

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université d'Oran2 Mohamed Ben Ahmed

Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers



### Mémoire de fin d'étude

En vue l'obtention d'un diplôme de master en

Domaine : géologie

Filière : géologie appliqué

Spécialité : hydrogéologie

### THEME :

*Pollution par les nitrates du versant ouest de l'aquifère du plateau  
d'Oran-Etat des lieux et perspectives*

Présenté et soutenu par :

Mr : ISSA Mohamed Yahya

Devant le jury Composé de :

Mr.FOUKRACHE Mohamed :	M.A.A	Université d'Oran 2	Président
Mr.BORSALI Toufik :	M.A.A.	Université d'Oran 2	Examineur
Mr.HAMIDI Mansour :	Professeur	Université d'Oran 2	Encadreur

Année 2019-2020

## ***Dédicace :***

*Je dédie ce modeste travail :*

*A mes chers parents*

*Qui m'ont fourni au quotidien un soutien et une confiance sans faille et de ce fait, je me saurais exprimer ma gratitude seulement par des mots. Que dieu vous protège et vous garde pour nous.*

***Ma Chère mère : Aminetou Mohamed Lamine Sira (dide)***

*A mes chers frères*

*A toute ma famille*

*A tous ceux qui m'ont aidée de peu ou de plus ...*

*A mes collègues de la promotion.*

*A tous mes amis sans exception.*

*Et à tous ceux qui me sont chers.*

## Remerciements

Avant tout, je remercie ALLAH le Tout Puissant qui m'a donné sagesse et santé afin de réaliser ce modeste travail et arriver à récolter mes peines.

Au terme de ce travail, il m'est très agréable d'adresser mes vifs remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire. Cependant, vous êtes nombreux à vous bousculer dans mon esprit afin d'entrer dans cette feuille, mais vous devez toujours ressentir en lisant ces quelques lignes que j'ai pensé à vous tous même si vos noms n'y figurent pas.

Tout d'abord, je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers mon promoteur Monsieur

**Pr. MANSOUR Hamidi**, qui m'a fait confiance et qui a bien voulu m'encadrer. Je le remercie de m'avoir fait bénéficier de ses connaissances et de ses critiques qui m'ont beaucoup aidé à l'amélioration de ce travail. Sa méthode rigoureuse sera pour moi un bon exemple à suivre. Mes remerciements s'adressent aussi,

**Mr. FOUKRACHE Mohamed**, pour avoir accepté de présider mon jury.

Mes vifs remerciements et mes respects les plus distingués vont au :

**Mr. BORSALI Toufik**, pour avoir accepté d'examiner mon travail et faire partie du Jury.

Je tiens à exprimer mes très vifs remerciements à tous mes enseignants de la filière géologie de la Faculté des Sciences de la terre et de l'univers, auxquels je dois beaucoup pour ma formation en géologie.

Merci à mes collègues et camarades de promotion de post-graduation, qui ont su m'accorder une partie de leur temps précieux lors de la préparation de ce mémoire.

## Liste des tableaux :

Tableau n°1 : Températures mensuelles de la station de Ras-el-Aïn (1990-2005).....	13
Tableau n°2 : Evapotranspiration moyenne mensuelle1990-2005.....	14
Tableau n°3 : Précipitations Annuelles Bassin de Ras el Aïn .....	15
Tableau n°4 : Influence des activités humaines et impact sur la santé de différents niveaux des nitrates dans l'eau .....	34
Tableau n°5 :Normes O.M.S de potabilité.....	35
Tableau n° 6 :Rèsumè des normes de potabilité concernant les nitrates dans l'eau .....	35
Tableau n°7 : Données Hydro-Chimiques du Bassin de Ras-el-Aïn 2007 .....	38
Tableau n°8 : Données Hydro -Chimiques de la source de Ras-el-Aïn 2007-2018.....	38
Tableau n° 9 : les Pourcentages d'erreurs des échantillons d'eau prélevés dans le bassin de Ras-el-Aïn .....	40
Tableau n° 10 : quelque indication sur la relation existant entre la minéralisation et la conductivité .....	43
Tableau n°11 : Echelle de concentration des ions $Ca^{2+}$ et $Mg^{2+}$ .....	48
Tableau n°12 : Tableau descriptif du périmètre de protection intermédiaire (Zone II) (S. Ben Abid ANRH-2007 .....	60
Tableau n°13 : Tableau descriptif du périmètre de protection intermédiaire (Zone III) (S. Benabidi (ANRH-2007) .....	61

## Liste des figures :

Figure n°1 : Situation géographique des plateaux d'Oran.....	4
Figure n°2 : Location du secteur d'étude.....	4
Figure n°3 : Coupe Géologique du versant Sud-Est du Djebel Murdjadjo .....	5
Figure n°4 : Coupe Litho stratigraphique du versant sud du Djebel Murdjadjo .....	7
Figure n° 5 : Les écailles du Djebel Murdjadjo (B.Fenet, 1975) .....	9
Figure n° 6 La Structure Géologique des environs d'Oran (A. Dagorne, B. Fenet (Oran métropole de l'ouest algérien d'hier à aujourd'hui.) .....	9
Figure n° 7 : Températures mensuelles du bassin de Ras-el-Aïn Période - 1990-2005 .....	13
Figure n°8 : Variation des températures moyennes Période 1990-2002 .....	14
Figure n°9- Variations de L'Évapotranspiration potentielle et Températures Moyennes .1990-2005 .....	15
Figure n°10: Précipitations moyennes Annuelles Bassin de Ras el Aïn1986-2016.....	16
Figure n°11: Carte du système Aquifère de la région d'étude .....	19
Figure n°12 : Principaux Aquifères du secteur d'étude (d'après A. Joseph .....	20
Figure n°13 : Log Hydrogéologique de la région d'Oran (Hassani.M.I., 1987) .....	20
Figure n°14 : Carte de localisation des sources et de la fracturation des calcaires messéniens(Hassani.1987) .....	21
Figure n°15 : Coupe Hydrogéologique Schématique du Djebel Murdjadjo (M.I. Hassani, 1987) .....	22
Figure n°16 : Carte de Localisation des Piézomètres du Bassin de Ras-el-Aïn (2007-2018) .....	27
Figure n°17 : Carte piézométrique de Ras-el-Aïn2007 Équidistance des courbes : 5m .....	28
Figure n°18 Carte piézométrique de Ras-el-Aïn 2018 Équidistance des courbes : 10.....	28
Figure n°19 : Les phases du cycle de l'azote.....	32
Figure n°20 : Carte de la localisation des points d'eau du bassin de Ras-el-Aïn : 1/25000 ....	36
Figure n°21 :Variation des Températures de la source de Ras-el-Aïn 2007-2018.....	41
Figure n°22 : Variation du pH des échantillons d'eau de la source de Ras-el-Aïn	

2007-2018.....	42
Figure n° 23 : Évolution de la Conductivité électrique de la source de Ras-el-Aïn20072018.....	44
Figure n°24: Évolution de la Concentration en chlorures de la source de Ras-el-Aïn 2007-2018.....	45
Figure n° 25 : Évolution du titre hydrotimétrique de la station de Ras-el-Aïn 2007-2018 ....	46
Figure n°26: Évolution du titre alcalimétrique du bassin de Ras-el-Aïn 2007-2018 .....	47
Figure n°27 : Évolution de Ca <sup>2+</sup> et Mg <sup>2+</sup> du bassin de Ras-el-Aïn 2007-2018.....	49
Figure n°28 : Évolution des Sulfates dans le bassin de Ras-el-Aïn 2007-2018.....	50
Figure n°29 : Évolution des Nitrates dans le bassin de Ras-el-Aïn 2007-2018.....	51
Figure n°30 : Carte teneur en nitrates (mg/l) bassin de Ras-el-Aïn .....	52
Figure n°31 : Diagramme de PIPER Source de Ras-el-Aïn 2007-2018 .....	54
Figure n°32 : Diagramme de PIPER Bassin de Ras-el-Aïn 2007 .....	54
Figure n°33 : HOELLER-BERKALOFF Source de Ras-el-Aïn 2007-2018 .....	55
Figure n°34 : Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF Bassin de Ras-el-Aïn 2007 .....	56
Figure n°35: Diagramme de WILCOX Source de Ras-el-Aïn 2007-2018.....	57
Figure n°36 : Diagramme de WILCOX Bassin de Ras-el-Aïn 2007-2018 .....	57
Figure n°37 : Cartes de délimitation des périmètres de protection (S. Ben Abid ANRH-2007) (Zone II et Zone III.....	62

## ***Liste des abréviations :***

***ANRH*** : Agence Nationale des Ressources Hydriques

***SEOR*** : Société de l'Eau et l'Assainissement d'Oran

***GPS*** : Prise des Coordonnées géographiques

***P*** : Précipitation moyenne mensuelle (°C)

***TAC*** : Titre Alcalimétrique Complet

***TH*** : Titre Hydrométrique

***AEP*** : Alimentation en Eau Potable

***AEB*** : Alimentation en Eau du Bétail

***AHP*** : Automne, Hivers, Printemps

***OMS*** : Organisation Mondiale de La Santé

***NO<sub>3</sub><sup>-</sup>*** : Nitrate.

***NO<sub>2</sub><sup>-</sup>*** : Nitrite.

***NH<sub>3</sub>***: Ammoniac.

***NH<sub>4</sub><sup>+</sup>*** : Ammonium.

***N<sub>2</sub>*** : Azote moléculaire.

***N<sub>2</sub>O*** : Oxyde nitreux ou peroxyde d'azote.

***N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>*** : Azote nitrique.

***PH*** : potentiel hydrogène

***μS*** : micro-siemens

# Sommaire :

Remerciements.....	
Liste des figures.....	
Liste des tableaux:.....	
Listes abrégées :.....	
<b>Introduction Générale :</b> .....	
<b>Chapitre I : considération générale</b> .....	
1-Cadre Géographique.....	2
2-Cadre Géologique et Structural.....	4
3-Morphologie du Secteur d'étude .....	5
4-Les Sols et la Végétation .....	6
5-Cadre Litho-Stratigraphique .....	7
6-Les Faciès de Substratum .....	8
6-1-Le Jurassique représenté: .....	8
6-2-Le crétacé représenté: .....	8
7- Les Faciès de Couverture .....	10
- <i>La série de base</i> : .....	10
- <i>Les marnes bleues</i> .....	10
- <i>Tripolis et gypse</i> .....	10
- <i>Les récifs coralliens</i> .....	10
- <i>Les alluvions anciennes</i> .....	11
8-Structure .....	11
8-1- La déformation dans le substratum .....	11
8-2 La déformation dans la couverture :.....	12
9-Hydro climatologie de la région .....	12
9-1-Description régional :.....	12
9-2-2-Température .....	13
9-3-Estimation de l'évapotranspiration .....	14
9-4-les précipitation.....	15



<b>Chapitre II : Hydrogeologie</b> .....	
<b>1-Introduction</b> .....	18
2- Description des principaux aquifères du secteur d'étude : Sur le secteur d'étude, on distingue .....	21
2-1-L'Aquifère des calcaires récifaux du djebel Murdjadjo .....	21
2-1-1-Une nappe perchée des Crêtes .....	22
2-1-2-Une nappe captive .....	23
2-1-3-Une nappe libre intermédiaire .....	23
2-2- L'Aquifère du calabrien .....	24
2-3-L'Aquifère des alluvions plio-quadernaire .....	25
3- piézométrie du secteur d'étude .....	25
<b>Chapitre III : Pollution par les nitrates</b> :.....	
<b>1-Généralités</b> .....	30
1-1-Definition de la pollution de l'eau : .....	30
1-2- Principaux types de pollution : .....	30
- La pollution d'origine urbaine : .....	30
- La pollution organique : .....	30
- La pollution bactériologique :.....	31
-Pollution d'origine agricole : .....	31
- Pollution d'origine industrielle : .....	31
1-3-Les nitrates :.....	31
1-3-1-Définition et généralités : .....	31
1-3-2- Cycle de l'Azote : .....	32
-La minéralisation .....	33
-L'immobilisation : .....	33
1-3-3- Nitrates et risques sanitaires : .....	34
1-3-4-Normes de potabilité : .....	35
2-Etude de pollution par les nitrates des eaux souterraines dans le secteur d'étude :.....	36
<i>Zone de prélèvement</i> .....	36
<i>Méthodologie de l'étude hydrogéochimique</i> : .....	36
<i>Balance ionique</i> : .....	38
<i>Stations du bassin de ras Ain pour la chronique 2007</i> :.....	40
2-1 Les paramètres Physiques :.....	41
-La température :.....	41
-Le potentiel d'hydrogène : .....	41

-La conductivité électrique :.....	42
2-2- Les Paramètres chimiques : .....	44
-Les Chlorures.....	44
-Le Titre Hydrotimétrique TH : .....	45
-Le Titre alcalimétrique complet (TAC) : .....	46
2-3 Principaux élément présents dans l'eau : .....	47
-Le Calcium .....	47
-Le magnésium :.....	48
-Les Sulfates : .....	49
2-4 Les Substances indésirable : .....	50
-Les Nitrates :.....	50
2-5 Les Diagrammes.....	52
- Le Diagramme de PIPER : .....	52
- Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF :.....	54
-Diagramme de WILCOX : .....	56
3-Les périmètres de protection : .....	58
3-1 Le périmètre de protection immediate : .....	58
3-2 Le périmètre de protection rapproché : .....	59
3-3 Le périmètre de protection éloigne : .....	60
Conclusion : .....	63
Référence bibliographiques .....	64

**Introduction générale :**

## **Introduction générale :**

Sur la terre, l'eau est abondante mais sa répartition est très inégale. C'est une ressource naturelle limitée, indispensable à toute forme de vie et essentiellement pour le développement économique et social des pays.

Les eaux souterraines sont tous les eaux qui se trouvent sous la surface du sol, dans la zone de saturation et en contact direct avec le sol ou sous-sol.

Les aquifères souterraines sont la réserve majeure (96%) de l'eau douce exploitable sur la terre émergées 65% des eaux qui y sont pompées sont utilisées et parfois gaspillées pour l'irrigation. eau potable constitue 25% des prélèvements alors que l'industrie pompe le reste (10%)

L'eau souterraine, bien qu'elle soit cachée et invisible, elle est fragile et souvent considérée comme une source d'alimentation en eau potable. Elle est très vulnérable aux nombreuses sources de contamination. Sa vulnérabilité est une propriété intrinsèque des aquifères qui dépend de la sensibilité des eaux souterraines aux impacts naturels et anthropiques. L'altération de l'environnement naturel, notamment le milieu aquifère devient progressivement une préoccupation mondiale.

La ville d'Oran est la deuxième ville et centre économique du pays. Elle est située sur le littoral Nord-Ouest de l'Algérie La région étudiée versant ouest de l'aquifère du plateau d'Oran

L'eau qui coule de notre robinet devient tout à coup douteuse lorsque plane la menace des nitrates qu'elle renferme La mauvaise réputation de ces substances composées d'un atome d'azote et de trois atomes d'oxygène ( $\text{NO}_3^-$ ) n'est plus à faire. Reconnus responsables de dégâts sur l'environnement lorsqu'ils se concentrent dans les rejets agricoles, les nitrates sont aussi accusés d'empoisonner les bébés et d'augmenter les risques de cancers d'où de régulières alertes sanitaires lorsque l'eau potable d'une commune dépasse le seuil autorisé de 50mg/l de  $\text{NO}_3^-$  ions L'objectif de notre travail c'est d'étudier les teneurs en nitrates dans les eaux souterraines, leur évolution, et de déterminer leur origine probable. Afin de répondre à ces préoccupations, cette étude est basée sur les chapitres suivants :

**Le premier chapitre :** considérations générales de la zone d'étude, les caractéristiques morphologiques, climatiques, géologiques

**Le deuxième chapitre :** hydrogéologique

**Le troisième chapitre :** pollution par les nitrates

**Chapitre I :**  
**CONSIDERATION GENERALES**

## **I-Considération générale :**

### 1-Cadre Géographique :

La ville d'Oran est la deuxième ville et centre économique du pays. Elle est située sur le littoral Nord-ouest de l'Algérie et dispose d'une façade maritime de 120 km, au bord de la mer méditerranée (cordonnées : 35°42' Nord, 0°38')

Elle limitée :

- Au Nord par la mer méditerrané ;
- Au Sud-Est, par la wilaya de Mascara ;
- A L'Ouest, par la wilaya d'Ain T'émouchent ;
- Au Sud, par la wilaya de Sidi Bel Abbés ;

Le chef-lieu de la wilaya est situé à 432 km à l'Ouest de la capitale Alger. la wilaya

S'étend sur une superficie de 2114km<sup>2</sup>

Notre secteur d'étude, qui correspond à la partie orientale du Djebel Murdjadjo qui a fait l'objet de nombreuses recherches sur les quelles nous nous sommes basés pour réaliser une synthèse locale. Le secteur de Ras-el-Aïn appartient au Tell septentrional et englobe la carte d'Oran au 1/50000<sup>eme</sup> (Figure n°1).

Les limites naturelles sont constituées au nord, par la mer Méditerranée, au sud par la grande Sebkhia d'Oran, à l'Ouest, par la plaine des Andalouses et à l'Est par le DJbel Khar.

La Source de Ras-el-Aïn représentant l'exutoire principal de l'aquifère est située à l'extrémité Sud-Est du djebel Murdjadjo. Lequel, constitue la plus orientale des chaines côtières Alpines de l'Oranie de direction moyenne Sud-Ouest-Nord Est au point de coordonnées Lambert suivantes :

- X = 196.130
- Y = 271.250
- Altitude du sol (z) = 75.489

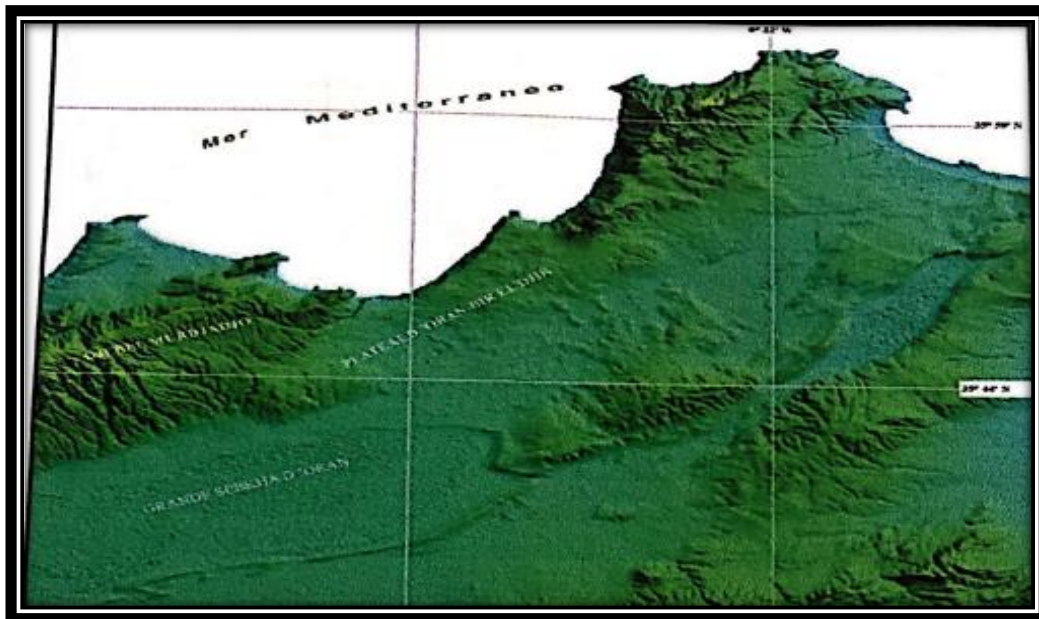


Figure n°1 : Situation géographique des plateaux d'Oran



Figure n°2 : Localisation du secteur d'étude

## 2-Cadre Géologique et Structural :

La description géologique du bassin de Ras-el-Aïn est basée sur les informations exploitées à partir des observations effectuées sur le terrain, essentiellement au niveau du massif du Murdjadjo.

Le littoral oranais est une zone assez élevée très abrupte entourée de plaines basses subsidentes Constituées de petits Bassins dont le bassin de Ras-el-Aïn. Ce littoral est constitué de plateaux aux bords escarpés, souvent vers le Sud. Le caractère fondamental de ces reliefs est leurs

jeunesses. Oran est une grande région reposant sur le Quaternaire Continental dont la partie côtière est formée de terrains du Plio-quaternaire continental et du Miocène supérieur.

Nous distinguons 02 ensembles :

- Un substratum Anté-synchro-nappe affleurant dans la zone haute.
- Un remplissage Néogène au centre du bassin.

