

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

Université d'Oran2
Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers
Département de Géologie



Mémoire pour l'obtention du grade de Master II en Hydrogéologie

Option :
Hydrogéologie et Environnement

Thème :
*Étude Piézométrique et Hydro chimique de la nappe des calcaires du
Murdjado à l'échelle du bassin de Ras el Aïn (Oran, Algérie)*



Présenté par :

*Amouziane Fatima Zohra
Hadjal Nadia*

Devant le jury :

*Mansour Hamidi : Professeur à l'Université d'Oran 2
Foukrache Mohamed : Maitre-assistant à l'Université d'Oran 2
Borsali Toufik : Maitre-Assistant à l'Université d'Oran 2*

*Président
Rapporteur
Examineur*

*Session
2018-2019*

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

La mémoire de mon cher et défunt père

La mémoire de ma chère grand-mère,

Ma chère Mère,

Mes chers Ahmed-Salim et Yousra,

Mes chers frères,

Mon Amie, sœur et binôme Fatima –Zohra,

Ma chère Yasmina,

A toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce Mémoire.

Nadia

Je dédie le fruit de mon travail à :

Mon cher et défunt père,

Ma chère mère,

Ma chère sœur Yasmina,

Mes chers Frères,

Ma chère Amie, sœur et binôme Nadia,

Mon cher Ami, Chikh Boubakeur Abderahmane,

Mon Ami, Freh-Brahim Abdel Baki,

Mon Ami, Amadou Mounkaïla Boukhari,

A toute ma famille.

A toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce Mémoire.

Fatima Zohra

Remerciements

Je remercie Dieu tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il Nous a données durant nos études.

Au terme de ce travail, il nous est agréable de remercier tous ceux qui ont contribué à sa réalisation et en particulier :

Mr. Foukrache, pour avoir accepté de nous encadrer dans cette étude. Nous le remercions pour son soutien, son implication et ses encouragements.

Mr. Borsali, qui a eu la bienveillance d'accepter de juger ce travail et d'être membre du jury à notre soutenance.

Nous remercions également, Mr. Hamidi, pour présider au jury.

Mr. Benabid, d'avoir accepté de nous fournir les données, nécessaires à notre travail et de nous avoir accompagnées, tout au long de ce cursus.

Nous voudrions exprimer notre profonde reconnaissance Mr. Hayanne pour son soutien, sa disponibilité et son aide permanente. Ses qualités humaines nous ont beaucoup touchées.

Nous tenons à exprimer notre reconnaissance envers notre professeure, Mme Ablaoui pour ses conseils, suggestions et sa disponibilité permanente.

Nous remercions également Mohammed, du département de Géographie de l'Université d'Oran2.

Nous adressons notre reconnaissance à Monsieur Kebdani et Madame Latifa, et à l'ensemble du personnel de L'ANRH de la Wilaya de d'Oran.

Merci à Saliha Hadjal pour ses conseils et ses orientations.

Nous tenons à remercier chaleureusement nos anciens encadreurs, Monsieur Dakkiche et Monsieur Azri pour leur disponibilité.

Nos remerciements vont également aux enseignants du département de Géologie de l'Université de Belgaïd :

Mr. Hassani, Mme Dakkiche, Mme Belkheir, et Mme Mabrouk.

Résumé :

Le XXI^{ème} siècle s'annonce hélas sous le signe de « la pénurie d'eau », un stress hydrique touche l'ensemble du bassin de Ras el Aïn de l'agglomération Oranaise.

Situés à la proximité immédiate de l'agglomération oranaise, les calcaires récifaux du Miocène supérieur, appelés le plus souvent « calcaires du Murdjadjo » constituent le principal réservoir d'eau souterraine de la région. Cet aquifère karstique est drainé, entre autres, par la source de Ras el Aïn Il est sollicité pour nombre d'usages agricoles, domestiques et industriels.

La présence de cette ressource hydrique dans un contexte urbain, à croissance parfois mal maîtrisée, augmente sa vulnérabilité aux pollutions multiformes habituellement générées par ce milieu (fosses perdues, fuites du réseau d'assainissement, effluents industriels, lessivage des chaussées, etc.).

La présente étude a permis d'avancer dans l'état de la connaissance hydrogéologique de l'évolution de cet Aquifère dans le temps, d'estimer son état d'affectation par la pollution et plus généralement d'apprécier le degré de vulnérabilité des eaux souterraines face aux pollutions urbaines.

Après une étude exhaustive du cadre physique de la région d'étude rendant compte du contexte hydrogéologique du système aquifère étudié, l'étude hydro chimique des eaux de la nappe s'est basée sur l'interprétation des résultats d'analyses effectuées sur neuf échantillons d'eau prélevés au niveau de différents points d'eau (puits, Forages et la source de Ras el Aïn), lors d'une campagne d'échantillonnages réalisée entre la période de 2007 et 2018.

L'état de la qualité des eaux a été apprécié à travers l'étude des paramètres indicateurs de pollution des eaux prélevées, ainsi que l'état bactériologique des eaux au niveau de la source de Ras el Aïn, située dans la partie Méridional du Murdjadjo et constituant l'exutoire principal de la nappe à l'échelle du Bassin de Ras el Aïn.

La source de Ras el Aïn se trouve affectée depuis une dizaine d'années par une pollution aux hydrocarbures qui interdit toute utilisation de cette eau (près de 6000 m³/j), L'enjeu après cet accident était de mettre en sécurité la zone, d'éviter l'extension de la pollution et de dépolluer, traiter les milieux impactés.

La dernière partie a été consacrée à la procédure mise en place en 2007 de périmètres de protection pour protéger les points d'eau du Bassin de Ras el Aïn.

Les paramètres hydrodynamiques exploités, confirment la stabilité du caractère dynamique de la nappe à l'échelle du bassin de Ras el Aïn.

Mots clés : Source de Ras el Aïn, Bassin de Ras el Aïn, Djebel Murdjadjo, agglomération oranaise, eau souterraine, hydrochimie, faciès chimique, qualité des eaux, vulnérabilité, pollution.

Abstract:

The twenty-first century is characterised by "water scarcity", water stress affects the entire Ras el Ain Basin of the Oran agglomeration.

Located in the immediate proximity of the Oran agglomeration, the Upper Miocene reef limestones often called "Murdjadjo limestones", is the main underground water reservoir of the region. This karstic aquifer is drained by the source of Ras el Aïn. It is used for agricultural, domestic and industrial purposes.

This water resource is in an urban area, which growth is sometimes uncontrolled. It increases its vulnerability to multiform pollution usually generated by this environment (lost pits, leakage from the sewerage network, industrial effluents, leaching of pavements, etc.).

The present study has made it possible to improve the hydrogeological knowledge of the evolution of this aquifer over time, to estimate its state of use by pollution and more generally to assess the degree of vulnerability of the underground water facing urban pollution.

After an exhaustive study of the physical setting of the study area, taking into account the hydrogeological context of the studied aquifer system, the hydrochemical study of the groundwater was based on the interpretation of results of analyses carried out on nine water samples collected at different points (wells, boreholes and the source of Ras el Aïn), during a sampling campaign carried out between the period of 2007 and 2018.

The water quality was assessed through the study of the indicators on pollution of the water withdrawn, as well as the bacteriological state of the water at the source of Ras el Aïn, located in the southern part of Murdjadjo. The latter is the main outlet of the aquifer at the Ras el Ain Basin scale.

The source of Ras el Ain has been affected for ten years by hydrocarbon pollution that prohibits any use of this water (nearly 6000 m³ / d). After this accident, the main goals were to secure the area, to avoid the extension of the pollution and to treat the impacted environments.

The last part of this work was dedicated to the procedure set up in 2007 to protect the water points of the Ras el Aïn Basin.

The hydrodynamic parameters exploited confirm the stability of the dynamic nature of the aquifer at the scale of the Ras el Aïn basin.

Key words: Ras el Aïn Bassin, Jebel Murdjadjo, Oran agglomeration, Ground water, hydrochimistry, chemical facies, water quality, vulnerability, pollution

SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
-----------------------------------	----------

Chapitre I

Cadre Physique de la région d'étude

<i>I/ - Généralités.....</i>	<i>4</i>
<i>II/ - Cadre Géographique.....</i>	<i>4</i>
<i>III/ - Cadre Géologique et Structural.....</i>	<i>5</i>
<i>IV/ - Morphologie du Secteur d'étude.....</i>	<i>6</i>
<i>V/ - Les Sols et la Végétation.....</i>	<i>7</i>
<i>VI/ -Cadre Litho-Stratigraphique.....</i>	<i>9</i>
<i>VII/ - Les Faciès de Substratum.....</i>	<i>11</i>
<i>VII-1 Jurassique.....</i>	<i>11</i>
<i>VII-2 Crétacé.....</i>	<i>11</i>
<i>VIII/ - Les Faciès de Couverture.....</i>	<i>14</i>
<i>IX/ -Structure.....</i>	<i>15</i>
<i>IX-1 La Déformation dans le Substratum.....</i>	<i>16</i>
<i>IX-2 La Déformation dans la Couverture.....</i>	<i>16</i>
<i>X/- Conclusion.....</i>	<i>16</i>

Chapitre II

Hydro climatologie de la région d'étude

<i>I/ - Description générale du climat de la région.....</i>	<i>19</i>
<i>II/ - Etude des facteurs climatiques de la station de Ras-el-Ain.....</i>	<i>20</i>
<i>II-1 Température.....</i>	<i>20</i>
<i>II-2 Estimation de l'évapotranspiration.....</i>	<i>21</i>

II/-3 Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR).....	21
III/- Précipitations.....	24
IV/- Régime climatiques.....	26
IV/-1 Indice xérothermique.....	27
IV/-2 Diagramme ombrothermique.....	27
IV/-3 Indice de Martone.....	27
IV/-4 Bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite.....	28
V/ - Discussion des résultats.....	31
VI/ -Conclusion.....	32

Chapitre III

Contexte Hydrogéologique de la région d'étude

I/-Introduction.....	34
II/-Hydrogéologie.....	37
III/- Description des principaux Aquifères du secteur d'étude.....	39
II/-1 l'aquifère des calcaires récifaux du Djebel Murdjadjo.....	39
III/1-1 La nappe perchée des crêtes.....	41
III/1-2 Une nappe captive.....	42
III/1-3 Une nappe librintermédiaire.....	42
III/-2 L'Aquifère du calabrien.....	43
III/-3 L'aquifère des alluvions plio-quadernaires.....	44
IV/- Fluctuations du débit de la source de Ras el Ain.....	45
V/- Piézométrie du secteur d'étude.....	46
V/-1 Caractère piézométrique de la zone d'étude.....	50
VI/- Les paramètres Hydrodynamiques.....	50
VI/-1 La porosité.....	51
VI/-2 Le coefficient de perméabilité.....	51
VI/-3 La transmissivité.....	52
VII/- Conclusion.....	53

Chapitre IV

Contexte Hydro chimique

I/-Historique.....	58
II/-Introduction.....	59
III/- Zone de prélèvement.....	59
IV/- Méthode et matériels.....	61
IV-1 Méthodologie de l'étude hydrogéochimique.....	61
IV-2 Méthode de traitement des données.....	62
IV-2-1 Diagramme de PIPER.....	63
IV-2-2 Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF.....	63
IV-2-3 Diagramme de Wilcox.....	64
V/- Résultats et Discussions.....	64
VI-1 Balance ionique.....	65
VI-1-1 Station du bassin de Ras-el-Aïn pour la chronique 2007.....	65
VI-1-2 La source de Ras-el-Aïn pour la période 2010-2018.....	66
VI-2 Les paramètres Physiques.....	66
VI-2-1 La température.....	66
VI-2-2 Le Potentiel d'Hydrogène.....	67
VI-2-3 La conductivité électrique.....	68
VI-3 Les Paramètres chimiques.....	69
VI-3-1 Les chlorures.....	69
VI-3-2 Le Titre Hydrotimétrique TH.....	70
VI-3-3 Le Titre alcalimétrique complet (TAC).....	73
VI-4 Principaux éléments présents dans l'eau.....	73
VI-4-1 Le Calcium et le magnésium.....	73
VI-4-2 Les Sulfate.....	75
VI-5 Les substances indésirables.....	76
VI-5-1 Les Nitrates.....	76
VI-6 Détermination des principaux faciès hydro chimiques.....	78

V/-6-1 Le Diagramme de PIPER.....	78
V/-6-2 Le Diagramme de SCHOLLER-BERKALOFF.....	82
V/-6-2-a Source de Ras-el-Aïn.....	82
V/-6-2-b Bassin de Ras-el-Aïn.....	83
V/-6-3 Diagramme de Wilcox.....	84
V/-6-3-a Source de Ras-el-Aïn.....	84
V/-6-3-b Bassin de Ras-el-Aïn.....	85
VI/-Pollution des nappes souterraines du bassin de Ras-el-Aïn.....	86
VI/-1 Les pollutions bactériologiques.....	86
VI/-2 La pollution de la source de Ras-el-Aïn par Hydrocarbures.....	88
VI/-2-1 Les polluants insolubles plus légers que l'eau.....	88
VI/-2-2 Les polluants insolubles et plus denses que l'eau.....	88
VI/-3 Les périmètres de protection.....	89
VI/-3-1 Le périmètre de protection immédiate.....	89
VI/-3-2 Le périmètre de protection rapprochée.....	89
VI/-3-3 Le périmètre de protection éloignée.....	91
VII/-Conclusion.....	93
Conclusion générale.....	95

