus froid (11.17°C) de l’année, le mois d’Août en est le plus chaud (26.02°C).

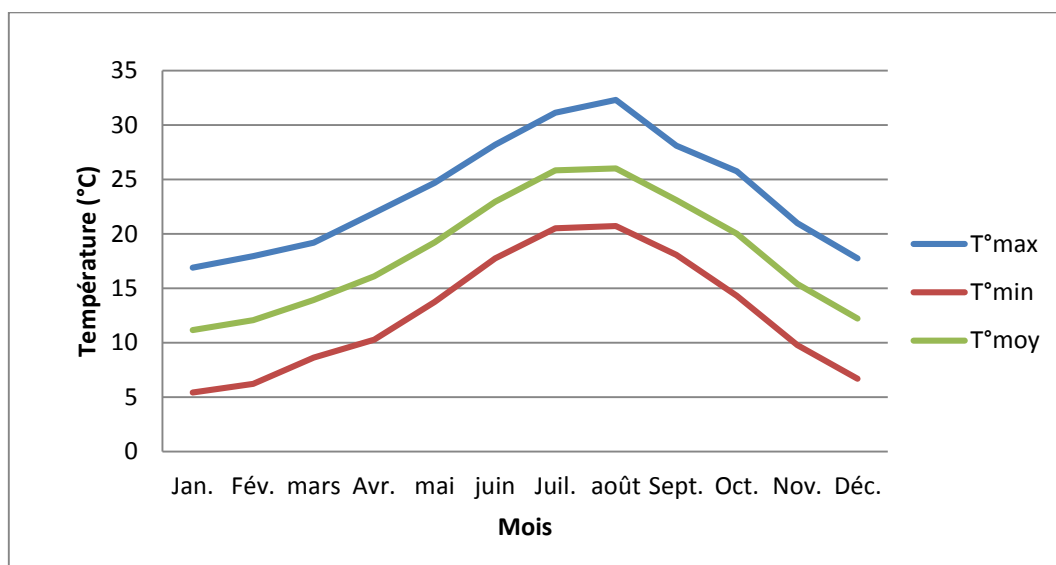


Fig. 06 : Températures mensuelles pour la station d’Es-Sénia (1990-2013).

3. L’indice climatique de la région d’étude :

L’utilisation du Diagramme de De Martonne détermine pour notre région d’étude un climat semi-aride (fig.07). L’indice d’aridité, donné par la formule : $I = P/T + 10$, est égal à 12.47.

La classification proposée par De Martonne est la suivante (tableau n°06) :

Tableau n°06 : Classification des climats proposés par De Martonne.

Valeur de I	<05	05 <I <7.5	7.5< I <10	10< I <20	20 <I <30
Type de climat	hyperaride	désertique	steppique	Semi-aride	tempéré

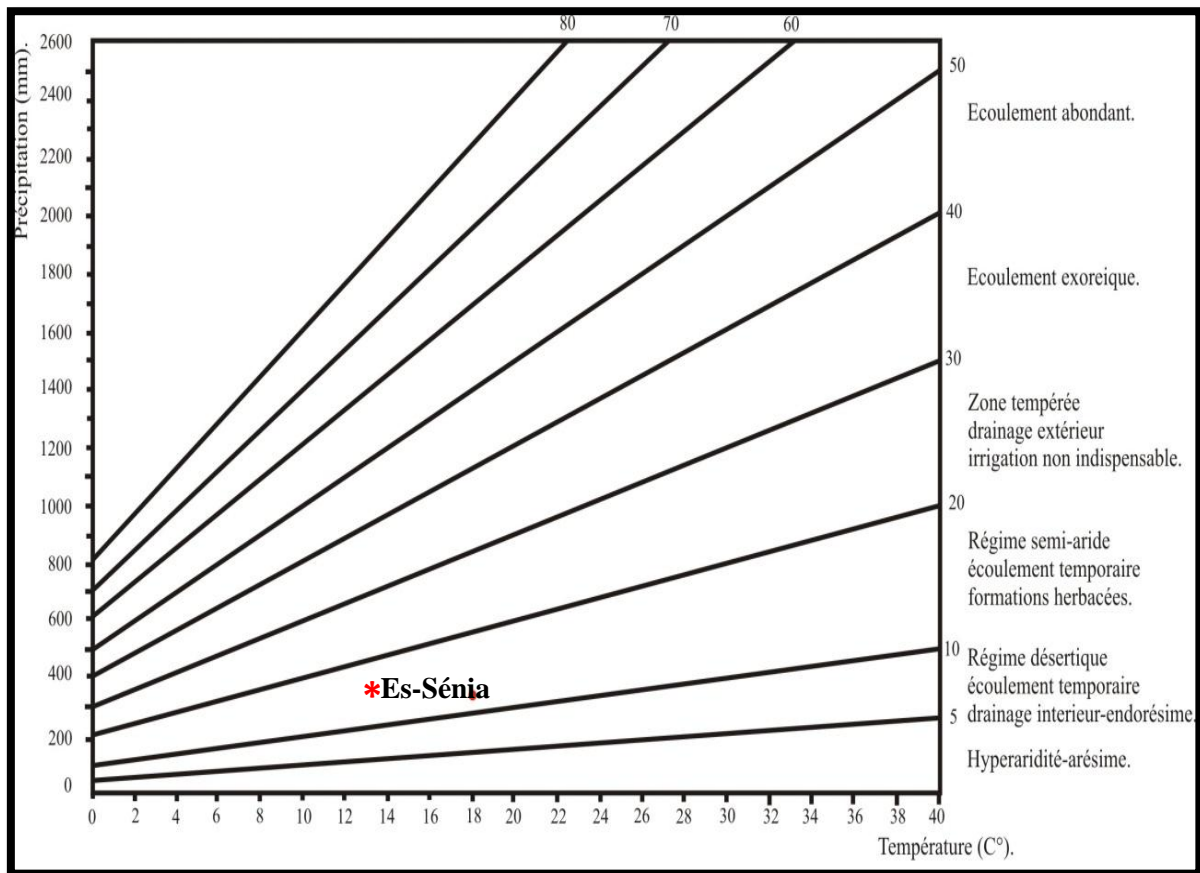


Fig. 07 : Diagramme d'indice d'aridité d'Es-Sénia (méthode de De Martonne).

III. Cadre morphologique :

Il est à rappeler que la morphologie, dans la région d'Oran, est étroitement liée à la structure géologique tellienne (fig.n°08) constitué par une succession de massifs montagneux (côtiers et sublittoraux) et de plaines faiblement ondulées (Benabdallah, 2011).

L'Oranie septentrional représente un domaine important du mio-pliocène. Dans cette vaste région nous distinguons trois sillons :

- ❖ Un sillon septentrional représenté par la plaine des Andalouses.
- ❖ Un sillon médian "Plateau d'Oran - Grande Sebka" prolongeant vers l'Ouest le sillon du bassin du Chéllif.
- ❖ Un sillon méridional situé au Sud des Monts de Tessala "Plaine de Sidi Bel Abbès - Mascara".

Le littoral oranais à topographie relativement contrastée, apparaît comme un agencement de formes plissées très variées où alternent des plis aigus, lâchés affectant soit le substratum Jurassico-crétacé soit la couverture Mio-pliocène (R.Tinthoin, 1948).

Il semble d'après certains auteurs que ces fameuses structures se sont mises en place au centre d'un bassin néogène subsident en cours de dépôts, et que la cause principale de la géomorphologie actuelle du littoral serait l'activité des rejeux plio-quadernaires.

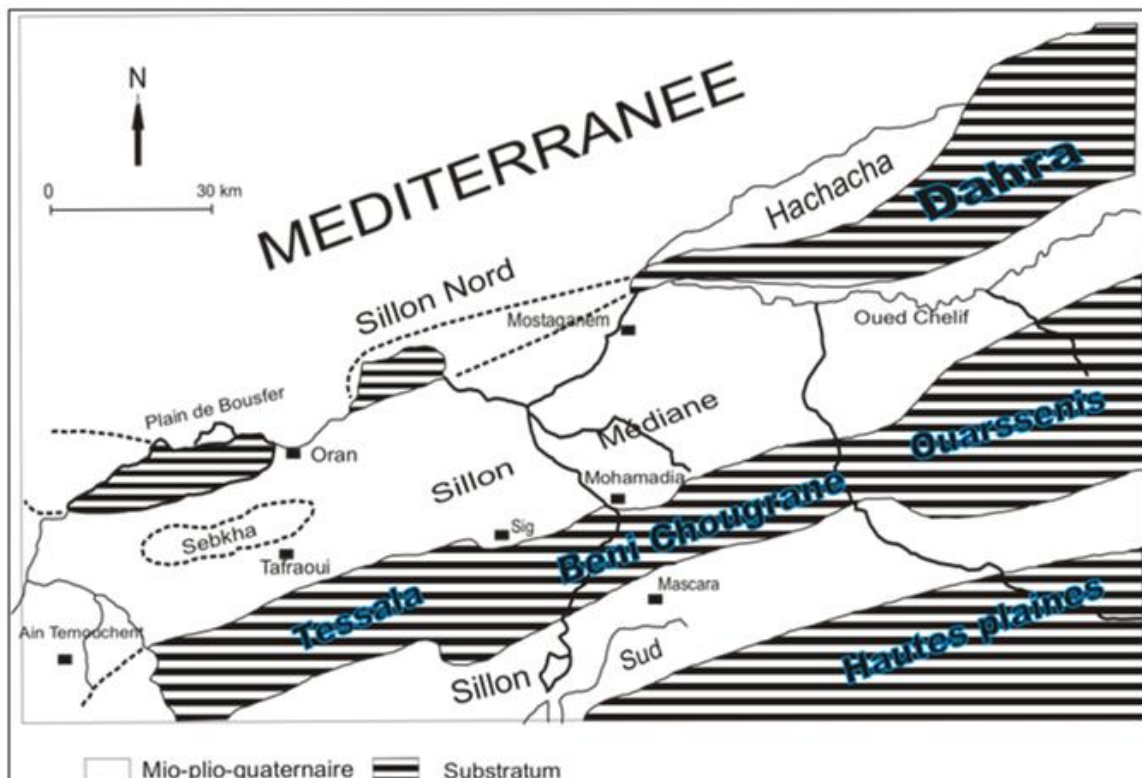


Fig.08 : Structure générale du bassin moyen Chéllif (D'après Delfaut et al, 1973, modifié).

IV. Le cadre géologique :

1. Introduction :

La région d'étude se trouve dans la partie septentrionale du bassin du Bas Chélif qui fait partie des bassins néogènes sub-littoraux de l'Algérie nord occidentale. Le bassin du Bas Chélif se trouve entre les massifs côtiers et les massifs internes de l'Atlas tellien oranais et occupe une grande partie du sillon médian défini par Delfaut et al. (1973). Il constitue une vaste cuvette, limité au Nord par l'axe du Murdjadjo, les monts d'Arzew et le massif du Dahra. Sa bordure méridionale est constituée du profil Tessala, Béni-Chougrane et le massif de l'Ouarsenis (Fig.09).

Le littoral Oranais est considéré comme une entité géologique qui se différencie par des particularités géologiques et structurales très marqués (Gourinard, 1952 et Perrodon, 1975), où on trouve à la fois des régions montagneuses et des bassins subsidents.

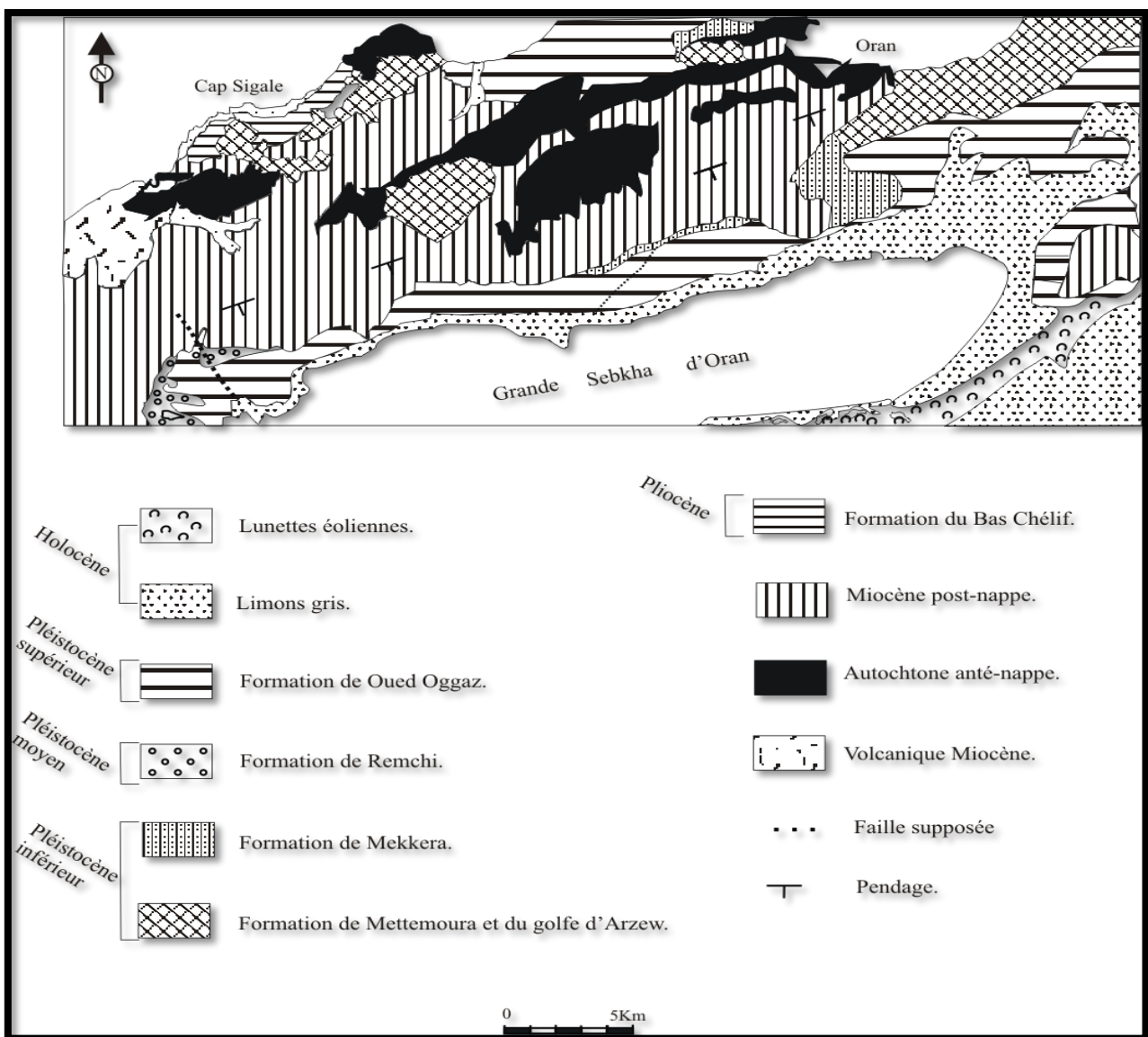


Fig. 09 : Carte géologique de l'Oranie (D'après G.Thomas, 1985).

2. Lithostratigraphie :

Les descriptions de la région sont basées sur les observations des affleurements localisées essentiellement dans les massifs littoraux et dans le Djebel Khar, ainsi que par l'observation des cuttings d'un grand nombre de forages réalisés à différentes périodes. Dans les massifs littoraux du Murdjadjo, le substratum est constitué par les affleurements du primaire et du secondaire qui forment l'autochtone relatif (B.Fenet, 1975) ou l'autochtone anté-nappe. (G.Thomas, 1985).

2.1. Formation anté-nappe (substratum) :**2.1.1. Primaire :**

Il affleure sur la côte oranaise d'Ouest en Est, on distingue :

- ❖ Des schistes et conglomérats du Cap Falcon.
- ❖ Des schistes et conglomérats affleurent largement au Djebel Khar.

Au Cap Falcon, des lentilles de conglomérats étirés et rubéfiés coexistent avec des schistes rouges, verts ou noirs à blancs de grès quartzitiques grossiers.

Le Djebel Khar peut être assimilé globalement à un monoclinal à fort pendage vers le Nord-Ouest, dont le sommet est tronqué par l'érosion. Il dessine un net replat sur le versant septentrional (Foukrache M., 2001).

Le Permo-Trias est constitué dans le Djebel Khar par des grès à dragées, schistes violés et quartzites.

2.1.2. Jurassique :

Apparaît surtout dans le Djebel Santon, à Ain Keffri, Santa Cruz où affleure une formation carbonatée formée de lentilles dolomitiques massives accompagnée de calcaires schisteux et marmoréens, elle est attribuée au Lias par M. Doumergue (1912). A l'Est du Djebel Murdjadjo le Dogger est représenté par des schistes calcaires ardoisiers. Cette formation passe au sommet à des schistes rougeâtres.

Le Malm et le Tithonique inférieur sont formés par des bancs calcaires intercalés de niveau argileux. Les formations du Jurassique moyen et supérieur correspondent aux écailles para-autochtones schisteuses (B.Fenet, 1975).

Le Jurassique est représenté par des calcaires dolomitiques du Lias qui constituent des affleurements peu importants au Nord Ouest de Gdyl et par des schistes ardoisés devenant brun rouge en surface et qui apparaissent en lambeaux sur le flanc Sud du Djebel Khar.

2.1.3. Crétacé :

Il constitue l'ossature du Murdjadjo (500 m) où il est représenté par un faciès schisto-gréseux verdâtre très plissé, passant parfois à des calcschistes à lentilles de calcaire riches en ammonites pyriteuses datée du Barrémien.

C'est au Crétacé inférieur qu'appartient la plus grande part des schistes du Para autochtone des massifs d'Arzew et d'Oran.

Dans les massifs d'Arzew, l'ensemble du Crétacé inférieur est représenté sous un faciès essentiellement schisteux avec une très forte épaisseur (1500 à 2000 m selon B.Fenet) bien que difficile à évaluer à cause des complications structurales.

Le Crétacé est représenté par des schistes argileux, brun violet au Nord-Est du Djebel Khar, des schistes calcaires où s'intercalent les lentilles de calcaires marneux jaunâtres au Nord, reposant sur le Permo-Trias.

2.2. Formation Post-nappe (couverture) :**2.2.1. Miocène :**

L'étude du Miocène Post nappe a intéressé beaucoup d'auteurs (Perrodon, 1957), Fenet et Thomas (1985) (Fig.n°10). Le Miocène constitué par un cycle sédimentaire, est formé en grande partie par des marnes bleues jouant parfois le rôle de substratum d'aquifère (Guardia, 1975). Il est représenté par deux cycles marins bien datés:

a. Le premier cycle Miocène post-nappe :

Ce cycle se développe pendant le Serravalien et la partie inférieure du Tortonien, débute à la base par des conglomérats et des grès épais de plus de cents mètres qui passent à des marnes bleues à patine jaune (A. Joseph, 1979).

Il affleure sur le versant Nord du Murdjadjo dans les grabens de l'Oued Hammadi et du bassin de Mers-El-Kebir. Il correspond à des dépôts continentaux rouges constituées d'alternance de conglomérats à fragments de grès et de marnes rouges entrecoupés.

Il affleure sur la corniche Calabrienne entre Canastel et le Primaire de Djebel Khar dont il est séparé par un accident des falaises instables. Il correspond à des marnes verdâtres marquant le début du Miocène au niveau du flanc Sud du Djebel Khar et autour du pointement du Trias Tellien d'Ain Franin.

b. Le deuxième cycle Miocène post-nappe :

Ce cycle débute au Tortonien supérieur et se poursuit tout au long du Messinien. Sur les bordures, le deuxième cycle est transgressif et discordant. Il débute par le volcanisme de Tafraoui et des îles Habibas, signalait par un dépôt de cinérite. Les formations constituantes ce cycle sont :

❖ La série de base (série détritique- grés de base) :

Elle correspond à des grès à clypeasters issus d'un véritable niveau transgressif ; ce sont des grès sableux parfois à ciment calcaire à nombreux éléments empruntés au substratum.