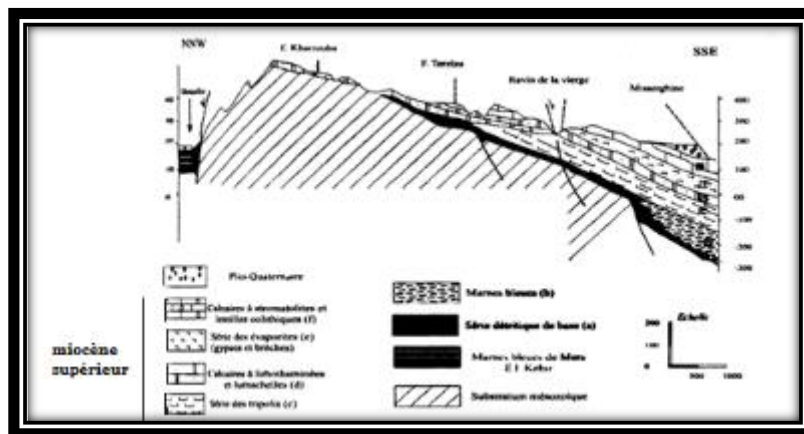


Figure n°3 : Coupe Géologique du versant Sud-Est du Djebel Murdjadjo (J. Delfaud, J. Revert 1974)

### 3-Morphologie du Secteur d'étude :

Le Sahel d'Oran constitue naturellement le cœur de l'Oranie, la ville d'Oran est située au fond Sud-Ouest de la baie, à cheval sur le ravin de Ras-el-Aïn qui sépare la plaine sublittoral dominant la mer par une falaise haute de 100 mètres constituant le Plateau d'Oran et à l'Ouest, le massif du Murdjadjo.

Le flanc Sud du Murdjadjo et le Plateau d'Oran constituent un ensemble comprenant les dépressions dont la grande sebkha d'Oran, la basse Plaine, les piémonts et le flanc du monoclinale.

Sa disposition recoupe le littoral, orienté dans l'ensemble Sud - Ouest / Nord - Est, les altitudes passent de 80 mètres au niveau de la Sebkha à 500 mètres sur le sommet de la montagne.

L'ensemble est divisé en sous-bassins endoréiques se déversant d'une manière générale dans l'exutoire principal qu'est la sebkha à l'exception du sous bassin de la fameuse source Ras-el-Aïn qui fut à l'origine de la fondation de la ville d'Oran et dont les eaux se jettent dans la mer.



Les composants qui forment le grand bassin endoréique du flanc Sud du Murdjadjo sont :

- Le sous- bassin de Brédéah.

- Le sous- bassin de Misserghin.

- Le sous -bassin d'Ain El Beida.

Et enfin le plateau d'Oran qui constitue naturellement le cœur de la ville d'Oran et borde le Murdjadjo dans sa partie Sud-Est avec vue sur le ravin de Ras-el-Aïn qui sépare la plaine sublittoral dominant la mer par une falaise haute de 100 mètres. Il s'étend au Sud jusqu'aux premiers affleurements de calcaires d'Ain Beida et se poursuit à l'Est par le Plateau de Saint Louis (Hessi) sa superficie avoisine quelque 150 à 180 km<sup>2</sup>.

4-Les Sols et la Végétation :

La répartition des sols et de la végétation dans cette région ne peut être évoquée sans certain schématisme.

En effet les sols constituent des mosaïques compliquées où se mêlent paléosols et sols récents et où les conditions locales (roche mère, topographie) permettent l'introduction de nombreuses variantes.

La couverture pédologique quasi homogène est caractérisée par la présence de trois classes de sol :

-Sols peu évolués : alluvions d'oueds (galets, graviers, argile).

-Sols calci -magnésiques : piedmonts des massifs avoisinants (sols rouges).

-Verti -sols : sols gris sombre localisés au niveau des dépressions, moins étendus.

Les versants sont couverts par une végétation constituée par la brousse à jujubier, arbustes épineux, pins d'Alep et par les conifères.

Les cultures maraîchères ou fruitières très limitées dans l'espace, sont localisées surtout autour des points d'eau.

## 5-Cadre Litho-Stratigraphique :

Reposant sur un substratum Mésozoïque, les formations que l'on rencontre sont souvent rattachées au Miocène et plio -quaternaire (Figure n°4)

Sur le plan stratigraphique, le Versant Sud du Djebel Murdjadjo est caractérisé par la présence de trois ensembles bien distincts :

- Le substratum formant l'ossature
- Les terrains du Miocène supérieur
- La couverture et le remplissage alluvionnaire Polio -quaternaire de la Sebka.

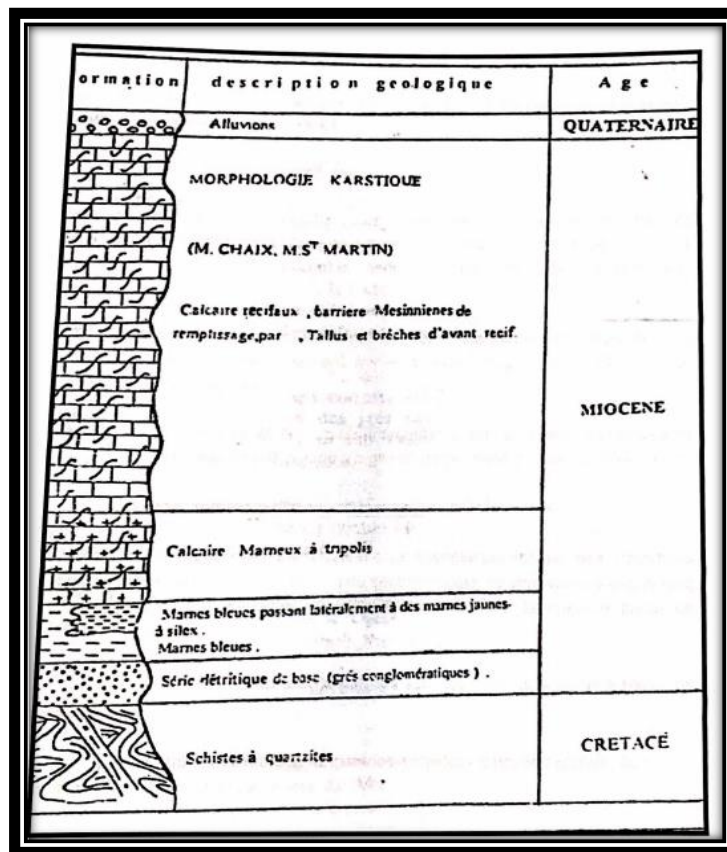


Figure n°4 : Coupe Litho stratigraphique du versant sud du Djebel Murdjadjo

## 6-Les Faciès de Substratum :

Le Jurassique et le crétacé inférieur constituent les formations des mésozoïques les mieux représentées sur le Murdjadjo.

### 6-1-Le Jurassique représenté par :

-Le Lias : Il s'agit d'une formation carbonatée formée de lentilles dolomitiques massives accompagnées de calcaires schisteux et marmoréens. Elle a été attribuée au Lias par M.Doumergue (1912) et correspond à l'allochtone carbonaté de B.Fenet (1975).

-Le Dogger (Jurassique moyen) : qui surmonte les formations liasiques. Les schistes calcaires ardoisiers passent à des schistes rougeâtres et affleurent au sommet du Djebel Murdjadjo.

-Le Malm : (Kimméridjien et Thioniques inférieur) : Il est représenté par des petits bancs de calcaires alternés de niveau d'argile d'une centaine de mètres d'épaisseur.

### 6-2-Le crétacé représenté par :

-Le crétacé inférieur :

Il est représenté essentiellement par des formations schisteuses qui occupent la partie nord du secteur étudié. Ils sont visibles tout le long de la ligne de crête du Murdjadjo. Ces schistes forment la majeure partie de l'ossature du Murdjadjo (500 m).

-Le Néocomien est représenté par des schistes massifs argileux à bancs de quartzites blancs.

- Le Barrémien est représenté par des schistes- calcaires jaunes, compacts contenant des ammonites pyriteuses.

-Le Crétacé supérieur : Il est absent de la feuille d'Oran soit par ablation, soit par non dépôt, on le retrouve plus à l'Est sur la feuille d'Arzew.

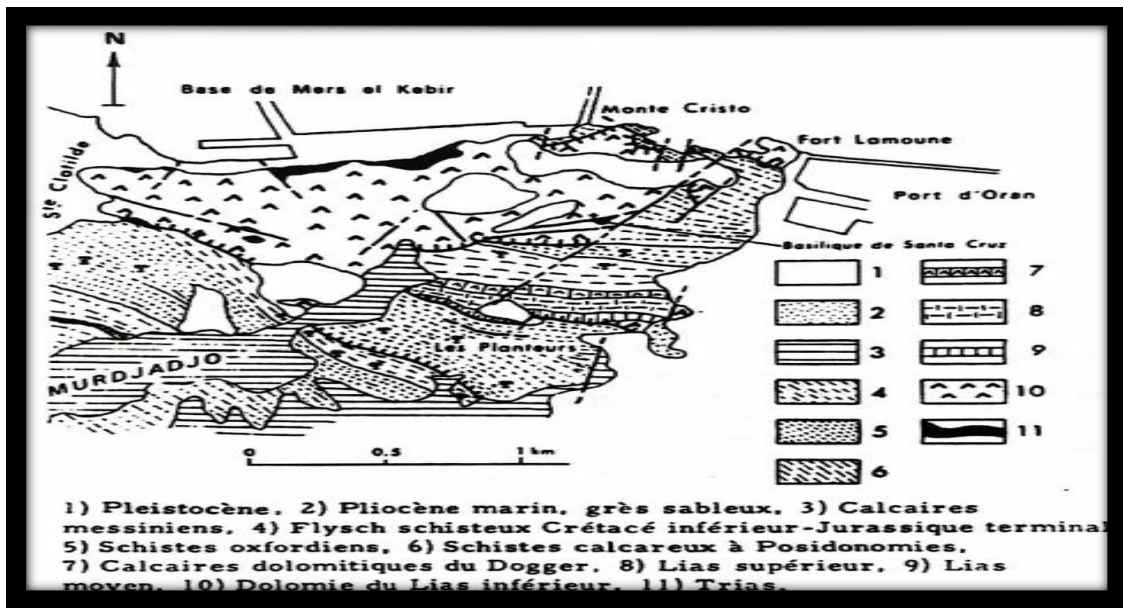


Figure n° 5 : Les écailles du Djebel Murdjadjo (B.Fenet, 1975)

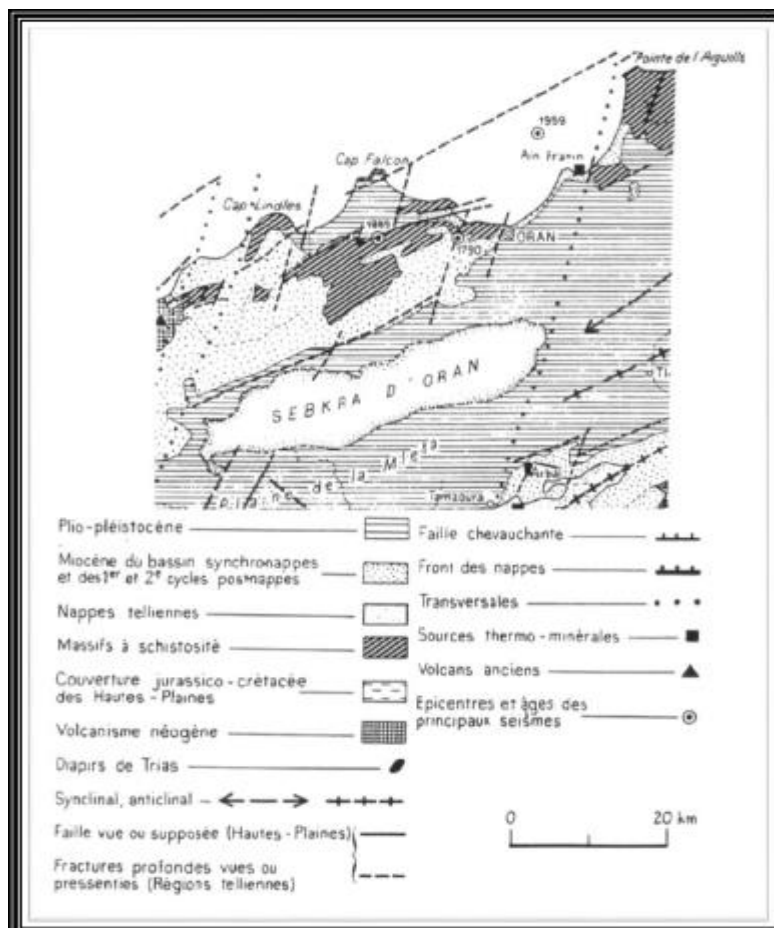


Figure n° 6 La Structure Géologique des environs d'Oran (A. Dagorne, B. Fenet)

## 7- Les Faciès de Couverture :

Le Miocène est formé en grande partie par des marnes bleues jouant parfois le Rôle de mur d'aquifère (Guardia, 1975). Il est constitué de formations transgressives. Y.Gourinard (1958) avait déjà esquissé les grandes lignes de la sédimentation néogène et a fourni une cartographie détaillée de cette région, mis en évidence le rôle de la Tectonique durant la sédimentation.

(Delfaut et Al.1973) ont proposé la succession verticale du Miocène terminal du Djebel Murdjadjo dont les différentes unités sont de bas en haut : (Figure n°4 et Figure n°5)

### - *La série de base :*

Qui correspond à des grès à Clypéastres issus des niveaux transgressifs. Ce sont des grès sableux parfois à ciment calcaire à nombreux éléments empruntés au substratum. Cette série est représentée sur le versant Sud-Est du Djebel Murdjadjo.

### - *Les marnes bleues :*

Formations médianes qui reposent en biseau (Figure n°3) dans le versant sud du Djebel Murdjadjo. Elles affleurent localement au fond des carrières des Planteurs.

### - *Tripolis et gypse : (Formations terminales) :*

Les marno- calcaires blancs à tripolis affleurent largement dans le Djebel Murdjadjo et dans sa bordure sud (falaise d'Oran, Ravin Blanc, Eckhmul, Ras el Aïn et Oued Misserghine). Il a été constaté, aussi la présence de bancs de grés par endroits intercalés à des Tripolis ainsi que des rognons de silex noirâtre au niveau de Ras-el-Aïn.

### - *Les récifs coralliens :*

Ils marquent la dernière transgression de la mer Miocène. En amont du Horst Murdjadjo, les calcaires reposent sur des marnes à Tripolis, dont le dépôt correspond au maximum de l'extension de la mer miocène et au début de régression.

Les calcaires récifaux qui affleurent le Murdjadjo se noient sous les alluvions

plio- quaternaires, leur plongement s'accroît à la faveur de failles bordières N60°.

*-Les alluvions anciennes :*

Les niveaux marins du Pléistocène de l'Oranie sont rares. Ces alluvions résultent de l'érosion rapide des formations situées en amont de la plaine. Le long du littoral Oranais actuel, les dépôts du Pleistocène supérieur sont bien représentés, dans la zone des piémonts du Djebel Murdjadjo. Ils se présentent sous forme de terrasse et glacis d'accumulations formés de limons sableux ou argileux rubéfiés (Thomas, 1985).

8-Structure :

La région a été affectée par des tectoniques successives cassantes et disloquantes ayant entraîné à des âges différents la formation de Horsts (la montagne des Lions (Djebel Khar), Cap Lindlès (surrection primaire) ainsi que le Murdjadjo. Ce dernier, constitue un Horst dissymétrique dont l'axe est orienté suivant une direction Sud-Ouest - Nord- Est, selon (A. Perrodon .1957), ce Horst de terrains mésozoïques a permis des mouvements verticaux localisés qui ont joué récemment en surrection. Le relèvement dissymétrique avec basculement vers le sud a permis à des séries plus récentes de se déposer sur le flanc sud.

8-1 La déformation dans le substratum :

Les terrains schisteux du substratum forment une série complexe fortement plissée et légèrement métamorphisée. On distingue dans cet ensemble deux phases de schistosité (B.Fenet, 1974)

-La première phase est à avec des plis couchés à schistes verts affleurant le long des accidents majeurs de direction Nord - Sud.

-La deuxième phase est à schistosité de fracture de direction N130°.

Ces contacts anormaux se pendent vers le Nord - Nord Est et contiennent des roches éruptives.

La deuxième phase de schistosité fait que les parties supérieures du Djebel Khar a tendance à se déplacer d'où le chevauchement des écaillages de la première phase par les dolomies de Santa -Cruz.

## 8-2 La déformation dans la couverture :

Les Terrains Miocènes forment l'essentiel de la couverture du Murdjadjo. Cette formation est discordante sur les terrains antérieurs. Le littoral Oranais a subi une distension qui a donné naissance à des Grabens et des Horsts selon trois familles d'accidents verticaux.

-Une des conséquences les plus importantes est l'installation du bassin néogène (Sebkha-Chellif) limité par des accidents N60°.

-La deuxième phase détermine des structures souples à grands rayons de courbures. C'est l'accident de Bousfer, celui qui sépare le Murdjadjo de Santa Cruz à l'Ouest du plateau d'Oran. Cette deuxième phase est de direction N20°.

-La Troisième famille d'accident est orienté N 80°. Ces accidents sont plus importants, car ils limitent de véritables fossés d'effondrement (grabben de Mers el Kébir), ou s'accumulent d'épaisses formations plio- quaternaires.

## 9-Hydro climatologie de la région :

### 9-1-Description régional :

Le climat est parmi les ressources naturelles, il constitue un patrimoine dont la connaissance est primordiale tant par son côté positif, c'est-à-dire comme source de richesse renouvelable (eau - production agricole- énergie solaire - etc....) que par les contraintes qu'il impose (variabilité - phénomènes dangereux - transport de polluants).

L'Algérie est un pays de la zone subtropicale du Nord-africain. Son climat est très différent entre les régions. Il est de type méditerranéen sur toute la frange nord qui englobe le littoral et l'atlas tellien (étés chauds et secs, hivers humides et frais), semi-aride sur les hauts plateaux au centre du pays, et désertique dès que l'on franchit la chaîne de l'Atlas saharien

En Algérie les précipitations sont caractérisées par une variabilité Spatio-temporelle très marquante.

La wilaya d'Oran se situe en grande partie dans le domaine climatique méditerranéen semi-aride, elle reçoit en moyenne entre 300 à 400 mm de précipitations annuelles. La température moyenne annuelle est de 18.1 °C à Oran. L'eau y est donc rare, irrégulière et inégalement répartie dans l'espace

## 9-2-Température :

La moyenne annuelle des températures est de 18°C. Généralement très instable, elle varie d'un endroit à l'autre suivant les caprices du relief de la mer.

La température est un élément fondamental du climat. Elle est liée à la radiation solaire. Sa variation influe sur la transformation des eaux en vapeur, que ce soit à la surface ou dans le sous-sol. Nous avons rassemblé dans le Tableau n°1, ci-dessous les températures moyennes mensuelles enregistrées au niveau du bassin de Ras el Ain, couvrant la période d'observation allant de 1990 à 2005.