Références bibliographiques

Annexe

Liste des figures

Figure n°1 : Situation Géographique du secteur de Ras-el-Aïn Échelle : 1/15000.00.....	5
Figure n°2 : Coupe Géologique du versant Sud-Est du Djebel Murdjadjo.....	6
Figure n°3 : Carte des principaux sols de la région Echelle : 1/1500.00.....	8
Figure n°4 : Coupe Litho Stratigraphique du versant Sud du Djebel Murdjadjo.....	10
Figure n°5 : Les écailles du Djebel Murdjadjo, d'après B.Fenet. 1975.....	12
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).....	13
Figure n°7 : Carte des structures Géologiques de l'Oranie.....	14
Figure n°8 : Description générale du Climat de la région.....	19
Figure n°9 : Température mensuelles de la station de Ras-el-Aïn, 1990-2005.....	20
Figure n°10 : Variation des Températures moyennes Période : 1990-2002.....	21
Figure n°11 : Variation de l'Evapotranspiration, Précipitations et Températures Moyennes Annuelles 1990-2005.....	23
Figure n°12 : Précipitations moyennes annuelles 1986-2016.....	25
Figure n° 13 : Précipitations moyennes mensuelles 1986-2016.....	25
Figure n°14 : Diagramme Ombrothermique : 1990-2005.....	27
Figure n°15 : Variation des différents termes du bilan Hydrique 1990-2005.....	30
Figure n° 16 : Bilan Hydrique de la station de Ras-el-Aïn 1995-2005.....	31
Figure n°17 : Le site d'Oran représenté (Robert Thinthoin 1956) (Mise en forme par F.Kettaf (2013).....	35
Figure n°18 : Carte du système Aquifère de la région d'étude.....	36
Figure n°19 : Principaux Aquifères du secteur d'étude (d'après A.Joseph).....	37
Figure n°20 : Log Hydrogéologique de la région d'Oran (Hassani.M.I., 1987).....	38
Figure n°21 : Carte de localisation des sources et de la fracturation des calcaires messéniens (Hassani.1987).....	40
Figure n°22 : Coupe hydrogéologique schématique du Djebel Murdjadjo (M.I. Hassani, (1987).....	41
Figure n°23 : Fluctuation des débits de la source de Ras-el-Aïn (1700-2019).....	45
Figure n°24 : Carte de localisation des piézomètres du bassin de Ras-el-Aïn (2007-2018) Échelle : 1/25000.....	49
Figure n°25 : Carte piézométrique de Ras-el-Aïn 2000 Équidistance des courbes 5m.....	53
Figure n°26 : Agrandissement de la carte piézométrique 2007.....	54
Figure n°27 : Carte piézométrique de Ras-el-Aïn 2018 Équidistance des courbes:10.....	55

Figure n°28 : Agrandissement de la carte piézométrique 2018.....	56
Figure n°29 : Carte de la localisation des points d'eau du bassin de Ras-el-Aïn Échelle : 1/25000.....	60
Figure n°30 : Variation des températures de la source de Ras-el-Aïn 2007-2018.....	67
Figure n°31 : Variation du PH des échantillons d'eau de la source de Ras-el-Aïn 2007-2018.....	68
Figure n°32 : Evolution de la conductivité électrique de la source de Ras-el-Aïn 2007-2018.....	69
Figure n°33 : Evolution de la concentration en chlorures de la source de Ras-el-Aïn 2007-2018.....	70
Figure n°34 : Evolution du titre hydrométrique de la station de Ras-el-Aïn2007-2018.....	71
Figure n°35 : Evolution du titre alcalimétrique du bassin de Ras-el-Aïn 2007-2018.....	73
Figure n°36 : Evolution de Ca ²⁺ et Mg ²⁺ du bassin de Ras-el-Aïn 2007-2018.....	73
Figure n°37 : Evolution des sulfates dans le bassin de Ras-el-Aïn 2007-2018.....	75
Figure n°38 : Evolution des Nitrates dans le bassin de Ras -el-Aïn 2007-2018.....	76
Figure n°39 : Diagramme de PIPER- (Source de Ras el Aïn (2007-2018)).....	77
Figure n°40 : Diagramme de PIPER-Bassin de Ras-el-Aïn 2007.....	78
Figure n°41 : Diagramme de SCHOLLER-BERKALOFF-Source de Ras-el-Aïn 2007-2018.....	82
Figure n°42 : Diagramme de SCHOLLER-BERKALOFF-Bassin de Ras-el-Aïn 2007.....	83
Figure n°43 : Diagramme de WILCOX-Source de Ras-el-Aïn 2007-2018.....	84
Figure n°44 : Diagramme de WILCOX-Bassin de Ras-el-Aïn 2007-2018.....	85
Figure n°45 : Évolution bactériologique de la source de Ras el Aïn 2010-2011.....	87
Figure n°46 : Pollution par un produit plus léger que l'eau et qui atteint la nappe.....	88

Figure n°47 : Pollution de la nappe par un produit plus lourd que l'eau.....	88
Figure n°48 : Cartes de délimitations des périmètres de protections (S.Benabid ANRH-2007) (Zone II et Zone III) Echelle 1/50000.....	92

Liste des tableaux

Tableau n°1 : Température mensuelles de la station de Ras-el-Aïn.....	21
Tableau n°2 : Evapotranspiration moyenne mensuelle 1990-2005.....	22
Tableau n°3 : Précipitations annuelles 1986-2016.....	24
Tableau n°4 : Classification de Martonne de Climat.....	27
Tableau n°5 : Calcul de l'ETR par la méthode de comparaison de Thornthwaite.....	29
Tableau n°6 : La valeur moyenne de l'ETR 1990-2005.....	30
Tableau n°7 : Calcul Totaux des principaux paramètres hydriques 1990-2005.....	30
Tableau n°8 : Les débits enregistrés à la source de Ras-el-Aïn (1700-2019).....	45
Tableau n°9 : Niveau piézométrique mensuels du bassin de Ras-el-Aïn.....	48
Tableau n°10 : Quelques ordres de grandeurs des valeurs de Porosités totale et efficace.....	50
Tableau n°11 : Quelques ordres de grandeurs de coefficients de perméabilité.....	51
Tableau n°12 : Transmissivité des Aquifères du bassin de Ras-el-Aïn 2001.....	52
Tableau n°13 : Données hydro chimiques du bassin de Ras-el-Aïn 2007.....	62
Tableau n°14 : Données hydro chimiques de la Source de Ras-el-Aïn 2007-2018.....	62
Tableau n°15 : Les pourcentages d'erreurs des échantillons d'eau prélevés dans le bassin de Ras-el-Aïn.....	65
Tableau n°16 : Echelle de concentration des ions Ca ²⁺ et Mg ²⁺	74
Tableau n°17 : Relevés bactériologiques de la Source de Ras-el-Aïn 2010-2011.....	87
Tableau n°18 : Tableau descriptif du périmètre de protection intermédiaire (Zone II) (S.Benabid ANRH-2007).....	90
Tableau n°19 : Tableau descriptif du périmètre de protection intermédiaire (Zone III) (S.Benabid ANRH-2007).....	91

Liste des abréviations

ANRH: Agence Nationale des Ressources Hydriques

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

GPS: Prise des Coordonnées géographiques

ETP: Évapotranspiration potentielle (mm)

ETR : Estimation de l'Evapotranspiration Réelle

P: Précipitation moyenne mensuelle (°C)

I: Indice thermique annuel

L: Pouvoir évaporant

T: Moyenne interannuelle des températures du moi en °C

RFU: Réserve en eau facilement Utilisable

TAC: Titre Alcalimétrique Complet

TH: Titre Hydrométrique

AEP: Alimentation en Eau Potable

AEB: Alimentation en Eau du Bétail

AHP: Automne, Hivers, Printemp

I/- Introduction générale

L'histoire d'Oran est étroitement liée à deux éléments majeurs : la présence de ressources d'eau douce, élément de première importance pour une ville, et la présence de la remarquable rade de Mers-el-Kébir, un abri naturel contre tous les vents situé à quelques kilomètres d'Oran), qui ont fait d'elle une place forte.

La ville d'Oran est située au nord-ouest de l'Algérie, elle est construite sur les flancs abrupts du Mont Murdjadjo, sur les rives de l'Oued Rehhi (l'Oued des Moulins) où coulait une eau abondante qui avait attiré de tout temps des conquérants.

La principale ressource en eau potable de l'Oranie est la nappe libre de l'aquifère des calcaires récifaux du Djebel du Murdjadjo, issue de sources et d'écoulements pluviaux du Murdjadjo. Cette ressource est abondante et généralement de bonne qualité comme le montre la présente étude, du fait d'une alimentation par des eaux issues du « Horst Murdjadjo » garantissant un débit élevé, elle est drainée par un nombre important de bassins, parmi les quels, celui de Ras el Aïn (sujet de notre étude), situé sur son Flanc Sud.

Cependant, le développement des activités industrielles, de l'urbanisation, des réseaux routiers et autoroutiers sont autant de menaces pour la pérennité de la qualité de cette ressource. D'autre part, le bassin versant de notre secteur d'étude se situe dans une région sous influence méditerranéenne le classant sous un régime semi aride avec des valeurs de l'ETP supérieures à la lame d'eau précipitée.

Notre travail est consacré à l'inventaire et l'actualisation des données sur les ressources en eaux souterraines du bassin de Ras el Aïn.

Cette étude est basée sur la collecte d'informations importantes, pour but principal, l'évaluation des ressources exploitables en eaux destinées pour les usages domestiques, agricoles et industriels.

Pour plus de clarté dans la présentation de ce mémoire, nous l'avons scindé en quatre chapitres :

Le premier chapitre présente une vue générale sur la zone d'étude est consacré à l'étude du contexte géologique et structural de la région.

Le deuxième chapitre a pour but d'évaluer à l'aide d'une étude hydro climatologique les différents termes du bilan hydrique, en s'appuyant essentiellement sur les relevés pluviométriques et de températures.

Le troisième chapitre est consacré à l'hydrogéologie. A partir de données dont nous avons pu disposer, nous avons essayé de délimiter les aquifères à l'aides de cartes piézométriques, de déterminer le sens d'écoulement des nappes et d'en déduire leurs évolutions spatiotemporelles.

Le quatrième chapitre est consacré à l'évaluation qualitative des ressources en eau à partir de l'interprétation des résultats d'analyses chimiques, pour une meilleure identification des faciès chimiques et une meilleure vision de la qualité des eaux souterraines.

Enfin, Ce travail sera achevé par une conclusion générale et une série de recommandations proposées à la lumière de l'étude réalisée ainsi qu'aux problèmes rencontrés.

CHAPITRE I

Cadre physique de la région d'étude

Chapitre I

Cadre physique de la région d'étude

I/- Généralités :

La source Ras-el-Ain a été utilisée depuis l'époque Carthaginoise (Archives APC d'Oran) en passant par l'occupation espagnole et la période Ottomane.

Aucun élément ne permet de fixer l'époque à laquelle fut creusée la galerie qui a permis le captage du griffon de la source.

En 1850, cette galerie a été prolongée et partiellement revêtue et en 1942, reliée à un canal de dérivation qui conduit l'eau dans un puisard où elle est pompée vers un château d'eau.

Les premières données concernant la source ont été publiées en 1852 et l'étude sera reprise plus tard en 1939 par Monsieur Dalloni.

A plusieurs périodes l'observation du débit de la source a été suspendue, et ce n'est que vers 1976 que l'on commença à s'intéresser à ce point d'eau.

L'observation ne reprend sérieusement qu'en 1992 avec l'équipement de la source d'un limnigraphe à pression et des mesures de débits mensuelles, exécutés par l'Agence Nationale des Ressources hydrauliques, pour le compte du Service des Etudes et d'Inventaire (Section Surveillance des nappes).

II/- Cadre Géographique :

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^{eme} (Figure n°1).

Les limites naturelles sont constituées au nord, par la mer Méditerranée, au sud par la grande Sebkhah d'Oran, à l'Ouest, par la plaine des Andalouses et à l'Est par le Djebel 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 chaînes 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

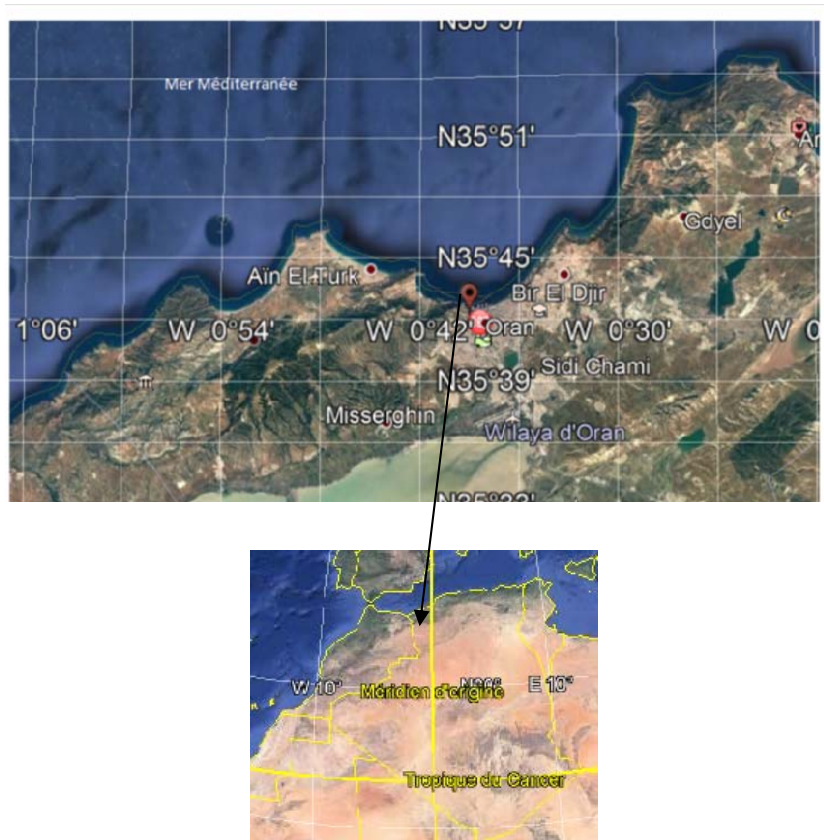


Figure n°1 – Situation Géographique du secteur de Ras-el-Aïn-

Échelle : 1/15000

III/- 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.