Au sud et à l'Est du Djebel Khar : ce sont des marnes blanchâtres à tripolis et gypse qui affleurent au Sud-est des Monts d'Arzew.

Une série détritique importante affleure un peu à l'Ouest dans la coupe de l'Oued Tlelat, où l'on mesure 500m de niveaux clastiques, reposant sur les schistes Crétacés (Perrodon, 1957).

Au Nord dans les massifs littoraux une coupe a été relevée sur le versant Sud du Djebel Murdjadjo (Fig.n°10).

❖ Les marnes bleues (formations marines) :

Dans le Bassin du Bas Chélif, la formation détritique de base est recouverte par la série des marnes bleues. Par rapport aux autres formations, l'extension de cette formation est assez limitée.

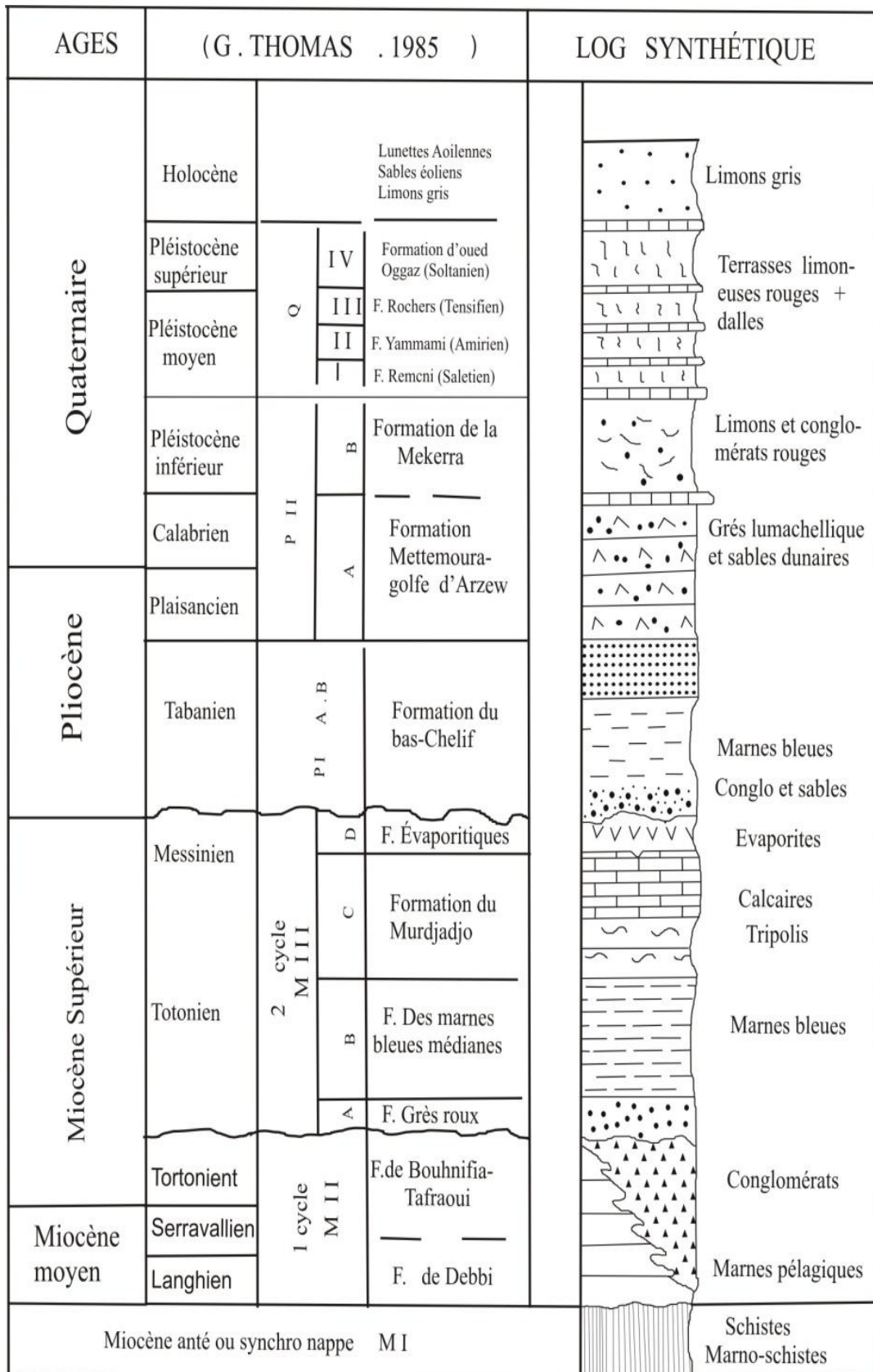


Fig.10 : Log géologique synthétique de la région d'Oran (Hassani M.I, 1987, extrait).

C'est une formation grano-décroissante qui débute par des dépôts gréseux et qui passe verticalement à des marnes bien connues à l'affleurement.

Sur le versant Sud du Murdjadjo ces marnes reposent en biseau. Cette formation se termine par des marnes jaunes à silex.

Des calcaires à algues reposent en discordance sur les grés de base. Ces calcaires déposés sur des points hauts constituent une variation latérale de faciès des marnes bleues (G.Thomas, 1985).

Cette série a été recoupée par le forage OT9, forage de Benyabkha et le puits de Kharouba.

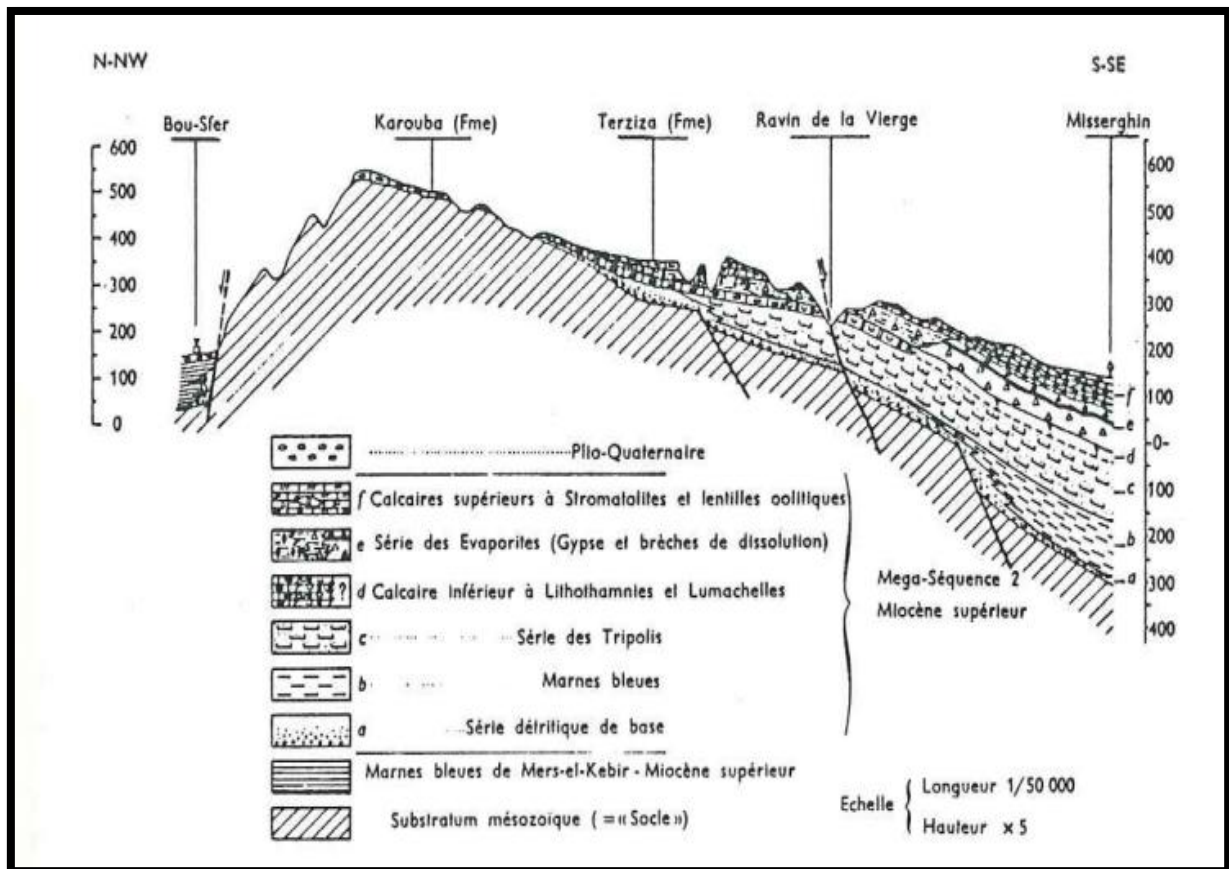


Fig.11 : Coupe géologique du versant sud-est du Djebel Murdjadjo (J.Delfaut, J.Revert, 1974).

❖ *Formation évaporitique (formations terminales) :*

Le Miocène supérieur s'achève dans le bassin du Bas Chélif par des séries bien différenciées, désignées par les termes de "série des Tripolis" et "série des Gypses" (Perrodon, 1975).

Elle comprend des dépôts évaporitiques caractérisés par un faciès gypseux, puis un ensemble marneux. Déposées dans les zones subsidentes, elles clôturent le deuxième cycle Miocène post-nappe (Thomas, 1985).

Sur la bordure Sud des Monts d'Arzew, au dessus des niveaux de base conglomératique ou gréseux, se déposent des marnes bleues dans lesquelles s'intercale un niveau cinéritique, qui s'enrichi en vers le Sud.

Les forages recoupant les marno-calcaires sont le forage de Benyabkha et le forage OT9.

❖ *Les calcaires marneux et récifaux :*

Généralement, ces formations reposent ou relient en amont du Horst du Murdjadjo des marnes à tripolis dont le dépôt correspond au maximum de l'extension de la mer Miocène et au début de sa régression, parfois ces calcaires reposent directement sur les sédiments secondaires (in Hassani, 1987).

Dans le Murdjadjo, une formation de calcaire durs à algues, relaiant ou reposent sur les marno-calcaires, formant ainsi une carapace puissante d'une centaine de mètres, bien développée en affleurement depuis la pointe Nord-Est jusqu'à la hauteur de Boutlélis. Ces calcaires de couleur blanche ou crème, parfois avec des mouchetures de manganèse, sont diaclasés, fissurés et extrêmement karstique. A l'Ouest de Boutlélis, le faciès devient marneux et crayeux avec des lentilles de gypse.

Cette série est recoupée par le forage OT9, le puits C2 Begoug, le puits Inesmo et le forage Benyabkha.

2.2.2. Pliocène inférieur et moyen :

Le Pliocène qui correspond au 3^{ème} cycle Post-nappe de B.Fenet est transgressif. Dans le bassin du Chélif, Il est représenté par la succession classique des marnes bleues plais anciennes et grès marins de l'Astien (Perrodon, 1957). Il affleure au Sud du Djebel Khar à Ain Bachir et à l'Est d'El-Karma (Joseph, 1979). Il affleure largement au Sud-Ouest d'Arzew et sur le plateau de Boufatis.

La transgression du Pliocène marin s'effectue dans l'axe de la dépression "Habra-Sebkha d'Oran". Les dépôts sont peu épais et molassique sur le seuil situé au Sud du massif d'Arzew vers l'Ouest.

Les forages recoupant la formation Pliocène sont le Forage Benyabkha, le puits Kharouba, le puits Inesmo et le forage OT9.

2.2.3. Plio-pléistocène :

Sur la feuille d'Arzew, d'Oran et des Andalouses, le Plio-pléistocène inférieur est très développé.

Dans les massifs littoraux d'Oran, affleure une formation, qui débute par des grès coquillés pouvant passer à des calcaires lumachelles reposant directement sur des schistes Crétacé. Cette formation est surmontée par des grès dunaires.

Les grès calcaires du plateau d'Oran s'étendent le long des falaises à l'Est d'Oran avec une altitude de 80m ; ils remontent en altitude jusqu'à plus de 200m couvrant la montagne des Lions. Ils se prolongent également jusqu'à Gdyl à l'Est et au Sud-Est. Cette formation est attribuée au Quaternaire [Calabrien d'après Gourinard (1958)].

2.2.4. Pléistocène moyen, supérieur et l'Holocène :

Il affleure surtout à la partie Ouest de la grande Sebkhah. Il correspond aux alluvions anciennes (Doumergue, 1931) et au Quaternaire intermédiaire (Gourinard, 1958).

Les formations du Pléistocène moyen étaient désignées par les auteurs de cartes géologiques sous les vocables "d'alluvions anciennes". Les niveaux marins sont localisés le long d'une frange extrêmement réduite qui jalonne le littoral oranais. Les niveaux marins du pléistocène de l'Oranie sont rares la mauvaise conservation de ces niveaux est la conséquence de leur érosion rapide, elle-même consécutive à l'activité tectonique du littoral Oranais (Thomas, 1985).

Les dépôts du Pléistocène supérieur et de l'Holocène désignés par le sigle (QIV) sont bien développés le long du littoral oranais. Ils sont constitués pour l'essentiel par des "Beach-Rocks", des dunes, des limons et des cailloutis. L'ensemble de ces dépôts constituent la formation de Cap Falcon, les sables dunaires littoraux sont en partie contemporains des limons gris, souvent salés, des plaines intérieures, qui sont attribués au Rharbien (G.Thomas, 1985).

Sur le littoral, l'Holocène est représenté par un complexe dunaire consolidé. Les anciennes dunes affleurent en général le long de la côte, et sont formées par des sables jaunes consolidés à stratification entrecroisées d'origine éolienne.

Ces formations constituent l'ossature des massifs dunaires dont le rôle hydrogéologique est primordial sur le littoral oranais.

Conclusion :

Dans ce chapitre, un aperçu général des caractéristiques géographiques, morphologiques, climatologiques et géologiques de la région d'étude a été donné.

L'étude climatologique a permis de déterminer les caractéristiques du climat de la région. C'est un climat méditerranéen de type semi-aride. Cette aridité est due au déficit pluviométrique très marqué, ceci peut produire des modifications périodiques de la chimie des eaux. La lame d'eau précipitée a été estimée à 351 mm et la température moyenne annuelle est de 18.17 °C pour la période 1990 - 2013.

En se basant sur les travaux géologiques de plusieurs auteurs, l'étude géologique de la région a mis en évidence une structure constituée par deux grands ensembles :

- Un substratum anté-nappes, affleurant dans le Djebel Murdjadjo, Djebel Khar et les Monts d'Arzew, représenté par des massifs schisteux autochtones d'âge Permo-trias, jurassique et crétacé, fortement affectés par l'orogénèse alpine.
- Un remplissage (couverture) post-nappe, avec une forte extension dans les zones basses du domaine. Quatre cycles sont distingués :

Le premier cycle miocène post-nappe formé de dépôts continentaux, constitués d'alternance de conglomérats et de marnes parfois gypseuses, bien développés sur les côtes.

Le deuxième cycle miocène post-nappe, qui débute par une importante série détritico-grésosableuse et constitué par des formations médianes qui sont représentées par des marnes bleues et par des formations terminales, représentées par une série des tripolis et une série des gypses.

Le troisième cycle post-nappe pliocène est représenté par une succession classique des marnes bleutées et des grés marins puis continentaux.

Le quatrième cycle post-nappe (Calabrien) est d'abord lumachellic ou conglomératique passant progressivement à des grés dunaires et représentant le dernier épisode marin de quelque importance sur le littoral oranais.

1. Introduction :

Une synthèse sur les unités aquifères de la région d'Oran a été tentée par A. Joseph (1999) résumant l'existence des principaux réservoirs. Malgré le caractère trop simpliste de cette cartographie, il n'en demeure pas moins que ce document présente l'avantage d'avoir une vue d'ensemble des potentialités hydrogéologiques ainsi que les possibles relations hydrodynamiques entre les systèmes aquifères.

En se basant sur leurs propriétés hydrogéologiques, différentes formations lithologiques susceptibles de former des aquifères (Bouklia-Hassane R, 2011) (Fig.n°13) :

- ❖ Les réservoirs calcaires récifaux à forte capacité de rétention d'eau souterraine.
- ❖ Les formations quaternaires à capacité variable.
- ❖ Les marnes du Miocène supérieur et du Pliocène inférieur à faible capacité.

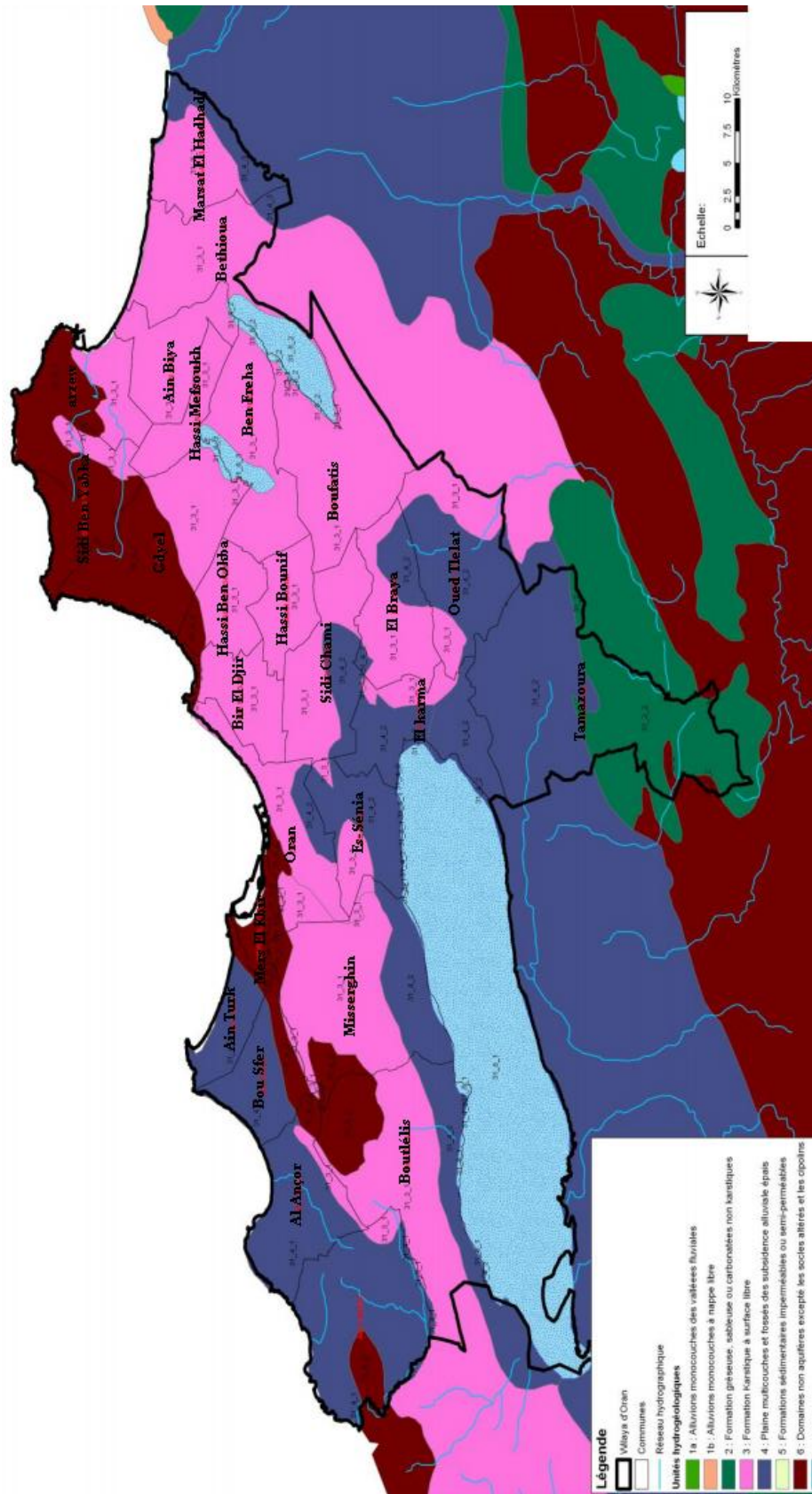


Fig.n° 13 : Une carte de localisation des unités hydrogéologiques de la Wilaya d'Oran (Boukha-Hassane R, 2011, modifié).