Ras el Ain	Jan	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc
T max	20,03	21,6	24,19	25,21	27,75	29,59	34,47	35,5	32,79	29,17	25,16	20,17
T min	3,7	5,49	4,99	7,34	9,75	14,26	18,42	18,04	14,57	11,44	5,75	3,52
T moy	12,11	12,85	14,33	15,54	18,24	20,99	23,61	25,28	25,72	18,54	15,04	12,12

Tableau n°1 : Températures mensuelles de la station de Ras-el-Aïn (1990-2005)

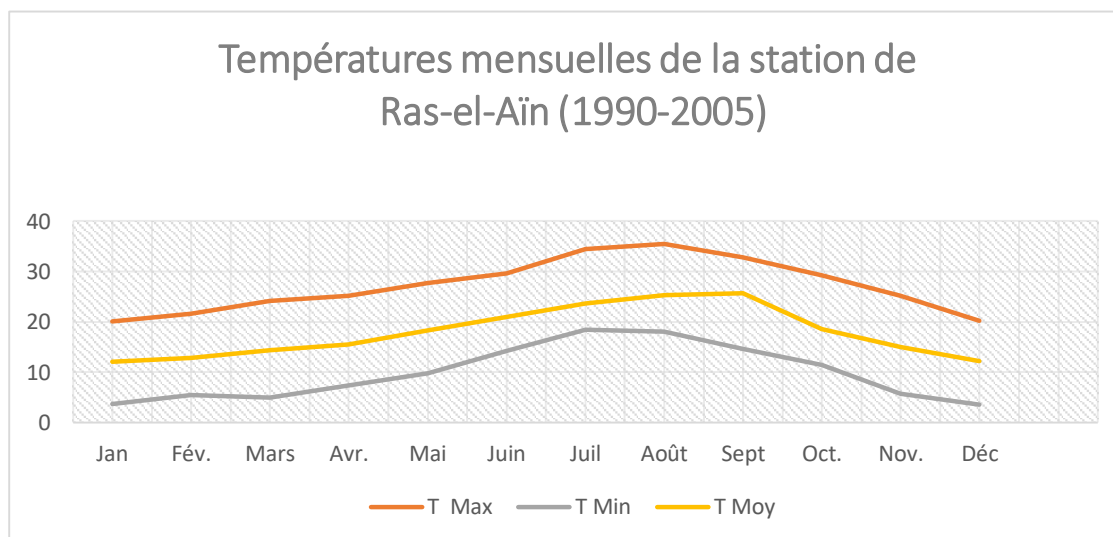


Figure n° 7 : Températures mensuelles du bassin de Ras-el-Aïn Période - 1990-2005



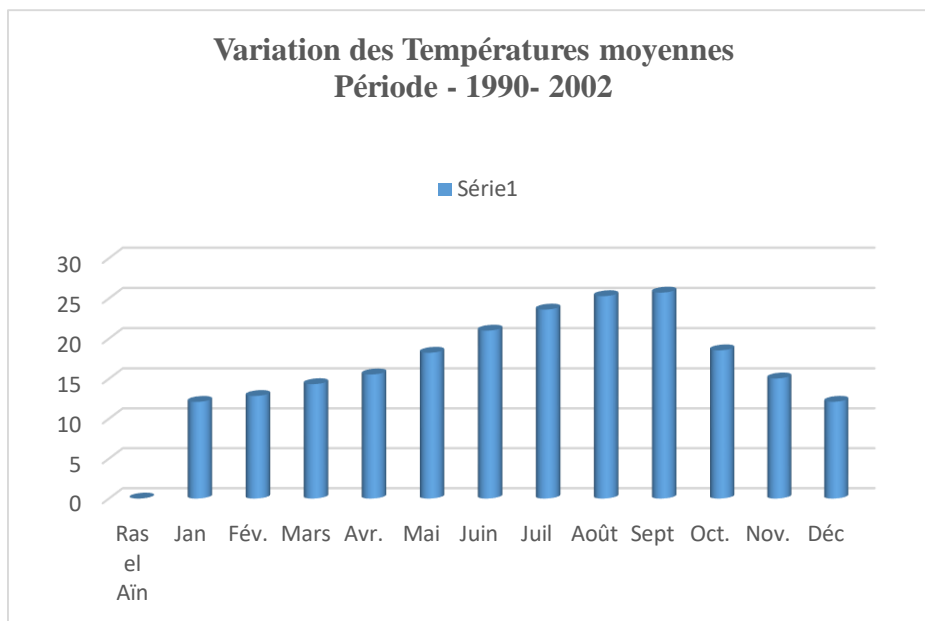


Figure n°8 : Variation des températures moyennes Période 1990-2002

### 9-3-Estimation de l'évapotranspiration :

Le phénomène d'évaporation constitue une étape importante dans le cycle hydrologique dès l'arrivée des premières gouttes de pluies à la surface du sol. Ce processus peut se produire à la surface des plans d'eau, des sols humides ou bien à la surface d'un couvert végétal, ce dernier cas est appelé transpiration ; ces deux termes ont été regroupés sous le nom d'évapotranspiration

Selon ces considérations, nous avons résumé dans le Tableau n°2, ci-dessous les résultats obtenus de l'évapotranspiration moyenne mensuelle pour la série d'observations ainsi considérée.

C	sept	Oct.	Nov.	Déc	Jan	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil	Août
T° Moy	<b>25,72</b>	18,54	15,4	12,12	<b>12,1</b>	12,9	14,33	15,54	18,24	20,99	23,61	25,28
ETP	<b>120</b>	61	44	31	<b>30</b>	34	41	47	60	80	95	110
I (°c)	11,94	7,27	5,29	3,82	3,81	4,2	5,56	7,09	8,77	10,48	11,63	11,94

Tableau n°2- Evapotranspiration moyenne mensuelle 1990-2005

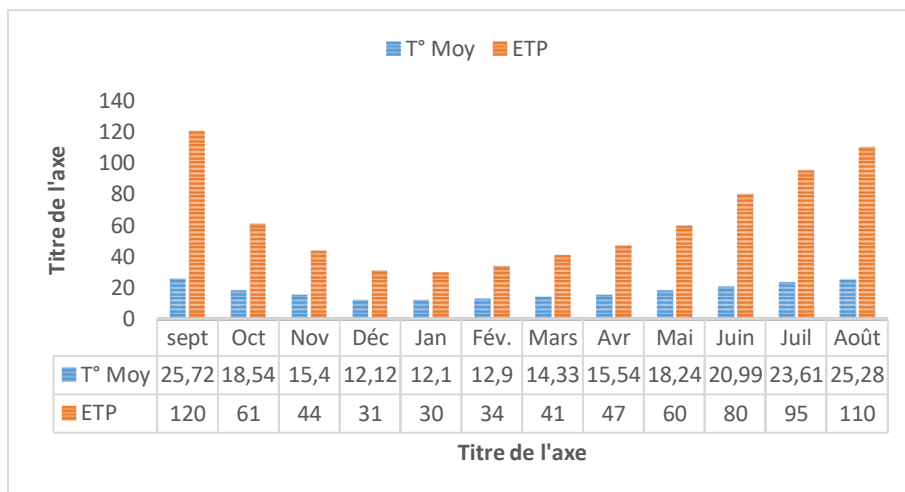


Figure n°9 : Variations de L'Évapotranspiration potentielle et Températures Moyennes 1990-2005

#### 9-4 Les précipitations :

La connaissance des Données des précipitations pour la période d'observations de 1986 à 2016 fournies par l'ANRH, (Tableau n°3) permet en particulier de calculer la lame d'eau tombée sur la région de Ras el Ain. Cette opération qui reste relativement délicate, nécessite la combinaison de différentes méthodes afin de prendre en considération les contraintes géographiques existantes telles l'altitude, topographie et l'exposition.

-La répartition des précipitations annuelles sur la période 1986- 2016 manifeste une irrégularité interannuelle très marquée (Figure n°10). Tableau n°3 Précipitations Annuelles Bassin de Ras el Ain :

P (mm)	Année s	P (mm)	Année s
360,3	2002	279,6	1986
335,6	2003	329,2	1987
353,9	2004	274,5	1988
370,1	2005	401,9	1989
383,7	2006	453,1	1990
414,6	2007	401,7	1991
534,9	2008	249,4	1992
510,8	2009	284,9	1993
285,8	2010	310,4	1994
429,9	2011	386,9	1995
624,6	2012	226,8	1996
406,0	2013	249,3	1997
368,2	2014	307,2	1998
282,3	2015	328,8	1999
364,5	2016	402,0	2000
		385,2	2001

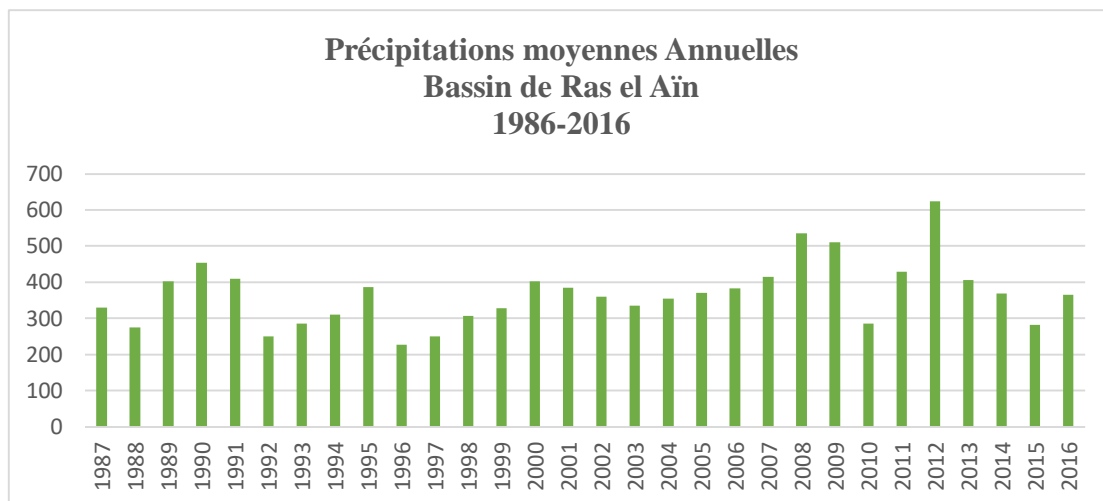


Figure n° 10 : Précipitations moyennes Annuelles Bassin de Ras el Aïn 1986-2016

## *Chapitre II : Hydrogéologie*

## **II-Hydrogéologie**

### 1- Introduction

L'étude Hydrogéologique nous a permis de déterminer les principaux aquifères de la région et leurs caractéristiques hydrogéologiques.

Nous nous sommes intéressées au système aquifère centré sur le bassin Hydrogéologique de Ras el Ain et la dynamique de la nappe depuis le massif du Murdjadjo vers l'exutoire principal représenté par la source.

L'étude des nappes d'eau souterraine de Ras el Ain concerne les bassins versants des écoulements provenant des reliefs qui culminent à l'Ouest de la ville d'Oran. Le Djebel Murdjadjo fait partie de ces Massifs Littoraux Oranais. Il enferme la partie occidentale de l'agglomération (secteur d'El Hassi-Ain Beida).

Il est caractérisé par son profil dissymétrique, son étagement en gradins, ses ruptures de pente, et aplanissements, son hydrologie et surtout sa karstification. Il domine le Plateau d'Oran, selon un dénivelé de près de 500 m. Le sommet du djébel culmine à 589 m.

Au Djebel Murdjadjo, la formation messinienne dont l'épaisseur peut dépasser une centaine de mètres constitue un excellent aquifère du fait de ses caractéristiques physiques de milieu (fissuré et karstique) et de sa position topographique sommitale dans le paysage. Naguère, c'était vraisemblablement le château d'eau de la proche région d'Oran. Les calcaires sont alimentés directement par leur impluvium et par le ruissellement issu des formations schisteuses du substratum. Les eaux s'y infiltrent rapidement à la faveur des fissures. Ces calcaires sont aussi karstiques et les eaux de ruissellement s'engouffrent dans les cavités le long du lit des cours d'eau.

La source de Ras el Aïn est située à la base des calcaires miocènes bordant l'ancienne route d'Oran à Misserghine, probablement à la suite d'un passage latérale vers l'Est des calcaires à Algues à des grés fins avec marnes jaunes.

Elle émerge au contact des calcaires marneux à tripolis et des marnes jaunes à silex. Elle représente le point le plus bas de la formation Miocène, elle constitue l'exutoire de la nappe centré sur le bassin Hydrogéologique de Ras el Aïn.

Elle constitue l'exutoire de la nappe centrée sur le bassin hydrogéologique de Ras el Ain Cette source est captée par une grande galerie drainante qui alimente les quartiers côtiers.

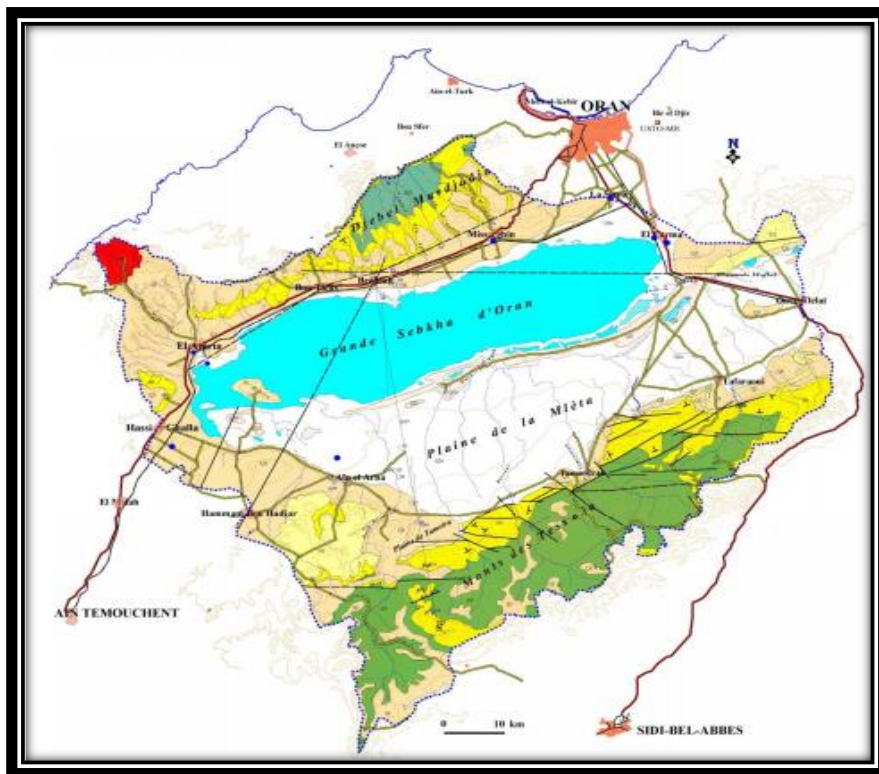


Figure n°11 : Carte du système Aquifère de la région d'étude (Ahmed, B.2013)

L'hydrogéologie du secteur d'étude est bien définie en raison de sa situation géographique, géomorphologique. La nappe la plus importante est contenue dans les calcaires fissurés du Miocène Terminal (Messinien). Un second aquifère (les alluvions du Plio-quaternaires) de qualité chimique médiocre de plus en plus épais vers le Sud repose sur les calcaires.

Les aspects litho stratigraphiques et structuraux des formations géologiques de la zone d'étude font ressortir les principaux aquifères présents (Figure n°12, Figure n°13)

- Les formations carbonatées miocènes du Djebel Murdjadjo.
- Les colluvions et alluvions récentes et anciennes du Pleisto-Holocène.
- Les grès et sables Calabriens du plateau d'Oran (Plio-Pleistocène).

Ces formations constituent le principal réservoir aquifère de la région d'Oran. Ils s'étendent de Ras-el-Aïn à Oran jusqu'à Brédea à l'Ouest, leur impluvium est de l'ordre de 135km<sup>2</sup>.

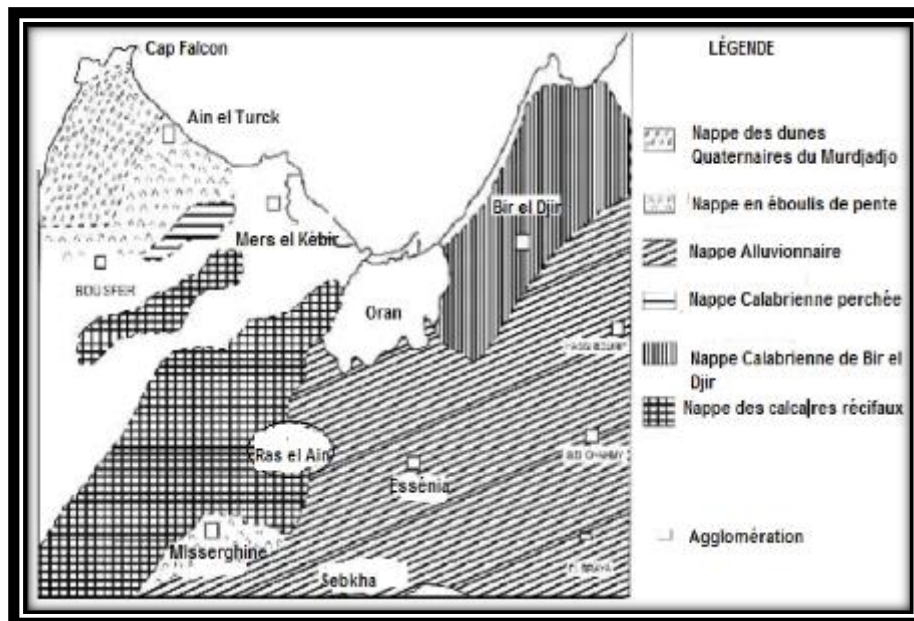


Figure n°12 - Principaux Aquifères du secteur d'étude (A. Joseph, 1979)

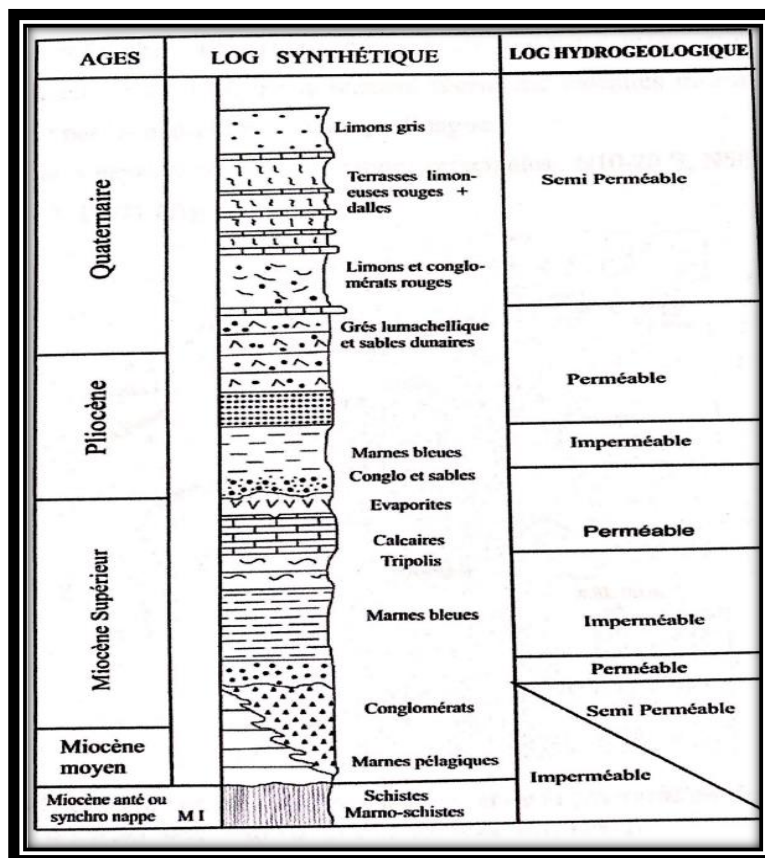


Figure n°13 : Log Hydrogéologique de la région d'Oran (Hassani.M.I., 1987)

2- Description des principaux aquifères du secteur d'étude : Sur le secteur d'étude, on distingue :

2-1 L'Aquifère des calcaires récifaux du djebel Murdjadjo :

Les calcaires récifaux du Miocène supérieur, appelés également "calcaires du Murdjadjo" constituent le principal réservoir d'eau souterraine de la région. Cet aquifère, de type karstique, s'étend de Ras el Ain, à l'Est, jusqu'à Boutlelis, à l'Ouest. Il constitue un impluvium de 135 km<sup>2</sup> pour une épaisseur moyenne atteignant environ 100m. Toutes les eaux de précipitation s'y infiltrent rapidement à la faveur des diaclases et parfois au niveau des pertes, ceci explique la relative aridité de la surface du karst (Hassani MI, 1987).

La fracturation et les phénomènes karstiques majeurs sont peu spectaculaires dans le Djebel Murdjadjo. Ceci est dû à l'âge relativement récent des calcaires messiniens qui n'ont été affectés que par les phases tectoniques post-nappes.

Cette tectonique s'exprime selon les directions principales N10-20 E, N50-70 E et NW-SE (Hassani M.I, 1987). (Fig. n° 14).