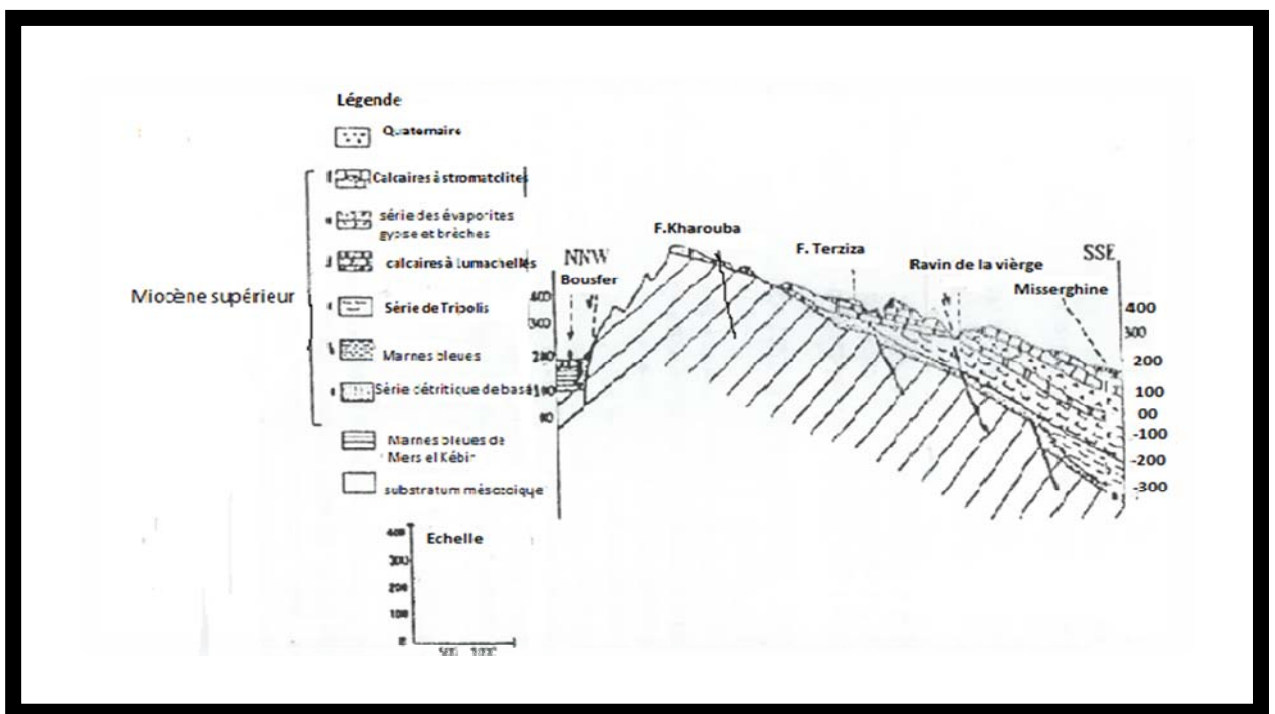


Figure n°2 - Coupe Géologique du versant Sud-Est du Djebel Murdjadjo

IV/- 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 monoclin.

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 (Hassi) sa superficie avoisine quelque 150 à 180 km².

V/-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 (Figure n°3):

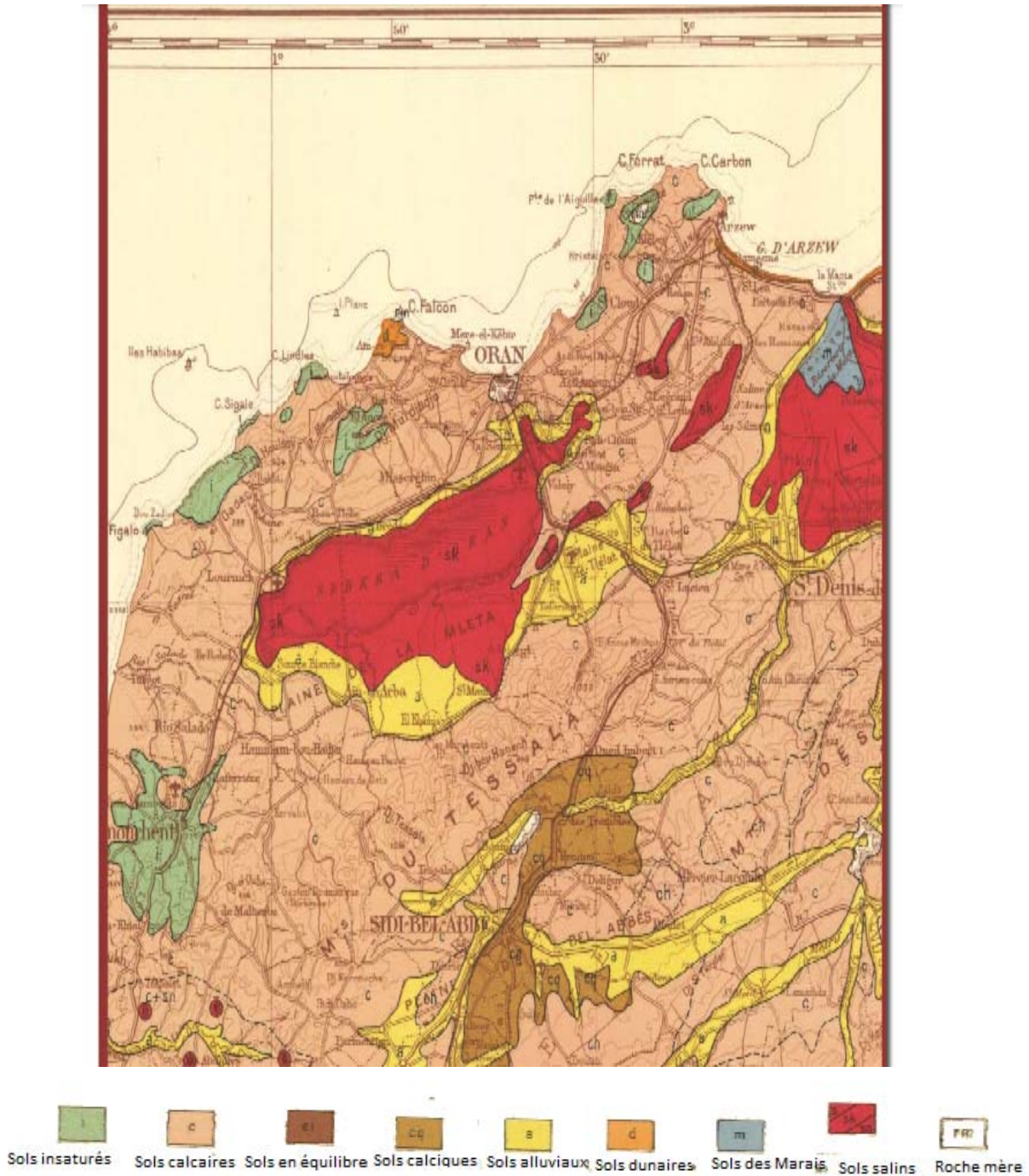
- Sols peu évolués : alluvions d'oueds (galets, graviers, argile).
- Sols calci -magnésiques : piedmonts des massifs avoisinants (sols rouges).

CHAPITRE I : Cadre physique de la région d'étude

-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.



VI/- Cadre Litho-Stratigraphique :

Reposant sur un substratum Mésozoïque, les formations que l'on rencontre sont souvent rattachées au Miocène et plio-quadernaire (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 Plio -quadernaire de la Sebkha.

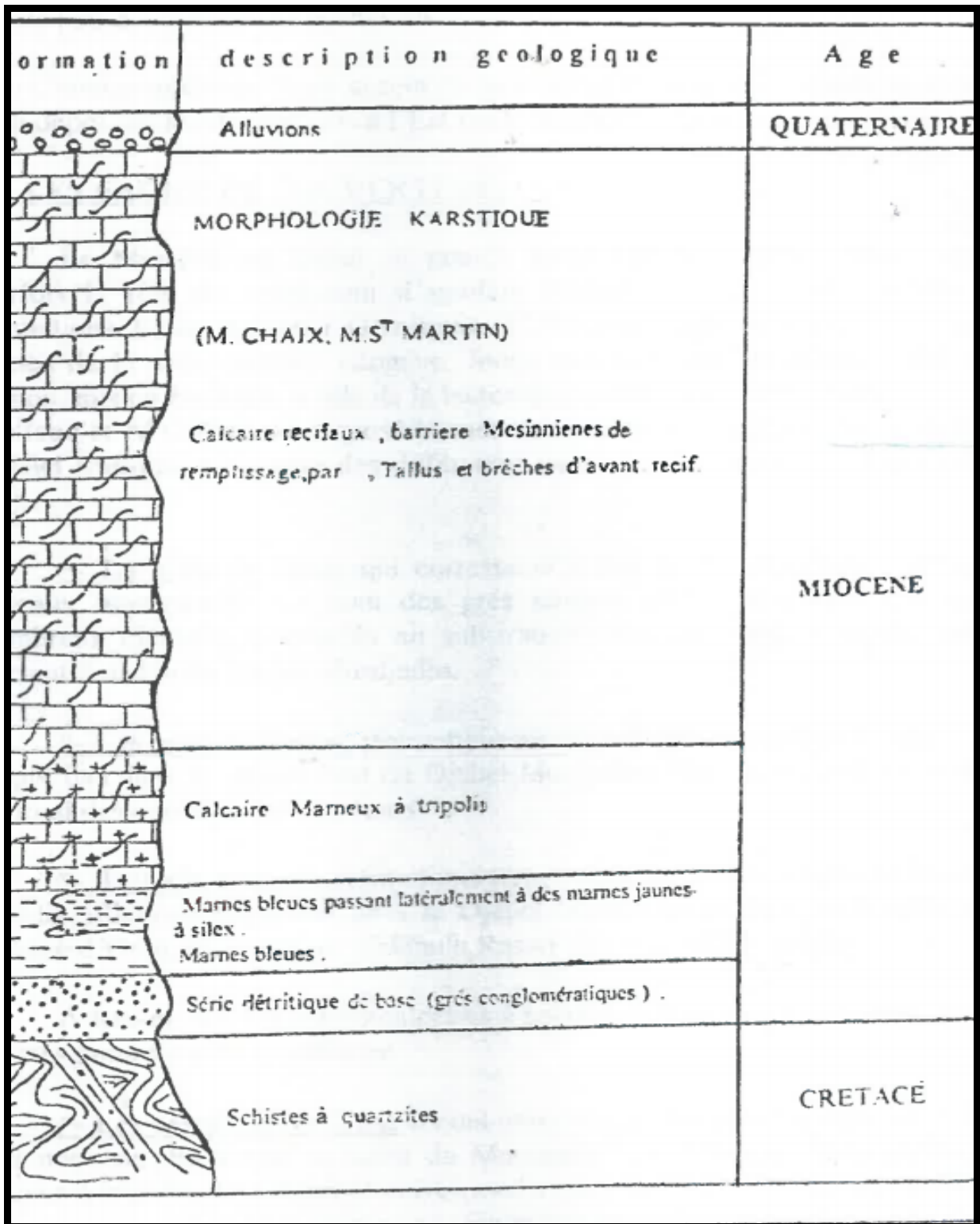


Figure n°4 - Coupe Litho stratigraphique du versant sud du Djebel Murdjadjo

VII/- Les Faciès de Substratum :

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

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

VII/-2 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.