2. Identification géologique des aquifères :

2.1. Primaire :

Les ressources en eau du Primaire sont pauvres, les formations géologiques qui les composent sont pratiquement dépourvues de vides interstitiels et les seules possibilités de stockage d'eau se situent dans le réseau de fissures du flanc N-W du Djebel Khar. La faille qui longe la cote faisant office de drain collecteur.

2.2. Secondaire :

2.2.1. Trias :

Il contribue à la salure des nappes, son intérêt hydrogéologique est très restreint en raison de la faible extension en surface.

2.2.2. Jurassique :

Les dolomies schisteuses compactes du Jurassique ne sont pas toujours de bons aquifères et l'eau a plus tendance à ruisseler qu'à s'infiltrer à travers les fissures et contacts anormaux. Les formations liasiques sont potentiellement aquifères, particulièrement au droit des fissures.

2.2.3. Crétacé :

Les schistes du Crétacé inférieur forment la majeure partie des monts d'Arzew, ces formations ne favorisent pas l'infiltration. Les formations Crétacés essentiellement calco-schisteuses avec des passées quartzitiques très compactes n'offrent pas des possibilités aquifères appréciables, mise à part l'existence de quelques suintements visibles du Murdjadjo.

2.3. Tertiaire :

Les formations tertiaires représentées par des marnes, marno-calcaires ou des grès, n'offrent que de minces capacités aquifères. Les formations miocènes forment en général le mur imperméable des nappes d'Oran, sauf pour la nappe des calcaires à algues du Murdjadjo qui recèle des ressources en eau appréciables (Fig.n°14).

2.4. Plioquaternaire :

Le pléistocène à faciès gréseux (Bir El Djir-Canastel) apparaît en coupe le long de la falaise où il repose sur les marnes Miocènes vers l'Est et les marnes Pliocènes vers le Sud. Plus à l'Ouest vers Oran, la nappe est drainée par trop plein sur une ligne de petites sources jusqu'à la pêcherie.

Le quaternaire récent laisse apparaître des dépôts continentaux constitués surtout par de formations de pentes, brèches, cailloutis à l'image du bas de la falaise au Sud du Bousfer. Les alluvions laguno-fluviatiles, limons, argiles sableuses tapissent la plaine de Figuier alors que la croûte calcaire recouvre presque la totalité du plateau de Bir El Djir. Les dépôts marins constitués par les plages actuelles et les complexes dunaires contiennent une nappe ayant comme réceptacle le Cap Falcon et les Andalouses.

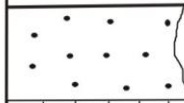
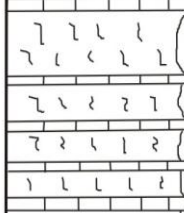
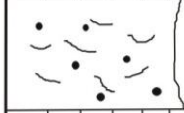
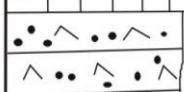
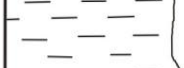


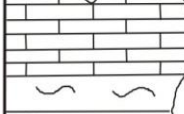
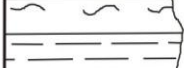
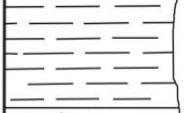
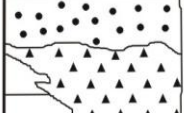
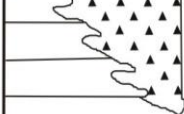

AGES	LOG SYNTHÉTIQUE		LOG HYDROGEOLOGIQUE
Quaternaire		Limons gris	Semi Perméable
		Terrasses limon- euses rouges + dalles	
		Limons et conglom- mérats rouges	
		Grès lumachellique et sables dunaires	
Pliocène		Marnes bleues	Imperméable
		Conglo et sables	Perméable
Miocène Supérieur		Evaporites	
		Calcaires Tripolis	
		Marnes bleues	Imperméable
			Perméable
		Conglomérats	Semi Perméable
Miocène moyen		Marnes pélagiques	
	Miocène anté ou synchro nappe MI		Schistes Marno-schistes

Fig.n°14 : Log hydrogéologique de la région d'Oran (Hassani M.I., 1987).

3. Description des principaux aquifères du secteur d'étude :

L'étude géologique a permis ainsi de caractériser trois formations qui jouent un rôle hydrogéologique important. Ces formations sont représentées par des alluvions Plio-quaternaire, calcaires dolomitiques du Lias et calcaires, calcaires gréseux du Mio-Pliocène (Fig.n°15).

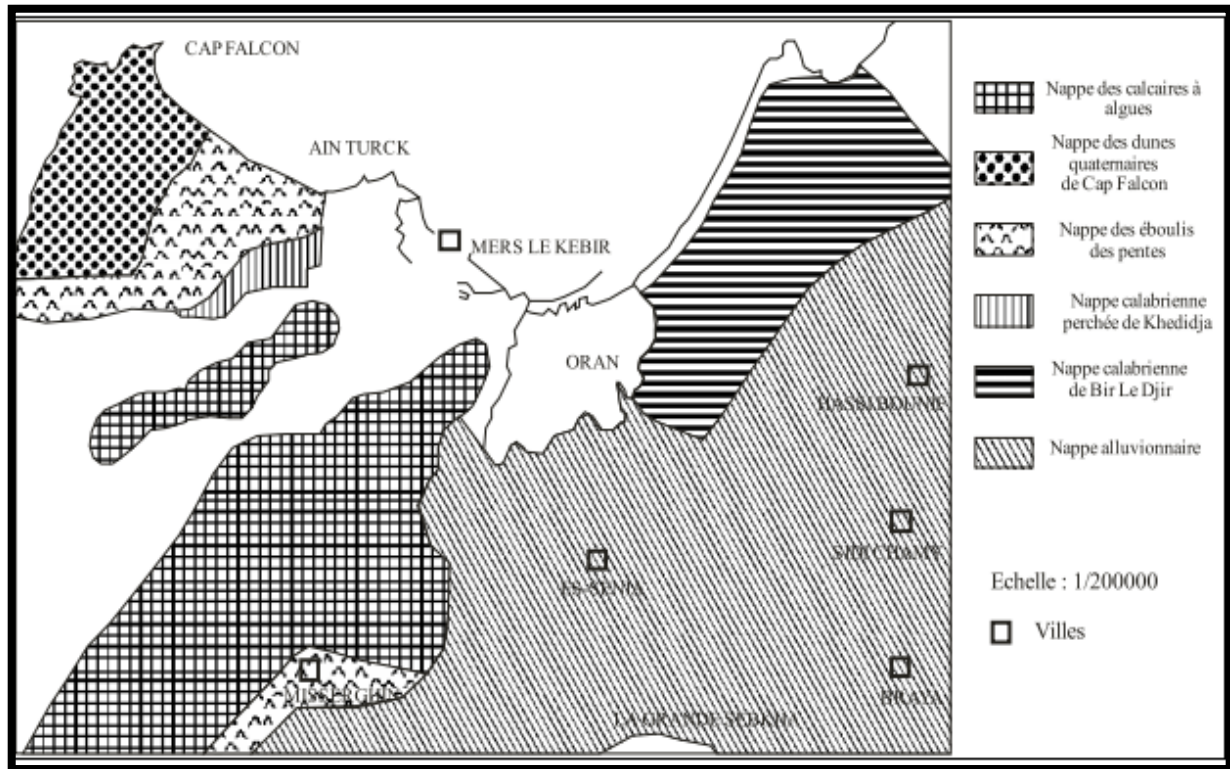


Fig.n°15 : Répartition des aquifères sur le secteur d'étude (A. Joseph, 1979).

3.1. L'aquifère des alluvions plio-quaternaires :

L'aquifère des alluvions Plio-quaternaire constitué par la superposition des trois niveaux d'aquifère formant un seul système aquifère multicouche à nappe libre. Elle est limitée latéralement par les schistes imperméables du Djebel Khar et les monts d'Arzew. Cet aquifère se termine en biseau au contact des schistes qui constituent une limite étanche. Les trois niveaux sont :

3.1.1. Les formations alluvionnaires :

Formée par le Quaternaire laguno-lacustre du sillon médian, qui s'étend de l'Est du village de Hassi Bounif au Sud des trois Hassis jusqu'en bordure du lac de Télamine. L'aquifère est formé par des alluvions de nature très variée : argile, croûte calcaire, limons sableux et gypse.

3.1.2. Les grès coquillers et sables jaunes :

forment l'aquifère le plus important, présentant une grande extension dans la région entre Bir El Djir et Gdyl. Cette formation montre une épaisseur moyenne de 20 mètres. Le substratum est

constitué au Nord par les marnes Miocènes et au Sud par les marnes sableuses du Pliocène (Puits de Kharouba). La matrice est formée par un ensemble de coquilles de lamellibranches présentant une perméabilité d'interstices.

Coupe lithologique du Puits de Kharouba (x = 222.2 et y = 275.50) :

- 0 - 2 m : limons sableux.
- 2 - 9 m : grès coquillers.
- 9 - 22 m : grès calcaireux.
- 22 - 39 m : marnes sableuses.
- 39 - 65 m : marnes bleues.

3.1.3. Les calcaires gréseux :

Constituant des bancs assez résistants qui se marquent bien dans la topographie de la région. Les niveaux inférieurs sont plus tendres. Cette formation est bien visible à l'affleurement au niveau de Hassi Ben Okba et à Hassiane Ettoual. Son épaisseur peut atteindre une cinquantaine de mètres environ. La nappe des calcaires gréseux est importante dans la région, surtout vers le Sud où elle recèle une ressource en eau très intéressante.

La nappe est très exploitée par des forages et puits, pour des usages agricoles et industriels. C'est le cas dans la zone industrielle d'Es-Sénia (Puits Inesmo x = 198.50 et y = 268.99).

Coupe lithologique du Puits d'Es-Sénia :

- 0 - 2 m : terre végétale.
- 2 - 14 m : calcaire.
- 14 - 32 m : argile avec bancs de galets.
- 32 - 60 m : grès calcaireux fissurés.
- 60 - 71 m : argiles grises.
- 71 - 95 m : calcaire avec des passées de marnes.
- 95 - 120 m : calcaire gréseux.

3.1.4. Corrélation entre les niveaux aquifères :

Les schémas des coupes (Fig.n° 16-17) établis par Foukrache M. (2001) à partir d'une cartographie géologique de la feuille de Gdyel au 1/2500 réalisée par L.Haddar (1986), permettant de mettre en évidence la position des différents horizons aquifères.

- *Aquifère bicouche : éboulis-alluvions et grès (Fig.n°16) :*

Cet aquifère formé par les grès et les sables, est recouvert vers l'Est par les alluvions. L'ensemble formant une aquifère bicouche. Les marnes sableuses constituent le mur de la nappe. On note ici l'absence des calcaires gréseux.

- *Aquifère bicouche : éboulis- alluvions et calcaires gréseux (Fig.n°17) :*

On constate vers le Sud, une large extension de la nappe des calcaires gréseux dont le mur est formé par les marnes bleues. Le niveau grésosableux est de moindre importance.

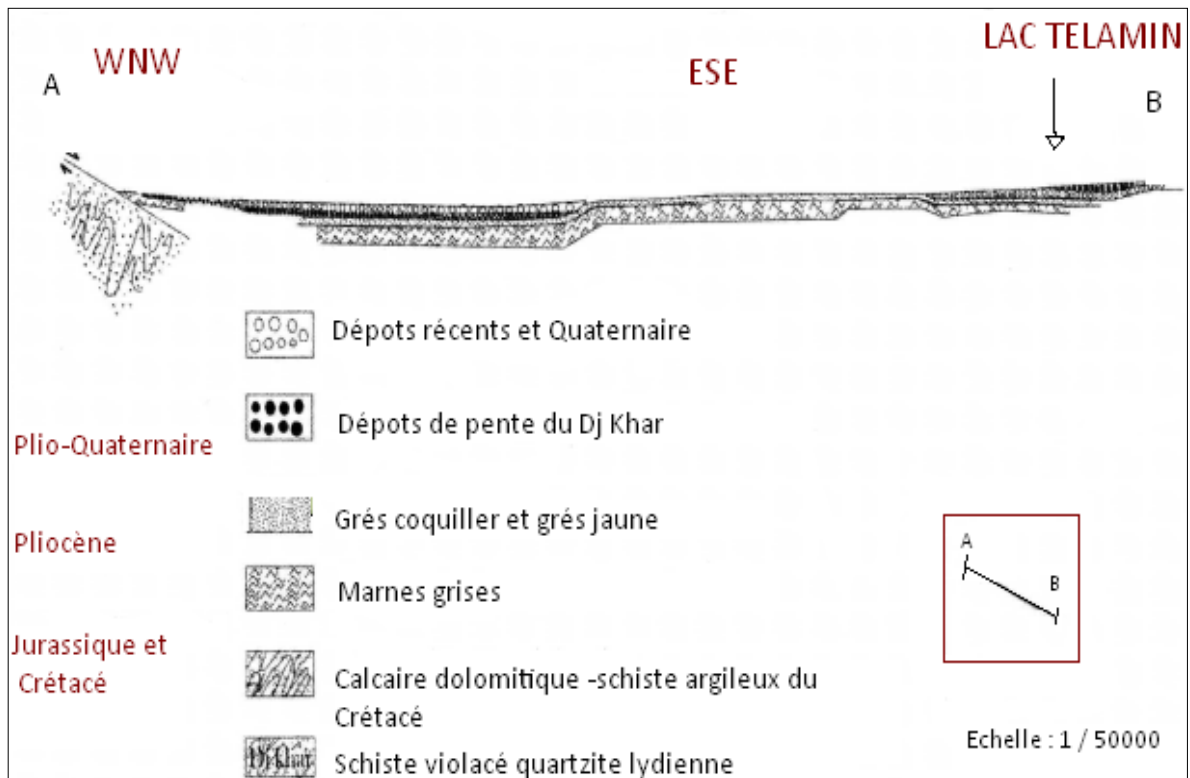


Fig.n°16 : Aquifère bicouche : éboulis-alluvions et grès (D'après Foukrache M., 2001).

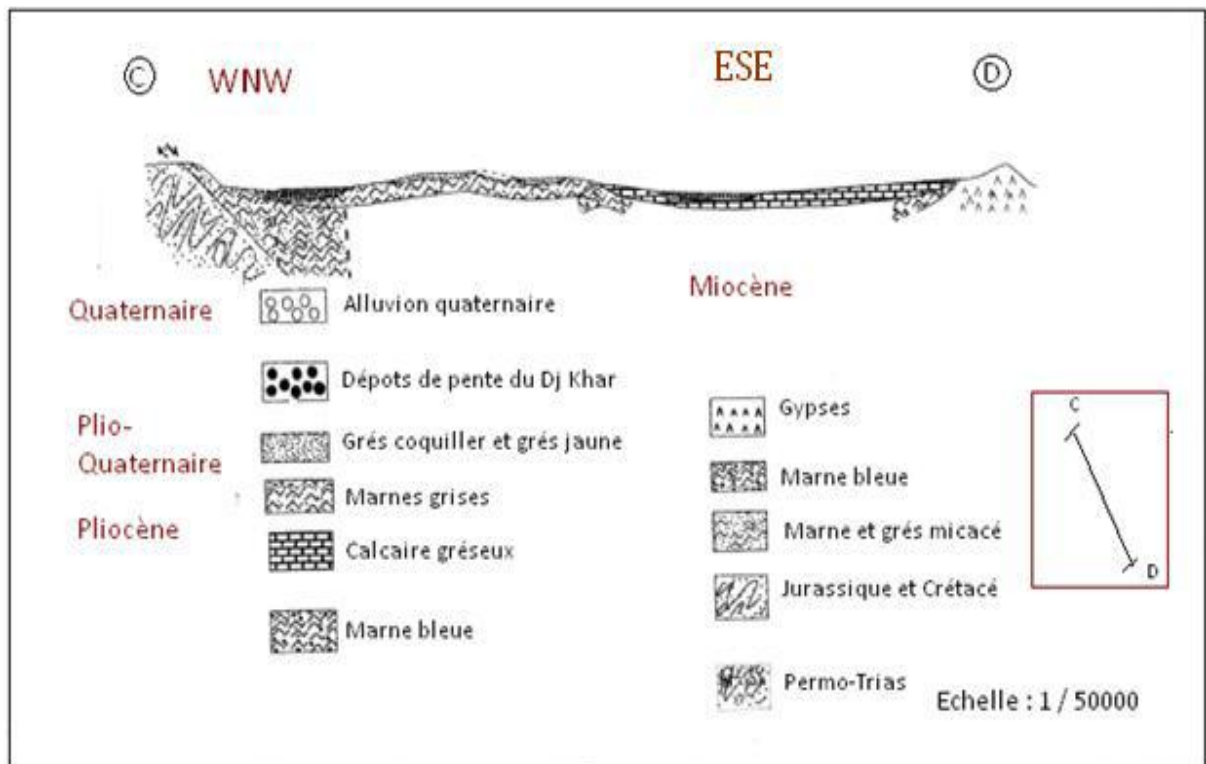


Fig.n°17 : Aquifère bicouche : éboulis- alluvions et calcaires gréseux (D'après Foukrache M., 2001).

3.2. L'aquifère des calcaires dolomitiques :

L'aquifère des calcaires dolomitiques du Lias constitue une réserve en eau très importante où l'on remarque l'existence de zones favorables pour le captage des eaux souterraines. Les calcaires liasiques affleurent largement dans le secteur compris entre Kristel et la bande Nord de Gdyl-Sidi Benyabkha, au niveau des djebels Borosse et Orouse.

A côté d'une fissuration intense qui affecte cette formation, on retrouve les formes du modelé karstique : cavité, lapiez et grottes ; ce qui confère à ces calcaires une bonne perméabilité de fissure.

En effet, le forage Benyabkha capte actuellement les formations calcaires du complexe jurassique (Fig.n°18).