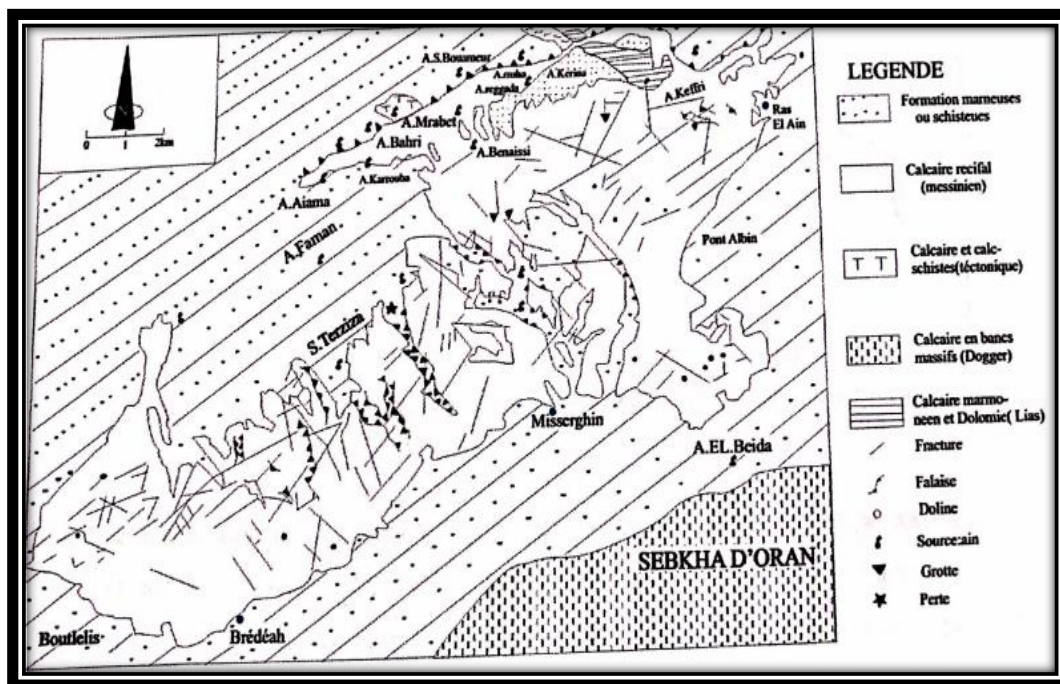


Figure n°14 : Carte de localisation des sources et de la fracturation des calcaires messéniens (Hassani.1987)



Les joints et les diaclases des niveaux calcaires ont été largement ouverts par dissolution.

L'écoulement des eaux souterraines au sein des massifs calcaires se fait selon les plans de fractures et à leur intersection.

La détermination des directions préférentielles de la fracturation conditionne le drainage hydraulique de ces formations.

L'étanchéité des calcaires du Murdjadjo est assurée à la base par le substratum marneux et schisteux ou par les niveaux les moins perméables des marnes à tripoli.

Trois nappes peuvent être distinguées au sein de ce système aquifère :(Figure. n°16)

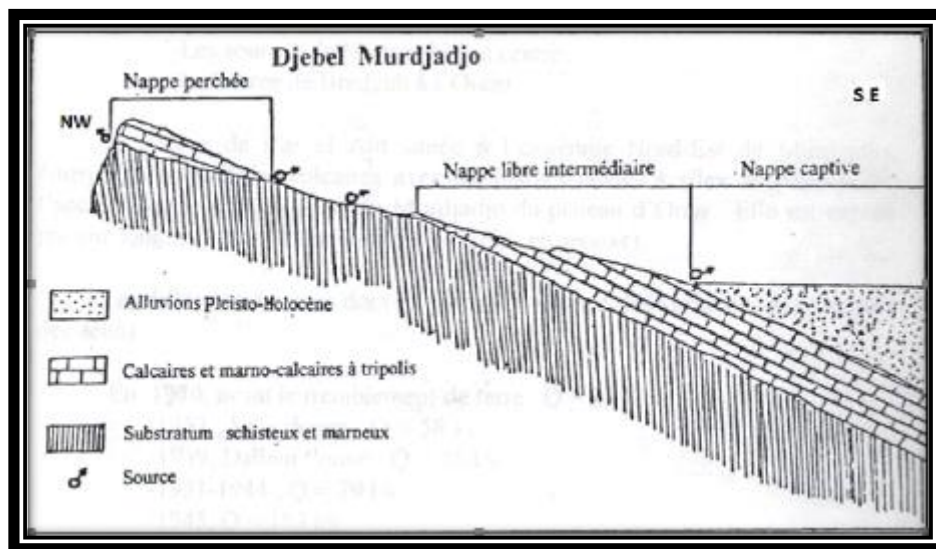


Figure n°15 : Coupe Hydrogéologique Schématique du Jebel Murdjadjo  
(M.I. Hassani, 1987)

#### 2-1-1 Une nappe perchée des Crêtes :

Longeant une partie de la crête du Jebel. Elle repose directement sur un substratum schisteux. Cette nappe est drainée par deux lignes de sources orientées NE-SW.

Une série de sources se déverse vers le nord en direction de la plaine de Bousfer, alors que la deuxième série se déverse vers le sud en direction de la plaine bordière de la grande Sebka.

Les débits d'écoulement de ces sources sont faibles du fait de la faible extension de leur bassin d'alimentation.

### 2-1-2 Une nappe captive :

En aval, à la ligne de rupture de pente du Djebel Murdjadjo, les calcaires passent sous les colluvions et alluvions plio-quaternaires beaucoup moins perméables.

L'aquifère devient de ce fait semi-captif à captif. Les forages indiquent que les calcaires restent fissurés sur une assez grande profondeur et la perméabilité de fissures reste prépondérante.

L'alimentation de cette nappe se fait par apports latéraux à partir des affleurements et partiellement par drainance à partir des eaux relativement minéralisées de la nappe plio-quaternaire sus-jacente.

### 2-1-3 Une nappe libre intermédiaire :

Cette nappe est contenue dans l'aquifère calcaire qui repose, au nord, directement sur les Schistes du Jurassique et du Crétacé et plus en aval, par l'intermédiaire des marno-calcaires, à tripoli, sur des marnes jaunes puis les marnes bleues du Miocène.

Son alimentation se fait par les précipitations directes et par l'infiltration d'une partie de l'écoulement de surface amont. La nappe est drainée par plusieurs exutoires situés à la base des calcaires au contact des marnes à tripoli, parmi les plus importants :

- Les anciennes sources de Bérédeah à l'extrémité occidentale de l'aquifère.
- les sources de l'Oued Misserghine localisées en amont de l'agglomération de même nom.
- La source de Ras-el-Aïn (X= 196.13, Y= 271.23) : Elle est située à l'extrémité orientale du Murdjadjo. Elle émerge au contact des calcaires, des marno-calcaires et des marnes jaunes au passage de l'accident qui sépare le horst du Djebel Murdjadjo du plateau d'Oran Elle est capté par une galerie drainante. Son débit actuel est estimé à 6000 m<sup>3</sup>/j.

L'observation de la fracturation du Djebel Murdjadjo permet d'expliquer l'importance relative du débit de la source de Ras-el-Aïn par rapport à son bassin versant, ce dernier fait partie d'un ensemble comprenant plusieurs autres sous-bassins juxtaposés et constituant le massif du Murdjadjo.

Ces sous-bassins renferment chacun une nappe aquifère formant une entité à part avec son impluvium et son exutoire.

L'exutoire du bassin est représenté par la source Ras-el-Aïn, le débit de cette source a toujours varié dans le temps. Toute une série d'accidents orientés globalement SW-NE, convergent vers la zone de la source (Hassani.M.I, 1987).

La source de Ras-el-Aïn, par sa situation au sein de l'agglomération urbaine, est Très vulnérable à la pollution organique et autres pollutions. Les calcaires à la perméabilité fissures et de chenaux n'assurent aucune filtration des éléments polluants. Cette source alimente les quartiers côtiers :

- Quartier le planteur.

- Une partie de la corniche Oranaise. - Saint Clotilde.

## 2-2 L'Aquifère du calabrien :

Cet aquifère s'étend en profondeur sous l'agglomération oranaise essentiellement à la partie nord-Est de notre secteur. Il s'étend jusqu'à la zone piémont du Djebel Khar (secteur de Belgaid).

Il est constitué par un complexe dunaire consolidé de porosité d'interstices reposant sur le substratum imperméable des marnes à tripolis du Miocène supérieur.

Il présente une épaisseur qui atteint les 45 m au niveau des falaises côtières et au ravin blanc. Il renferme une nappe libre alimentée au nord par son impluvium et drainée vers le nord par la ligne de sources qui émergent au contact des marnes à tripolis tout le long des falaises côtières.

La source de Cueva d'El Agua qui se déverse vers la mer est la plus importante de ces sources Vers le sud, l'écoulement souterrain se fait sous les formations alluvionnaires, en direction de la Daya Morsly. La nappe devient légèrement semi-captive sous ce recouvrement argileux : puits des Abattoirs, INESMO, etc...

## 2-3 L'Aquifère des alluvions plio-quadernaires :

L'Aquifère du remplissage plio-quadernaire s'étend au sud et au sud-ouest des affleurements Calabriens.

Dans les zones piémont du Sud-Est du Djebel Murdjadjo (zone d'El Hassi), il est Constitué d'alluvions rouges à galets calcaires et nodules de schistes, plus anciennes, caractérisées par une pente relativement légère, suffisamment perméables.

Dans les zones plus basses du plateau, il est constitué d'Alluvions récentes, essentiellement argilo limoneuses, provenant de dépôts fluviaux et éoliens. Elles sont caractérisées par un pendage relativement faible.

L'Aquifère Plio-quadernaire renferme une nappe d'eau peu profonde. Son alimentation se fait essentiellement par :

- Son impluvium.
- Les eaux provenant par drainance latérale des calcaires du Djebel Murdjadjo ou des formations du complexe dunaire Calabrien.
- L'infiltration du ruissellement de surface dévalant en période de crue du Djebel Murdjadjo.

### 3- Piézométrie du secteur d'étude :

Caractère piézométrique de la zone d'étude

Afin d'étudier le comportement des eaux souterraines, nous disposons d'un grand fichier piézométrique mensuel couvrant pratiquement tout le bassin de Ras-el-Aïn

Après une analyse critique du réseau en matière de données exploitables, il a été retenu trente-deux points de mesure qui nous ont servi aux différents traitements de données (Figure n°17).

Deux cartes piézométriques ont été élaborées afin de suivre la dynamique de l'Aquifère, représentée par la cartographie de l'écoulement souterrain de la nappe. Il s'agit des cartes piézométriques établies à partir des séries de mesures des périodes d'observation de mai 2007 et Avril 2018.

Ainsi, à partir d'un fichier mensuel des niveaux piézométriques, nous avons dressé deux cartes en courbes hydro-isohypses (Figure n°17 et n°18).

Ainsi, l'aspect d'écoulement est nettement apparent dans les deux cartes, représenté par deux axes principaux prédominants orientés du Sud-Ouest du Djebel Murdjadjo vers les exutoires du bassin.

Ceci est d'autant plus logique que l'alimentation de la nappe s'effectue par infiltration, longeant le réseau hydrographique guidée par la perméabilité de fissures des Calcaires du Murdjadjo, cette hypothèse est également valable si on se réfère à la structure lithologique du bassin marno-calcaire du Miocène à travers lequel émerge la source de Ras-el-Aïn.

Les axes secondaires activent au Nord comme au Sud dont le sens d'alimentation rejoint celui des axes principaux.

Cette structure piézométrique est compatible avec la plate-forme géologique, justifiant le réseau d'infiltration. Dans ce sens, il est à noter certaines remarques et observations utiles expliquant localement le comportement de la nappe :

En effet, au niveau de la source de Ras-el-Aïn et au du pont Albin, nous constatons l'existence de deux courbes fermées avec des lignes de courant convergentes. Il semblerait qu'il s'agisse de deux dépressions indiquant des zones favorables à l'implantation des captages.

A ce niveau une sur exploitation de la nappe nous paraît évidente.

En 2018, ces dépressions sont représentées par les courbes 190 m au Sud -Ouest du Murdjadjo et par la courbe 85 m dans la partie méridionale au niveau de la source de Ras-el-Aïn en des noyaux de drains, localisés près des exutoires.

En 2007 ces courbes dépressionnaires commençaient à peine à se mettre en place.

Il est à noter également que les courbes hydro Isohypes tendent vers les limites du bassin, ce qui pourrait provoquer un abaissement du niveau piézométrique.

Dans l'ensemble, il s'avère que la morphologie de la nappe reste inchangée au cours des deux campagnes piézométriques (2007 et 2018)

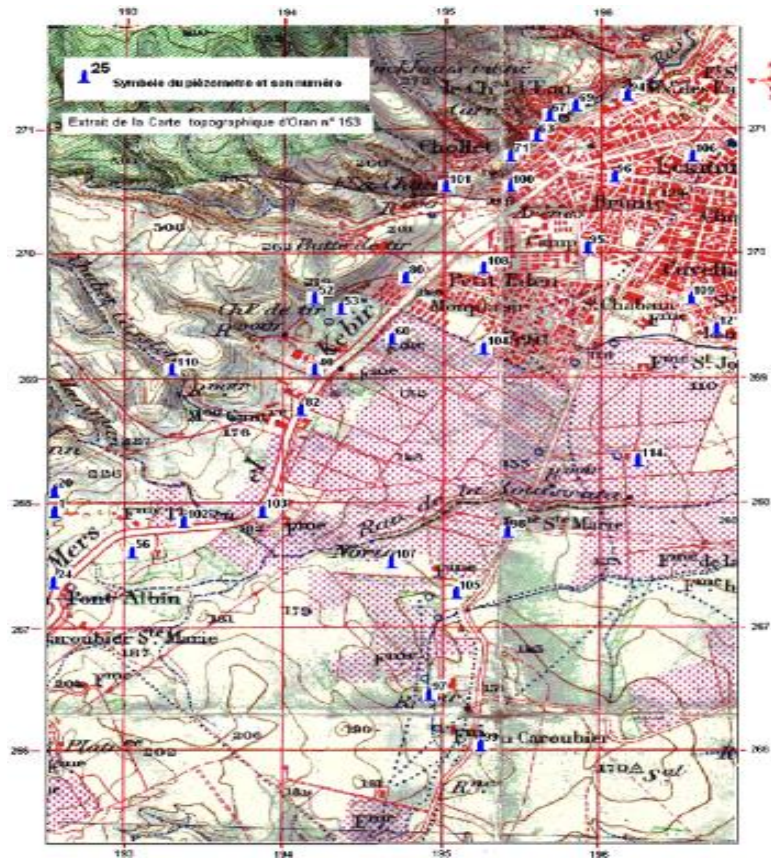


Figure n° :16 Carte de Localisation des Piézomètres du Bassin de Ras-el-Aïn (2007-2018)

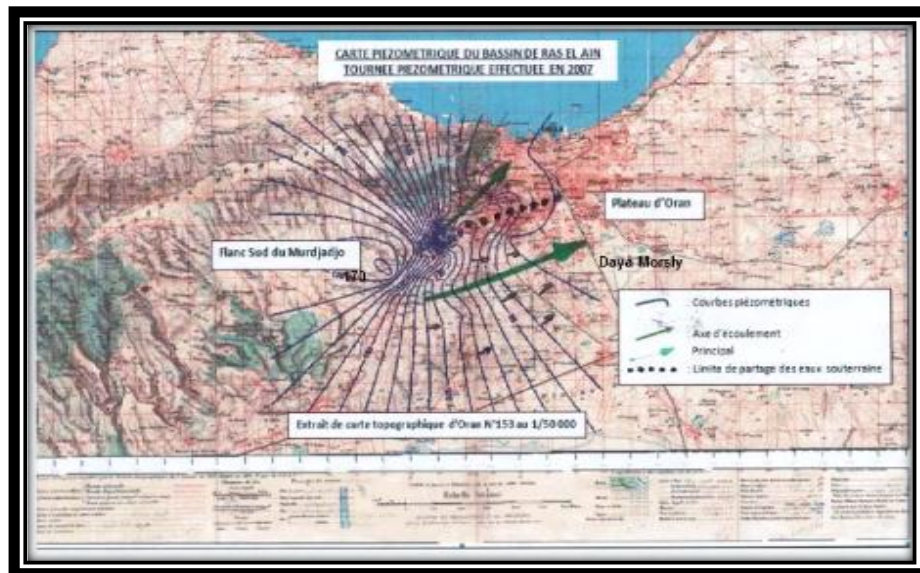


Figure n°17 : Carte piézométrique de Ras-el-Aïn 2018 Équidistance des courbes Carte : 5m



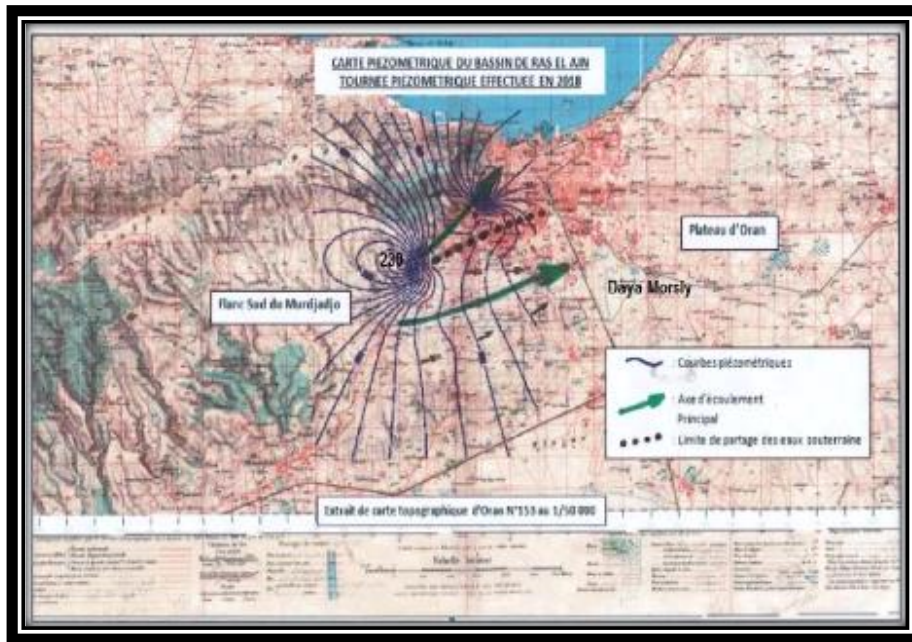


Figure n°18 : Carte piézométrique de Ras-el-Ain 2018 Équidistance des courbes : 10 m

**Chapitre III :**  
**Pollution des eaux souterraines par nitrates**



### **III- Pollution par les nitrates :**

#### 1-Généralités

Les eaux souterraines sont dans la plupart des cas de meilleure qualité que les eaux de surface car elles sont moins directement exposées aux pollutions cependant, si les pollutions sont en général plus discrètes, elles peuvent persister beaucoup plus longtemps et il est très difficile de remédier à la contamination.

Etant donné que les eaux souterraines sont souvent utilisées pour

L'alimentation en eau potable, leur protection vis-à-vis des pollutions est un enjeu majeur

#### 1-1 Définition de la pollution de l'eau :

Une eau est polluée lorsque, sous l'effet de l'activité humaine, elle devient impropre à satisfaire la demande d'utilisation ou qu'elle présente un danger pour l'environnement (G, Castany, 1982). Les causes naturelles de la dégradation de la qualité de l'eau souterraine sont donc exclues de ce concept.

#### 1-2 Principaux types de pollution :

Selon l'origine de pollution, on peut distinguer trois grands groupes de pollution :

Urbaine, agricole et industriel

##### - La pollution d'origine urbaine :

La pollution d'origine urbaine correspond à des apports hétérogènes liés, d'un part aux activités physiologiques et domestiques, et d'autre part aux activités économiques, industrielles et commerciales pratiquées dans le milieu urbain.

Pour celles liées aux activités physiologiques et domestiques, elle est essentiellement de types organique et bactériologique.

##### - *La pollution organique :*

Deux formes peuvent être distinguées

*\*La pollution organique biodégradable :*

Issue des eaux ménagères (toilettes, lavages divers, etc.). Ce type de pollution est facilement éliminé, soit par le pouvoir auto-épuratoire au niveau du sol, soit par l'épuration biologique dans les stations d'épuration,

*\*La pollution organique difficilement biodégradable :*

Elle correspond en grande partie aux détergents synthétiques contenus dans les produits de nettoyage domestique. L'inconvénient de leur présence dans l'eau réside dans l'apparition de mousse qui diminue l'oxygénation de l'eau et perturbe le fonctionnement des stations d'épuration.

*-La pollution bactériologique :*

Elle est due aux microorganismes pathogènes qui peuvent être présents dans l'eau.

*-Pollution d'origine agricole :*

En agriculture moderne, où les cultivateurs font parfois recours à une utilisation abusive d'engrais chimiques et de produits phytosanitaires (insecticides, fongicides, herbicides, etc.). L'utilisation irrationnelle de ces produits peut entraîner des risques graves et polluer les Eau souterraines.

*-Pollution d'origine industrielle :*

Elle peut être provoquée par les rejets industriels, thermiques. Sa nature est aussi variée que celle des industries. La pollution par les éléments toxiques est la plus dangereuse incluse dans ce type.

*1-3-Les nitrates :*

*1-3-1-Définition et généralités :*

Les nitrates sont, d'un point de vue chimique, des sels de l'acide nitrique. Ces sels sont caractérisés par la présence de l'ion nitrate  $\text{NO}_3$  composé d'un atome d'azote et de trois atomes d'oxygène. Ils existent naturellement dans les sols et les eaux.

Les ions nitrates se forment naturellement au cours du cycle de l'azote, notamment lorsque des matières organiques se décomposent, par l'action des bactéries du sol.