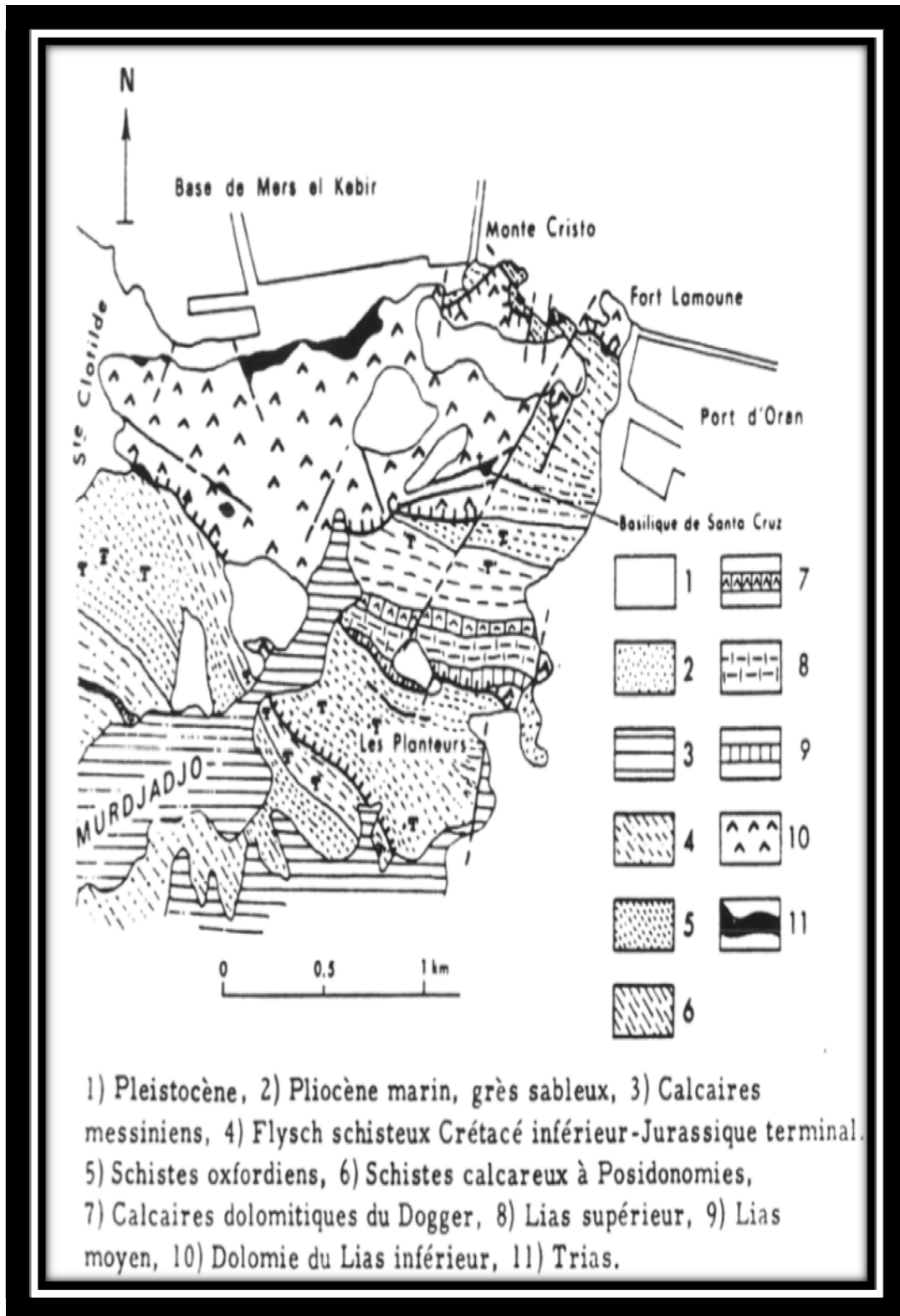


Figure n° 5 – Les écailles du Jebel Murdjadjo, d'après B.Fenet, 1975

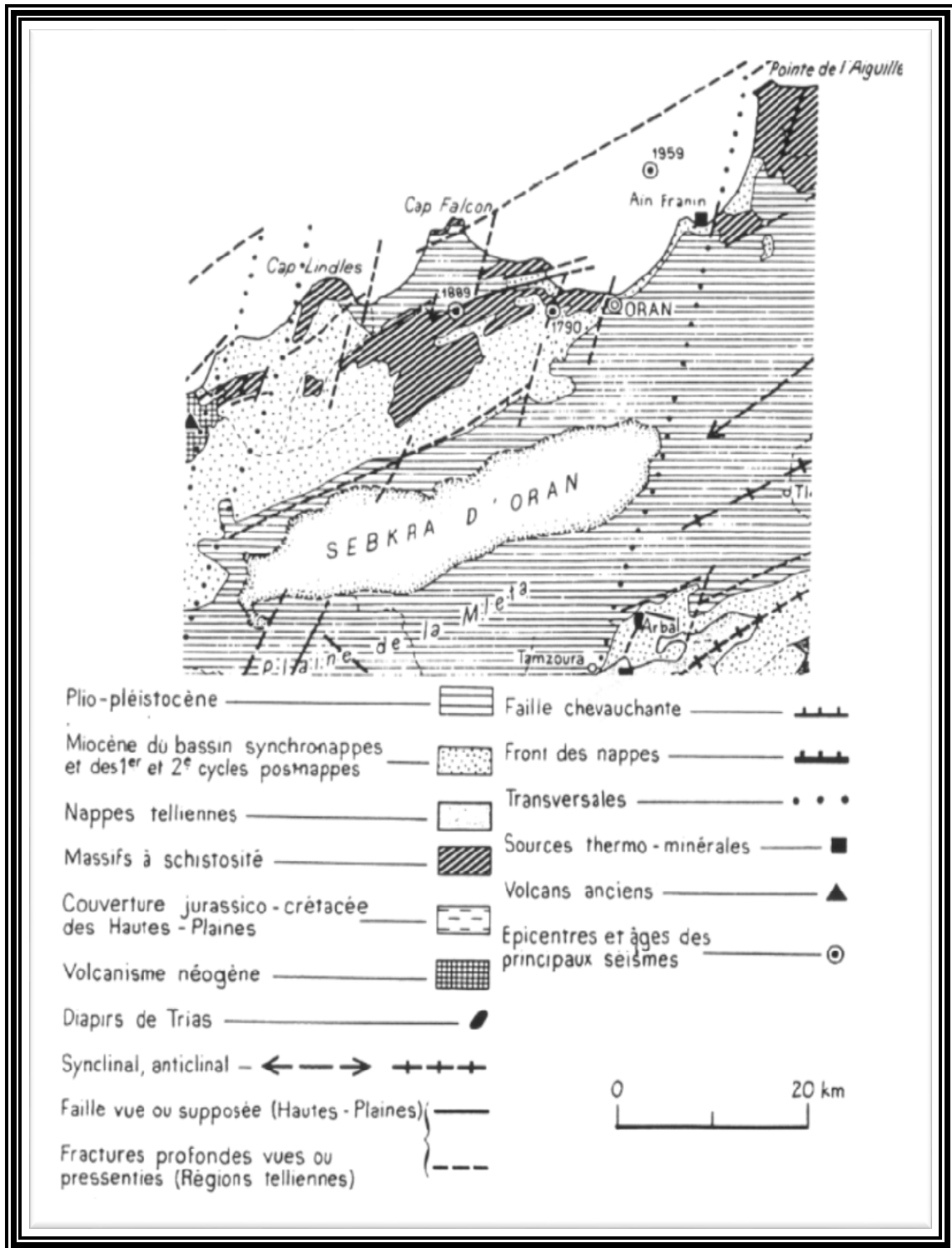


Figure n° 6 – La Structure Géologique des environs d'Oran (A. Dagherne, B. Fenet :
(Oran, métropole de l'ouest algérien d'hier à aujourd'hui.)

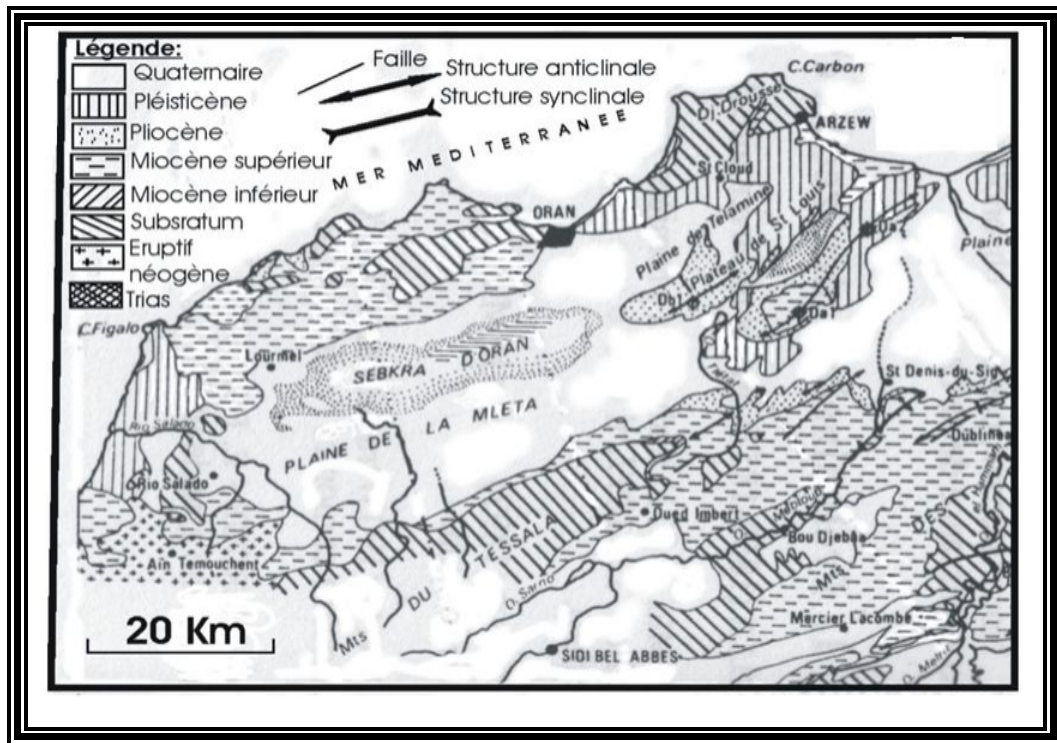


Figure n°7 – Carte des structures géologiques de l'Oranie

VIII/- 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 Clypeâstres 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 Pléistocènes 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).

IX/- 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.

IX/-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 ont tendance à se déplacer d'où le chevauchement des écaillages de la première phase par les dolomies de Santa –Cruz.

IX/-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 Grabbens 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.

X/- Conclusion

La région Oranaise est très diversifiée, ses strates appartiennent aux quatre ères Géologiques. La région d'étude s'intègre dans la terminaison occidentale de la chaîne Alpine Tellienne ou (Atlas Tellien).

Les formations géologiques de cette région s'étendent depuis l'âge primaire jusqu'au Quaternaire.

Des Schistes d'âge secondaire forment ce qu'on appelle les massifs schisteux côtiers de l'Oranie, à l'Ouest d'Oran ville, ils forment la Montagne des Lions et surplombent la partie septentrionale du Murdjadjo.

Les calcaires d'âge secondaire sont assez bien représentés dans l'Oranie. Ils forment, le plus souvent des reliefs assez escarpés. Ces Calcaires forment la partie méridionale du Murdjadjo dont fait partie notre secteur d'étude.

Ainsi, le bassin de Ras el Aïn se trouve focalisé sur une assise carbonatée (calcaires du Murdjadjo). Cette formation est parsemée de figures de dissolution : lapiez, dolines, avens, etc...

Toutes ces formes du modèle karstique confèrent à ces calcaires une forte perméabilité qui est à l'origine de l'existence de l'aquifère représentant cette région.

L'exutoire principal de cette nappe étant représenté par la source de Ras el Aïn. Cependant, l'aquifère des calcaires au niveau du bassin de Ras el Aïn, ne constitue qu'une partie de tout le système hydrogéologique du Murdjadjo dont les autres parties se prolongent vers les bassins de Misserghine, Brédéah et Bouyakour.

CHAPITRE II
HYDRO -CLIMATOLOGIE

Chapitre II HYDRO CLIMATOLOGIE

I/- Description générale du climat de la région :

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. Les facteurs limitatifs sont d'ordres climatique, morphologique, lithologique, structural et géomorphologique comme le montre la figure n°8

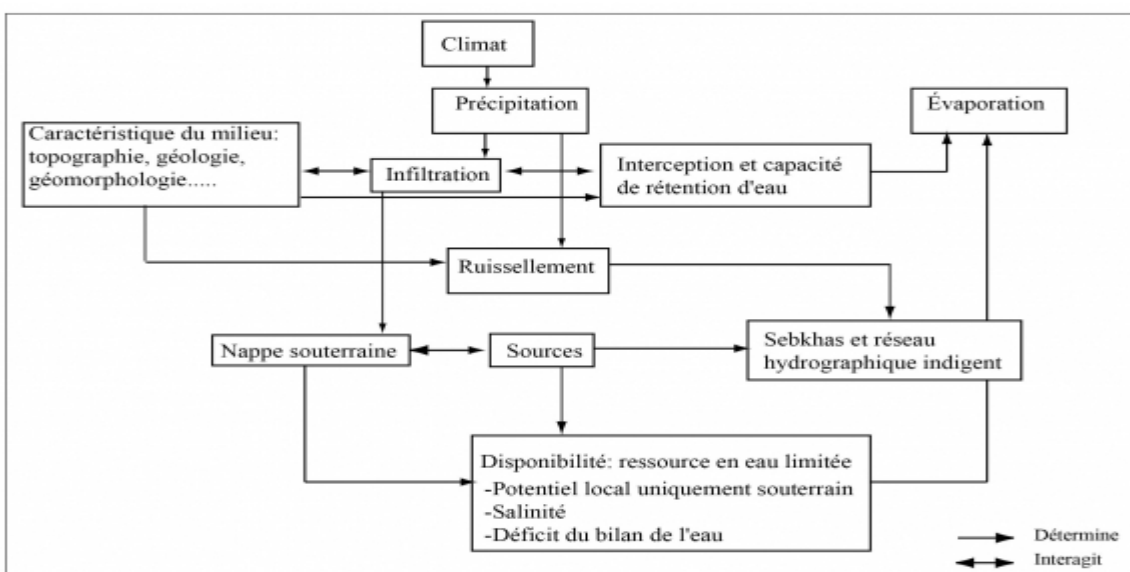


Figure n° 8 – Description générale du climat de la région

II/- Étude des facteurs climatiques de la station de Ras-el-Aïn :

II/-1Températures :

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.

De ce fait, elle influe sur le degré d'évapotranspiration et par conséquent elle agit sur le taux de salinité des eaux. Toutefois, la température a un rôle important dans la variation des composantes du bilan hydrologique. Nous avons rassemblé dans le Tableau n°1, ci-dessous les températures moyennes mensuelles enregistrées au niveau du bassin de Ras el Aïn, couvrant la période d'observation allant de 1990 à 2005.

Ras el Aïn	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)

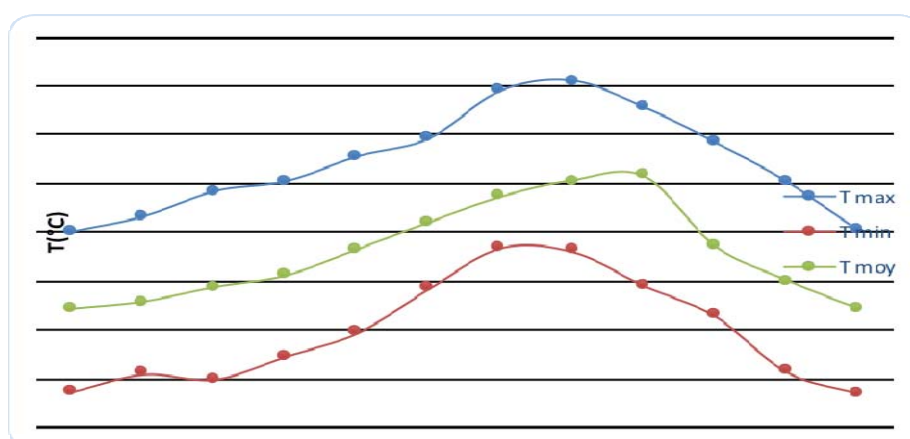


Figure n°9 – Températures mensuelles du bassin de Ras-el-Aïn
Période - 1990-2005

D'après la Figure n°9, nous constatons que les mois les plus chauds sont les mois de juillet et août avec une température moyenne 25°C.