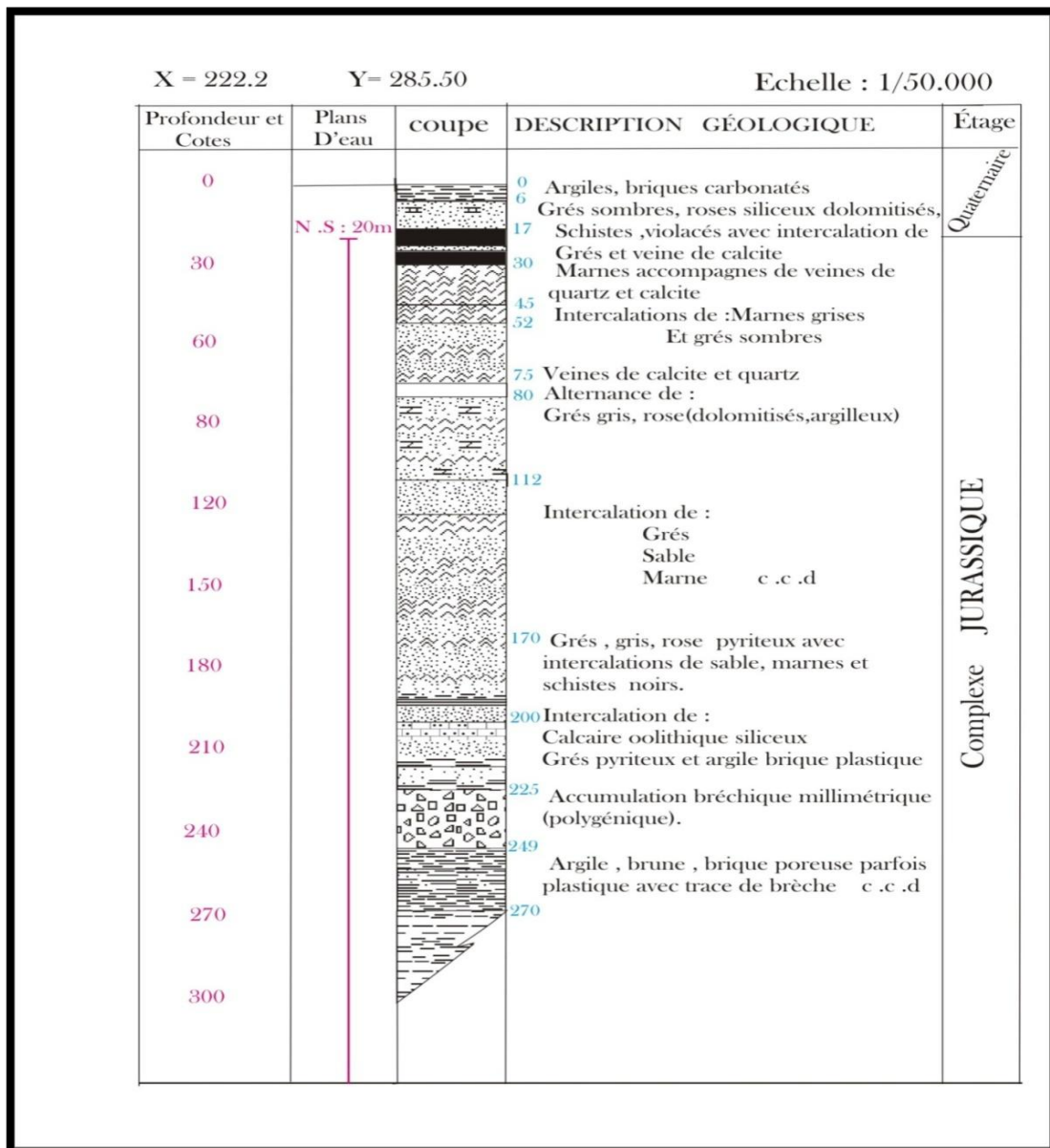


Fig.n°18 : Sondage de forage Benyabkha (ANRH, 2015).

3.3. Complexe Mio-pliocène :

Reconnu par des forages profonds (300-500 m) dans la partie Est de la plaine de la M'léta, notamment au droit de la plaine de Tlelat, cet horizon aquifère est très puissant (150 m d'épaisseur). En effet, il constitue avec son extension latérale un très bon réservoir.

Cet aquifère est associé aux grès consolidés, aux sables fins du Pliocène marin et aux calcaires récifaux du Miocène supérieur. Ces derniers sont caractérisés par une bonne perméabilité de fissure.

Vers le haut, l'aquifère est limité soit par les marnes rouges du Pléistocène inférieur ou du Pléisto- Holocène (alluvions Plio-quaternaire), soit par les marnes bleues du Pliocène inférieur marin.

La nappe des calcaires est libre au niveau des affleurements (Monts Tessala et Djebel Murdjadjo). Elle devient captive par contre en plaine, sous les dépôts post-nappe peu perméables (les alluvions Plio-quaternaires). Ces dépôts récents mettent le complexe en charge et semblent former une bonne couverture étanche qui protège la nappe profonde et empêche sa pollution et son intercommunication avec les eaux polluées de surface. Cette nappe captive est fortement ascendante. Plusieurs forages ont capté cette nappe : forage OT9 (x = 212.65 et y = 255.75) et Puits de Begoug (x = 176.630 et y = 259.15).

Coupe lithologique de Forage OT9 :

- 0 - 2 m : terre végétale.
- 2 - 59 m : argile brique peu sableuses parfois calcaires.
- 60 - 100 m : sable argileux beiges.
- 101 - 136 m : argile peu sableuses beige à passés de calcaire.
- 137 - 150 m : marnes grises plastiques.
- 151 - 157 m : argiles beiges plastiques.
- 158 - 170 m : argiles sableuses.
- 171 - 174 m : sable fin à passés de calcaire fossilifère.
- 175 - 190 m : calcaires gréseux.
- 191 - 200 m : calcaire tendre beige (une perte totale a été signalée à cette côte).
- 201 - 212 m : calcaire tendre beige à passés de gypse.

Coupe lithologique du Puits de Begoug :

- 0 - 1.5 m : terre végétale.
- 1.5 - 2.5 m : argile brune.
- 2.5 - 20 m : calcaire blancs mouchettes tendre fissuré.
- 20 - 22 m : argile.

Conclusion :

L'étude hydrogéologique de la région a permis de distinguer les réservoirs les plus importants dans la région.

- ✚ L'aquifère Plio-quadernaire avec ces trois niveaux superposés : alluvions-grès et sables - calcaire gréseux ; formant un seul aquifère multicouche à nappe libre, limité latéralement par les schistes imperméables du Djebel Khar et des Monts d'Arzew. Cette nappe est très sollicitée par de nombreux captages d'eau.
- ✚ Les calcaires dolomitiques du Lias se prolongent plus au Sud en profondeur sous le recouvrement Plio-quadernaire, formant ainsi une réserve en eau très importante au Sud des piémonts des monts d'Arzew.
- ✚ L'aquifère des calcaires du Miocène présente un grand intérêt du fait de leur extension tant à l'affleurement qu'en profondeur de leur épaisseur et de l'état de leur fracturation favorable à l'emmagasinement et à la circulation des eaux souterraines.

I. Généralités sur l'eau potable :

1.1. Eau potable :

Une eau qui ne porte pas atteinte à la santé, et qui répond à un certain confort et plaisir de boire. Une eau est dite potable quand elle satisfait à un certain nombre de caractéristiques la rendant propre à la consommation humaine. Le concept de "potabilité" varie à travers le monde, fruit d'un contexte historique et culturel local. Il détermine la question de l'accès à l'eau, puisque une eau de bonne qualité est essentielle au développement économique et humain.

1.2. Eau non potable :

Une eau non potable consommée de manière quotidienne peut avoir de graves conséquences sur l'organisme. Une eau qui semble claire et limpide peut en transporter malgré cela, toutes sortes de substances inertes et vivantes. L'eau est le vecteur de nombreux parasites, bactéries ou virus. Il faut prendre des précautions avant de consommer de l'eau dans la nature. Voici quelques-unes des contaminations possibles et leurs conséquences sur l'organisme humain (Tableau n°07).

Tableau n°07: Quelques-unes des contaminations possibles et leurs conséquences.

Contamination	Les conséquences
Les bactéries	Diverses maladies comme le choléra, la fièvre typhoïde ou encore la dysenterie.
Les virus	Hépatite infectieuse.
Les kystes	Giardia.
Les parasites qui sont à l'origine de fièvres, diarrhée.	Des complications si l'infection n'est pas traitée rapidement.
Les vers parasites	La bilharziose avec pour symptômes douleurs abdominales, éruptions cutanées, anémie, fatigue chronique. Ce sont les larves (nageant à la surface des eaux infestées) qui sont à l'origine de l'infection, elles peuvent aussi s'introduire par voie cutanée lors de baignades.
Les pollutions chimiques (métaux lourds, insecticides, hydrocarbures)	Intoxications, neuro-toxicité, cancérogénicité
Les algues ou autres particules en suspension	Une intoxication.

1.3. Les critères de potabilité des eaux :

Ces critères concernent en premier lieu l'eau brute, que l'on capte dans une nappe d'eau souterraine ou dans une eau de surface et à partir de laquelle on va produire de l'eau potable. Cette eau brute que l'on prélève dans le milieu naturel doit répondre à des exigences de qualité. Elle subit un traitement de potabilisation plus ou moins poussé selon sa qualité.

L'eau potable doit répondre à plusieurs critères, répartis en 7 groupes, qui reflètent deux préoccupations permanentes :

- ❖ Celle de la santé publique : offrir une eau sûre, garantie contre tous risques immédiats ou à long terme.
- ❖ Celle de confort et du plaisir, c'est-à-dire offrir une eau agréable à boire, claire, inodore et équilibrée en sels minéraux.

Ces 7 groupes sont répartis de la manière suivante :

1. Les paramètres organoleptiques : concernent la couleur, la saveur, l'odeur, la transparence.
2. Les paramètres physico-chimiques : température, pH entre autres.
3. Les paramètres concernant des substances "indésirables" dont la présence est tolérée si elle reste inférieure à un certain seuil (fluor, nitrates...).
4. Les paramètres concernant des substances toxiques dont les teneurs tolérées minimales, nécessitent des analyses extrêmement fines, cas des métaux lourds (plomb, mercure), de l'arsenic...
5. Les paramètres microbiologiques : il faut ici une absence de bactéries, virus pathogènes.
6. Les pesticides et produits apparentés où la norme est sensiblement plus sévère que les recommandations de l'OMS.
7. Les paramètres concernant les eaux adoucies : elles doivent contenir une teneur minimale en calcium nécessaire à l'équilibre physiologique.

1.4. L'origine d'une eau potable :

1.4.1. Eau souterraine :

Ce sont les eaux des nappes phréatiques qui correspondent à 22 % des réserves d'eaux douces, soit environ 1000 milliard de m³. Leur origine est représentée par l'accumulation des infiltrations dans le sol qui varient en fonction de la porosité et de la structure géologique du sol (Mebarki A, 1982).

Les eaux des nappes souterraines très profondes ont généralement une excellente qualité. Leur composition est assez constante au sein d'une même nappe. Elles sont moins vulnérables aux pollutions que les eaux des nappes peu profondes.

Dans la plupart des cas, l'eau souterraine ne contient pas d'oxygène dissous. Des substances indésirables peuvent également s'y trouver, comme le gaz carbonique, le fer, le manganèse, l'ammonium ou l'acide humique et plus rarement un excès de nitrates ou de pesticides (Livre bleu, 2001).

1.4.2. Eau de surface :

Les eaux de surface se répartissent en eaux véhiculées par les cours d'eau, ou contenues dans les lacs, ou maintenues derrière les barrages réservoirs. Elles ont pour origine, soit des nappes profondes dont l'émergence constitue une source de ruisseaux, de rivières, soit des rassemblements des eaux de ruissellement (MDDEP, 2012).

La composition de l'eau de surface est plus variable. Elle contient toujours de l'oxygène dissous, mais aussi des bactéries, des matières en suspension, des algues et des substances organiques qui peuvent donner des problèmes de goût et d'odeur.

Les sociétés de production d'eau ont donc une tâche beaucoup plus ardue pour produire de l'eau de distribution au départ d'eau de surface (Livre bleu, 2001).

1.5. Normes de potabilité :

Les normes de l'eau potable sont créées à partir d'une conception de la santé publique, s'appuyant sur la valeur guide de l'OMS.

Une eau potable est une eau que l'on peut boire sans risque pour la santé. Afin de définir précisément une eau potable, des normes ont été établies qui fixent notamment les teneurs limites à ne pas dépasser pour un certain nombre de substances nocives et susceptibles d'être présentes dans l'eau. Le fait qu'une eau soit conforme aux normes, c'est-à-dire potable, ne signifie donc pas qu'elle soit exempte de matières polluantes, mais que leur concentration a été jugée suffisamment faible pour ne pas mettre en danger la santé du consommateur (OMS, 2000).

Les normes définissant une eau potable sont variables suivant la législation en vigueur et selon qu'il s'agit d'une eau industrielle ou destinée à la consommation. Les normes de potabilité des eaux de consommation (normes algériennes et norme l'OMS) sont représentées dans le tableau n°08 :

Tableau n°08 : Normes de potabilité des eaux de consommation (norme algérienne et norme de l'OMS).

Paramètre	Unité de mesure	Norme algérienne		Norme de l'OMS	
		Niveau guide	CMA	Niveau guide	CMA
Odeur	Nombres de dilution	-	4	-	3
Goût	Nombres de dilution	-	4	-	3
Couleur	Pt/Co	-	25	5	20
Turbidité	NTU	-	5	-	5
Température	°C	-	25	-	-
PH	-	6.5-8.5	-	6.5-8.5	-
Conductivité	µs/cm	-	2500	-	1500
TDS	mg/l	500	-	-	1500
TH	mg/l	6	500	-	500
Calcium	mg/l	75	200	75	200
Magnésium	mg/l	-	150	50	150
Potassium	mg/l	-	15	-	-
Sodium	mg/l	-	250	-	200
Chlorures	mg/l	200	600	200	600
Sulfates	mg/l	200	400	400	-
Nitrates	mg/l	-	50	10	50
Nitrites	mg/l	-	0.1	-	0.5
Alcalinité	mg/l	-	-	5-125	-
Chlore libre	mg/l	-	-	0.1-1	
Bore	mg/l	-	-	0.3	1

CMA : concentration maximale admissible NTU : Unité de Turbidité Néphélométrique

II. Hydrochimie des principaux aquifères de la région d'étude :

La chimie de l'eau est souvent influencée par l'effet de la dissolution des formations géologiques, les rejets industriels et l'activité agricole. L'étude hydrochimique a concerné les puits et les forages implantés dans le littoral Oranais. L'objectif principal de cette étude est de déterminer la qualité des eaux souterraines, des principaux aquifères du secteur d'étude, dans le but de contrôler leur potabilité.

Dans notre étude, les points d'eau destinés à l'alimentation en eau potable de la région d'Oran sont les puits de : Kharouba, Inesmo, C2 Begoug ; les Forages de Benyabkha et Forage OT9 comme représentés sur la carte ci-dessous (Fig.n°20):



Fig.n°20 : Carte d'inventaire des points d'eau.

1. Aquifère des alluvions plio-quaternaires (puits Kharouba et puits Inesmo) :

L'étude des caractéristiques physico-chimiques de la nappe alluvionnaire a été réalisée sur la base des résultats d'analyses chimiques effectuées en 2008 par A. Boullahi et par les analyses de SEOR (2010 et 2015).

1.1. Traitement des données de la campagne 2008 :

Cette étude est basée principalement sur les informations des campagnes de prélèvement à partir de 20 points d'eau, répartis sur le terrain exploitant la nappe alluvionnaire. Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux de cette nappe sont présentés en annexe 2.

1.1.1. Les paramètres physico-chimiques :

L'analyse du tableau n°09, nous permet de faire les remarques suivantes :

- Les eaux ont un pH presque neutre et sont très minéralisées, surtout au niveau du puits 14 (voir fig.21 pour la localisation de ce puits). Du point de vue de minéralisation, les eaux de la nappe sont de mauvaise qualité.
- Les cations et les anions prédominants sont respectivement les ions de Sodium et de Chlorures. La teneur en ces éléments dépasse la CMA.
- Les teneurs en ions sulfates sont également élevées, et se présentent en seconde position après les chlorures. La teneur en sulfate dépasse la CMA (400 mg/l) dans les eaux de la nappe.
- Les ions calcium, magnésium, et bicarbonates, résultent généralement des phénomènes de précipitations et des dissolutions, ces derniers sont toujours en interactions (équilibres calco-carboniques). La majorité des eaux analysées dépasse la CMA.
- Les teneurs en nitrates dépassent pour certains échantillons la norme de l'OMS, ainsi que la norme algérienne, fixées toutes les deux à 50 mg/l.
- Les plus faibles teneurs sont celles relatives aux ions de potassium. Cependant, elles peuvent atteindre des pics remarquables, à l'image de la valeur observée au point P16.

Tableau n°09 : Paramètres physico-chimiques de la campagne 2008.

<i>Paramètre</i>	<i>Min</i>	<i>Puits</i>	<i>Max</i>	<i>Puits</i>	<i>Moyenne</i>
<i>pH</i>	7,4	P20	8,5	P11	7,88
<i>Cond (µS/cm)</i>	5400	P19	9920	P14	8151
<i>Min (mg/l)</i>	3348	P19	9996	P14	5813,75
<i>Ca (mg/l)</i>	160	P12	621,35	P6	369,60
<i>Mg (mg/l)</i>	141,91	P19	1265,42	P14	358,35
<i>Na (mg/l)</i>	610,19	P19	3244,38	P13	1440,87
<i>K (mg/l)</i>	12,12	P10	102,83	P16	25,96
<i>Cl (mg/l)</i>	1054,35	P11	4805,64	P13	2169,28
<i>SO₄ (mg/l)</i>	431,52	P18	5180,64	P14	2000,88
<i>HCO₃ (mg/l)</i>	173,85	P2	676,49	P11	324,46
<i>NO₃ (mg/l)</i>	3,72	P20	94,24	P1	41,60

1.1.2. Carte d'isoteneur en minéralisation :

La carte de la figure n°21 montre une augmentation de la minéralisation qui se fait généralement, du Nord vers le Sud-Ouest. Cette augmentation est liée à un changement de faciès géologiques. On peut noter l'existence de deux pôles de concentrations en sels dissous : l'un au Nord-Est dans la région de Hassi Bounif, l'autre dans la région d'Es-Sénia où la minéralisation des eaux atteint son maximum. Ces deux situations sont en relation directe avec les alluvions récentes constituées par les limons salés formant la nappe superficielle.

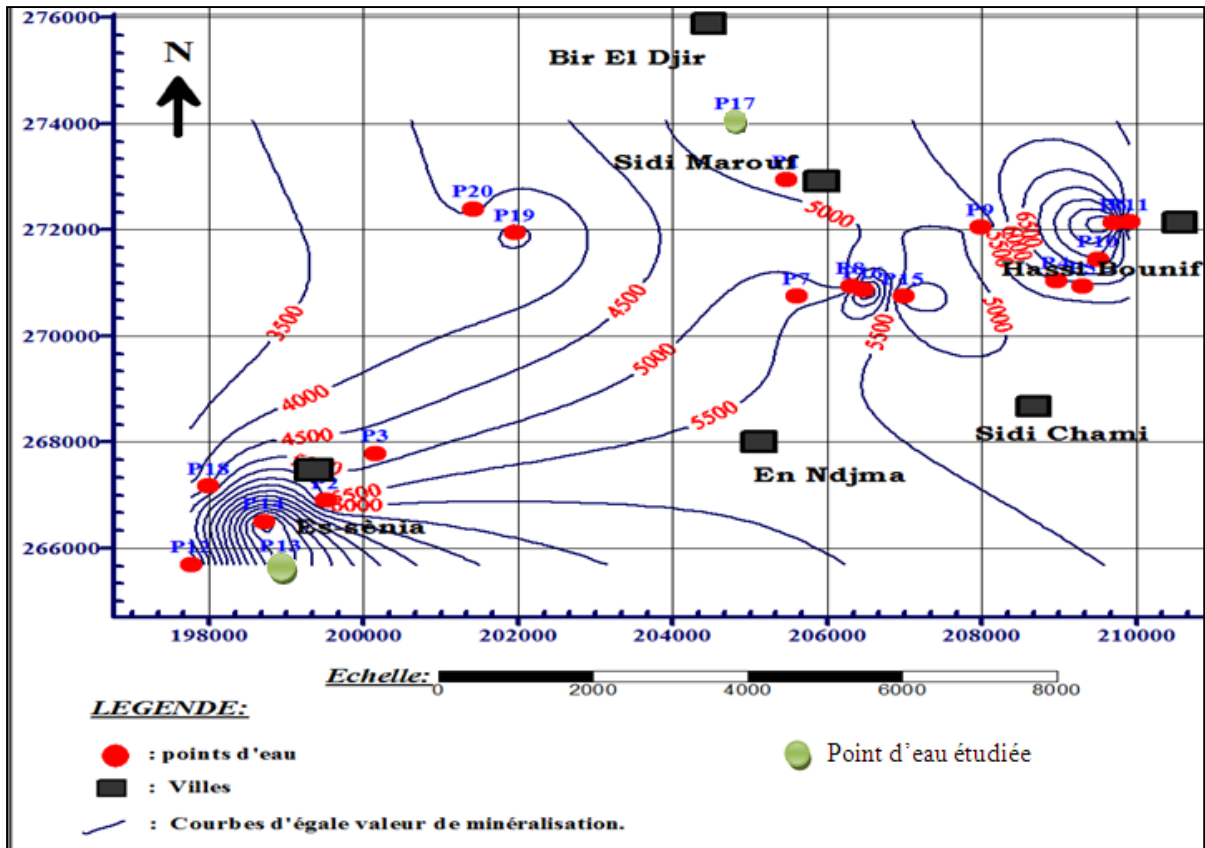


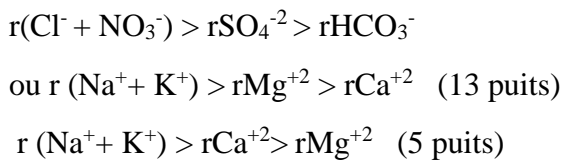
Fig.n°21 : Carte de minéralisation (in Boullahi A., 2012, modifié).