L'azote organique se transforme par oxydation en composés ammoniacaux puis en nitrates. Les nitrates sont également fabriqués de manière industrielle, à partir de l'azote de l'air et de gaz naturel, car ce sont des engrais. Très solubles dans l'eau, ils ne sont pas retenus par le sol.

- De façon générale, les sources de pollution par les nitrates dans les eaux souterraines Sont :

- Une culture dans des secteurs où la couche de sol est relativement mince, ou si le sol a une capacité tampon nutritive pauvre, ou s'il y a des changements d'utilisation de la terre
- Une sur-fertilisation des récoltes pour l'intensification de l'activité agricole,
- Une grande répartition des récoltes qui exige de hautes doses d'engrais et qui laissent un excédant dans les sols durant de longues périodes
- Des systèmes de drainage qui mènent au drainage des engrais :
- les cycles de rotation agricole intensifs impliquant un labourage fréquent et des étendus de sols nus pendant l'hiver ;
- Les engrais organiques provenant de la production animale.

### 1-3-2 Cycle de l'Azote :

Les principales phases du cycle de l'azote sont : la minéralisation (ammonification et nitrification) et l'immobilisation ou réorganisation.

Le premier phénomène concerne les transformations de l'azote organique en azote ammoniacal, qui est progressivement converti en nitrites et en nitrates ; alors que l'immobilisation transforme l'azote minéral en azote organique.

Ces deux phénomènes sont simultanés dans le sol sont fortement influencés par les conditions environnementales tel que la température, le pH et l'humidité du sol, d'où une évolution annuelle des concentrations en nitrates dans la nappe (Pinheiro. A, 1995).

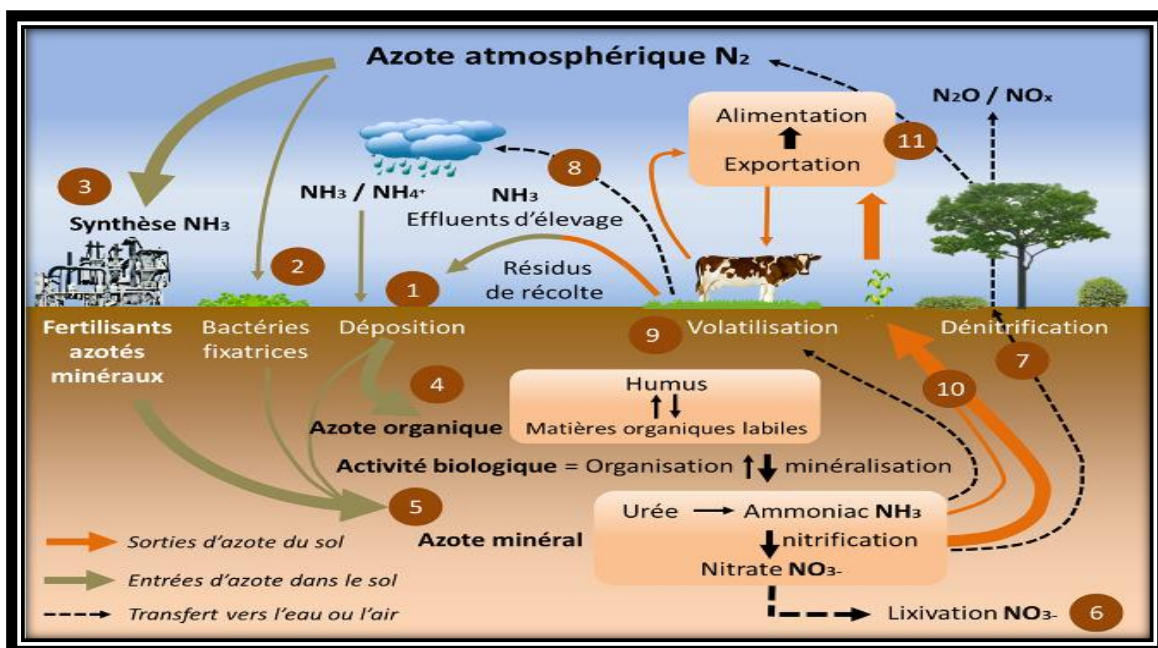


Figure 19 : les phases du cycle de l'azote

- La minéralisation :

Dans le processus de minéralisation, les composés carbonés sont dégradés puis utilisés comme source d'énergie, l'azote qui est en excès par rapport aux besoins des micro-organismes est libéré, les formes solubles de l'azote sont libérées par la rupture des cellules lors de la mort des organismes. Environ 1 à 2 % de la matière organique est minéralisée chaque année en éléments solubles par l'action des micro-organismes. Les principales étapes de cette minéralisation sont les suivantes :

➤ L'Ammonification :

L'ammonification est l'œuvre du micro-organisme qui transforme l'azote aminé des protéines en ammonium.

➤ La Nitrification :

C'est l'oxydation d'azote ammoniacal en nitrite puis nitrate à l'aide de bactéries autotrophes qui tirent leur énergie d'une réaction d'oxydation. Cette énergie leur permet de réduire le gaz carbonique pour utiliser le carbone (Gaid A., 1984. Anonyme 1989).

➤ La Nitritation :

C'est l'oxydation de l'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) en nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) par les bactéries autotrophes aérobies du type nitrosomonas.

➤ La Nitratation :

C'est l'oxydation du nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) en nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) forme très assimilable par les plantes, la réaction d'oxydation

se fait en milieu aérobie sous l'action des bactéries autotrophes du type nitrobacter qui utilisent leur substrat minéral comme source de carbone (Anonyme, 1989)

- L'immobilisation :

C'est une rétrogradation de l'azote minéral sous la forme organique au cours de la période froide. Ceci est fait par l'intermédiaire de certains groupes de microbes qui font la synthèse des protéines dans leurs cellules aux dépens des nitrates du sol.

L'immobilisation est donc la transformation de l'azote minéral en azote organique.

Elle se fait par trois voies :

➤ Dénitrification :

C'est le processus par lequel certaines bactéries réduisent l'azote nitrique à un état plus faible d'oxydation (Gaid.A, 1984 ; Anonyme, 1989).

➤ Absorption de l'Azote par les plantes :

Les composés azotés absorbés par les plantes sont les nitrates et l'ammonium, sous la forme soluble, l'équilibre entre ces deux formes varie selon les espèces et les conditions, mais généralement, les nitrates constituent la principale source d'azote pour les plantes. L'absorption d'azote par les plantes est fonction de l'espèce végétale, du climat, des conditions du sol et du stade de développement de la plante (Mariotti, 1988).

1-3-3- Nitrates et risques sanitaires :

Les préoccupations liées à la pollution par les nitrates portent sur la toxicité des eaux de consommation. Cependant, les nitrates ingérés par l'homme ne proviennent pas uniquement de l'eau boisson et cuisson. La dose absorbée au travers de l'alimentation (légumes : 100 mg à 2 g/kg, charcuterie : 50 à 200 mg/kg, salaisons, fruits, pain, produits laitiers) est estimée entre 100 et 300 mg/j. La dose journalière admissible est fixée par l'OMS à 3,65 mg/kg de poids par jour (Rodier, 1996).

Tableau n°4 : Influence des activités humaines et impact sur la santé de différents niveaux des nitrates dans l'eau.

Concentration des nitrates dans l'eau potable mg -N/L	< 0,2	0,21 – 3	3,1 – 10	> 10
Influence des activités humaines	Non	Possible mais impact mineur	Certaine mais avec impact modéré	Certaine avec impact majeur
Impact sur la santé	Non	Non	Non démontré	Possible

1-3-4-Normes de potabilité :

Tableau n°5 : Normes O.M.S de potabilité :

Paramètres	Unité	Niveau guide	Concentration maximale Admissibles
Ph		6,5	9
Conductivité	( $\mu$ S /cm)	200	1000
Résidu sec	mg / l	–	1500
Dureté totale	°F	–	50
Calcium	mg / l	–	100
Magnésium	mg / l	–	50
Sodium	mg / l	–	150
Potassium	mg / l	–	12
Sulfates	mg / l	–	250
Chlorures	mg / l	–	600
Nitrates	mg / l	–	50
Nitrites	mg / l	–	0,1
Ammonium	mg / l	–	0,5
Phosphate	mg / l	–	5
Oxydabilité (K, Mn, O4)	mg / l	–	5
Oxygène dissous	mg / l	–	5
Aluminium	mg / l	–	0,2
Température	°C	–	25

Tableau n° 6 : Résumé des normes de potabilité concernant les nitrates dans l'eau potable :

Norme de potabilité pour les nitrates :				
Algérienne	OMS	Européenne	Française	Américaine
JORA. 2011	OMS. 2008	2000/ CE	98/8CE	USEPA.1991
50 mg/l	50 mg/l	50 mg/l	50mg/l	45mg/l

## 2-Etude de pollution par les nitrates des eaux souterraines dans le secteur d'étude :

### -Zone de prélèvement

Nous avons procédé à la sélection de quelques points d'eau qui sont uniformément répartis à travers la région de Ras-el-Aïn sur des échantillons d'eau prélevés sur des puits et forages tels que inventoriés sur le secteur étudié (Figure n°20).

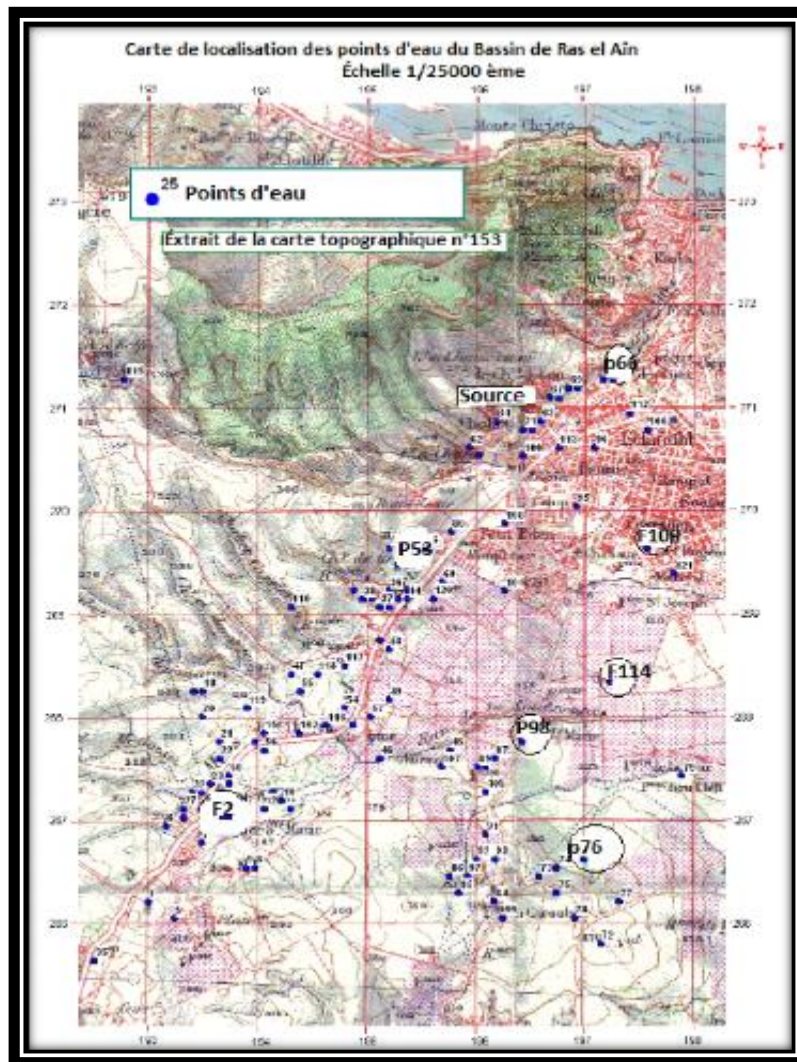


Figure n°20 : Carte de la localisation des points d'eau du bassin de Ras-el-Aïn : 1/25000

### - Méthodologie de l'étude hydrogéochimique :

L'échantillonnage des eaux a été étalé sur plusieurs périodes du 30 Octobre 2007 jusqu'au 18 Avril 2018. Il a porté sur les paramètres tels que la température (T), le potentiel d'Hydrogène (pH) et la conductivité électrique (CE) qui ont été mesurés in situ.

Le matériel utilisé pour la réalisation de la campagne hydro chimique est composé d'un pH-mètre pour la mesure du pH d'un conductimètre pour la mesure de CE et de T et d'un GPS pour la prise des coordonnées géographiques ou UTM des points d'échantillonnages.

Les bouteilles d'échantillonnage de 500 ml et de 1 litre en plastique ont également été utilisées pour l'échantillonnage sur le terrain. Chaque bouteille est rincée trois fois avec l'eau à prélever, puis remplie à refus et fermée hermétiquement avant d'être transporté à froid (4°C) dans une glacière jusqu'au laboratoire.

Les points d'échantillonnages ont été choisis en fonction du niveau d'utilisation du point d'eau par les populations et en fonction de la densité des points d'eau de la zone d'étude.

Il est important de prendre en considération que l'étendue des chroniques que nous avons à notre disposition varie énormément, certaines débutent en 2007 et concernent les puits ainsi que les forages du bassin de Ras-el-Aïn (Tableau n°7).

Alors que d'autres analyses sont établies uniquement depuis 2010 et s'étendent jusqu'en 2018 et ne concernent que la source de Ras-el-Aïn (Tableau n°8).

Ainsi, sur cette base, 8 points d'eau ont été sélectionnés. Il s'agit de cinq (05) puits, de deux (02) forage, d'une (01) source d'eau.

Les éléments à doser sont :  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ , pour les cations et  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  pour les anions.

Les analyses chimiques ont été réalisées dans les laboratoires de L'ANRH à Oran ainsi que la SEOR de la ville Oran



Tableau n°7 - Données Hydro-Chimiques du Bassin de Ras-el-Aïn 2007

Bassin de Ras el Ain (2007)	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na+	K <sup>+</sup>	Cl	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	Minéral	Rs	PH	5	Co <sub>3</sub>
F2	79	72	104	7	175	96	301	46	707	860	7,2	1140	0
P53	90	33	55	2	119	57	278	7	493	500	8,1	795	0
P66	225	82	483	24	912	378	337	118	2344	2660	8,2	3780	0
P76	399	180	863	7	1699	672	439	62	3856	4640	7,1	6220	0
P98	190	118	589	7	988	443	337	64	2406	2800	7,4	3880	0
F109	105	103	430	17	639	384	412	126	1848	2060	7,8	2980	0
F114	217	58	350	4	818	198	355	33	2368	2400	7,14	3120	0
Source	100	57	253	11	307	226	342	75	1397	110	7,17	1840	0

Tableau n°8 - Données Hydro -Chimiques de la source de Ras-el-Aïn 2007-2018

Source de Ras el Ain	PH	T°C	5°C	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl
2007	7,17	25	1840	75	226	100	57	307
2010	7,76	21,9	1624	44,61	93,5	84,96	48,01	283,6
2011	7,4	18,6	1606	34,08	159,6	81,76	47,52	283,6
2018	7,74	20	1434	35	166	114	65	394

- Balance ionique :

Avant de traiter et d'interpréter les analyses des eaux prélevées au niveau des différentes stations), il faut analyser la fiabilité des résultats de ces analyses.

La méthode utilisée est la Balance Ionique (BI). Il faut rappeler qu'en théorie, une eau naturelle est électriquement neutre. De ce fait, la somme (en équivalents chimiques) des cations devrait être égale à celle des anions (en équivalents chimiques).

En réalité, cette égalité est rarement obtenue. De façon générale, la différence est attribuée aux incertitudes, à la présence de certains ions non dosés ou à d'éventuelles erreurs d'analyse. Ainsi, une certaine marge de déséquilibre entre anions et cations est admise. Elle est exprimée sous forme d'un écart relatif par la formule :

$$BI = \frac{\sum(cations) - \sum(anions)}{\sum(cations) + \sum(anions)} \times 100$$

Le calcul de la balance ionique permet généralement de vérifier la fiabilité des résultats des analyses chimiques. Cependant, les incertitudes sur les résultats, variables selon les techniques d'analyse, peuvent expliquer les erreurs parfois

Élevées sur les balances ioniques, à cause de la présence éventuelle d'anions organiques non pris en compte dans les calculs. D'une manière générale, des analyses chimiques sont considérées :

- Excellentes lorsque  $BI < 5 \%$
- Acceptable lorsque  $5\% = BI < 10\%$
- Douteuse lorsque  $BI = 10\%$

Le contrôle de la qualité des analyses par la balance ionique a été systématiquement appliqué à toutes les analyses :

- *Stations du bassin de ras Ain pour la chronique 2007 :*

En ce qui concerne les données des points d'eau traitées dans le cadre de cette étude, on a effectué le traitement pour 10 points :

- ❖ 60% des analyses sont de bonne qualité ( $BI < 5 \%$ ),
- ❖ 20% ont une qualité acceptable ( $5\% = BI < 10\%$ ),
- ❖ 20% sont douteuses ( $BI=10$ ).

Toutes les analyses présentant des BI dont les valeurs = 10 % ont été systématiquement éliminées de cette étude, seules les analyses dont la  $BI < 10 \%$  ont été retenues.

La balance ionique présente un maximum de déséquilibre (BI >10) dans la station 113 située en amont du bassin où 20% des analyses ont une qualité douteuse. Les valeurs du pourcentage d'erreur pour chaque échantillon d'eau prélevé sont portées sur le tableau suivant :

Tableau n° 9 : les Pourcentages d'erreurs des échantillons d'eau prélevés dans le bassin de Ras-el-Aïn

Points d'eau	BI	cations	Anions	BI	Analyse
F2	7,25	14,57	12,6	7,25	Acceptable
P53	2,37	9,65	9,2	2,37	Excellente
P66	1,71	39,61	40,99	1,71	Excellente
P76	1,69	72,46	70,05	1,69	Excellente
P98	1,56	45	43,61	1,56	Excellente
P113	40	24,51	57,68	40	Douteuse
F114	3,99	30,94	33,51	3,99	Excellente
P104	12,14	31,23	39,87	12,14	Douteuse
P109	2,84	32,85	34,78	2,84	Acceptable
Source Ras el Ain	1,94	20,97	20,17	1,94	Excellente

-La Source de Ras El Ain pour la période 2010-2012

Nous n'avons pas des résultats probants pour la source de Ras-el-Aïn pour la période 2010-2018, Toutes les analyses présentaient des BI dont les valeurs = 10 %. Dans notre cas, les problèmes relatifs à la qualité des analyses sont dus aux défaillances d'analyses des éléments suivants :

$\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ , en effet compte tenu de la situation désastreuse actuelle de la source de Ras el Ain, L'ANRH comme les laboratoires SEOR privilégient les analyses les plus importantes (voir en Annexe les analyses chimiques de la (SEOR ET L'ANRH))

## 2-1 Les paramètres Physiques :

### - La température :

La température de l'eau est un paramètre de confort pour les usages .Elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liée à la température (conductivité notamment).De plus, en mettant en évidence des contrastes des contrastes de température de l'eau sur un milieu, il est possible d'obtenir des indications sur l'origine et l'écoulement de l'eau.

En rapport avec les normes de potabilité de l'eau fixée par l'OMS (2006) ; la qualité de l'eau est passable. Les résultats des analyses des échantillons d'eau montrent une température qui varie entre 18.7°C et 25°C. Nous estimons que cette variation de la température est en relation directe avec la température ambiante, au moment de la mesure.

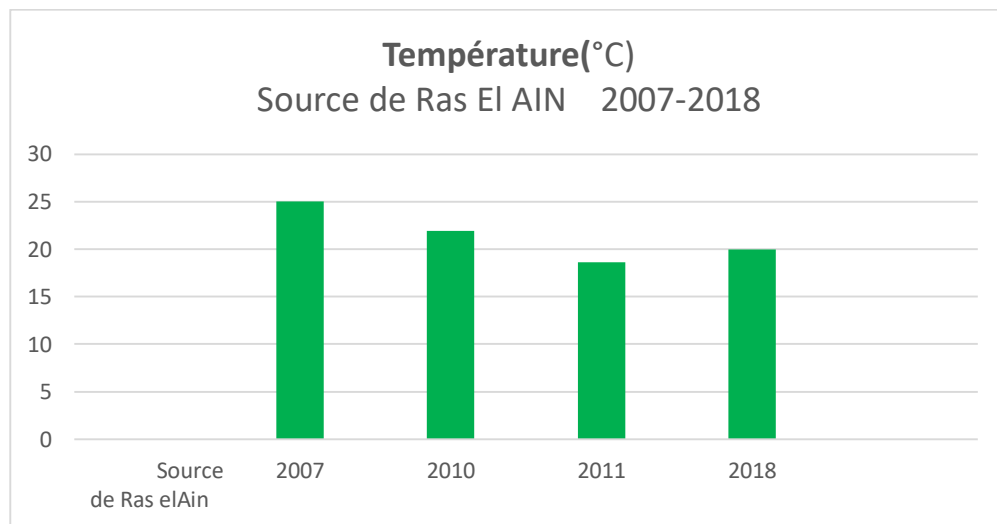


Figure n°21 : Variation des Températures de la source de Ras-el-Aïn 2007-2018

### - Le potentiel d'hydrogène :

Le pH (potentiel Hydrogène) mesure la concentration en ions  $H^+$  de l'eau .Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14.7 étant le pH de neutralité. Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibre physico-chimique, et dépend de facteurs multiples, Les valeurs du potentiel Hydrogène se situent entre 6 et 8,5 dans les eaux naturelles

Le pH indique le caractère acide ou basique de l'eau. Il est lié à la nature des terrains traversés. D'une façon générale, les eaux très calcaires ont un pH élevé et celles provenant de terrains

pauvres en calcaires ou siliceux ont un pH voisine de 7 et quelquefois un peu inférieur (environ 6).