Le mois le plus froid est le mois de janvier avec une Température moyenne de 11°C, A l'échelle mensuelle, la variation de la température ne présente pas de grandes fluctuations, les températures minimales, maximales et moyennes sont concordantes. Cependant, nous remarquons une irrégularité des Températures moyennes annuelles à l'échelle mensuelle (Figure n°10).

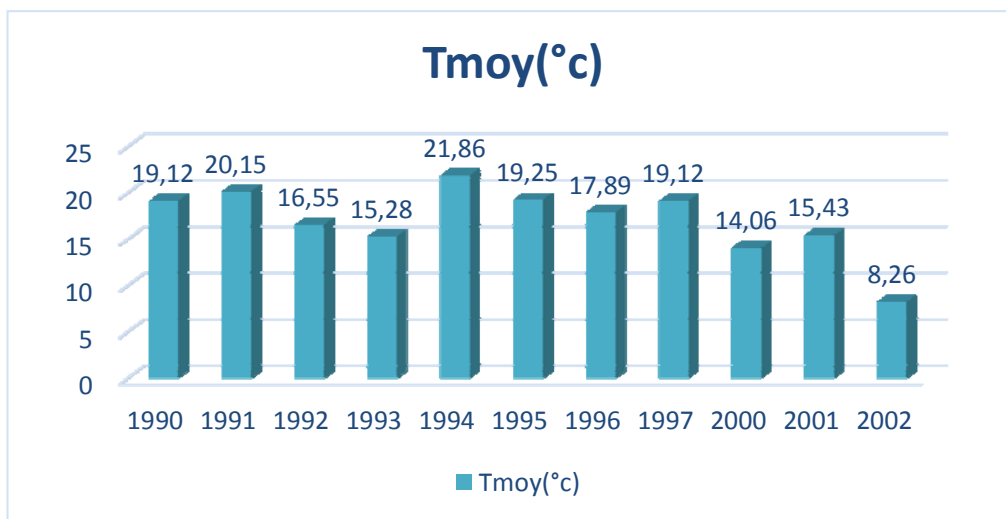


Figure n°10 – Variation des Températures moyennes
Période - 1990- 2002

II/-2 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.

On distingue :

Évapotranspiration potentielle ETP :

L'estimation de ce paramètre a été établie à l'aide de la formule de G.W.Thornthwaite.

L'agronome américain G.W. Thornthwaite proposa en 1948 une expression pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle en tenant compte seulement de la température mensuelle.

Le développement de cette expression donne la formule suivante :

$$ETP(m) = 16 * \left[\frac{10 * \bar{T}(m)}{I} \right]^a$$

- ETP(m) : l'évapotranspiration moyenne du mois m (m = 1 à 12) en mm,
- T : moyenne interannuelle des températures du mois en °C
- a : $0.016 * I + 0.5$
- I : indice thermique annuel

$$I = \sum_{m=1}^{12} i(m) \quad i(m) = \left[\frac{\bar{T}(m)}{5} \right]^{1.514}$$

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.

Ras el Aïn 1990-2005	sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév.	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août
T° Moy	25,72	18,54	15,4	12,12	12,1	12,9	14,33	15,54	18,24	20,99	23,61	25,28
ETP	120	61	44	31	30	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

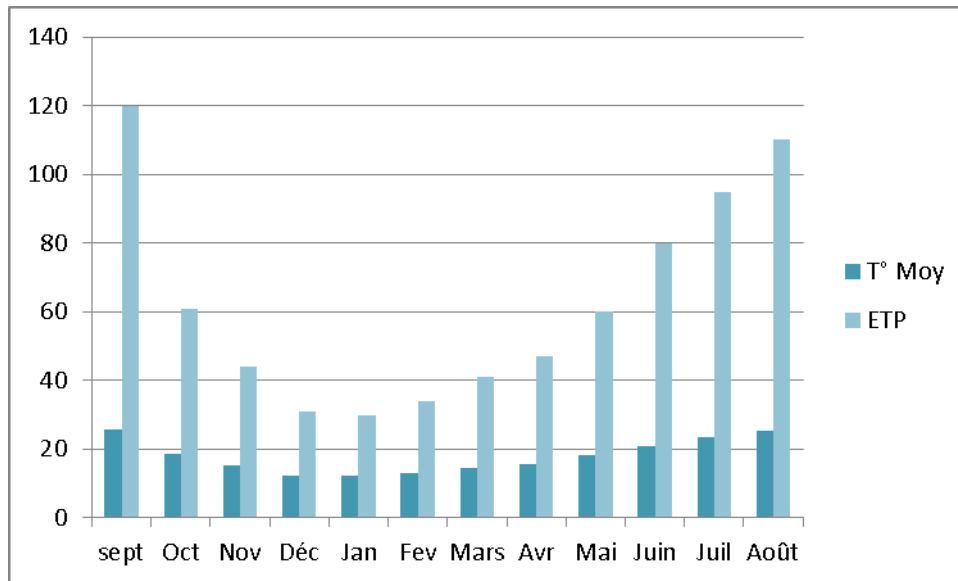


Figure n°11 - Variations de L'Évapotranspiration potentielle et Températures Moyennes mensuelles 1990-2005

Les valeurs de l'ETP calculées par la formule de **Thornthwaite** à l'échelle mensuelle sont en générale supérieure à la lame d'eau précipitée (Figure n°11).

III- 3 Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR) :

Elle peut se faire à l'aide de plusieurs formules parmi lesquelles, nous avons pris en considération la méthode de **Turc** :

L'ETR est calculée par l'expression suivante :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}}$$

Avec :

P : précipitation moyenne annuelle (mm) ; **P=338.3 mm**

T : température moyenne annuelle (C°) ; **T= 17.86 °C**

L : pouvoir évaporant, $L = 300 + 25T + 0,05T^3$

ETR : évapotranspiration réelle (mm).

$$ETR = 355 \text{ mm}$$

ETR représente **105 %** des précipitations.

III/- Les précipitations :

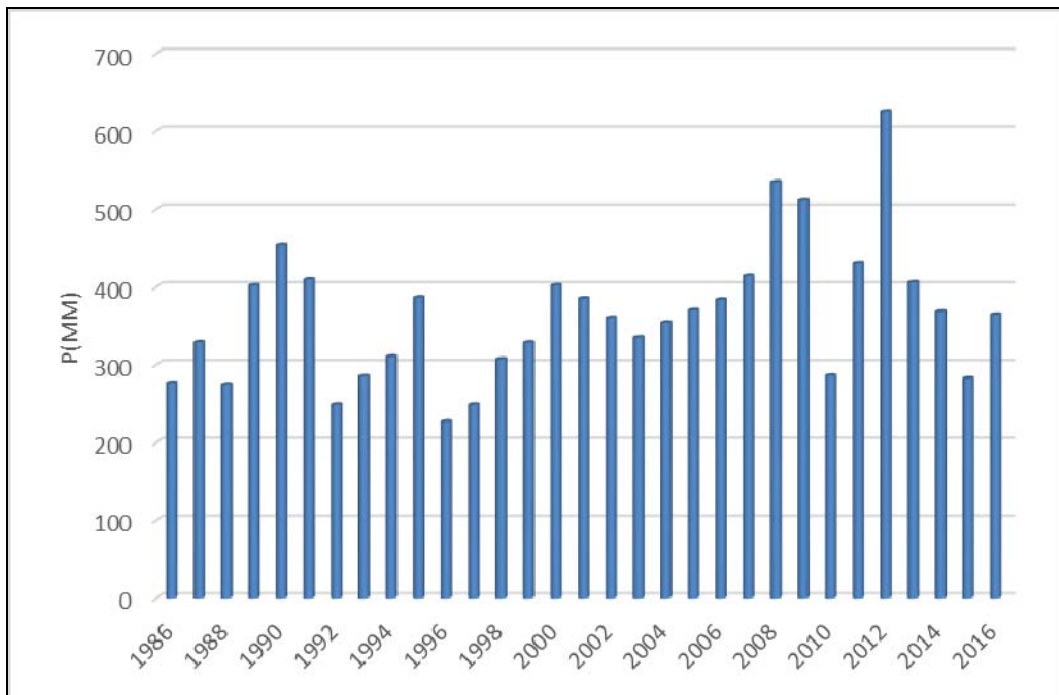
La connaissance des Données des précipitations pour la période d'observations de 1986 à 2016 fournies par l'ANRH, (Tableau n°3) permet en particulier de calculer la lame d'eau tombée sur la région de Ras el Aïn. Cette opération qui reste relativement délicate, nécessite la combinaison de différentes 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°12).

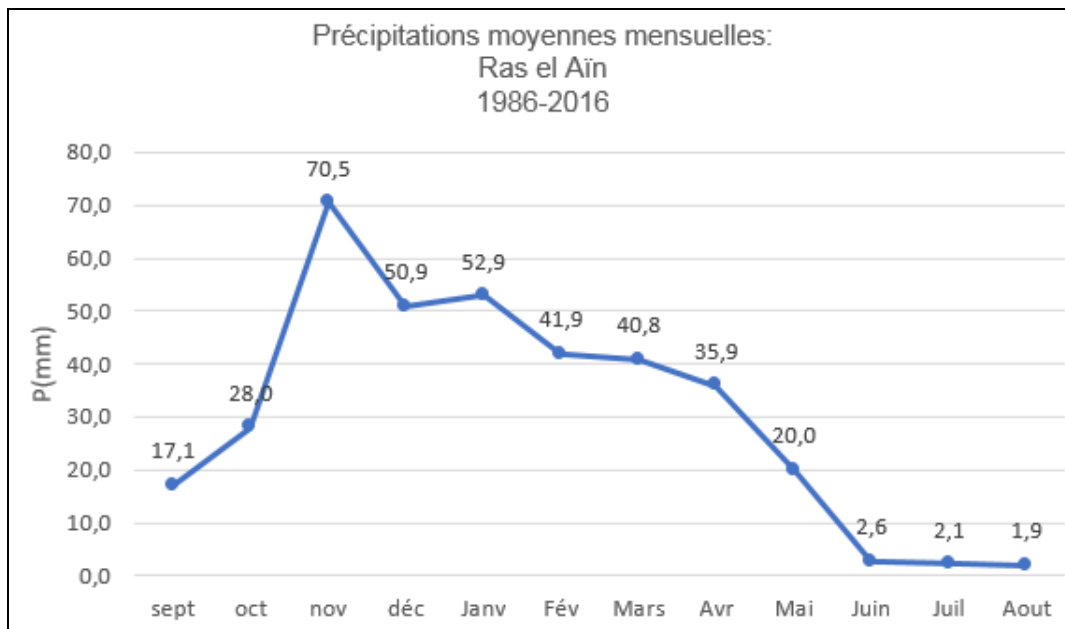
-Quant à la distribution des précipitations à l'échelle mensuelle (Figure n°13), elle accuse, un indice saisonnier de type **AHPE** (Automne, Hiver, Printemps, Été)

Année	P (mm)	Années	P(mm)
1986	276,6	2002	360,3
1987	329,2	2003	335,6
1988	274,5	2004	353,9
1989	401,9	2005	370,1
1990	453,1	2006	383,7
1991	409,7	2007	414,6
1992	249,4	2008	534,9
1993	284,9	2009	510,8
1994	310,4	2010	285,8
1995	386,5	2011	429,9
1996	226,8	2012	624,4
1997	249,3	2013	406,0
1998	307,2	2014	368,2
1999	328,8	2015	282,3
2000	402,0	2016	364,5
2001	385,2		

Tableau n°3–Précipitations Annuelles
Bassin de Ras el Aïn



**Figure n° 12 - Précipitations moyennes Annuelles
Bassin de Ras el Aïn
1986-2016**



**Figure n°13 – Précipitations moyennes mensuelles
1986-2016**

IV/- Régime Climatique :

Le climat dans une région peut être estimé à travers certains paramètres qui mettent en Relation la température et les précipitations caractérisant cette région.

IV/-1 Indice xérothermique :

Cet indice xérothermique appelé aussi diagramme ombrothermique de Gaussen, il définit le Mois sec par la comparaison entre le total des précipitations de ce mois en mm et le double de sa température.

$$P = 2T$$

P : Précipitation mensuelle (mm).

T : Température moyenne mensuelle (°c).

D'après la formule, un mois sec est celui où le total de précipitations est égal ou inférieur au double de la température moyenne mensuelle exprimée en degrés Celsius. Quand la courbe de température est au-dessus de celle des précipitations, la zone délimitée représente la zone sèche.

IV/- 2 Diagramme Ombrothermique :

Le diagramme Ombrothermique (Figure n°14) permet de déterminer la période sèche et la période humide de l'année. Il définit la période humide comme étant celle où les précipitations mensuelles dépassent le double de la température mensuelle, tandis que la période sèche est celle où le double des températures mensuelles dépasse les précipitations mensuelles.

Sur ce diagramme (voir figure n°14 ci-dessous), nous constatons que du mois d'avril au mois d'octobre ce milieu connaît une période de sécheresse.

Les températures sont assez élevées à plus de 25°C l'été, alors que les précipitations sont quasi inexistantes avec un minimum atteint au mois de juillet.