1.1.3. Représentation graphique :

Les diagrammes de Schoeller-Berkaloff (Fig.n°22) et de Piper (Fig.n°23) montrent que la majorité des échantillons présentent deux pôles de minéralisation, Na et Cl. Toutefois, on note la présence du faciès des eaux sulfatés sodiques au niveau des puits P10 et P11. Selon le diagramme de Schoeller-Berkaloff, ces eaux sont de qualité médiocre à mauvaise.

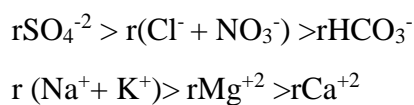
a. Eaux chlorurées sodiques :

Ce faciès caractérise la majorité des eaux captées par les puits de l'aquifères des alluvions Plio-quaternaires. Il est exprimé par les formules caractéristiques suivantes :



b. Eaux sulfatés sodiques :

Ces eaux ne sont captées que par les puits P10 et P11. Leur formule caractéristique s'écrit comme suit :



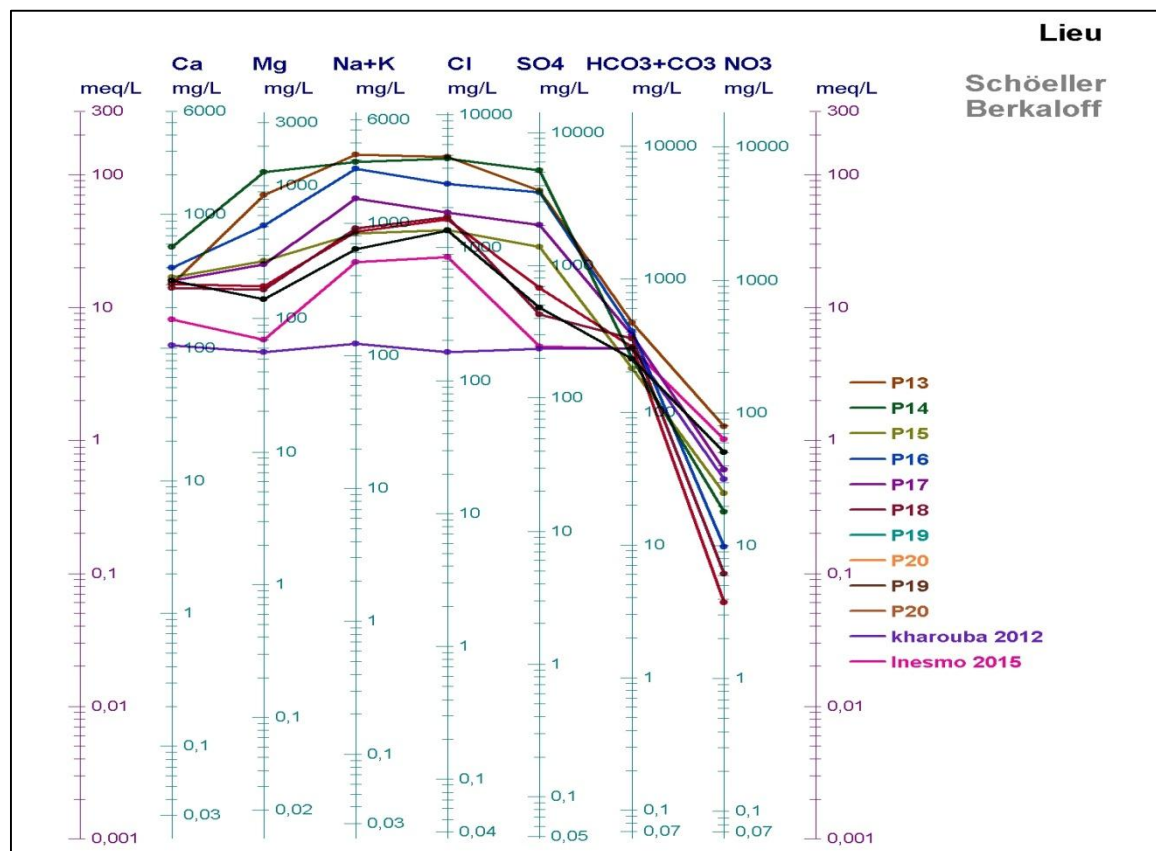


Fig. n°22 : Représentation graphique des eaux sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff.

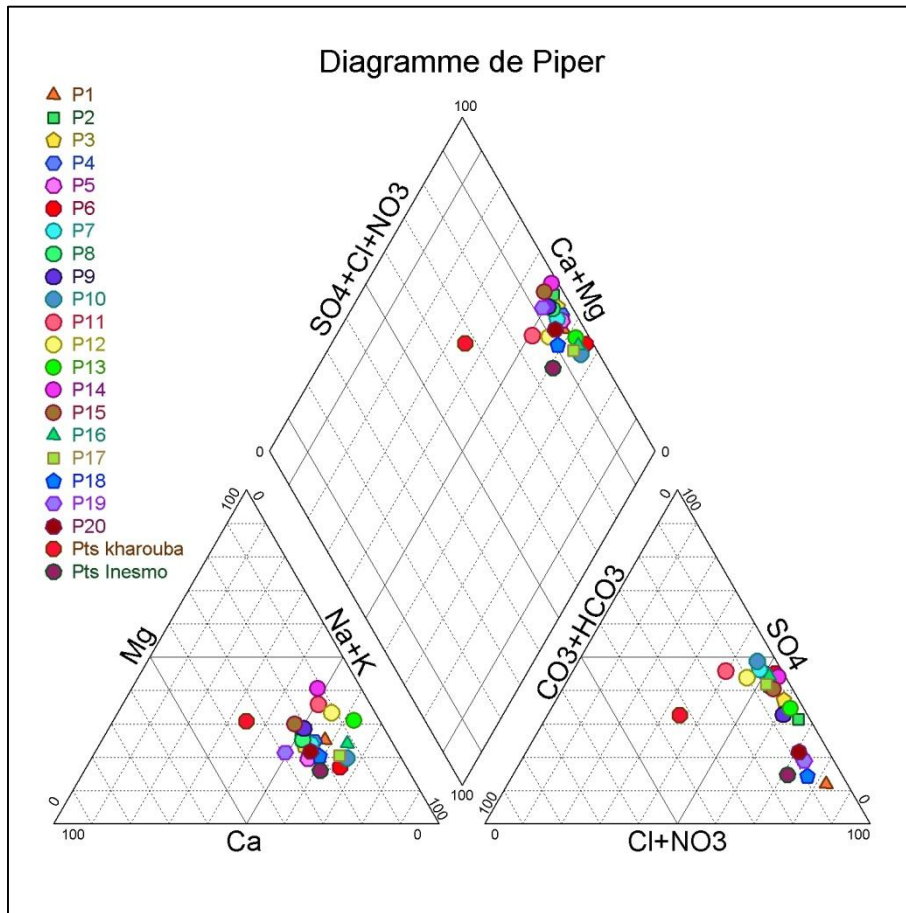


Fig.n°23: Représentation graphique des eaux des points d'eaux sur le diagramme de Piper.

1.2. Traitement des données de la campagne 2012 et 2015:

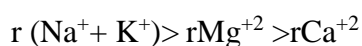
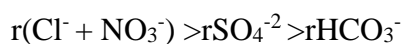
Deux campagnes d'échantillonnage ont été réalisées au cours de l'étude de l'aquifère du plio-quaternaire, l'une à Bir El Djir (puits Kharouba) et l'autre au niveau d'Es-Sénia (puits Inesmo). Les résultats des paramètres physico-chimiques obtenus sont représentés dans le tableau n°10 :

1. Paramètres physico-chimiques :

Pour les 2 puits, le pH est presque neutre. Ces eaux ont une conductivité relativement faible et conforme aux normes de potabilité de l'OMS (1500 $\mu\text{s}/\text{cm}$) pour le puits de kharouba et elle est peu élevée au niveau du puits Inesmo (3000 $\mu\text{s}/\text{cm}$).

✚ Puits Kharouba :

Pour ce qui est des éléments chimiques, l'ensemble des cations et anions sont conformes aux normes de l'OMS, ainsi qu'aux normes algériennes. Le faciès chimique de ce puits est chloruré sodique, exprimé par la formule caractéristique suivante :



✚ Puits Inesmo :

L'ensemble des teneurs en cations et en anions obéissent aux normes de potabilité sauf pour les chlorures et le sodium qui dépassent la CMA, la teneur en Na et Cl est respectivement de 502 mg/l et 852 mg/l. Le faciès chimique de ce puits est chloruré sodique, exprimé par la formule caractéristique suivante :

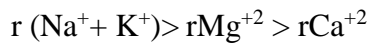
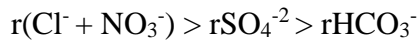


Tableau n°10 : Paramètres physico-chimiques de la campagne 2012 et 2015.

Date de prélèvements	Point d'eau	Teneur en mg/l								pH	Cond (µS/cm)	Min (mg/l)
		Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	NO ₃	HCO ₃			
31/01/2012	Pts Kharouba	104	56	115	8	164	235	32	302	7,09	1110	842
19/03/2015	Pts Inesmo	165	70	502	7	852	247	63	300	7,19	3000	2277

Selon le diagramme de Schoeller-Berkaloff (fig.23), ces eaux sont de qualité bonne à médiocre.

Conclusion :

L'étude hydrochimique effectuée sur les eaux souterraines de l'aquifère des alluvions plio-quadernaire pour les 2 campagnes 2008 – 2012 et 2015 a montré que les eaux de la campagne 2008 représentent une minéralisation élevée et une qualité des eaux médiocres. L'augmentation de la minéralisation peut être le résultat soit de l'évaporation, de la baisse du niveau piézométrique ou d'un pompage intense. Par contre pour le puits de Kharouba et le puits Inesmo, la minéralisation est relativement faible avec une qualité bonne à médiocre. Le faciès des eaux chloruré sodique prédominant dans les eaux de l'aquifère plio-quadernaire.

2. Complexe Mio- Pliocène :

L'étude hydrochimique a porté sur deux échantillons exploitant le complexe Mio-pliocène l'un le puits C2 Begoug qui est basé sur l'étude de Benkesmia Y. et Karfassi F., 2008 et l'autre le forage OT9 basé sur les données de l'A.N.R.H.

2.1. Puits C2 Begoug :

2.1.1. Traitement des données de la campagne du 24-25/04/2004 :

La campagne de 24-25/04/2004 n'a ciblé qu'accessoirement les nappes mio-plio-quaternaires et n'a concerné que 10 puits (Fig. n°24). Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux sont présentés en annexe n°3.

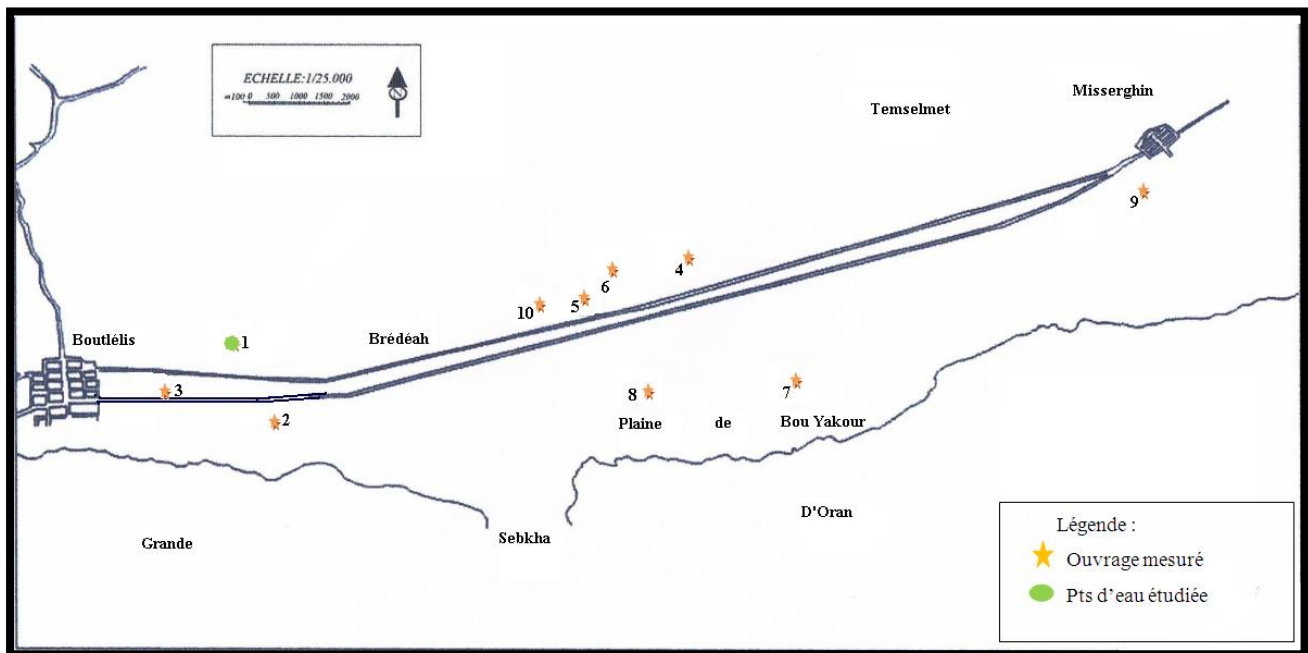


Fig.n°24 : Localisation des puits captant la nappe mio-plio-quaternaire (*in* Benkesmia Y. et Karfassi F., 2008, modifié).

a. Paramètres physico-chimiques :

Dans le tableau n°11, nous avons synthétisée la variation des paramètres chimiques. Nous avons remarquées que la conductivité des eaux de l'aquifère dépassent les normes de potabilité ($>1000 \mu\text{S}/\text{cm}$), avec une minéralisation relativement élevée et un pH légèrement basique.

Les cations et les anions prédominants sont respectivement les ions Sodium et Chlorures dont 90% des eaux analysées dépassent les normes algériennes (N.A, 1992).

Les ions sulfates présentent également des teneurs élevées et la majorité des eaux dépassent la CMA.

Les ions calcium, magnésium et bicarbonates, étant généralement des ions résultant des précipitations et des dissolutions, sont toujours en interactions. Les teneurs en Ca et Mg sont toutes supérieures à la CMA qui est édictée par les normes algériennes (N.A., 1992).

Les plus faibles teneurs sont celles de potassium, qui sont dans les normes locales. Les résultats des eaux ont révélé que la majorité des teneurs en nitrates dépassent aussi bien les normes locales qu'internationales (50mg/l). Les eaux du puits n°6 représentent des teneurs faibles, sont conformes aux normes de potabilité (N.A ,1992).

Tableau n°11 : Paramètres physico-chimiques de la campagne 24-25/04/2004.

Paramètre	Min	Puits	Max	Puits	Moyenne
pH	7,7	P3	8,3	P6	8,02
Min (mg/l)	580	P6	6907	P9	4615,1
Cond (µs/cm)	810	P6	9100	P9	5941,2
R,S (mg/l)	560	P6	7760	P9	4782
Ca (mg/l)	29	P6	577	P3	262,8
Mg (mg/l)	29	P6	288	P3	174,4
Na (mg/l)	69	P6	1840	P9	871,7
K (mg/l)	2	P6	15	P4	8,2
Cl (mg/l)	80	P6	2970	P9	1660,7
SO ₄ (mg/l)	25	P6	1210	P3	696,2
NO ₃ (mg/l)	23	P10	109	P3	59,8
HCO ₃ (mg/l)	190	P6	395	P4	290,9

b. Carte du résidu sec :

La carte d'isoteneur en résidu sec (Fig.n°25) montre que la teneur croit du Nord-Est vers le Sud-Ouest. Les eaux des calcaires miocènes ont une forte teneur, atteignant leur maximum au puits n°4 (5760 mg/l), pour les eaux des alluvions, le résidu sec varie de 4420 mg/l au puits n°7 à 7760 mg/l au puits n°9.

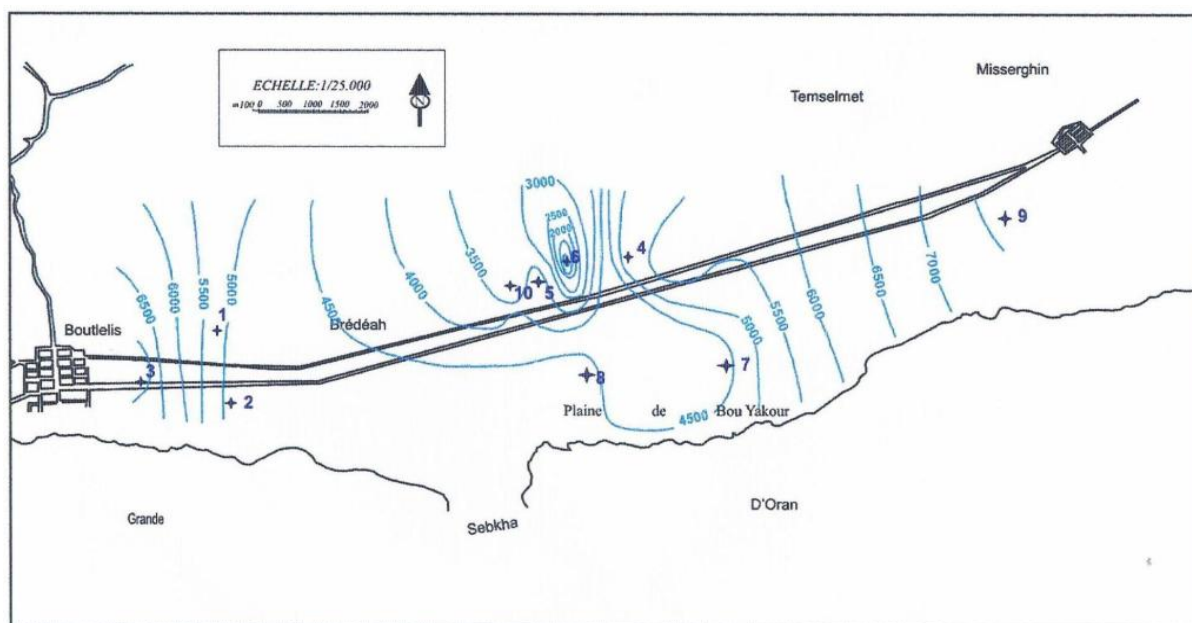


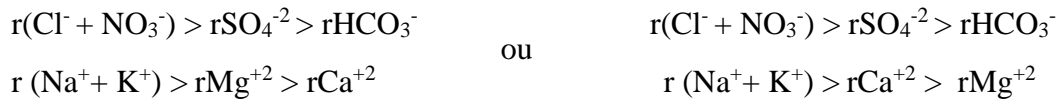
Fig.n°25 : Carte d'isoteneur en résidu sec en mg/l (in Benkesmia Y. et Karfassi F., 2008).

c. Représentation graphique :

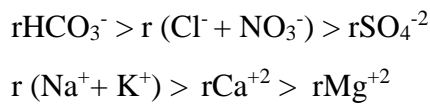
La représentation graphique des analyses des eaux selon le diagramme de Schoeller-Berkaloff (Fig.n°26 et 27) et Piper (Fig.n°28), nous indique que la majorité des eaux analysées présentant des maxima au niveau des pôles Cl et Na, les eaux chlorurées sodiques représentent un grand pourcentage d'échantillons.