La station d'étude présente des eaux basiques en 2010 et 2018, leur pH étant compris entre 7,74 et 7,76 pouvant être expliquée par la nature géologique (calcaires du Tripolis) du bassin versant et leur teneur en bicarbonates.

Quant aux valeurs peu élevées du pH enregistrées 2007, elles peuvent être expliquées par une contamination de la source par des produits chimiques.

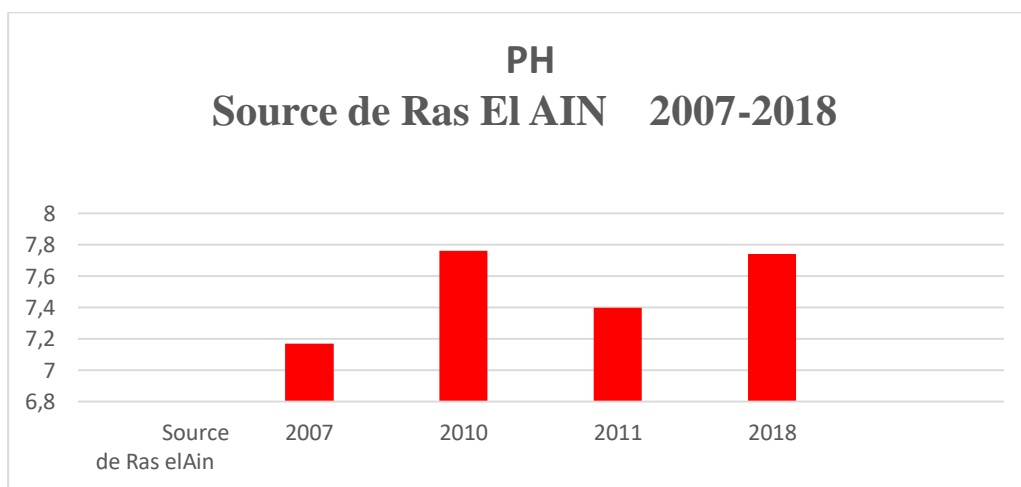


Figure n°22 : Variation du pH des échantillons d'eau de la source de Ras-el-Ain 2007-2018

- La conductivité électrique :

La conductivité représente l'un des moyens de valider les analyses physicochimiques de l'eau, en effet des contrastes de conductivité mesurés sur un milieu permettent de mettre en évidence des pollutions, des zones de mélange ou d'infiltration... La conductivité est également fonction de la température de l'eau, elle est plus importante lorsque la température augmente. Elle sert aussi d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau.

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes.

La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau.

A l'Inverse de la résistivité, elle permet d'évaluer rapidement mais approximativement la minéralisation globale de l'eau et d'en suivre l'évolution.

La variation de la conductivité électrique fluctue entre 1434  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en 2018 et 1840  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en 2007

Nous remarquons une légère évolution décroissante 2007 à 2018 qui peut être expliquée par les quantités importantes d'eaux usées qui se sont déversées dans le cours d'eau sans aucun traitement à cette en 2007.

A notre avis c'est plutôt l'apport d'eau par les précipitations qui est à l'origine d'une dilution importante des eaux souterraines et superficielles, contribuant ainsi à une diminution de la concentration en sels dissous. Ceci a pour conséquence une décroissance de la conductivité.

Tableau n° 10 : quelque indication sur la relation existant entre la minéralisation et la conductivité :

Conductivité ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Minéralisation
Conductivité < 100	Minéralisation très faible
100 < Conductivité < 200	Minéralisation faible
200 < Conductivité < 300	Minéralisation moyenne
300 < Conductivité < 600	Minéralisation moyenne accentuée
600 < Conductivité < 1000	Minéralisation importante
Conductivité > 1000	Minéralisation élevée

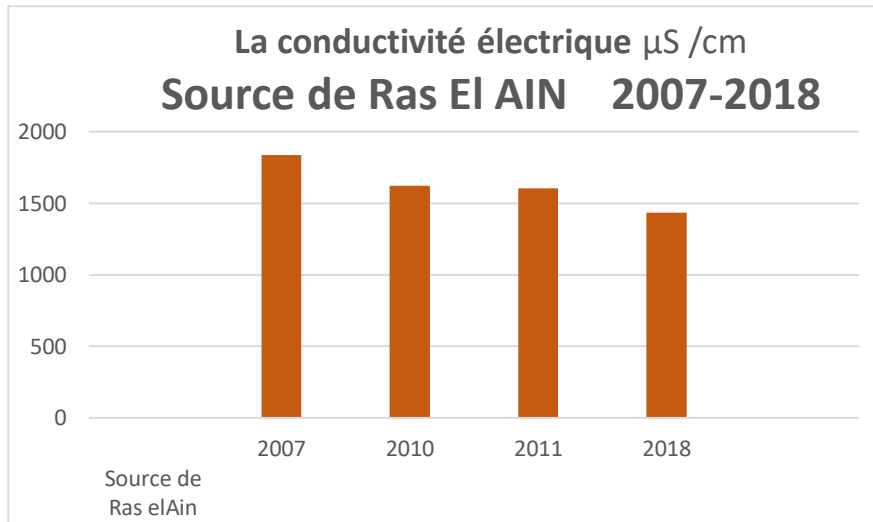


Figure n° 23 : Évolution de la Conductivité électrique de la source de Ras-el-Aïn 2007-2018

## 2-2- Les Paramètres chimiques :

### -Les Chlorures

La source principale de chlorure dans les eaux est due à la dissolution de roches sédimentaires qui se sont déposées en milieu marin et qui n'ont pas été complètement lessivées, et à la présence d'évaporites. L'invasion d'eau de mer, ainsi que les phénomènes d'évaporation dans les bassins endoréiques sont également des sources de chlorures possibles

Le rôle des roches cristallines dans la minéralisation en chlorures est faible. L'apport par les précipitations est d'autant plus important que la distance à la mer est faible. Les apports anthropiques sont mineurs dans les zones d'intervention humanitaire.

La teneur en ion chlore des eaux naturelles est essentiellement associée à celle du sodium. Selon les normes marocaines, la concentration en cet élément ne devrait pas dépasser les 300 mg/l

L'ion chlorure possède des caractéristiques différentes de celles des autres éléments, il n'est pas absorbé par les formations géologiques, ne se combine pas facilement avec les éléments chimiques et reste très mobile.

Il constitue un bon indicateur de la pollution. Les teneurs enregistrées pendant toutes les périodes d'observation montrent des valeurs qui ne dépassent pas la norme de potabilité. La

valeur la plus importante a été enregistrée en 2018 avec une valeur de 394 mg/l. Les chlorures peuvent avoir plusieurs origines.

- ❖ Les argiles sableuses gypsifères qui couvrent la partie amont du bassin.
- ❖ Les dépôts évaporitiques.
- ❖ Le déversement des eaux usées.
- ❖ Les marnes formant le substratum.

Le schéma qui suit illustre comment varie les chlorures au niveau de la source de Ras-el-Aïn, le principal exutoire de la nappe à l'échelle du Bassin Hydrogéologique. On peut remarquer une concentration excessive des chlorures en 2018 qui serait probablement liée aux eaux des fortes averses ayant lessivés les couches superficielles riches en chlorures

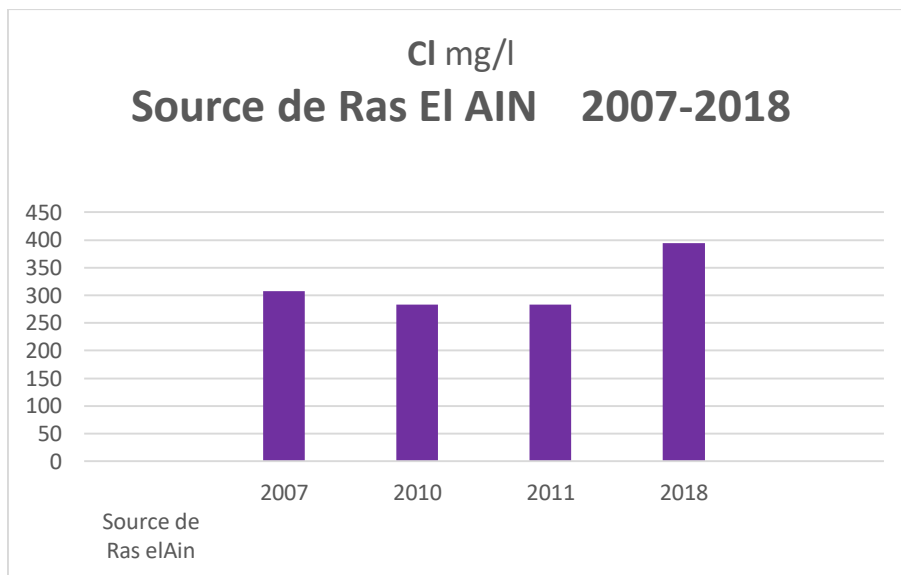


Figure n°24 : Évolution de la Concentration en chlorures de la source de Ras-el-Aïn 2007-2018

- Le Titre Hydrotimétrique TH :

Le TH est une autre manière d'estimer la minéralisation d'une eau notamment en carbonates de calcium et de magnésium et en anhydride carbonique libre. Cette mesure est la plus usitée est couramment appelée dureté, Le principe de l'hydrotimétrie consiste à étudier l'action de l'eau sur le savon. Elle est exprimée en degré français (1 degré français correspond à 4 mg/l de calcium).



- ❖ 0 à 7° : eau très douce
- ❖ 7 à 14° : douce
- ❖ 14 à 20° : moyennement dure
- ❖ 20 à 30° : assez dure
- ❖ 30 à 50° : dure
- ❖ plus de 50° : très dure (limite de potabilité).

Les eaux provenant de terrains calcaires et surtout de terrains gypseux peuvent avoir des duretés très élevées susceptibles d'atteindre 1 g/L de CaCO<sub>3</sub> cependant les eaux en provenance de terrains cristallins, métamorphiques ou schisteux auront des duretés très faibles.

La nappe Karstique du Murdjadjo draine des terrains carbonatés. Les eaux sont dures pour la source de Ras-el-Aïn. On enregistre une teneur 55°F en 2018 qui renseigne d'une eau très dure qui dépasse la limite de la potabilité.

Au sommet du massif du Murdjadjo, on observe des amas et lentilles de gypse inter stratifiés dans les couches calcaires. Celles-ci, au contact des eaux des précipitations infiltrées contribuent à une augmentation de la dureté des eaux souterraines.

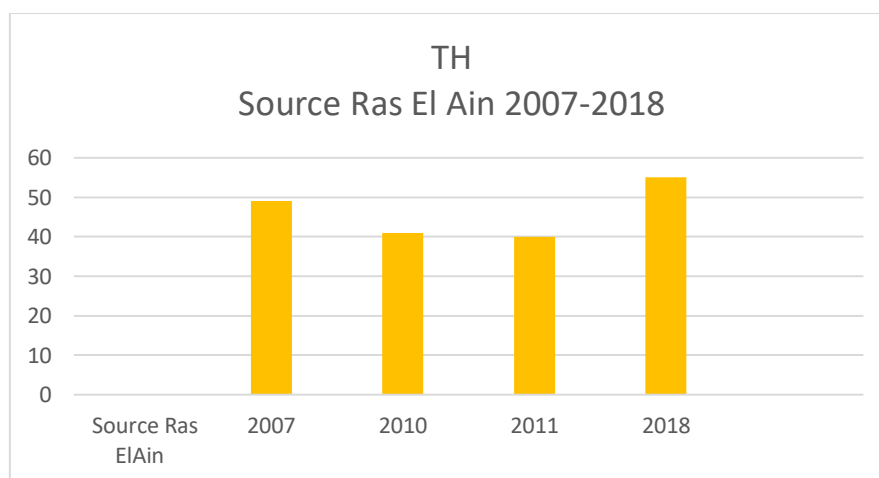


Figure n° 25 : Évolution du titre hydrotimétrique de la station de Ras-el-Aïn 2007-2018

- Le Titre alcalimétrique complet (TAC) :

C'est une mesure globale évaluant en bloc les carbonates et bicarbonates alcalins et alcalino-terreux et éventuellement les borates, silicates et phosphates alcalins. D'une manière plus restrictive, il correspond à la somme des carbonates, des hydrogénocarbonates et des silicates. Cette mesure de l'alcalinité confrontée aux carbonates libres permet d'évaluer l'agressivité d'une eau.

Le TAC enregistré dans la source de Ras-el-Aïn est important mais irrégulier. Il varie entre 20°F et 28°F, cette forte alcalinité est en relation avec l'augmentation de la minéralisation par suite des apports des eaux riches en cations et en anions ; mais aussi, accessoirement, par la pluviométrie de plus en plus élevée durant la période d'observation entre 2007 et 2018.

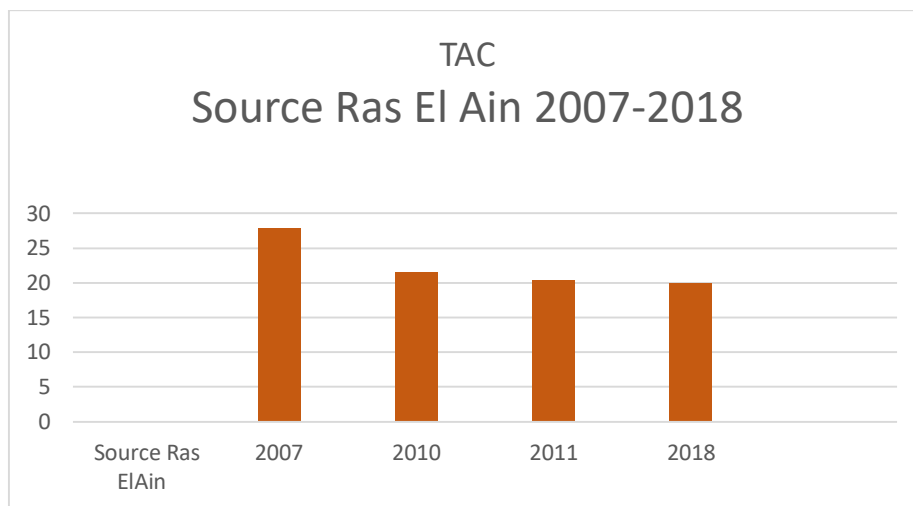


Figure n°26 : Évolution du titre alcalimétrique du bassin de Ras-el-Aïn 2007-2018

### 2-3 Principaux éléments présents dans l'eau :

La minéralisation de la plupart des eaux est dominée par 8 ions, appelés couramment les majeurs. On distingue :

\*Les cations : Calcium, Magnésium, Sodium et Potassium.

\*Les anions : Chlorure, Sulfate, Nitrate, et bicarbonate.

Les indications présentées dans ce paragraphe sont utiles pour interpréter les résultats d'analyses courantes.

#### -Le Calcium et Le magnésium :

\*Le calcium : est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Composant majeur de la dureté de l'eau le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables. Sa teneur varie essentiellement suivant la nature de terrains traversés. Il existe surtout à l'état l'hydrogénocarbonate et en quantité moindre, sous forme de sulfates, chlorures

\*Manganèse : Le manganèse est très répandu dans la nature. Les concentrations dans l'écorce terrestre peuvent varier de 500 à 600 mg/kg. Les minerais les plus connus sont la pyrolusite, la rhodocrosite, la brunîtes. Certaines eaux souterraines ont des teneurs de l'ordre 1mg/l en particulier lorsqu'il y a support en milieu réducteur, ou sous l'action de certaines bactéries

Le calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et le magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) sont présents dans les roches cristallines et les roches sédimentaires. Ils sont très solubles et sont donc largement représentés Dans la plupart des eaux. L'altération des roches cristallines libère du calcium et du magnésium, mais en quantité moindre que certaines roches sédimentaires carbonatées, dont les principales sont la calcite ( $\text{CaCO}_3$ ), la dolomie ( $\text{CaMgCO}_3$ ), la magnésite ( $\text{MgCO}_3$ ), le gypse ( $\text{CaSO}_4$ ).

Tableau n°11 : Echelle de concentration des ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$

Contexte	Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	Ca <sup>2+</sup> (mg/l)
Eaux souterraines Terrains calcaires	70<C<120	3<C<25
Eaux souterraines Terrains cristallins	2<C<10	<2C<6
Eau de mer	1400	1200

Les valeurs maximum enregistrées des teneurs en  $\text{Ca}^{2+}$  de 114 mg/l sont observées en 2018.

Les valeurs les plus faibles avec un minimum de 84.96 mg/l sont observées en 2010.

Nous constatons qu'il n'y a pas une grande variation des teneurs, ceci pourrait justifier une même dissolution de formations carbonatées des roches calcaires du Tertiaire du Murdjadjo.

Les ions ( $\text{Mg}^{2+}$ ) proviennent, comme les ions calcium, de la dissolution des formations carbonatées riches en magnésium (Dolomite).

La moyenne enregistrée pendant la campagne de 2018 (65mg/l) est supérieure à celle enregistrée durant 2011 (46.06 mg/l), ceci montre l'importance de la dilution par rapport à la

Concentration pour l'acquisition de cet élément. Les variations de concentration sont très faibles.

Dans l'ensemble, on peut constater, sensiblement une légère stabilité des teneurs en ions Ca et Mg. Cependant, cette concentration peut légèrement augmenter suite à de fortes précipitations.

L'évolution du magnésium et du calcium est représentée par la (Figure n°27) ci-dessous.

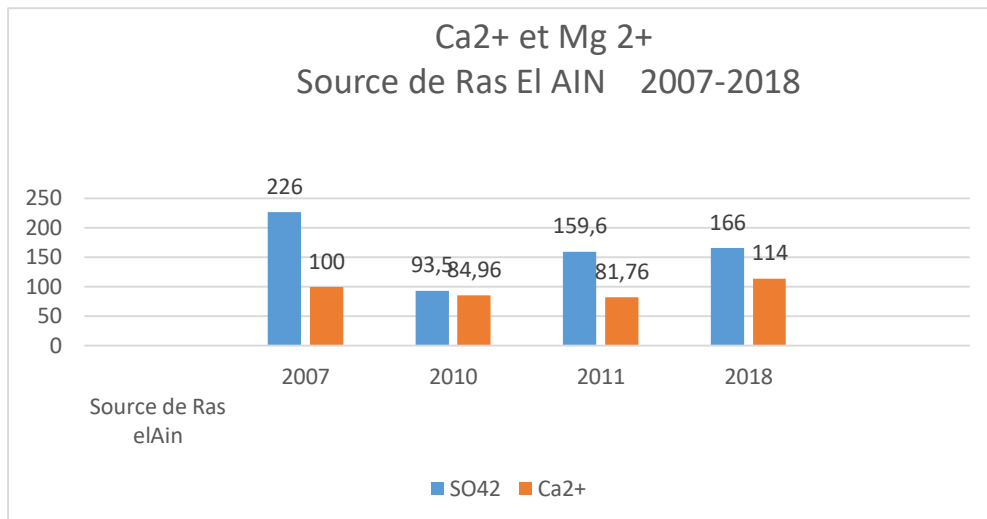


Figure n°27 : Évolution de  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  du bassin de Ras-el-Aïn 2007-2018

- Les Sulfates :

Mise en solution de roches sédimentaires évaporitiques, notamment le gypse ( $\text{CaSO}_4$ ), mais également de la pyrite ( $\text{Fe S}$ ) et plus rarement de roches magmatiques (galène, blende, pyrite).

Les origines anthropiques sont la combustion de charbon et de pétrole qui entraîne une production importante de sulfures, et l'utilisation d'engrais chimique et lessive.