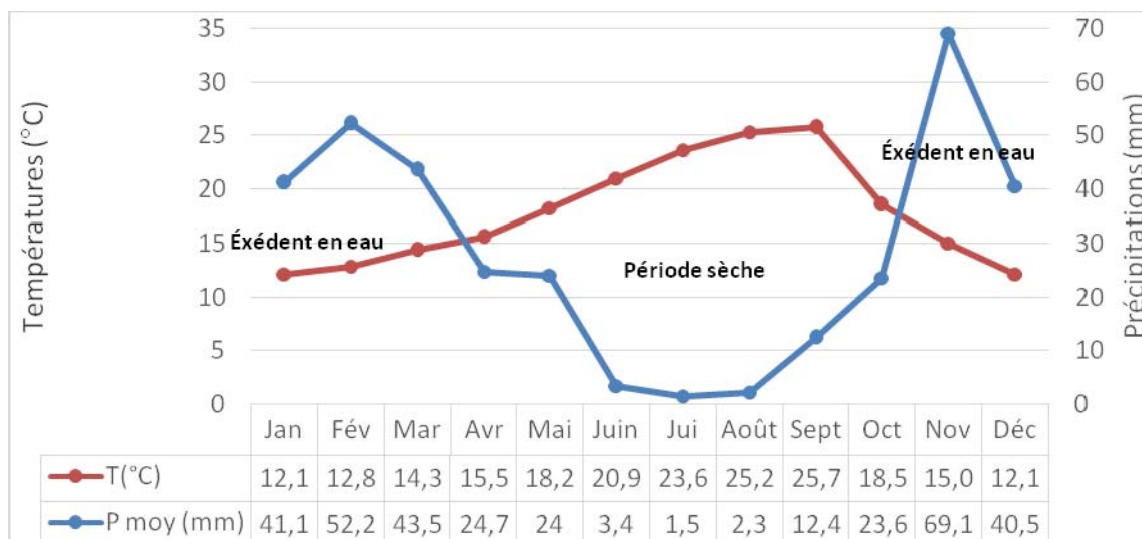


Figure n°14 - Diagramme Ombrothermique

1990-2005

IV/- 3 Indice de Martonne :

Cet indice est fonction des températures et des précipitations ; il est calculé par la relation suivante :

$$I = P / (T + 10)$$

P : Précipitations moyenne annuelle (mm).

T : Température moyenne annuelle (°C).

Suivant les valeurs de I, De Martonne a établi la classification suivante :

Valeur de I	Type de climat
I < 5	Hyper aride
5 < I < 10	Aride
10 < I < 20	Semi-aride
20 < I < 30	Semi-humide
30 < I < 40	Humide
40 < I < 55	Humide

Tableau n°4 - Classification de Martonne de Climat

Pour la période de 1990 à 2005 :

P moy = 338.3 mm

T moy = 17.86 °c

I = 12.14 Le climat de Ras-el-Aïn est de type semi-arid

IV/- 4 Bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite

L'utilisation des différents paramètres hydro-climatiques calculés, auparavant, permet de fournir une base de données nécessaire pour le calcul de l'ETR par la méthode de Thornthwaite.

Cette méthode est basée sur la notion RFU qui est défini comme étant la réserve en eau facilement utilisable et qui dépend de la saturation du sol et des précipitations.

La quantité d'eau stockée dans la RFU est bornée par 0 (la RFU vide) et RFU max (capacité maximale de la RFU qui est de l'ordre de 0 à 200mm suivant les sols et sous-sols considérés, en effet dans les zones arides à semi-arides, le sol est considéré saturé quand il absorbe une lame d'eau équivalente à des précipitations de 50mm (Archambault et al, 1975).

Pour établir ce bilan, après avoir donné la RFU maximale (RFU max=50mm), il faut connaître l'état de la RFU à la fin du mois antérieur au début de l'établissement du bilan. On tient alors l'un des deux raisonnements suivants :

- Si la RFU doit être pleine un jour, ce sera à la fin de la période durant laquelle on a pu la remplir, c'est-à-dire à la fin du dernier mois ou $P > ETP$.
- Si la RFU doit être vide un jour, ce sera à la fin de la période durant laquelle on a pu la vider, c'est-à-dire à la fin du dernier mois ou $P < ETP$.

On admet que la satisfaction de l'ETP a priorité sur l'écoulement, c'est-à-dire qu'avant qu'il n'y ait d'écoulement, il faut avoir satisfait le pouvoir évaporant (ETP=ETR).

Par ailleurs, la complétion de la RFU est également prioritaire sur l'écoulement. On établit ainsi un bilan à l'échelle mensuelle, à partir de la pluie du mois P, de l'ETP et de la RFU :

➤ Si $P > ETP$ $ETR=ETP$:

Si $(P-ETP) + RFU_{i-1} < RFU_{max}$ alors $RFU_i = (P-ETP) + RFU_{i-1}$ et $Exc=0$.

Si $(P-ETP) + RFU_{i-1} > RFU_{max}$ alors $RFU_i = RFU_{max}$ et $Exc = (P-ETP) + RFU_{i-1} - RFU_{max}$

Dans ce cas, le surplus des précipitations alimentera l'infiltration et/ou le ruissellement.

➤ **Si $P < ETP$:**

On évapore toute la pluie et on prend à la **RFU** (jusqu'à la vider) l'eau nécessaire pour satisfaire l'**ETR** soit :

$$\text{Si } RFU_{i-1} \geq ETP - P \text{ alors } ETR = ETP, RFU_i = RFU_{i-1} + (P - ETR)$$

$$\text{Si } RFU_{i-1} < ETP - P \text{ alors } ETR = P + RFU_{i-1}, RFU_i = 0$$

Si malgré l'apport de la RFU, l'ETR reste toujours inférieure à l'ETP : il y aura déficit agricole (**DA**) tel que :

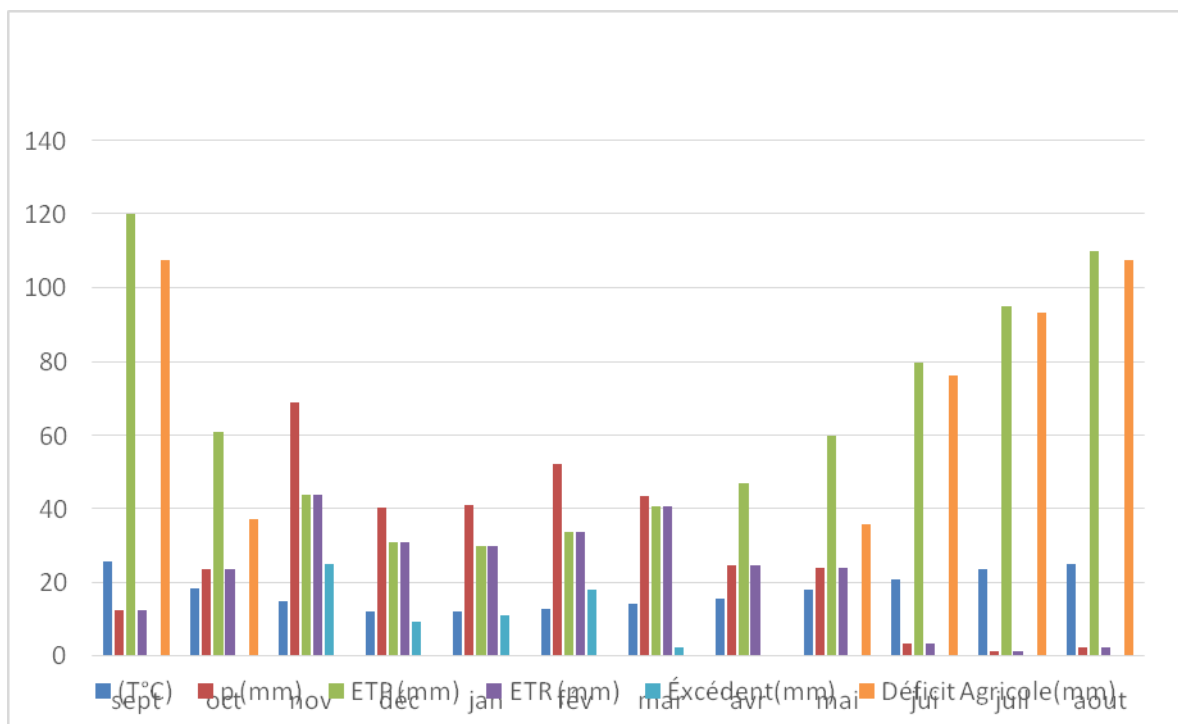
$$DA = ETP_i - (P_i + RFU_{i-1})$$

(i est le mois en cours et i-1 représente le mois précédent).

Les résultats de l'ETR sont représentés sur le Tableau n°5 suivants :

Ras el Ain 1990-2005	sept	oct	nov	déc	jan	fév	mar	avr	mai	jui	juil	aout
(T°C)	25,7	18,5	15	12,11	12,1	12,84	14,33	15,5	18,24	21	23,6	25,3
P (mm)	12,4	23,6	69,1	40,5	41,1	52,2	43,5	24,7	24	3,4	1,5	2,3
ETP (mm)	120	61	44	31	30	34	41	47	60	80	95	110
ETR (mm)	12,4	23,6	44	31	30	34	41	24,7	24	3,4	1,5	2,3
Excédent (mm)	0	0	25,1	9,5	11,1	18,2	2,5	0	0	0	0	0
Déficit Agricole (mm)	108	37,4	0	0	0	0	0	0	36	76,6	93,5	108

Tableau n° 5 - Calcul de l'ETR par la méthode de comparaison de Thornthwaite 1990-2005



**Figure n°15 - Variation des différents termes du bilan Hydrique
1990-2005**

Méthode	Thorntwaithe (page 30)	Turc (page24)	Moyenne
ETR (mm)	272	355 mm	313 mm

**Tableau n°6 – la Valeur moyenne de l'ETR
1990-2005**

Termes	P	ETP	ETR	EXCEDENT
Valeurs (mm)	338.3	753	272	66.3
Taux%	100	222.6	80.4	19.6

**Tableau n°7 - Calcul Totaux des principaux paramètres Hydriques
1990-2005**

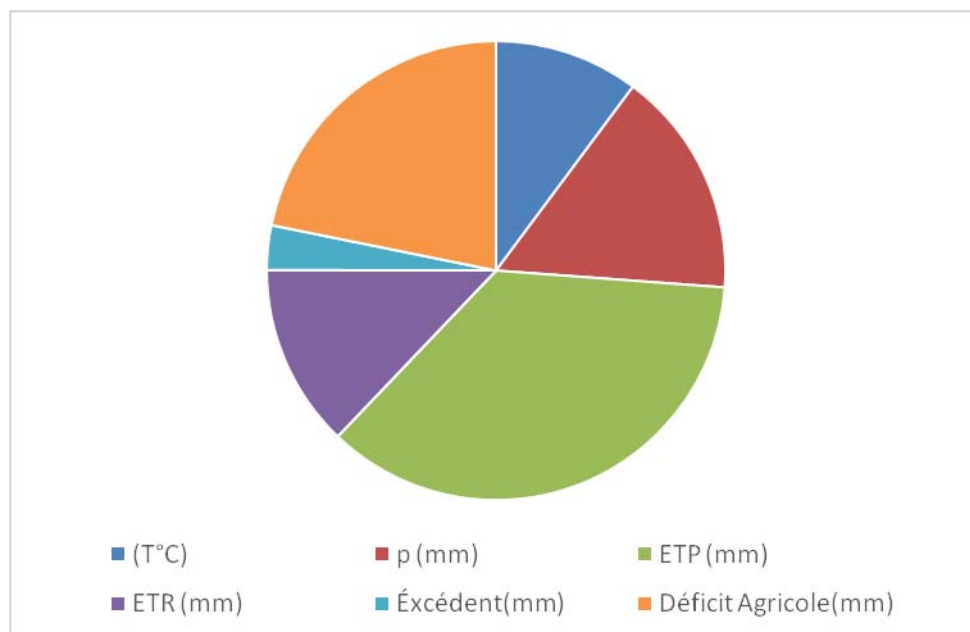


Figure n°16 - Bilan Hydrique de la station de Ras-el-Aïn
1995-2005

V/- Discussion des résultats :

De l'examen l'analyse de ce bilan, nous retenons les points suivants :

- **De Avril jusqu' à Octobre** : Les précipitations (P) sont inférieures à l'ETP, la réserve du sol est nulle. L'ETR est égale à P.
P – ETP donne des valeurs négatives, qui correspondent au déficit hydrique du mois.
- **De Novembre jusqu' à Janvier** : Les précipitations sont supérieures à l'ETP, l'ETR est égale à l'ETP, la différence P – ETP sert à la reconstitution des réserves du sol.
- **De Février jusqu'à Mars** : Les précipitations sont supérieures à l'ETP, l'ETR est égale à l'ETP, la réserve utile est portée à son maximum (50 mm). La quantité de l'excédent dépassant les réserves cumulées, elles constituent un surplus disponible au ruissellement et à l'infiltration.

VI/- Conclusion :

En se basant sur les données climatiques concernant la station de Ras-el-Aïn fournies par L'agence Nationale des recherches hydrauliques d'Oran.

A partir des différents calculs des formules appliquées, le calcul du bilan, on conclut que le Bassin de Ras-el-Aïn appartient à l'étage bioclimatique semi-aride avec une moyenne pluviométrique annuelle de 300 mm, caractérisée par deux principales saisons :

Une saison sèche allant du mois de Mai jusqu'au mois de Septembre où l'irrigation est indispensable aux cultures.

Une saison humide allant du mois de Novembre au mois de d'Avril, les températures sont modérément chaudes dont, les mois les plus chauds sont les mois de Juillet et Août.

L'Évapotranspiration représente une grande partie des précipitations allant jusqu'à 222% de cette dernière.

On peut dire que le bassin de Ras-el-Aïn est une zone à potentiel hydrique relativement important, qui permet de développer l'arboriculture fruitière et les cultures maraichères. Le Bassin de Ras-el-Aïn est centré sur des formations calcaires douées d'une forte perméabilité, de fissures atteignant parfois le stade de karstification.

Cette assise carbonatée constitue l'essentiel de l'impluvium du bassin recevant les apports par les précipitations nettes et occultes.

Toutes ces conditions concourent à une meilleure réalimentation de l'Aquifère des calcaires de Ras-el-Aïn.

En effet, le débit important à l'exutoire de la nappe (Source de Ras-el-Aïn) enregistre 70 à 80 L/s.

CHAPITRE III
HYDROGÉOLOGIE

Chapitre III

HYDROGEOLOGIE

I/- 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 centrée 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.