✚ Les eaux de l'aquifère des calcaires miocènes (Fig.n°27) montrent deux types de faciès :

❖ eaux chlorurées sodiques :



❖ eaux bicarbonatés sodiques :



✚ les eaux de l'aquifère des alluvions quaternaires (Fig.n°28) présentent un faciès chloruré sodique.

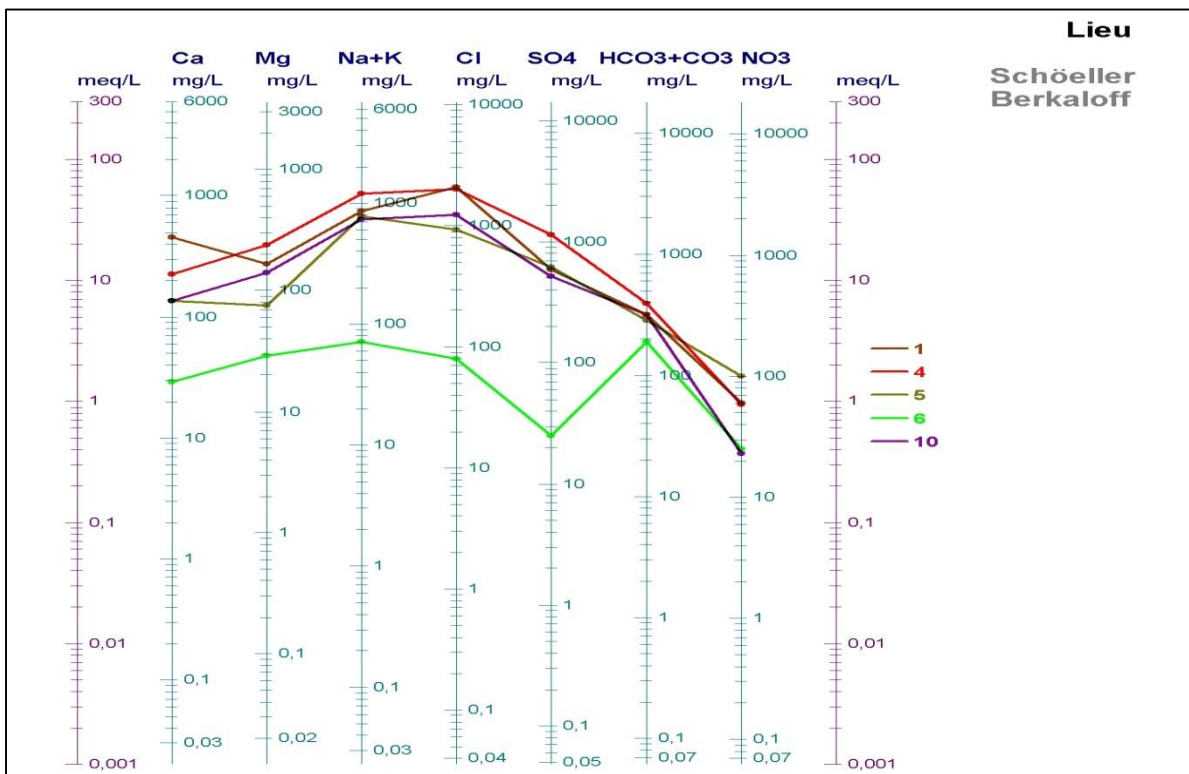


Fig.n°26 : Représentation graphique sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff (aquifère des calcaires).

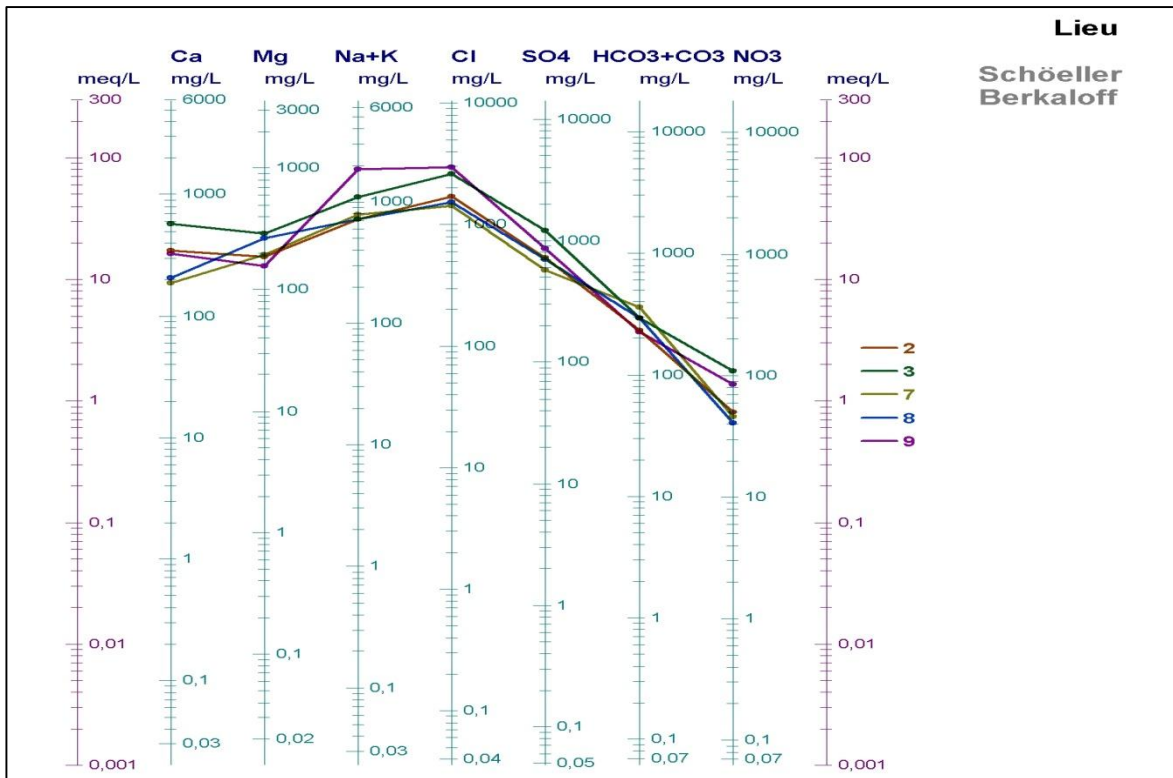


Fig.n°27 : Représentation graphique sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff (aquifère des alluvions plio-quadernaire).

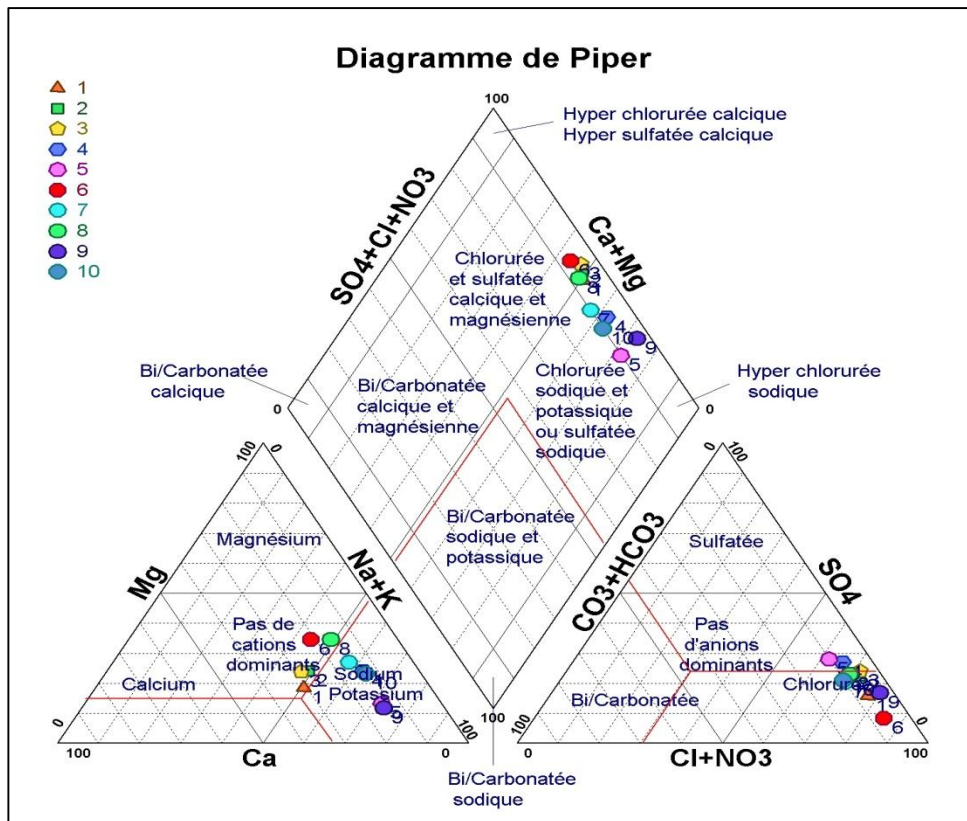


Fig.n°28 : Représentation graphique sur le diagramme de Piper des points d'eau.

2.1.2. Traitement des données de la campagne du 26/02/2014 :

La campagne du 26/02/2014 n'a concerné que le puits C2 Begoug. Ce dernier capte les eaux des calcaires du Miocène. Les analyses chimiques de ces eaux sont données dans le tableau n° 12:

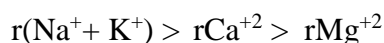
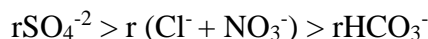
Tableau n°12 : Paramètres physico-chimiques du puits C2 Begoug.

Point d'eau	Teneur en mg/l								pH	Cond (μS/cm)	Min (mg/l)	TH (°F)
	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	NO ₃	HCO ₃				
Pts C2 Begoug	145,1	7,29	243	10	206,3	341	16	303,1	7,5	1326	1005	39

Pour les paramètres physiques, les eaux du puits C2 Begoug présente un pH légèrement basique, avec une conductivité conforme aux normes locales (N.A, 1992) (2880 mg/l). La valeur de la dureté est supérieure à 30°F, ce qui donne à l'eau le caractère dur.

Concernant les paramètres chimiques, l'ensemble des cations et des anions sont conformes aux normes de l'OMS, ainsi que les normes locales sauf pour l'ion Sodium qui dépasse la CMA (200 mg/l).

Le faciès chimique de ce puits est sulfaté sodique, leur formule caractéristique s'écrit comme suit :



Nous n'avons pas fait de représentation graphique pour la simple raison que nous ne disposons que d'un point de mesure.

Conclusion :

En conclusion, l'étude physico-chimique effectuée sur les eaux souterraines pour les deux campagnes 2004 et 2014 permet de ressortir les remarques suivantes :

Pour la campagne 2004, la minéralisation des eaux échantillonnées est très élevée, due à la nature hétérogène de l'aquifère (alluvions plio-quatérnaires) et l'influence du biseau salé à cause de l'intensité de pompage. Ces eaux sont devenues non potables et déconseillés à la consommation. Les eaux chlorurées sodiques sont les plus prédominantes dans la région de Boutlélis.

Pour la campagne de 2014, les eaux du puits C2 Begoug représente des eaux de bonne qualité avec une minéralisation conforme aux normes locales (N.A, 1992). Un changement du faciès chimiques du chloruré sodique à sulfaté sodique.

2.2. Forage OT9 :

L'étude des paramètres physico-chimiques du forage OT9 est basée sur les données de l'ANRH et les données de SEOR. Les résultats des analyses physico-chimiques sont donnés dans le tableau n°13 et la figure n°29:

Tableau n°13 : Paramètres physico-chimiques de Forage OT9.

Année	Ca mg/l	Mg mg/l	K mg/l	Na mg/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	HCO ₃ mg/l	NO ₃ mg/l	Ph	Min mg/l	Cond μs/cm	TH °F
2006	120	119	7	442	709	432	329	5	/	2534	3343	79
03/04/2013	20,1	173,26	5	265	495	364,25	333,79	13,5	7,18	2350	3100	76

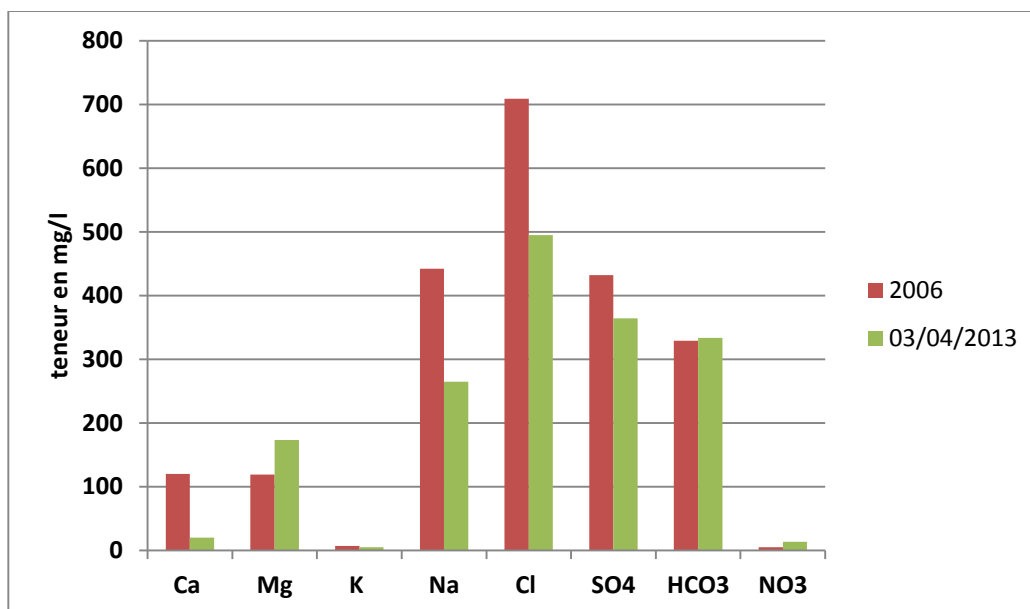


Fig. n°29 : Représentation graphique des éléments majeurs de forage OT9 pour les périodes 2006 et 2013.

L'examen du tableau n°14 et de l'histogramme (Fig.n°29) permet de ressortir les remarques suivantes :

- Concernant la période de 2013, pour ce qui est des paramètres physiques, une légère diminution (de 184 mg/l) de la minéralisation est observée ainsi que la dureté de 3°F.
- Pour ce qui est des éléments chimiques, les plus grands augmentations des teneurs en 2006 et 2013 sont relatives respectivement aux ions magnésiums (de 54.26 mg/l) et nitrates (de 8.5 mg/l). Une forte diminution des teneurs en chlorures (de 214 mg/l), en sodium (de 179 mg/l) et en calcium (de 100 mg/l).

2.2.1. Potabilité des eaux de forage OT9 :

Les chlorures, le sodium et les sulfates sont prédominants, leurs teneurs ne sont pas conformes aux normes locales de potabilité pour les deux périodes sauf pour la campagne 2013 où la teneur en sulfate est dans les normes (400 mg/l).

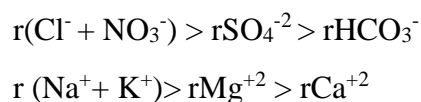
Les teneurs en calcium et en magnésium sont inférieures à la CMA qui est respectivement de 200 mg/l et de 150 mg/l édictée par les normes locales (N.A, 1992).

Les teneurs en nitrates des échantillons d'eau analysés sont dans les normes locales qu'internationales (50 mg/l).

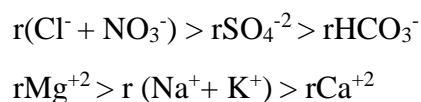
2.2.2. Faciès chimique :

Le faciès chimique du forage OT9 est chloruré sodique pour la période 2006 et change à chloruré magnésien en 2013. Leur formule caractéristique s'écrit comme suit :

✚ Chloruré sodique :



✚ Chloruré magnésien :



Selon Schoeller, 1948, pour la famille chlorurée et sulfatée sodi-calcique et magnésienne ainsi que pour la famille chlorurée sodique et potassique la lithologie de l'aquifère est plus fine, la circulation de l'eau est difficile, le temps de contact eau-roche augmente d'où l'augmentation de la salinité et l'influence des argiles devient plus marquée.

Conclusion :

En conclusion, l'étude physico-chimique effectuée sur les eaux destinées à l'alimentation en eau potable pour les deux périodes 2006 et 2013 permet de ressortir les remarques suivantes :

Une légère augmentation des teneurs en calcium, en bicarbonates et en sulfates qui peut être due à la dissolution des formations carbonatés et des alluvions salifères (gypse). La qualité des eaux de forage OT9 est passable.

3. Aquifère des calcaires dolomitiques :

L'étude des paramètres physico-chimiques des eaux destinées en alimentation en eau potable du forage Sidi Benyabkha est basée sur l'étude de Bouila A., (2010) et les analyses de SEOR (2012). Les résultats d'analyses physico-chimiques sont insérés dans le tableau n°14 et la figure n°30:

Tableau n°14 : Paramètres physico-chimiques de forage de Sidi Benyabkha.