D'une façon générale, la présence de sulfate dans les eaux naturelles non polluées invoque la présence de gypse ou de pyrite. Le soufre est un élément non métallique qui existe à l'état naturel dans les sols et les roches sous forme organique (soufre protéique) et à l'état minéral (sulfure, sulfates et soufre élémentaire). Le soufre se combine à l'oxygène pour donner l'ion sulfate, présent dans certains minéraux : gypse, baryte

Les origines des sulfates dans les eaux sont variées. Les origines naturelles sont l'eau de pluie (Evaporation d'eau de mer)  $1 < C < 20 \text{ mg/l}$  et la mise en solution de roches sédimentaires évaporitiques, notamment le gypse ( $\text{CaSO}_4$ ).

Au contact du gypse, fréquent dans les terrains tertiaires, l'eau se charge en sulfate de calcium et devient dure (séléniteuse) et impropre à la consommation.

D'une façon générale, la présence de sulfate dans des eaux naturelles "non polluées" invoque la présence de gypse ou de pyrite. Pour l'eau destinée à la consommation humaine, en raison de

problèmes particuliers susceptibles d'introduire une gêne pour le consommateur (goût, corrosion), l'OMS recommande comme valeur limite 250 mg/L.

La fluctuation des concentrations en sulfates dans le bassin de Ras-el-Aïn est très hétérogène, ces dernières, ne dépassent pas pour autant les concentrations maximales recommandées (150 mg/L)

Les teneurs élevées en sulfates peuvent être rattachées à l'activité Agricole très développée sur les terrains superficiels, mais n'a pas cessé de se limiter avec l'accroissement de l'urbanisme au sommet du massif et même sur les versants du bassin de Ras-el-Aïn.

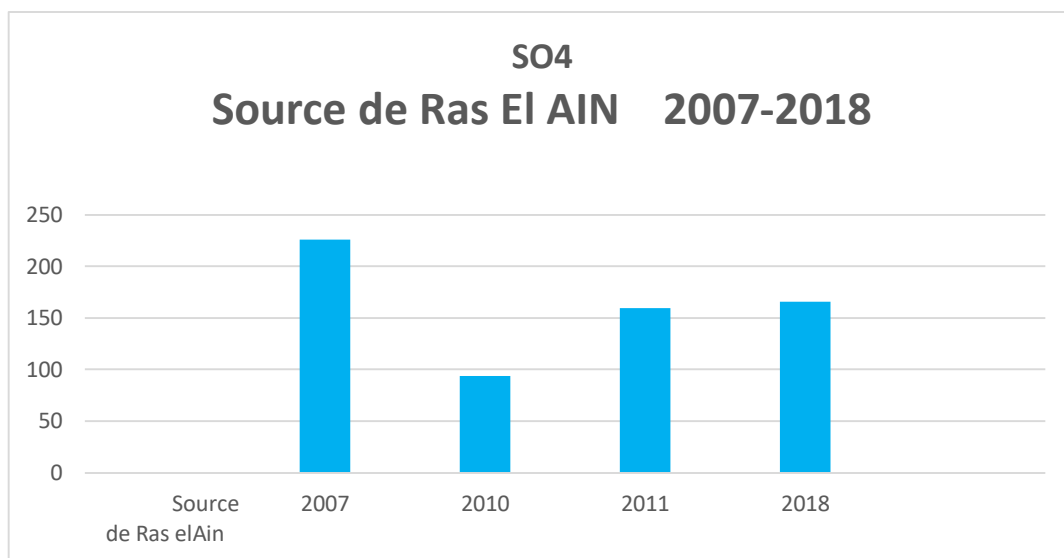


Figure n°28 : Évolution des Sulfates dans le bassin de Ras-el-Aïn 2007-2018

#### 2-4 Les Substances indésirable :

##### -Les Nitrates :

Les nitrates sont naturellement présents dans les eaux souterraines à de faibles concentrations. Toutefois des teneurs importantes témoignent de la contamination

Des eaux souterraines par des apports azotés provenant des activités humaines (excédents d'engrais agricoles de sols cultivés, ruissellement d'eaux usées, etc.). Les teneurs moyennes en nitrates varient entre 35 et 75 mg/l sur la période de 2007 à 2018.

Le seuil limite de potabilité de 50 mg/l a été dépassé en 2007 en atteignant 75 mg/l. En ce qui concerne les autres échantillons, malgré des améliorations constatées, notamment en 2018 avec une concentration en nitrates de 35 mg/l.

La présence des Nitrates est liée à des engrais utilisés par les agricultures et aux rejets urbains, qui se déversent dans le bassin sans subir de traitement préalable, qui sont chargés de matières organiques et produisent des nitrates.

Le schéma qui suit, représente la variation des teneurs en nitrates dans le bassin de Ras-el-Aïn.

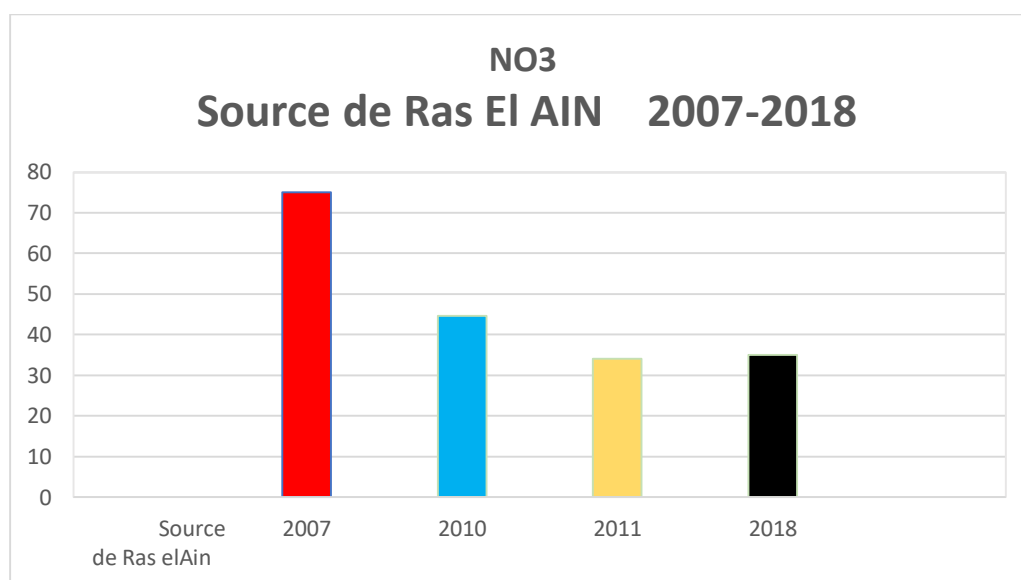


Figure n°29 : Évolution des Nitrates dans le bassin de Ras-el-Aïn 2007-2018

D'après le graphe Nous observons une chute des teneurs en nitrate dans le bassin de Ras-el-Aïn entre les années 2007-2010 et 2010-2011 de 40.5% 23.6% respectivement, ainsi qu'entre les années 2011 et 2018 la quantité de nitrate reste constante.

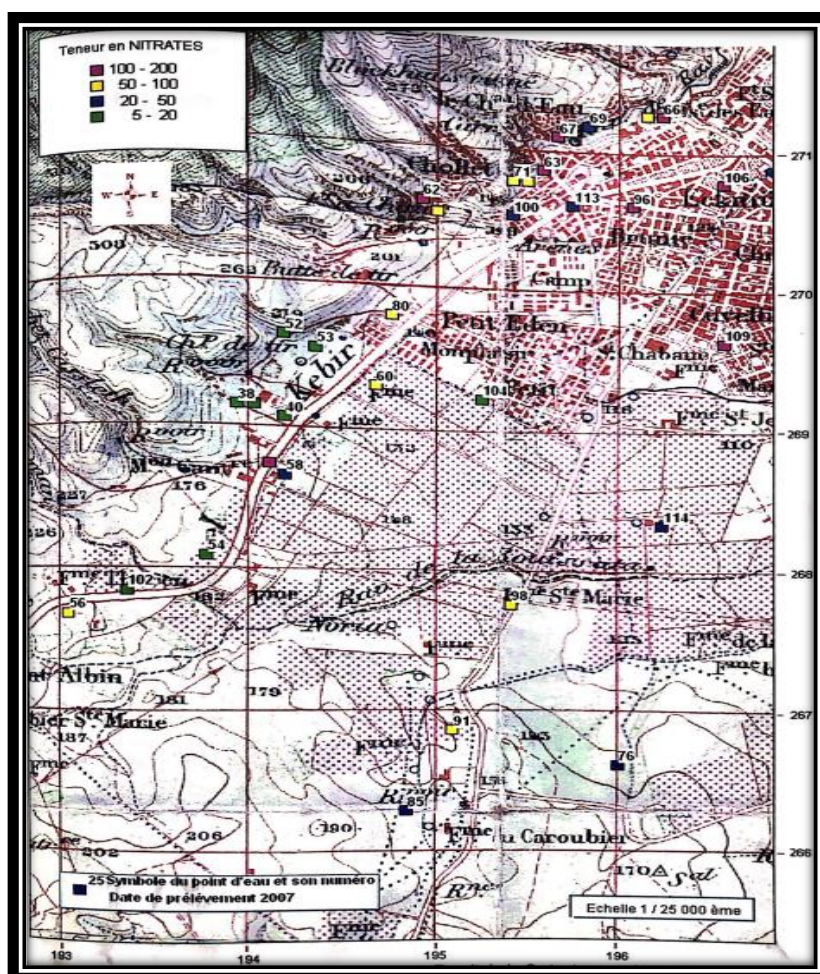


Figure n°30 : Carte teneur en nitrates (mg/l) bassin de Ras-el-Aïn (Ben Abdi S, 2008)

## 2-5 Les Diagrammes :

### - Le Diagramme de PIPER :

Il est particulièrement adapté à l'étude de l'évolution des faciès des eaux lorsque la minéralisation augmente, ou bien pour comparer des groupes d'échantillons entre eux et indiquer les types de cations et anions dominants. L'interprétation des résultats d'analyses hydro chimiques pour les deux périodes d'observation a permis d'avoir une idée sur les faciès chimiques des eaux du bassin de Ras-el-Ain en 2007 et de la source de Ras-el-Ain sur la période de 2007-2018.

Les deux schémas ci-dessous (Figure n°31 et n°32) montrent la représentation des échantillons d'eau souterraine sur le diagramme de PIPER.







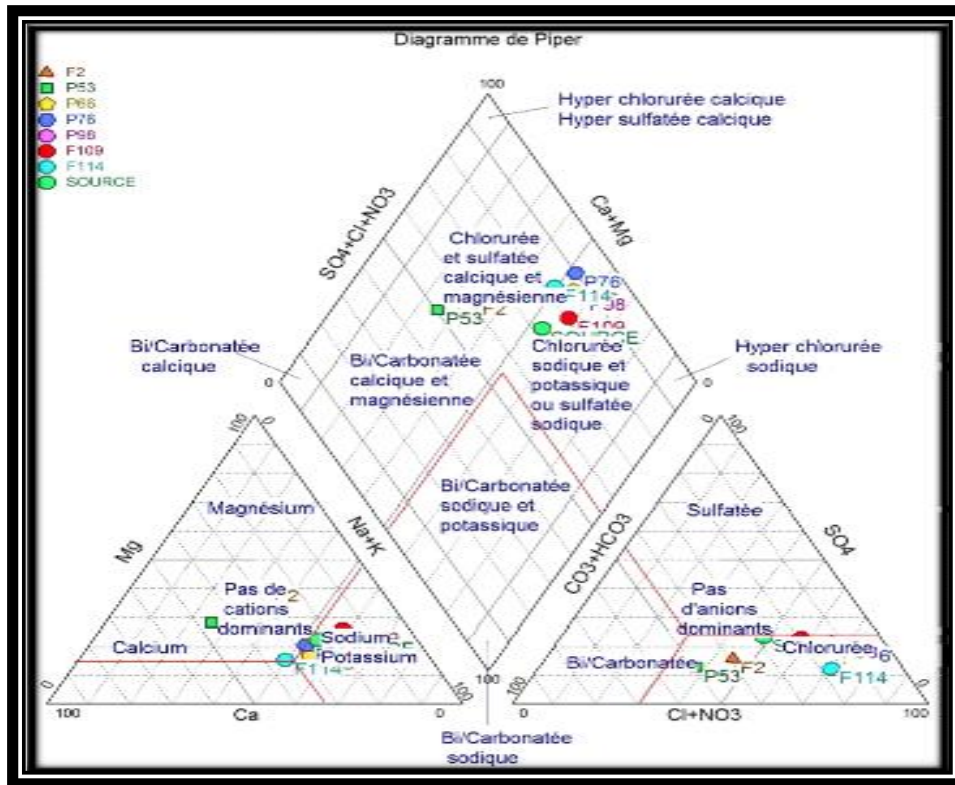


Figure n°32-Diagramme de PIPER Bassin de Ras-el-Aïn 2007

D'après le diagramme de Piper (Figure n°31), que les eaux appartiennent principalement aux deux familles des eaux :

- ❖ Chlorurée sodique (75%).
- ❖ Chlorurée et magnésienne (25%)

Ce diagramme de Piper met en évidence les faciès des trois grandes catégories d'eau de l'étude

- Les eaux de puits
- Les eaux de Forages
- Les eaux de la source Ras-el-Aïn

On observe que les eaux de forages sont principalement de faciès chlorurés magnésiens. Les eaux de puits présentent globalement un faciès de type chloruré sodique, les eaux de la source de Ras-el-Aïn quant à elles sont chlorurés sodiques.

- Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF :

Une autre manière de déterminer les faciès chimiques de chaque échantillon est le diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF

Les résultats des analyses chimiques des eaux souterraines ont été reportés sur le diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF (Figure n°33 et n°34)

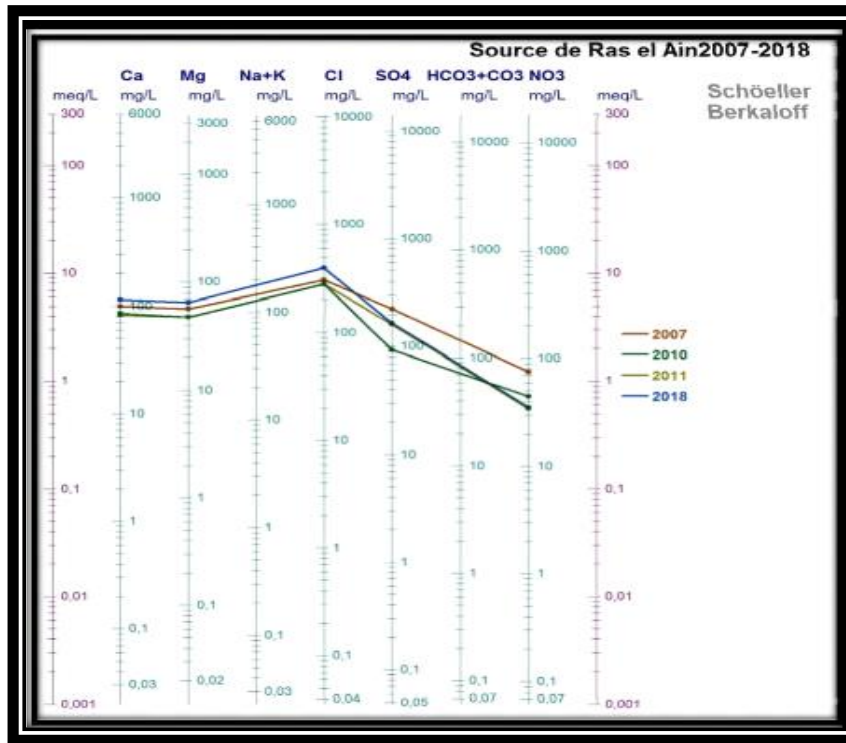


Figure n°33 : HOELLER-BERKALOFF Source de Ras-el-Aïn 2007-2018

Le faciès Chloruré-calcique caractérise la plupart des Années de prélèvement, il est à l'origine de la situation de la source à l'aval du Mont de Murdjadjo qui influe sur la chimie des eaux de la source de Ras-el-Aïn et du bassin en général en les chargeant d'eaux riches en calcaires. A l'échelle du massif, l'allure identique des droites d'ajustement des points représentatifs des ions dissous des eaux de la source, dénote d'une homogénéité chimique durant toute la période d'observations.

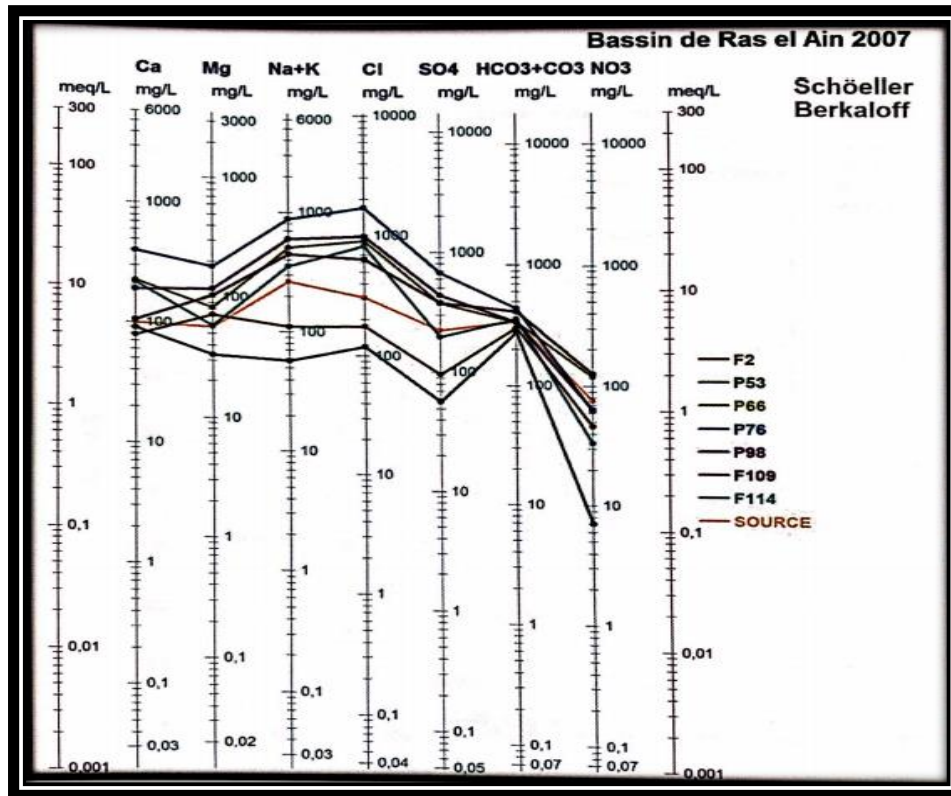


Figure n°34 : Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF Bassin de Ras-el-Aïn 2007

Les données chimiques des eaux de surface, représentées sur le diagramme de SCHÖLLER BERKALOFF, (Figure n°34) indiquent un faciès Bicarbonaté-calcique dans la majorité des points, mais montre également un faciès Sulfaté-calcique au niveau du point P76 situé au sud du bassin de Ras-el-Aïn.

Ceci est en parfaite concordance avec le Faciès lithologique des calcaires, parfois inter stratifiés de Gypse, formant l'ossature du massif au niveau du bassin de Ras-el - Aïn.