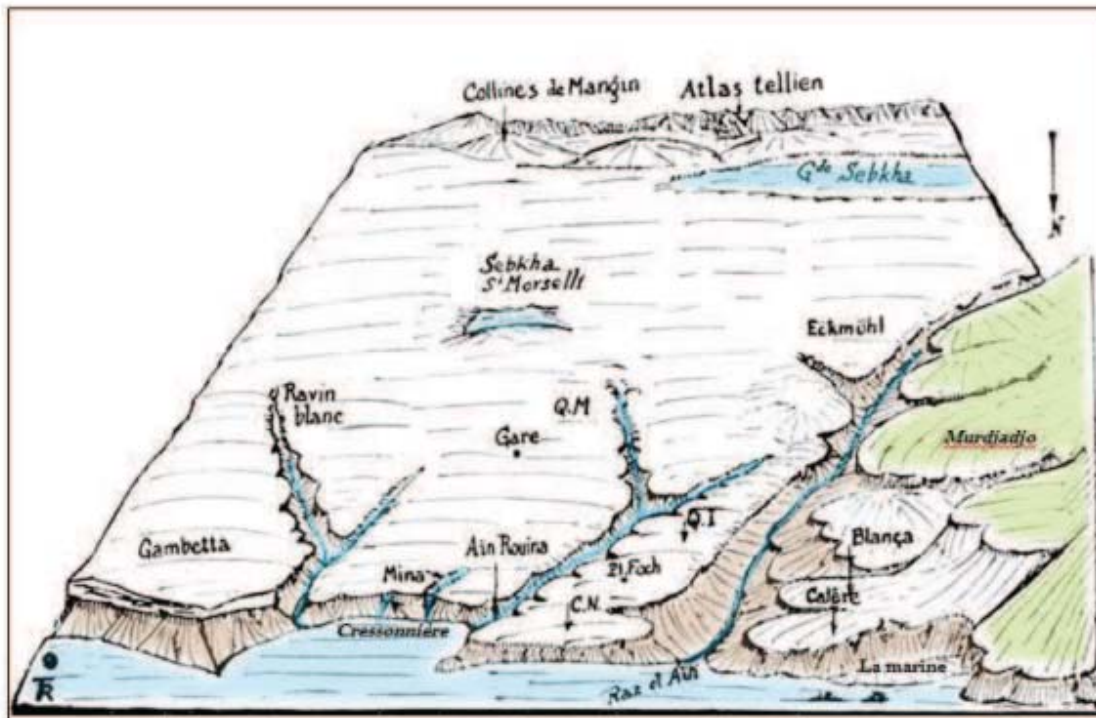


Figure n°17- Le site d'Oran représenté (Robert Thinthoin 1956)
(Mise en forme par F. Kettaf 2013)

C.N : Château Neuf

Q.I : Quartier Juif

Q.M : Principal quartier musulman

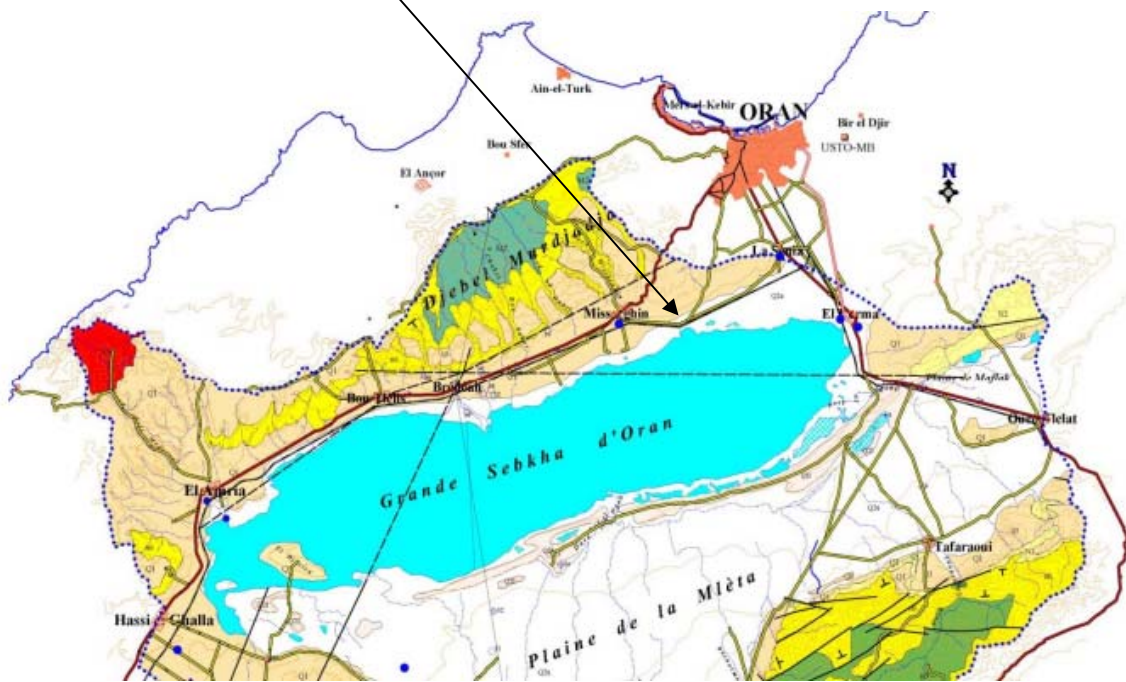
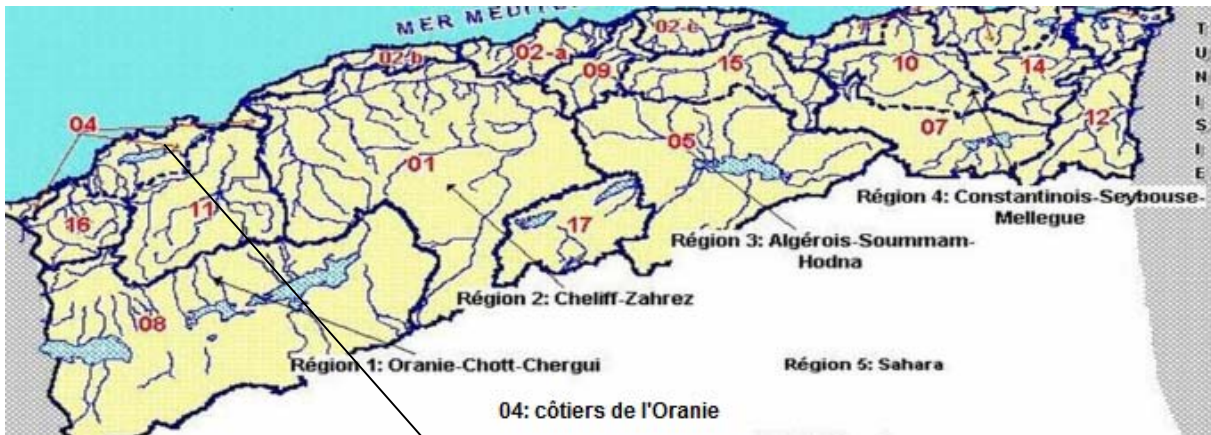
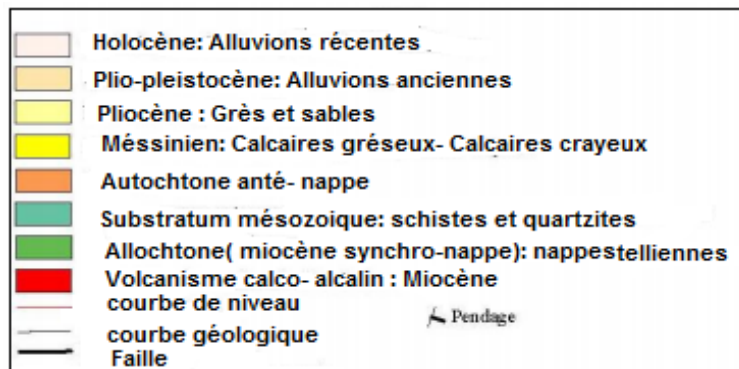
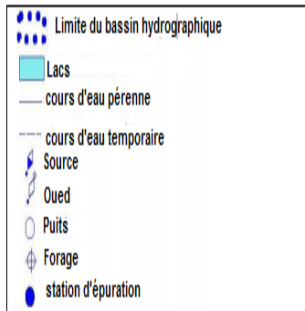


Figure n°18 - Carte du système Aquifère de la région d'étude

Échelle : 0 10 km



III/- HYDROGÉOLOGIE :

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-quatérnaires) 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°19, Figure n°20)

- 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 135km².

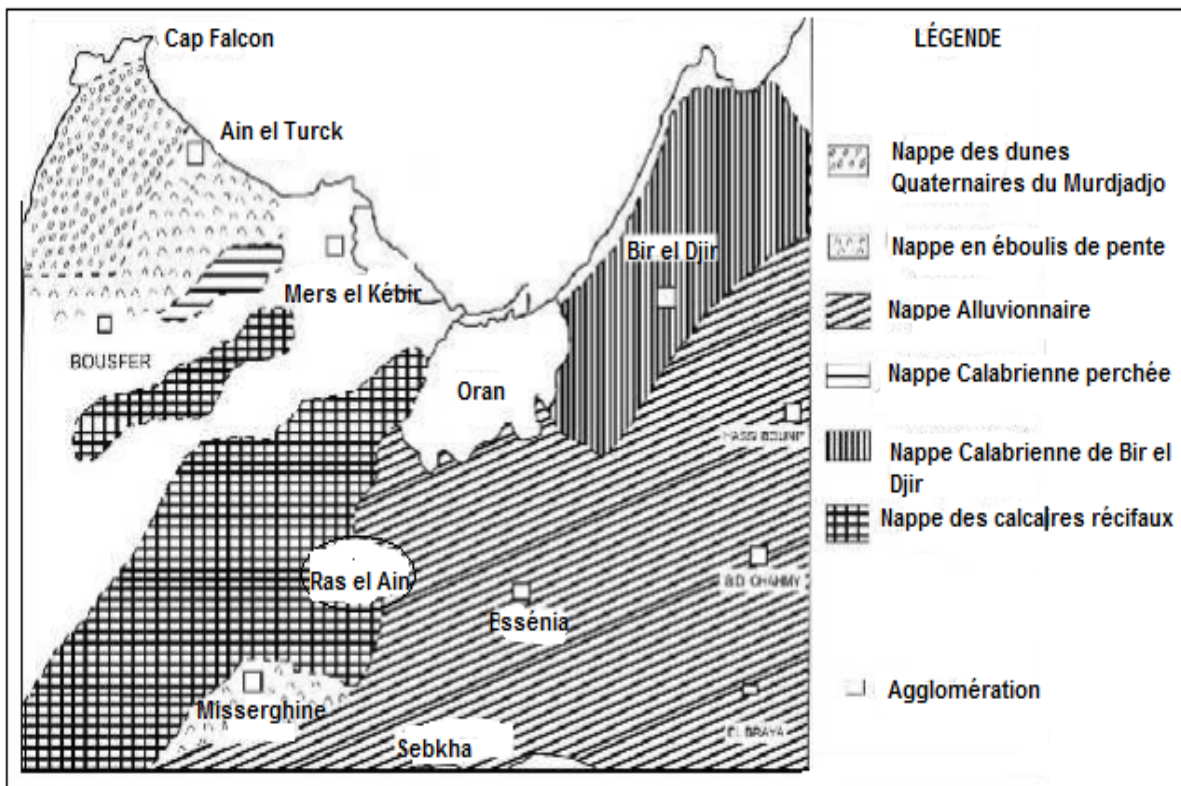


Figure n°19 - Principaux Aquifères du secteur d'étude (d'après A. Joseph)

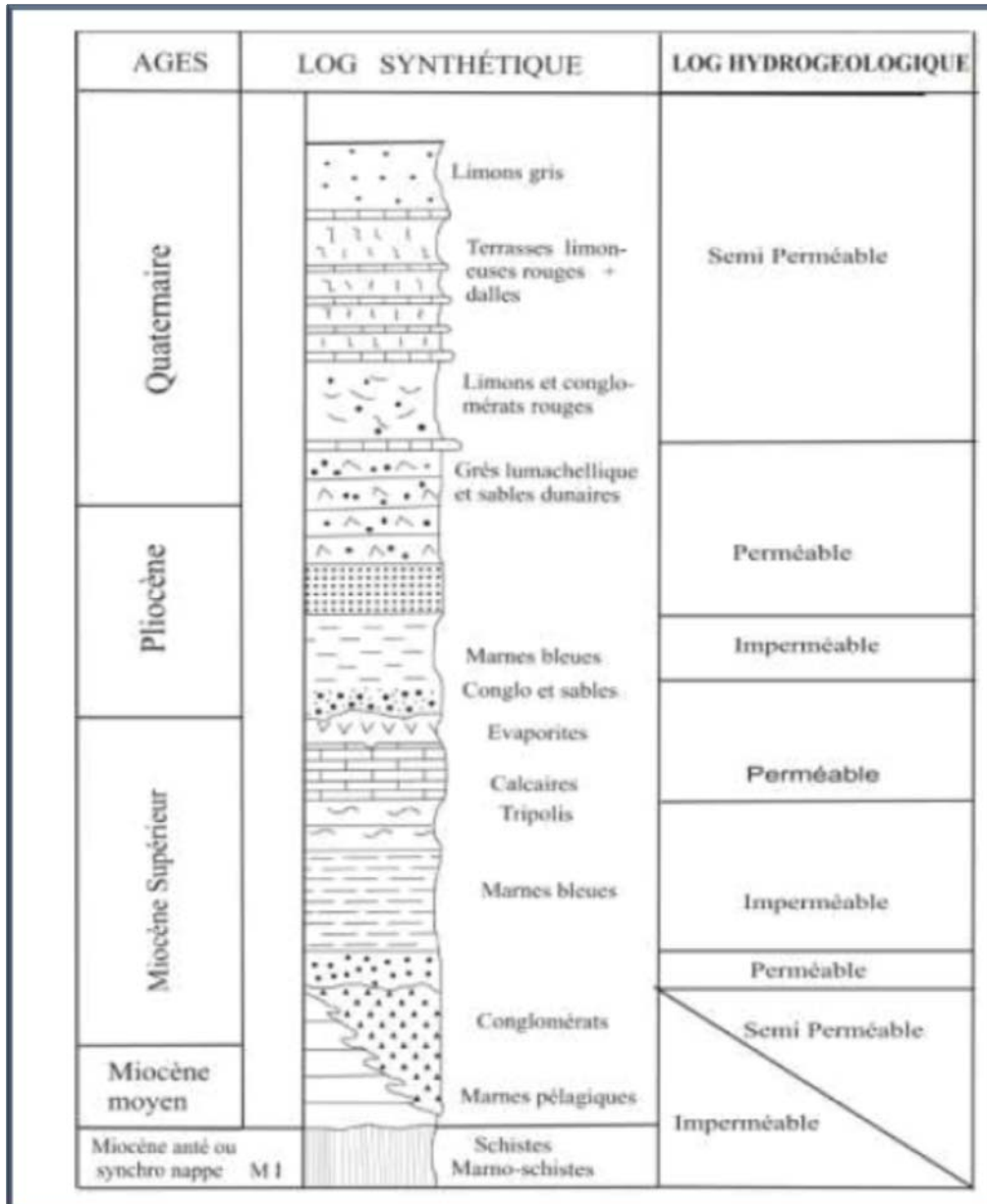


Figure n°20 - Log Hydrogéologique de la région d'Oran
(Hassani.M.I., 1987)

III/ Description des principaux aquifères du secteur d'étude :

Sur le secteur d'étude, on distingue :

III/-1L'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 Aïn, à l'Est, jusqu'à Boutlelis, à l'Ouest.