Année	Point d'eau	Ca	Mg	K	Na	Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₃	pH	R.S	Min	Cond
(a) 2010	Sidi Benyabkha	98	88	7	257	297	100	745	3	7,6	1206	1385	1827
(b) 2010	Sidi Benyabkha	191	92	12	158	257	216	724	5	7,9	1391	1598	2108
31/01/2012	Sidi Benyabkha	123.44	44.35	10	260	340	220	400.16	2.42	7.6	1491	1713	2260

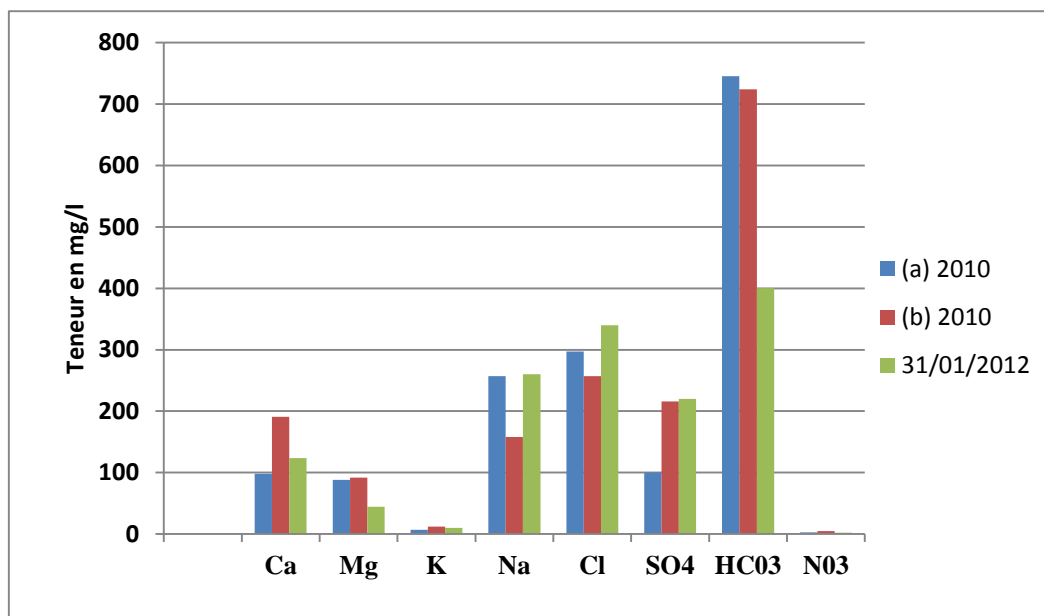


Fig. n°30: Représentation graphique des éléments majeurs du forage de Sidi Benyabkha pour les périodes 2010 et 2012.

N.B : concernant les analyses physico-chimiques de forage de Sidi Benyabkha, nous disposons de 2 résultats de l'année 2010. Nous n'avons malheureusement pas pu disposer de la date et mois exacts de l'échantillonnage.

L'examen du tableau n° 15 et de l'histogramme (Fig.n°30) permet de faire les remarques suivantes :

- L'augmentation des teneurs de la minéralisation et du résidu sec est observée. Concernant le pH, les eaux sont autour de la neutralité pour les deux périodes.

- L'augmentation de la teneur en chlorures et en sulfates pour les deux périodes, probablement due à l'altération des formations supérieures (les schistes et les marnes).
- Du point de vue cationique, une faible diminution des teneurs en calcium et en magnésium. Cependant, les teneurs de sodium sont presque identiques pour les deux périodes.

3.1. Potabilité des eaux du forage Sidi Benyabkha :

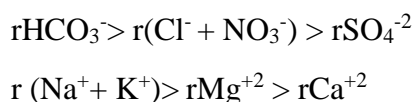
L'ensemble des cations et des anions sont conformes de potabilité.

Les teneurs en nitrates des échantillons d'eau analysés sont dans les normes locales ainsi qu'internationales (50 mg/l).

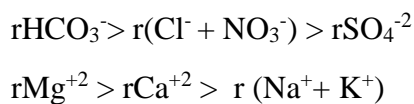
3.2. Faciès chimique :

L'application de la méthode des formules caractéristiques aux eaux de l'aquifère dolomitique a permis de distinguer trois types de faciès, leurs formules caractéristiques s'écrivent comme suit :

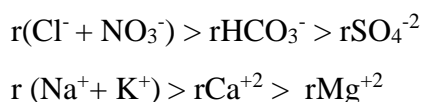
✚ Bicarbonaté sodique :



✚ Bicarbonaté calcique :



✚ Chloruré sodique :



Conclusion:

En conclusion, l'étude physico-chimique effectuée sur les eaux souterraines pour les deux périodes 2010 et 2012 permet de ressortir les remarques suivantes :

La conductivité des eaux de l'aquifère dépassent les normes de potabilité (>1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), et donc une minéralisation relativement élevée d'un côté, et un pH presque neutre de l'autre.

Une légère augmentation des teneurs en sulfate et en chlorures est également relevée. Cette augmentation peut être due à la dissolution des alluvions salifères (gypse). Ces derniers influencent au changement de faciès du bicarbonaté sodique à chloruré sodique.

4. Etude synthétique :

Dans cette partie nous résumons la description des caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines des principaux aquifères alimentant en eau potable la région d'Oran. Les résultats d'analyses physico-chimiques sont insérés dans le tableau n° 15:

Tableau n° 15 : Paramètres physico-chimiques des principaux aquifères.

Type d'aquifère	Point d'eau	pH	T °C	Ca ⁺² mg/l	Mg ⁺² mg/l	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cond µs/cm	MIN mg/l	TH °F
Alluvions plio-quadernaires	Pts Kharouba	7,09	18,6	104	56	115	8	164	235	32	302	1110	842	49
	Pts Inesmo	7,19	20,2	165	70	502	7	852	247	63	300	3000	2277	70
Calcaire dolomitique	F Sidi Benyabkha	7.6	22	123,44	44,35	260	10	340	220	2.42	400,16	2260	1713	49
Complexe mio-pliocène	F OT9	7,18	20	20,1	173,26	265	5	495	364,25	13,5	333,79	3100	2350	76
	Pts C2 Begoug	7.5	20	145,1	7,29	243	10	206,3	341	16	303,1	1326	1005	39

4.1. Paramètres physiques:

❖ Température:

Paramètre jouant un rôle primordial dans la solubilité des sels et surtout des gaz. Pour nos eaux échantillonnées, la température varie de 18.6 à 22 °C.

❖ pH:

Le pH d'une eau représente son acidité et son alcalinité. Les eaux de la région étudiée ont des pH qui varient de 7.09 à 7.6.

❖ Conductivité:

Selon Rodier (2009), la conductivité permet d'apprécier le degré de minéralisation de l'eau dans la mesure où la plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. Les valeurs de la conductivité sont comprises entre 1110 et 3100 µS/cm.

❖ Dureté:

Les résultats de notre étude ont révélé que la dureté de toutes les eaux analysées est supérieure à 30 °F, oscillant entre 39 et 76°C, ce qui donne à l'eau son caractère dur.

4.2. Paramètres chimiques:

❖ Balance ionique :

Avant de traiter et d'interpréter les résultats d'analyses des eaux prélevées, il faut analyser leur fiabilité. La méthode utilisée est la balance ionique qui permet de déterminer le pourcentage d'erreur "e%". Le calcul de la balance ionique est donné par la formule suivante :

$$e\% = \frac{\sum r \text{ cation} - \sum r \text{ anion}}{\sum r \text{ cation} + \sum r \text{ anion}} \times 100$$

Les valeurs du pourcentage d'erreur pour chaque échantillon d'eau prélevé sont portées sur le tableau n°16 :

Tableau n°16 : Pourcentage d'erreur des analyses d'eaux du secteur d'étude.

Pt d'eau	$\sum r$ cation méq/l	$\sum r$ anion méq/l	e%	L'analyse
Pts C2 Begoug	18.84	18.14	1.89	Bonne
F Benyabkha	21.37	20.76	1.45	Bonne
Pts Kharouba	15.01	14.98	0.33	Bonne
F OT9	26.91	27.23	-0.56	Bonne
Pts Inesmo	36.00	35.09	1.28	Bonne

❖ Calcium :

Il provient essentiellement de la dissolution de la calcite (CaCO_3) qui caractérise les calcaires et toutes les roches métamorphiques qui en dérivent. Les teneurs de l'ion Ca^{+2} sont comprises entre 20,1 mg/l au forage OT9 et 165 mg/l au puits Inesmo; et ne dépassent donc pas la CMA (200 mg/l).

❖ Magnésium :

Les normes fixent sa concentration maximale à 150 mg/l ; dans notre secteur, la teneur de cet élément est comprise entre 7.29 mg/l au puits C2 Begoug et 173.26 mg/l au forage OT9 alors que la teneur en Mg est inférieure à la CMA sauf pour le forage OT9 où il dépasse la CMA.

❖ Sodium :

La teneur en Sodium est supérieure à la CMA (200 mg/l) dans les eaux analysées sauf pour le puits Kharouba (115 mg/l) où elle conforme aux normes, la concentration est comprise entre 115 et 502 mg/l.

❖ Potassium :

Le potassium est généralement peu concentré dans les eaux souterraines. Les normes fixent sa concentration maximale à 20 mg/l. Sa teneur est comprise entre 5 et 10 mg/l.

❖ **Chlorures :**

Ces éléments sont très répandus dans la nature. Les normes fixent sa concentration maximale à un niveau guide de 200 mg/l. L'analyse des eaux de la région d'étude a révélé des teneurs normales en chlorures allant de 164 à 495 mg/l sauf pour le puits Inesmo où la norme est dépassée (852mg/l).

❖ **Sulfates :**

Les sulfates peuvent avoir une origine météorique : comme ils peuvent également provenir de l'activité agricole ou biologique naturelle, ou de l'utilisation domestique (détergent), ou de la présence d'évaporites (gypse). Les normes fixent 400 mg/l comme CMA. Les teneurs en sulfate obéissent aux normes de l'OMS.

❖ **Bicarbonates :**

Se forment à partir de la dissolution des minéraux carbonatés par des eaux météoriques qui se chargent en CO₂ libre lors de leur percolation à travers le sol.



Les concentrations des eaux analysées varient entre 300 à 400 mg/l.

❖ **Nitrates :**

Les sources de nitrates dans l'eau comprennent les matières animales et végétales en décomposition, les engrais agricoles, le fumier, les eaux usées domestiques et les formations géologiques contenant des composés azotés solubles (Adam, 1980). Les teneurs en nitrates sont conformes aux normes de potabilité (50 mg/l) sauf pour le puits Inesmo qui dépasse les normes (63 mg/l).

4.3. Classification hydrochimique :

Les faciès hydrochimiques sont généralement utilisés pour désigner des types d'eaux qui ont des attributs géochimiques différentes (tableau n°17). Pour mieux connaître les principaux faciès hydrochimiques des eaux potables de la région d'Oran, il convient d'interpréter les résultats par les représentations graphiques qui nous permettent de comparer facilement plusieurs eaux entre elles. Selon la méthode semi-log de Schoeller-Berkaloff et celle de Piper, les analyses chimiques des eaux ont été graphiquement représentées (Fig.n° 31 et 32).

Tableau n°17 : Faciès caractéristiques des échantillons.

Point d'eau	Formules caractéristiques		Faciès chimique
	Anions	cations	
Pts C2 Begoug	$r\text{SO}_4^{-2} > r(\text{Cl}^- + \text{NO}_3^-) > r\text{HCO}_3^-$	$r(\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}) > r\text{Ca}^{+2} > r\text{Mg}^{+2}$	Sulfaté sodique
F Benyabka	$r(\text{Cl}^- + \text{NO}_3^-) > r\text{HCO}_3^- > r\text{SO}_4^{-2}$	$r(\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}) > r\text{Ca}^{+2} > r\text{Mg}^{+2}$	Chloruré sodique
Pts Kharouba	$r(\text{Cl}^- + \text{NO}_3^-) > r\text{SO}_4^{-2} > r\text{HCO}_3^-$	$r(\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}) > r\text{Mg}^{+2} > r\text{Ca}^{+2}$	Chloruré sodique
F OT9	$r(\text{Cl}^- + \text{NO}_3^-) > r\text{SO}_4^{-2} > r\text{HCO}_3^-$	$r\text{Mg}^{+2} > r(\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}) > r\text{Ca}^{+2}$	Chloruré magnésien
Pts Inesmo	$r(\text{Cl}^- + \text{NO}_3^-) > r\text{SO}_4^{-2} > r\text{HCO}_3^-$	$r(\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}) > r\text{Mg}^{+2} > r\text{Ca}^{+2}$	Chloruré sodique

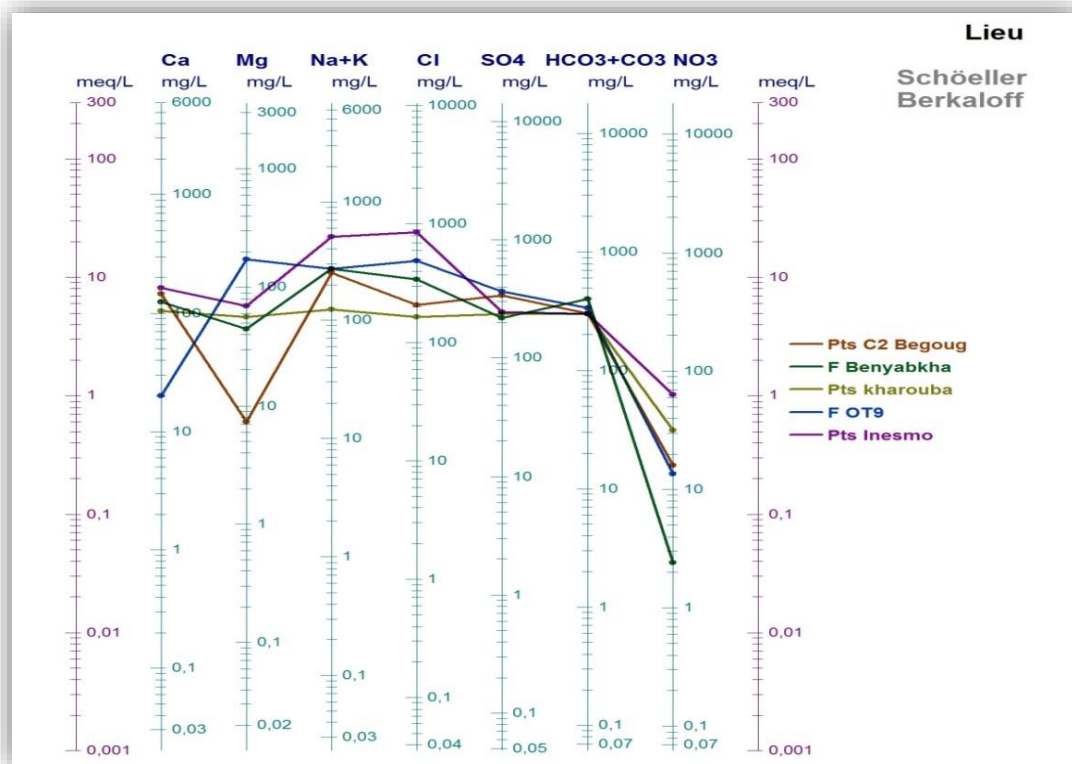


Fig. n°31 : Représentation graphique des eaux sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff.

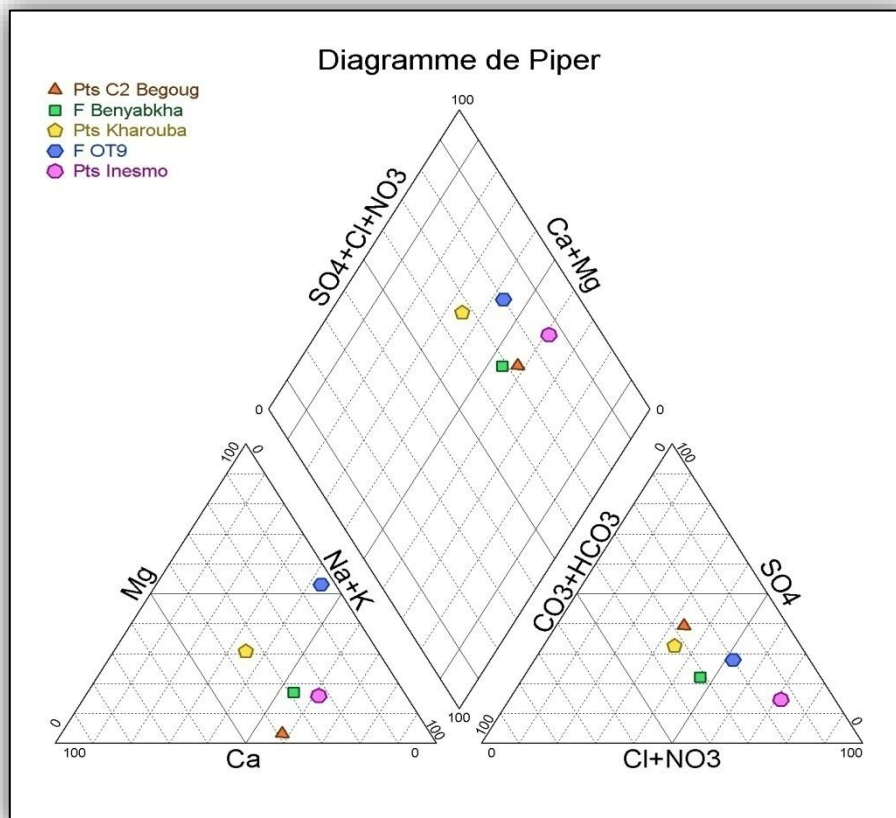


Fig. n°32 : Représentation graphique des eaux sur le diagramme de Piper.

4.4. Qualité des eaux à la consommation humaine :

1. Potabilité des eaux :




L'appréciation de la qualité des eaux de la zone étudiée se fait à partir des normes de qualité basées sur les paramètres physico-chimiques, chimiques, bactériologiques et organoleptiques. A chaque paramètre est affecté une valeur guide ou idéal maximale admissible (CMA).

Dans ce travail, seule la potabilité de point de vue chimique a été prise comme critère de potabilité tout en se référant aux normes algériennes (tableau n°18).

Tableau n°18: Potabilité chimique des eaux de notre secteur.

<i>Pts d'eau</i>	Ca^{+2} (mg/l)	Mg^{+2} (mg/l)	Na^+ (mg/l)	K^+ (mg/l)	Cl^- (mg/l)	SO_4^{2-} (mg/l)	NO_3^- (mg/l)	<i>pH</i>	<i>R.S</i> (mg/l)	<i>remarque</i>
<i>norme</i>	200	150	250	15	600	400	50	6,5 - 8,9	2000	potable
<i>Pts C2 Begoug</i>	145,1	7,29	243	10	206,3	341	16	7,5	875	potable
<i>F Benyabkha</i>	123,44	44,35	260	10	340	220	2,42	7,6	1140	non potable
<i>Pts Kharouba</i>	104	56	115	8	164	235	32	7,09	1100	potable
<i>F OT9</i>	20,1	173,26	265	5	495	364,25	13,5	7,18	1550	non potable
<i>Pts Inesmo</i>	165	70	502	7	852	247	63	7,19	2340	non potable

En se basant sur le diagramme de Schoeller, plusieurs classes de potabilité en fonction de la concentration des différents éléments chimique sont été définies. Ce diagramme montre que pour la plupart des eaux, la potabilité est :

-  Bonne pour le puits de Kharouba et puits C2 Begoug.
-  Passable pour le forage OT9 et forage Benyabkha.
-  Médiocre pour le puits Inesmo.

Nous constatons que les teneurs en chlorures sont les plus élevées et par conséquent, elles conditionnent les valeurs du résidu sec et de la minéralisation. Les ions chlorures peuvent avoir plusieurs origines, dont les plus importants sont la dissolution des chlorures de Sodium des alluvions salifères, les activités humaines ou l'origine atmosphérique.

La profusion des argiles et des alluvions salifères est la principale cause des teneurs élevés pour l'ion sodium dans notre secteur d'étude.

Concernant les éléments indicateurs de pollution, il apparaît que la majorité des échantillons d'eau prélevée présentent des teneurs en nitrates inférieures aux normes de potabilité sauf pour le puits Inesmo avec une teneur peu élevée de 63 mg/l. La présence des

nitrate dans les eaux souterraines est généralement le résultat de l'oxydation des matières organiques liées aux activités humaines (agricole et urbaine).

Conclusion :

A l'issue de cette étude qui a porté essentiellement sur l'évaluation de la qualité des eaux de consommation de la ville d'Oran, il ressort que la quasi-totalité des paramètres analysés ne sont pas conformes aussi bien à la réglementation nationale qu'internationale en matière de potabilité de l'eau.