- Diagramme de WILCOX : Source de Ras-el-Aïn

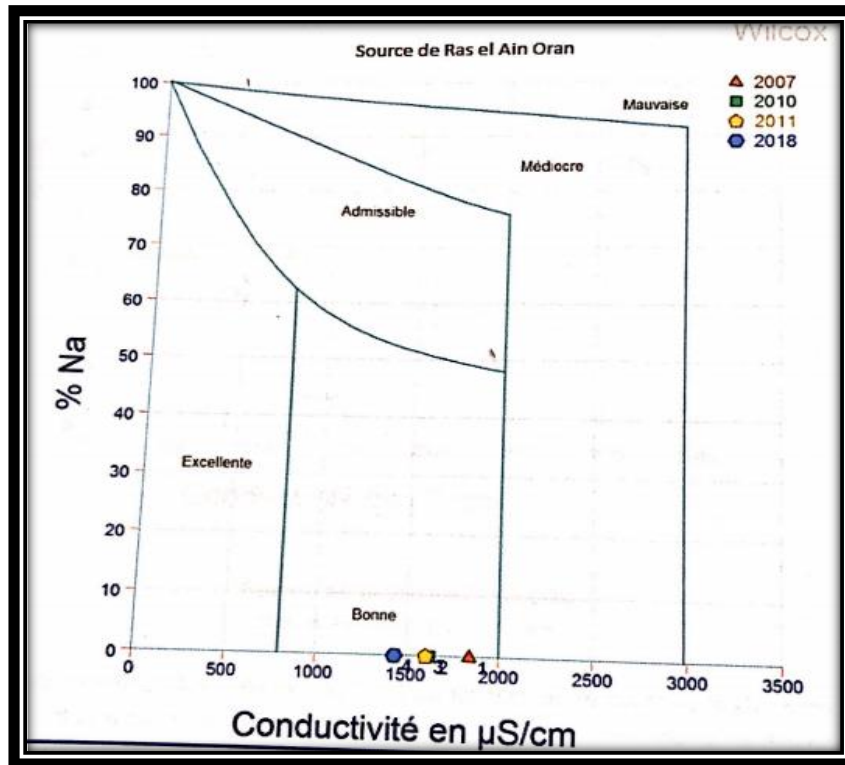


Figure n°35 : Diagramme de WILCOX Source de Ras-el-Aïn 2007-2018

Faute de données de sodium de la source de Ras el Aïn, à cette période, nous n'avons pas pu faire une interprétation crédible du diagramme (Figure n°34)

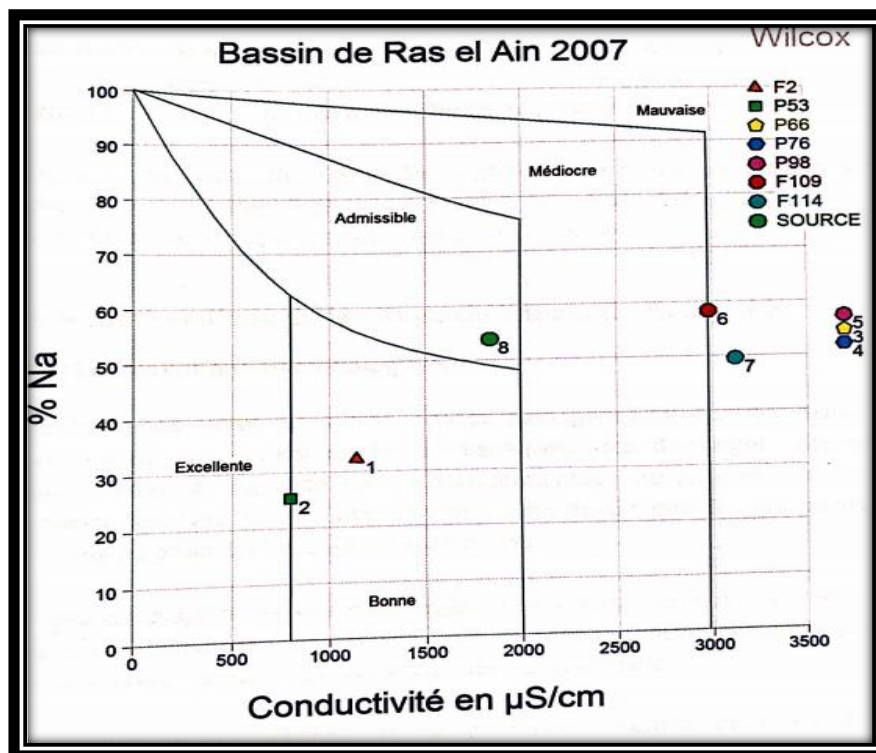


Figure n°36 : Diagramme de WILCOX Bassin de Ras-el-Aïn 2007-2018

Le diagramme de Wilcox (Figure n°35) tracé en fonction du % Na et de la CE, montre que 25% des échantillons des eaux souterraines tombent dans le domaine des eaux excellentes à bonnes pour l'irrigation, 12.5% des eaux sont bonnes, 62% tombent dans le domaine mauvais.

D'après WILCOX les eaux à partir de leur proportion en sodium en fonction de la conductivité électrique, on constate que les eaux du bassin de Ras el Aïn ont un taux en sodium qui varie entre 25% et 60%.

Par conséquent, on remarque que ces eaux ainsi que le sol du Bassin versant de Ras-el-Aïn présente un grand risque à la salinisation, mis à part le forage F2 et le puits P53 situées dans la partie Sud-Ouest du flanc sud du Murdjadjo de part et d'autre de la route Nationale n°2 , reliant le pont Albin et Bou Yakour.

Ces eaux du bassin de Ras el Aïn sont bonnes par rapport à d'autres points du Bassin. Leur pH étant légèrement basique, ils ont une faible capacité de dissoudre les alcalins (calcium, potassium, magnésium, sodium).

### 3- Les périmètres de protection :

Les périmètres de protection d'un captage sont définis après une étude hydrogéologique ; ils sont prescrits par une déclaration d'utilité publique. Leur but est de protéger les abords immédiats de l'ouvrage et son voisinage et d'interdire ou réglementer les activités qui pourraient dégrader la qualité des eaux captées. Pour un captage ou un champ captant, trois zones concentriques sont définies dans lesquelles des contraintes plus ou moins fortes sont instituées pour éviter la dégradation de la ressource.

Les limites méridionales et orientales ont été déterminées grâce à l'apport de la carte piézométrique (S, Benabidi 2007, Figure n°48) qui a permis de mettre en évidence des lignes de partages des eaux souterraines faisant office de limites du bassin hydrogéologique.

Ceci n'a été possible que par la densité des points mesurés et entrant dans le réseau piézométrique que nous avons conçu.

Les limites Nord et Nord-Ouest correspondent à la ligne de crête où affleure le substratum constitué des schistes imperméables.

### 3-1 Le périmètre de protection immédiate :

Ce premier périmètre contient le captage lui-même. Sa surface est limitée à quelques centaines de mètres carrés (environ 30 mètres sur 30). La collectivité locale est propriétaire du terrain qu'elle doit clôturer, sauf en cas d'impossibilité. Toutes les activités y sont interdites, sauf celles consacrées à l'exploitation et l'entretien des équipements. Son rôle est d'empêcher la dégradation des ouvrages ou l'introduction directe de substances polluantes dans l'eau.

### 3-2 Le périmètre de protection rapproché :

Le périmètre de protection rapproché doit protéger le captage de la migration de substances polluantes. Sa surface dépend des caractéristiques locales ; elle varie entre 1 et 10 hectares. Toutes les activités, installations et dépôts susceptibles de nuire directement ou indirectement à la qualité des eaux sont interdits ou réglementés.

De prime abord, il faut garder à l'esprit que la raideur des versants, surtout la partie occidentale de Ras-el-Ain, intensifie avant tout l'activité des divers processus de transport (c'est aussi les lieux où les eaux courantes exercent au maximum leurs activités de transport, d'ablation latérale et d'accumulation), en raison de l'amoindrissement des forces d'inertie opposées à l'action de la gravité.

(Tableau n°12), récapitulatif des puits et forages du Bassin de Ras-el-Aïn délimités dans la zone II de protection rapprochée

Tableau n°12 : Tableau descriptif du périmètre de protection intermédiaire (Zone II) (S. Ben Abid ANRH-2007)

<b>Point</b>	<b>X Lambert</b>	<b>Y Lambert</b>	<b>Description</b>
<b>A</b>	196.130	271.250	Source Ras-el-Aïn
<b>B</b>	196.852	270.920	Réservoir d'Eckmühl
<b>C</b>	196.000	270.270	Camp des Tirailleurs (point de rencontre avec la limite hydrogéologique)
<b>D</b>	194.800	269.780	Stade Bouakel
<b>E</b>	193.250	270.200	Point de côté 308 m
<b>F</b>	191.500	270.750	Point de côté 365 m
<b>G</b>	189.825	273.000	Le point de côté 510 (ligne de crête) au Nord du Douar Krerza,
<b>H</b>	190.950	273.450	Point géodésique de 3 <sup>ème</sup> ordre (509 m) situé au Nord-Est de la Ferme Combe.
<b>I</b>	191.550	273.000	Point de côté 479m a l'Est de la ferme S <sup>te</sup> Marie.
<b>J</b>	192.650	272.000	Point de côté 410m (limite des crêtes).
<b>K</b>	194.350	272.100	Point de côté 367m.
<b>L</b>	195.650	271.800	Au Sud-Ouest du village Etienne et dans la chaaba qui longe le côté Nord du cimetière Moul el Douma.

### 3-3 Le périmètre de protection éloigné :

Le dernier périmètre (Figure n° 13) n'est pas obligatoire. Il renforce le précédent. Sa surface est très variable. Sont réglementés les activités, dépôts ou installations qui présentent un danger de pollution pour les eaux prélevées, par la nature et la quantité de produits polluants mis en jeu ou par l'étendue des surfaces qu'ils affectent.

Tableau n°13 : Tableau descriptif du périmètre de protection intermédiaire (Zone III)  
(S.Benabdi (ANRH-2007))

<b>Point</b>	<b>X Lambert</b>	<b>Y Lambert</b>	<b>Description</b>
<b>A</b>	196.130	271.250	Source Ras-El-Aïn
<b>B</b>	196.852	270.920	Réservoir d'Eckmühl
<b>C</b>	195.500	268.000	Ferme Saint Marie
<b>D</b>	193.150	267.825	Ferme Thoreu
<b>E</b>	192.825	268.300	Point de côté 226m
<b>F</b>	192.000	268.250	Point de côté 268m
<b>G</b>	189.650	272.250	Douar Krerza
<b>H</b>	190.250	273.050	Ferme Combier
<b>I</b>	191.000	273.550	Point géodésique de 3 <sup>ème</sup> ordre (509 m) situé au Nord de la Ferme Saint Marie.
<b>J</b>	192.650	272.000	Point de côté 410m.
<b>K</b>	194.910	272.590	Point de côté 423m (Sud-Ouest de Sidi AEK. Morsli)
<b>L</b>	195.325	272.850	Koubba de Sidi Abdelkader Morsli



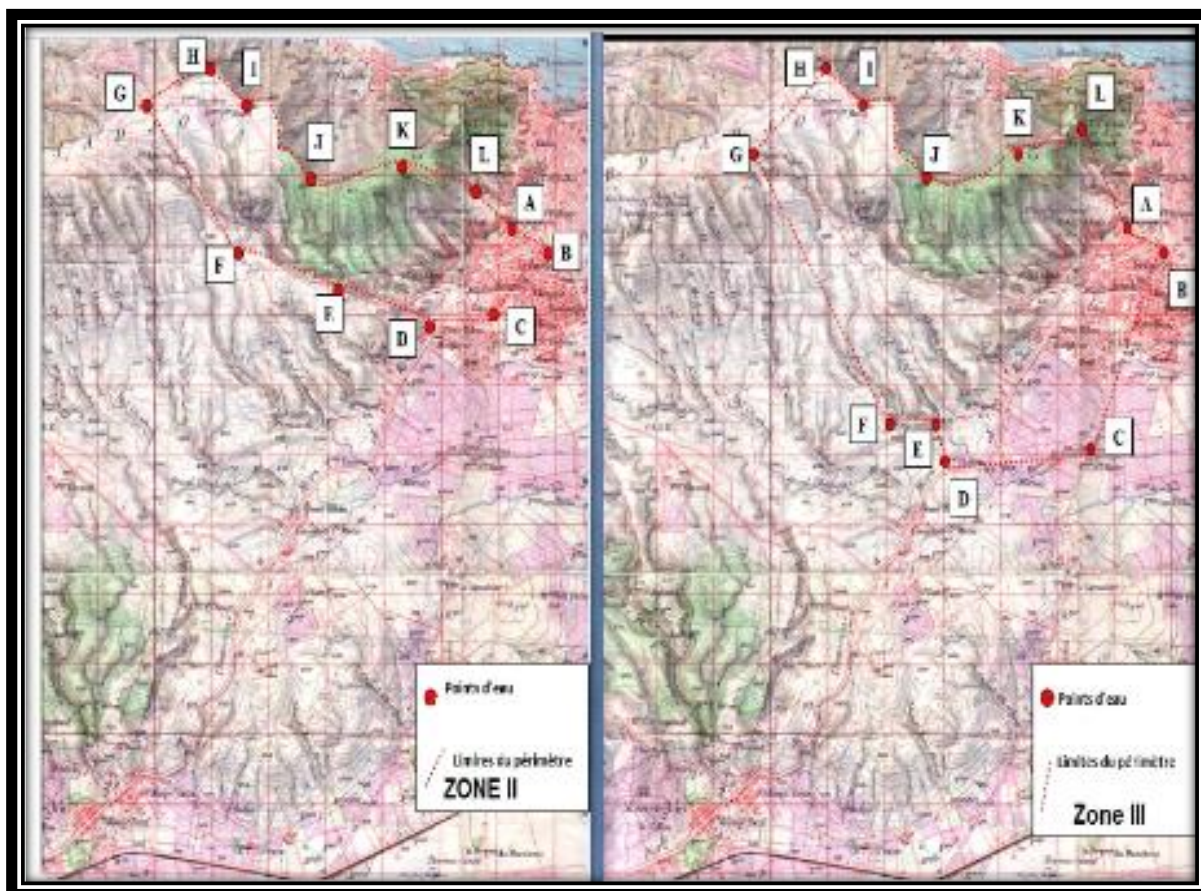


Figure n°37 : Cartes de délimitation des périmètres de protection (S. Ben Abid ANRH-2007) (Zone II et Zone III)

## **Conclusion générale :**

Au terme de ce travail, le contexte géographique climatique et hydrogéologique de la région ont été présentes. Notre secteur d'étude est caractérisé par un climat semi-aride. L'étude géologique a consisté en une synthèse des travaux déjà réalisés par plusieurs auteurs. La région d'Oran présente un risque élevé de pollution des eaux souterraines.

Une telle conclusion est confirmée. L'eau du bassin de Ras-el-Aïn a une qualité qui dépend de celle de la nappe qui l'alimente, en l'occurrence, celle du Mont Murdjadjo.

Généralement deux types d'eaux ont été identifiés :

-Les eaux des calcaires : Ces eaux sont soit Calcio -magnésiques, soit chlorurées sodiques.

-Les eaux des grès sont moyennement chargées en sels solubles. Leur faciès est chloruré sodique.

Les résultats des nombreuses analyses effectuées au niveau de la source de Ras-el-Aïn, le point le plus bas de tout le massif perméable en grand, indiquent une eau de faible minéralisation avec un léger apport extérieur (les pluies par exemple).

Il est à noter une diminution du taux de nitrates des eaux de la source :

De 2007 à 2018, la concentration en nitrates est passée de 75mg/l à 35mg/l. Néanmoins une dégradation de la qualité physico-chimique des eaux est bien présente, elle ne peut s'expliquer que par la surexploitation de la nappe due à la prolifération des ouvrages, des germes de contamination fécale ont été détectés localement au niveau de la source de Ras-el-Aïn. Cela nous semble vraisemblablement lié aux fosses septiques des habitations très développées sur les versants du bassin de Ras-el-Aïn. Les hydrocarbures qui polluent la source de Ras-el-Aïn, suite à une fuite dans les réservoirs de la caserne militaire d'Oran, située à proximité de notre zone d'étude ont modifié le comportement de la source.

Ces modifications organoleptiques de l'eau persistent depuis 1998. Comme ces produits sont pour la plupart faiblement oxydables et encore perceptibles à des dilutions de 1 partie par milliard, les nappes d'eau polluées du Bassin de Ras-el-Aïn sont devenues inutilisables et ce pendant de très longues années.

## Références bibliographiques :

**-Adda et Bouchenouk**, 2007 : Etude Hydrochimique et Bactériologique des Eaux Souterraine de la partie occidentale de l'agglomération oranaise

Mémoire d'ingénieur Université d'Oran Institut des Sciences de la Terre

- **Adda Mawloud** ,2013 Caractérisation Hydrochimique et pollution des eaux souterraines en contexte urbain ,2013: Cas de l'agglomération oranaise (Algérie) Thèse de Magister Adda Mawloud

**-Abdelkrim Zidouri**, 1986 Contribution à l'Étude Hydrogéologique du Bassin d'Alimentation de Ras-El-Ain(Oran)

Mémoire pour l'Obtention du Titre d'Ingénieur d'État-Option : Hydrogéologie

Institut des sciences de la Terre Département de Géologie Appliquée.

**-Alioua et Boucherit**, 2017 Dénitrification biologique d'une eau chargée en nitrates en utilisant les coques d'arachide comme source de carbone.

Mémoire de projet de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de MASTER II

Université M'hamed Bougara de Boumerdès

Département de chimie Domaine : Science de la matière Spécialité : Chimie et Environnement

**-Benabidi Salim**, 2008 : Le Périmètre de Protection de la Source Ras -El- Ain Mémoire pour l'Obtention du Titre d'Ingénieur d'Etat-Option : Hydrogéologie Université d'Oran Institut des Sciences de la Terre.

**Benziane A.** 2013.Le système aquifère de la Grande Sebka d'Oran : considérations géologiques et hydrogéologiques Université des Sciences et de la Technologie d'Oran-Mohamed Boudiaf, Faculté d'Architecture et de Génie civil, Département de Génie civil, Laboratoire de Matériaux, Sols et Thermique-Dalloni et Fennet (Étude géologique de l'Oranie)

**Bouchenouk Ibrahim** ,2013 processus d'enrichissement en nitrate des eaux souterraines les zone semi-aride ; cas de la plaine de boukadir (nord-ouest algérien)

Mémoire pour l'Obtention du Titre d'Ingénieur d'Etat-Option : Hydrogéologie

Université d'Oran Faculté des Sciences de la Terre, de Géographie & d'Aménagement du Territoire Département des Sciences de la Terre

**-Boudoura et Bourzag, 1999** : Structure et Fonctionnement du Système Karstique de la Source de Ras-El-Ain à Oran

Mémoire pour l'Obtention du Titre d'Ingénieur d'Etat-Option : Hydrogéologie

Université d'Oran Institut des Sciences de la Terre.

**-Boudia Abdelkrim et Bouameur Asmaa, 2016/2017** : Caractérisation Hydrochimique et qualité des eaux souterraines de la nappe Karstique de Saida.

Mémoire pour l'Obtention du diplôme de Master en Hydraulique-Option : Ressources en eau Université Dr.Moulay Tahar de Saida, Faculté des sciences et de la technologie, Département de Génie Civil & d'hydraulique.

- **EEC** : Engineering Environment Consulte « Bulletin International de l'eau de l'environnement ; 2001.

**-Fletcher, J. R., Law, S. J. et Walters, A. H ,1987**« Effect of cooking on the nitrate levels in vegetables », Nutr Health.

- **Gevin 1949**, Périmètre de Protection de Ras el Ain.

**-Hadi .A, 2016** «Géostatique et SIG pour la modélisation spatialisée de la pollution nitrée dans la plaine du Haut-Chélif» ; thèse de doctorat en sciences ; Université Hassiba Ben Bouali-Chélif

- **Hassani M.I. (1987)**. Hydrogéologie d'un bassin endoréique semi-aride : le bassin versant de la grande Sebkhia d'Oran (Algérie). Thèse de doctorat, Université Scientifique, Technologique et Médicale de Grenoble, 303p

**-KHELIEL. O. (2014)** « Etude du pouvoir adsorbant du charbon actif pour la dénitrification des eaux souterraines » Mémoire de Magister en hydraulique, Université MOHAMMED KHIDER Biskra.

**-Nadia et Fatima .2018** Etude piézométrique et hydrochimique de la nappe des calcaires du Murdjadjo à l'échelle du bassin de Ras el Ain  
Université Oran 2 FACULTÉ des sciences de la terre et de l'univers - Master en hydrogéologie

**-M. Idrissa Issa Majid 2017** étude hydrochimique du djebel Murdjadjo

Mémoire pour l'Obtention du grade de Master-Option : Hydrogéologie

Université d'Oran Faculté des Sciences de la Terre, de Géographie & d'Aménagement du Territoire Département des Sciences de la Terre

**-Moussa Haidar Chaden, 2014** : Evaluation de la qualité de l'eau du bassin supérieur de la rivière du Litani, Liban, Approche hydrogéochimique.

Mémoire, Thèse en Géosciences

Université de Lorraine Ecole Doctorale RP2E (Science et Ingénierie Ressources Procèdes  
Produit Environnement

-**Sourisseau 1975**, Étude Hydrogéologique du Massif du Murdjadjo.

-**Thomas** Géodynamique des Bassins sédimentaires

### Sites Web

<https://journals.openedition.org/insaniyat/11858>

<https://www.infoclimat.fr/climatologie/annee/2017/oran-port/valeurs/60461.html> <https://www.persee.fr/doc/camed0395-93171995num5111152>

<https://www.memoireonline.com/10/12/6341/Caracterisation-et-etat-de-connaissance-du-bassin-de-la-grande-Sebkha-d-Oran.html>

[https://www.researchgate.net/publication/279826142/ Pollution par les nitrates quels rendes](https://www.researchgate.net/publication/279826142/Pollution_par_les_nitrates_quels_rendes)