En effet, les résultats obtenus sur le plan physique ont montré que le Ph de ces eaux est presque neutre, leur degré de minéralisation est peu élevé. Sur le plan chimique, ces eaux ne sont pas tout à fait conformes aux normes dans la mesure où leur dureté ainsi que leurs teneurs en Sodium et Chlorures sont relativement élevées avec un risque sur la santé du consommateur. Selon la classification chimique, deux faciès prédominent : chloruré sodique et sulfaté sodique.

La confrontation des analyses chimiques des différents points d'eau destinés à l'alimentation en eau potable de la région d'Oran avec les normes chimiques de potabilité des eaux algériennes montrent que la majorité des eaux sont de qualité bonne à passable.

Conclusion générale et recommandations

Au cours de ce travail, nous avons d'abord présenté les contextes géographique, climatologique, morphologique et géologique de la région d'étude.

L'étude climatologique a permis de déterminer les caractéristiques du climat de la région. C'est un climat méditerranéen de type semi-aride. Cette aridité est due au déficit pluviométrique très marqué. La lame d'eau précipitée a été estimée à 351 mm et la température moyenne annuelle est de 18.17 °C pour la période de 1990 – 2013.

L'étude géologique, basée sur les travaux de plusieurs auteurs, a mis en évidence une structure constituée par deux grands ensembles :

✚ Un substratum anté-nappe, affleurant dans le Djebel Murdjadjo, Djebel Khar et les Monts d'Arzew, représenté par des massifs schisteux autochtones d'âge Permo-trias, Crétacé et Jurassique, fortement affecté par l'orogénèse alpine.

✚ Un remplissage (couverture) post nappe, avec une forte extension dans les zones basses du domaine.

L'étude hydrogéologique a permis de déceler les formations géologiques favorables à l'exploitation, ce sont celles avec les meilleures capacités hydrauliques, il s'agit de l'aquifère des alluvions plio-quadernaire, l'aquifères des calcaires dolomitiques du Lias et le complexe du mio-pliocène.

L'analyse des paramètres physico-chimiques a apporté une contribution importante à la connaissance de la qualité des eaux souterraines des différentes nappes. Cette analyse a montré en particulier, que la composition chimique des eaux souterraines captées par les forages et puits destinés à l'alimentation en eau potable est régie principalement par 2 facteurs :

- ***Facteur lithologique :***

Le regroupement des eaux en famille est dû, principalement à la diversité lithologique de la région d'Oran, et qui détermine ainsi la "physionomie" propre de chaque eau souterraine traversant l'une ou l'autre des formations lithologiques.

- ***Facteur anthropique :***

Les teneurs ponctuelles en nitrates montrent un certain nombre de pics dépassant les normes de potabilité. Ces teneurs auraient probablement une origine essentiellement diffuse due aux apports des fertilisants et le déversement incontrôlés des eaux usées dans le milieu récepteur.

En conclusion, les eaux brutes destinées à l'AEP de la ville d'Oran peuvent être considérés comme bonnes à passable si bien sur les opérations de désinfection (chloration et autres) sont bien effectuées. Un suivi de l'évolution physico-chimique des différents éléments est souhaitable, conjointement aux analyses bactériologiques.

Cette étude nous amène à proposer les recommandations suivantes afin de participer à la protection qualitative et quantitative de la ressource en eau souterraine, à savoir :

- ✚ Lancer des travaux de recherches approfondies en géologie qui permettront l'établissement d'une carte géologique et une carte structurale bien détaillée.
- ✚ La réalisation de nouveau puits doit être effectué après une étude sérieuse mais également modérer les pompages en utilisant les nouvelles techniques d'irrigation.
- ✚ L'installation d'un réseau piézométrique pour contrôler la fluctuation de la nappe.
- ✚ Convaincre les responsables des services de l'environnement d'instaurer dans la conception des captages d'eau la notion des périmètres de protection notamment ceux réserver aux milieux carbonatés.
- ✚ Maitriser le stockage et l'utilisation des déjections animales et rejets urbains.
- ✚ Mettre en place un système de base de données hydrologiques et hydrogéologiques performant.

Liste des figures

Figure n°01 : Carte géologique du nord de l’Afrique montrant les différentes unités géologiques (Wildi, 1983 ; Domzing et al, 2006)	03
Figure n°02 : Carte géographiques du secteur d’étude (1/500.000).....	04
Figure n°03 : Variation interannuelle des précipitations de la station d’Es-Sénia (1990-2013).....	06
Figure n°04 : Répartition mensuelle des précipitations pour la station d’Es-Sénia (1990-2013).....	06
Figure n°05 : Précipitations saisonnières de la station d’Es-Sénia (1990-2013)	07
Figure n°06 : Températures mensuelles pour la station d’Es-Sénia (1990-2013).....	08
Figure n°07 : Diagramme d’indice d’aridité d’Es-Sénia (méthode de De Martonne)	09
Figure n°08 : Structure général du bassin moyen Chéelif (d’après Delfaut et al, 1973, modifié)	10
Figure n°09 : Carte géologique de l’oranie (d’après G.Thomas, 1985).....	11
Figure n°10 : Nomenclature des termes utilisés dans le découpage du néogène de l’oranie (Hassani M.I., 1987).....	14
Figure n°11 : Coupe géologique du versant sud-est du Djebel Murdjadjo (J.Delfaut, J. Revert, 1974).....	16
Figure n°12 : Log géologique synthétique de la région d’Oran (Hassani M.I., 1987).....	19
Figure n°13 : Une carte de localisation des unités hydrogéologiques de la Wilaya d’Oran (Boukia-Hassane R., 2011).....	23
Figure n°14 : Log hydrogéologique de la région d’Oran (Hassani M.I., 1987).....	25
Figure n°15 : Répartition des aquifères sur le secteur d’étude (A. Joseph, 1979)	26
Figure n°16 : Aquifère bicouche : éboulis-alluvions et grés (Foukrache M., 2001).....	28
Figure n°17 : Aquifère bicouche : alluvions-calcaire gréseux (Foukrache M., 2001)	28
Figure n°18 : Sondage de forage de Benyabkha (ANRH)	29
Figure n°19 : Production d’eau de la wilaya d’Oran (BRQ, 2010).....	35
Figure n°20 : Carte d’inventaire des points d’eau.....	36
Figure n°21 : Carte de minéralisation (Boullahi A., 2012, modifié).....	39
Figure n°22 : Représentation graphique des eaux sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff.....	40

Figure n°23: Représentation graphique des eaux des points d'eaux sur le diagramme de Piper	41
Figure n°24 : Localisation des puits captant la nappe mio-plio-quadernaire (Benkesmia Y. et Karfassi F., 2008, modifié).....	43
Figure n°25 : Carte d'isoteneur en résidu sec en mg/l ((Benkesmia Y. et Karfassi F., 2008)	44
Figure n°26 : Représentation graphique sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff (aquifère des calcaires).....	45
Figure n°27 : Représentation graphique sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff (aquifère des alluvions plio-quadernaire).....	46
Figure n°28 : Représentation graphique sur le diagramme de Piper des points d'eaux.....	46
Figure n°29 : Représentation graphique des éléments majeurs de forage OT9 pour les périodes 1986, 2006 et 2013	48
Figure n°30: Représentation graphique des éléments majeurs du forage de Sidi Benyabkha pour les périodes 2010 et 2012.....	50
Figure n°31 : Représentation graphique des eaux sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff.....	56
Figure n°32 : Représentation graphique des eaux sur le diagramme de Piper.....	56

Liste des tableaux

Tableau n°01 : Coordonnées de la station climatologique d'Es-Sénia	05
Tableau n°02 : Pluies interannuelles d'Es-Sénia (1990-2013).....	05
Tableau n°03 : Précipitations moyennes mensuelles	06
Tableau n°04 : Variations saisonnières des pluies pour la station d'Es-Sénia (1990-2013).....	07
Tableau n°05 : Températures mensuelles pour la station d'Es-Sénia (1990-2013)	07
Tableau n°06 : Classification des climats proposés par De Martonne	08
Tableau n°07: Quelques-unes des contaminations possibles et leurs conséquences	33
Tableau n°08 : Normes de potabilité des eaux de consommation (norme algérienne et norme de l'OMS)	36
Tableau n°09 : Paramètres physico-chimiques de la campagne 2008	38
Tableau n°10 : Les paramètres physico-chimiques de la campagne 2012 et 2015	42
Tableau n°11 : Paramètres physico-chimiques de la campagne 24-25/04/2004	44
Tableau n°12 : Paramètres physico-chimiques du puits C2 Begoug	47
Tableau n°13 : Paramètres physico-chimiques de Forage OT9	48
Tableau n°14 : Paramètres physico-chimiques de forage de Sidi Benyabkha	50
Tableau n°15 : Paramètres physico-chimiques des principaux aquifères	53
Tableau n°16 : Pourcentage d'erreur des analyses d'eaux du secteur d'étude.....	54
Tableau n°17 : Faciès caractéristiques des échantillons.....	55
Tableau n°18: Potabilité chimique des eaux de notre secteur	57

Références bibliographiques

Adda M. (2013) : Caractérisation hydrochimique et pollution des eaux souterraines en contexte urbain : cas de l'agglomération oranaise (Algérie).Thèse de Magister. Univ. Oran.149 p.

Aziz H. (2014) : Application de quelques traitements statistiques aux données hydrochimiques de la nappe alluviale du fosse de Sebdou (Nord-ouest de l'Algérie). Mém. de Master. Univ. Abou Bakr Belkaïd- Tlemcen.102 p.

Benabdallah M. (2011) : Mise en évidence des phénomènes dynamiques contrôlant le littoral oranais (de la Calère à la pointe de Canastel) : étape fondamentale pour une cartographie des risques géologiques. Thèse de Magister. Univ. Oran. 269 p.

Benkesmia Y. et Karfassi F., (2008) : Etude hydrochimique des eaux de la région de Boulélis. Mém. Ing. Etat. Univ. Oran.104 p

Bouazza S. (2014) : Actualisation de l'étude hydrogéologique de la plaine de M'Léta (Algérie-Nord-Ouest). Mém. Ing. Etat. Univ. D'Oran.167 p.

Boudouara H. et Bourzag H. (1999) : Structure et fonctionnement du système karstique de la source de Ras-El-Ain à Oran. Mém. Ing. Etat. Univ. Oran.

Bouklia-Hassane R. (2011) : Contribution à la gestion de l'eau dans la ville d'Oran. Thèse de Magister. Univ. Oran. 127p.

Boullahi A. (2012) : Contribution à l'étude hydrogéologique de la région comprise entre Hassi Bonif, Sidi Chami, Braya et Es-Sénia (W.d'Oran). Mém. Ing. Etat. Univ. Oran. 98 p.

Daddi Bouhoum M. (1997) : Contribution à l'étude de l'évolution de la salinité des sols et des eaux d'une région saharienne : cas du M'Zab. Thèse de Magister, El-Harrach, I.N.A, 180 p.

Dahali S. (2013) : Etude hydrogéologique et hydrochimique de la nappe du continentale intercalaire de la région de Touat (Wilaya d'Adrar). Mémoire Master, Univ. Ourgla, 78p.

Debieche T.H., (2002) : Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle : Application à la base plaine de la Seybouse –Nord-est Algérien, Thèse Doc., Univ. FRANCHE-COMTE, 235.

Defrance Schki M. (1996) : L'eau dans tous ses états. Edition Ellipses. Paris.632p.

Delfaut J. et Revert J., (1974) : Observations sur le calcaire à stromatholites d'âge miocène terminal de l'Oranie C.R.Acad. Sci., Paris.

Fenet B. (1975) : Recherches sur l'alpinisation de la bordure septentrionale du bouclier africain à partir d'un élément de l'Orogenèse nord-maghrébine : Les monts du Djebel Tessala et les massifs du littoral oranais. Thèse Sciences, Nice, 301p.

Foukrache M. (2001). Hydrogéologie des massifs côtiers oranais (Arzew-Béni Saf).Thèse de Magister, Univ. Oran. 321p.

Gartet A., Gartet J., Conesa G. (2001) : Hydrochimie des eaux, dissolutions spécifique et salinité des cours d'eau dans le bassin de l'oued l'ébène (Périmètre central, Maroc). Papeles de Geografia, revue de l'Université de Murcia, vol 34.

Gourinard Y. (1958) : Recherches sur la géologie du littoral Oranais, Epirogénèse et nivellement. Service de la carte géologique de l'Algérie. Bull.6, 111p. France.

Hassani M.I., (1987) : Hydrogéologie d'un bassin endoréique semi-aride : bassin versant de la grande Sebkhah (Algérie). Thèse 3^{ème} cycle. Univ.Sci.Tech. Et Médical de Grenoble. 304p, France.

Joseph A. (1979) : Notice explicative de la carte hydrogéologique d'Oran. Université d'Oran. 66p. 47 fig.

Kenane Y. (2009) : Le risque géologique en zone urbaine : exemple de la ville d'Oran. Thèse de Magister. Univ. Oran. 137p.

Lakhdari M.et Kadi M. et Hammadi S., (2011) : Caractérisation et état de connaissance du bassin de la grande sebkha d'Oran. Mémoire de licence. Univ. Oran. 96 p.

Leynaud G. (1968) : Les pollutions thermiques, influence de la température sur la vie aquatique. B.T.I. Ministère de l'agriculture, 224-881.

Mebarki A. (1982) : le bassin du Kebir Rhumel, Ressources en eaux et aménagement en Algérie. Thèse Doctorat 3^{ème} cycle. Université de Nancy II, 303p.

Ministère de Développement Durable, Environnement et Parcs (2012) : critères de qualité de l'eau de surface. Québec. Canada. 230p.

Normes Algériennes (N.A) (1992) : Norm. Al. 6360. Ed. Inor.

ONM : Données climatologiques de station d'Es-Sénia (1990-2013).

Perrodo A. (1975) : étude géologique des bassins néogènes sub-littoraux de l'Algérie Occidentale, Publ.Serv.Carte Géol. Algérie, 12,328 p.

Rodier J., : (2000), l'analyse de l'eau, 9^e édition, 1579 p.

Saci D. (2008) : utilisation des grands transferts d'eau dans l'aménagement du territoire "cas de l'Oranie". Thèse de magister. Univ. Aboubeker Belkaïd Tlemcen, 138 p.

Schoeller H. (1948) : Les modifications de la composition chimique de l'eau dans une nappe. Assemblée générale d'Oslo de l'union géodésique et géophysique internationale.

Thomas G. (1985) : géodynamique d'un bassin intramontagneux : le bassin du Bas Chélif occidental (Algérie), durant le moi-plio-quaternaire. Thèse. *Doct. d'état scn. Univ. Pau*, 549 p.

Travi Y. et Murdy J.,(1997) :méthode pour l'évaluation et la gestion du risque nitrate dans les aquifères de socle de la zone sahélienne d'aquifère de l'Ouest. *Hydrogéologie*, n°1, pp13-21.

Zahaf .H (2003) : hydrogéologique des piémonts du massif d'Arzew et son appendice le Djebel Khar (Bir El-Djir-Arzew) wilaya d'Oran. *Mém. Ing. Etat. Univ. Oran.*

Annexe n°1 : les coordonnées géographiques des points d'eau.

N°	Lieux	Coordonnées Lambert		Coordonnées UTM	
		X	Y	X	Y
1	<i>Puits C2 Begoug «Boutlélis»</i>	176.63	259.159	692.926	3.938.892
2	<i>Forage Benyabkhal "Arzew"</i>	222.2	285.5	736.907	3.967.858
3	<i>Puits Kharouba "Bir El Djir"</i>	204.5	273.70	719.918	3.954.988
4	<i>Forage OT4 "Oued Tlelat"</i>	212.650	255.70	729.102	3.937.583
5	<i>Puits Inesmo "ES- Sénia"</i>	198.50	268.99	714.196	3.949.984

Annexe n° 2 : Analyses physico-chimiques de Bir el Djir et Es-Sénia :

nom	X	Y	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Cl mg/l)	SO4 (mg/l)	HCO3 (mg/l)	NO3 (mg/l)	Min (mg/l)	Cond (µs/cm)	PH
P1	205 460	272 960	281,10	256,85	1104,46	12,12	2277,33	455,52	264,74	94,24	5084	8200	7,5
P2	199 500	266 900	441,30	328,90	1127,46	21,90	2224,08	1439,04	173,85	6,20	5394	8700	8
P3	200 150	267 790	401,20	243,85	1035,46	17,99	1848,49	1583,04	200,69	22,94	4836	7800	7,9
P4	208 950	271 050	401,20	299,86	1265,46	17,99	2277,33	1727,04	253,15	16,74	5952	9600	7,8
P5	209 300	270 950	501,25	245,92	1311,46	39,88	1770,39	2182,56	283,65	91,14	5766	9300	7,8
P6	209 700	272 140	621,35	375,80	2738,15	19,94	3106,25	3645,60	206,79	58,90	9239	9900	7,6
P7	205 600	270 750	401,20	270,95	1173,46	14,08	1658,21	2182,56	341,60	50,22	5394	8700	8
P8	206 300	270 950	381,15	253,94	989,46	14,08	1486,03	1583,04	264,74	65,72	4650	7500	8,2
P9	207 975	272 050	341,25	283,82	943,46	12,90	1814,41	1343,04	317,20	65,72	5084	8200	8,2
P10	209 500	271 450	401,20	342,87	2162,92	12,12	2293,30	3310,08	420,90	42,16	7502	9210	7,9
P11	209 900	272 150	210,12	341,90	909,42	14,08	1054,35	1679,04	676,49	32,86	4030	6500	8,5
P12	197 760	265 700	160,00	286,86	897,46	14,08	1160,50	1535,04	453,84	55,80	3844	6200	8,2
P13	198 920	265 720	301,15	852,69	3244,38	35,19	4805,64	3645,60	472,75	78,74	9930	9900	7,8
P14	198 700	266 500	581,45	1265,42	2807,15	44,97	4692,75	5180,64	248,88	17,98	9996	9920	7,6
P15	206 975	270 750	341,25	273,86	805,46	28,15	1363,91	1379,04	211,67	24,80	4092	6600	8,1
P16	206 465	270 870	401,20	503,74	2462,15	102,83	3034,19	3549,60	408,09	9,92	8246	8990	7,7
P17	204 800	274 050	321,20	257,94	1495,69	28,93	1823,64	2014,56	375,15	37,20	5456	8800	7,9
P18	197 990	267 170	281,10	164,88	897,46	21,11	1701,52	431,52	356,85	6,20	4340	7000	7,7
P19	201 950	271 950	321,20	141,91	610,19	19,94	1353,97	479,52	250,10	50,84	3348	5400	7,7
P20	201 410	272 400	301,15	174,96	836,28	26,98	1639,39	671,52	308,05	3,72	4092	6600	7,4

Annexe n° 2 : Analyse physico-chimique de la région de Boulélis :

nom	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO₄	NO₃	HCO₃	Ph	Min	RS	Cond
1	457	165	851	8	2092	592	61	315	8.1	5161	5320	6700
2	346	187	713	7	1704	730	50	234	8	4569	4640	6020
3	577	288	1080	10	2610	1210	109	293	7.7	6840	7280	9010
4	227	240	1173	15	2016	1142	59	395	8	5495	5760	7240
5	135	75	771	4	941	615	99	285	8.2	4212	4000	4212
6	29	29	69	2	80	25	25	190	8.3	580	560	810
7	188	195	782	9	1425	571	46	359	7.8	4402	4420	5800
8	207	266	713	9	1534	702	41	293	7.9	4524	4780	5960
9	327	157	1840	8	2970	860	85	227	8.1	6907	7760	9100
10	135	142	725	10	1235	515	23	318	8.1	3461	3300	4560