Il constitue un impluvium de 135 km² 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 méssiniens 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° 21).

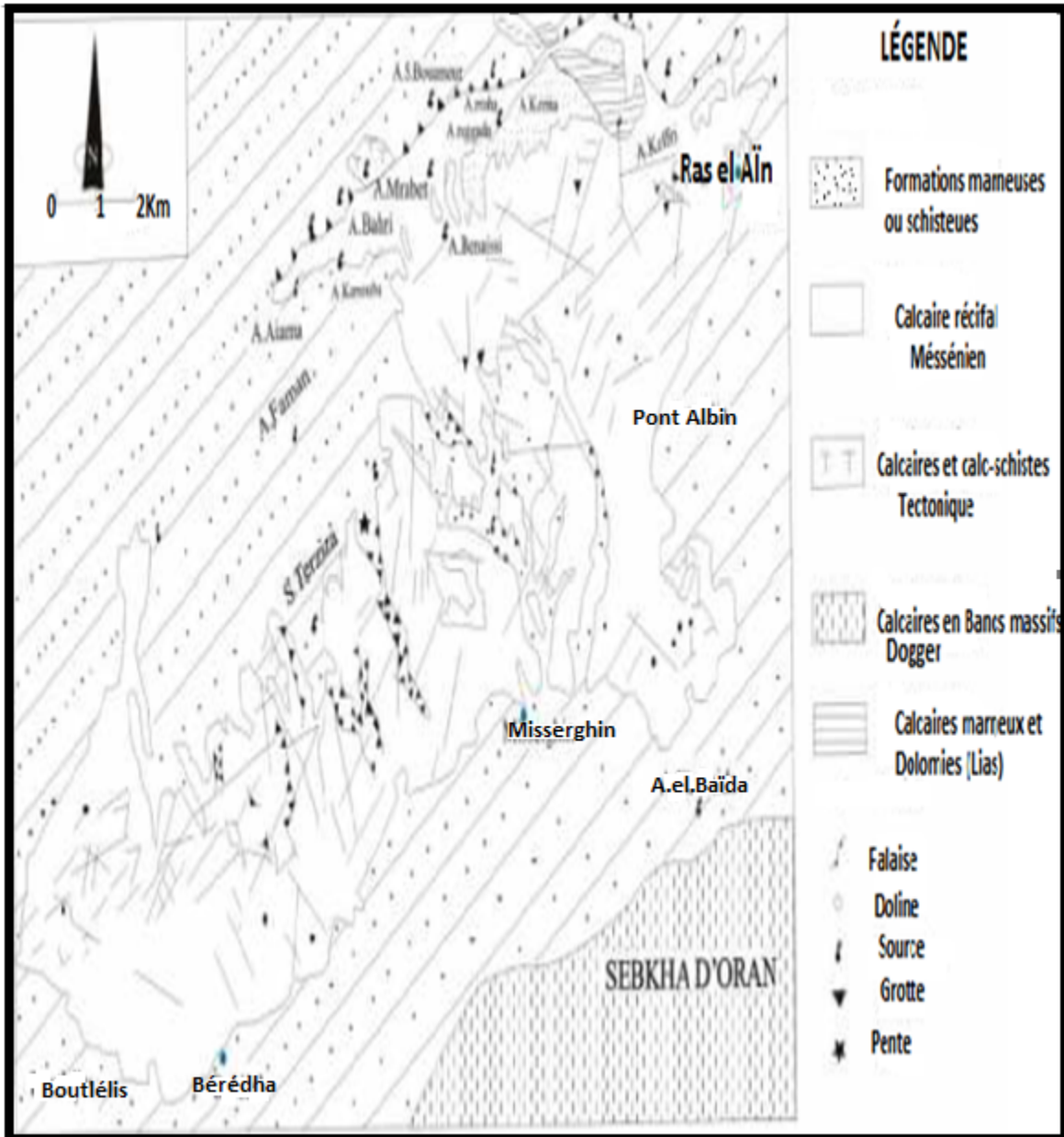


Figure n°21 - Carte de localisation des sources et de la fracturation des calcaires messéniens (Hassani.1987)

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°22)

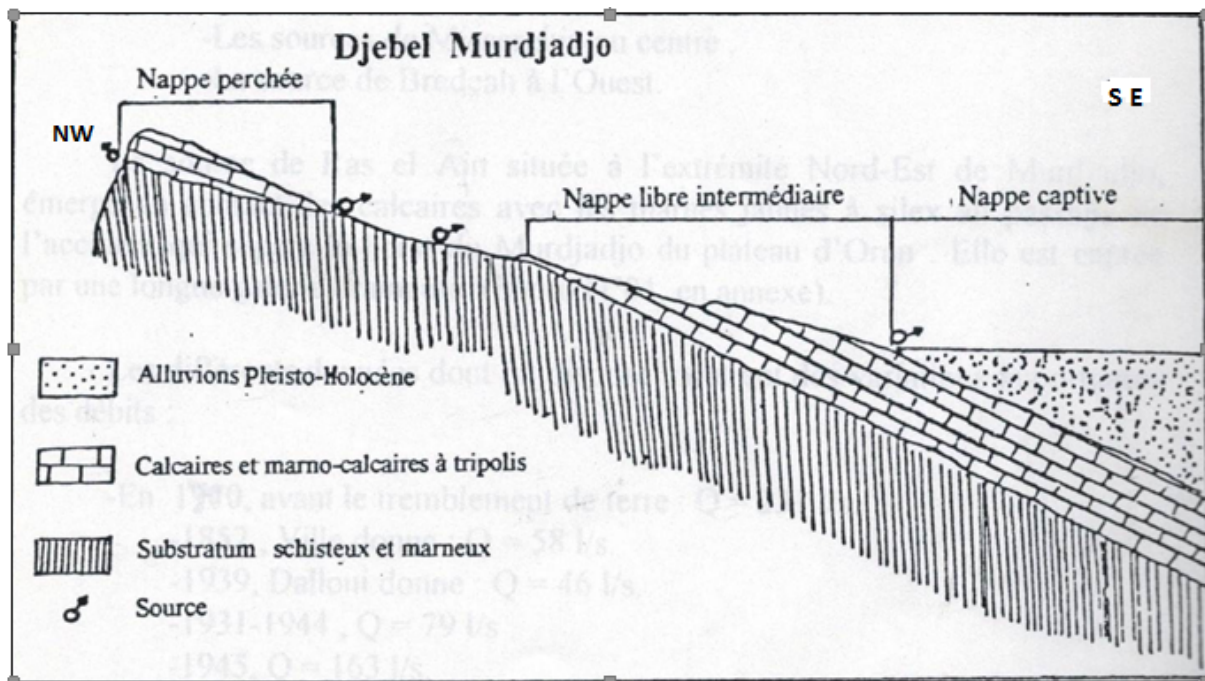


Figure n°22- Coupe Hydrogéologique Schématique du Jebel Murdjadjo
(M.I. Hassani, 1987)

III/-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 Sebkha.

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

III/-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 polio-quaternaire sus-jacente.

III/-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 m³/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.

N.B : La source de Ras-el-Aïn n'est pas en utilisation actuellement, parce que ces eaux sont impropres à la consommation, suite à une pollution généralisée de la nappe par les Hydrocarbures.

III/-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...

III/-3 L'Aquifère des alluvions plio–quaternaires :

L'Aquifère du remplissage plio-quaternaire 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.

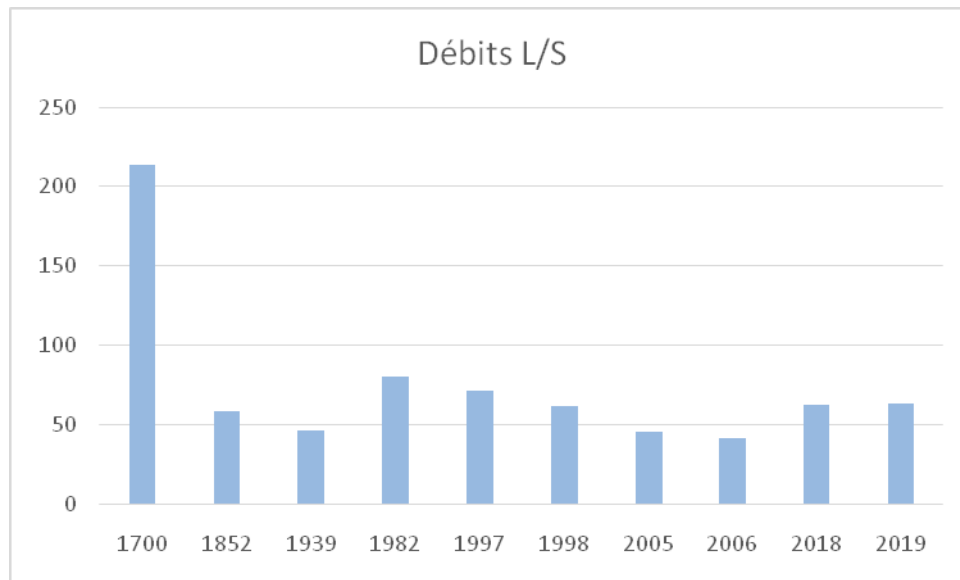
L'Aquifère Plio–quaternaire renferme une nappe d'eau peu profonde. Son alimentation se fait essentiellement par :

- 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.

IV/- Fluctuations du débit de la source de Ras-el-Aïn :

Années	Débits L/S
1700	213
1852	58
1939	46
1982	80
1997	71
1998	61
2005	45
2006	41
2018	62
2019	63

Tableau n°8- Les Débits Enregistrés à la Source Ras-el-Aïn (1700-2019)



**Figure n°23- Fluctuations des débits de la source Ras-el-Aïn
1700-2019**

V/- Piézométrie du secteur d'étude :

VI-1 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°24).

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°25 et n°27).

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 et 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).

Point d'eau	Nature	Coordonnées Lambert		Hydrogéologie Z Sol (m)	N-P Avril 2018	N-P Mai 2007
		X	Y			
20	PUITS	192,450	268,000	218,222	173,542	175,762
24	PUITS	192,440	267,240	184,463	145,923	146,713
40	PUITS	194,225	269,100	161,578	109,578	110,268
52	PUITS	194,180	269,650	171,121	108,791	109,271
53	PUITS	194,350	269,550	177,036	109,786	110,626
56	PUITS	193,050	267,550	182,085	136,085	138,735
60	PUITS	194,650	269,300	147,357	104,097	105,177
63	PUITS	195,600	270,920	117,99	90,100	91,79
67	PUITS	195,675	271,100	100,889	89,349	90,989
69	PUITS	195,850	271,150	88,096	65,596	10,196
71	PUITS	195,400	270,740	121,641	92,651	92,751
80	PUITS	194,800	269,780	144,17	102,120	103,99
82	PUITS	194,100	268,700	161,809	137,157	139,606
94	SOURCE	196,130	271,250	75,489		75,489
95	PUITS	195,900	270,050	132,506	100,666	103,826
96	PUITS	196,100	270,600	130,175	99,845	102,785
97	PUITS	194,950	266,450	151,45	111,020	115,550
98	PUITS	195,400	267,760	134,702	99,522	100,562
99	FORAGE	195,260	266,060	166,186	108,196	110,556
100	PUITS	195,400	270,500	145,892	91,522	92,942
101	FORAGE	195,000	270,575	150,777	93,729	94,317
102	FORAGE	193,400	267,875	170,818	132,548	134,668
103	PUITS	193,900	267,900	165,133	118,993	120,743
104	PUITS	195,260	269,200	131,967	103,317	105,427
105	PUITS	195,120	267,300	146,544	105,294	106,704
106	PUITS	196,600	270,800	126,537	95,789	97,397
107	PUITS	194,700	267,500	149,192	108,192	108,292
108	PUITS	195,240	269,920	141,404	104,764	106,774
109	PUITS	196,560	269,620	118,936	89,286	93,536
110	PUITS	193,300	269,100	269,100	240,210	160,626
114	PUITS	196,240	268,300	123,700	89,700	89,800
121	PUITS	196,8	269,35	107,12	78,570	78,520

Tableau n°9 - Niveaux piézométriques mensuels du Bassin de Ras-el-Aïn

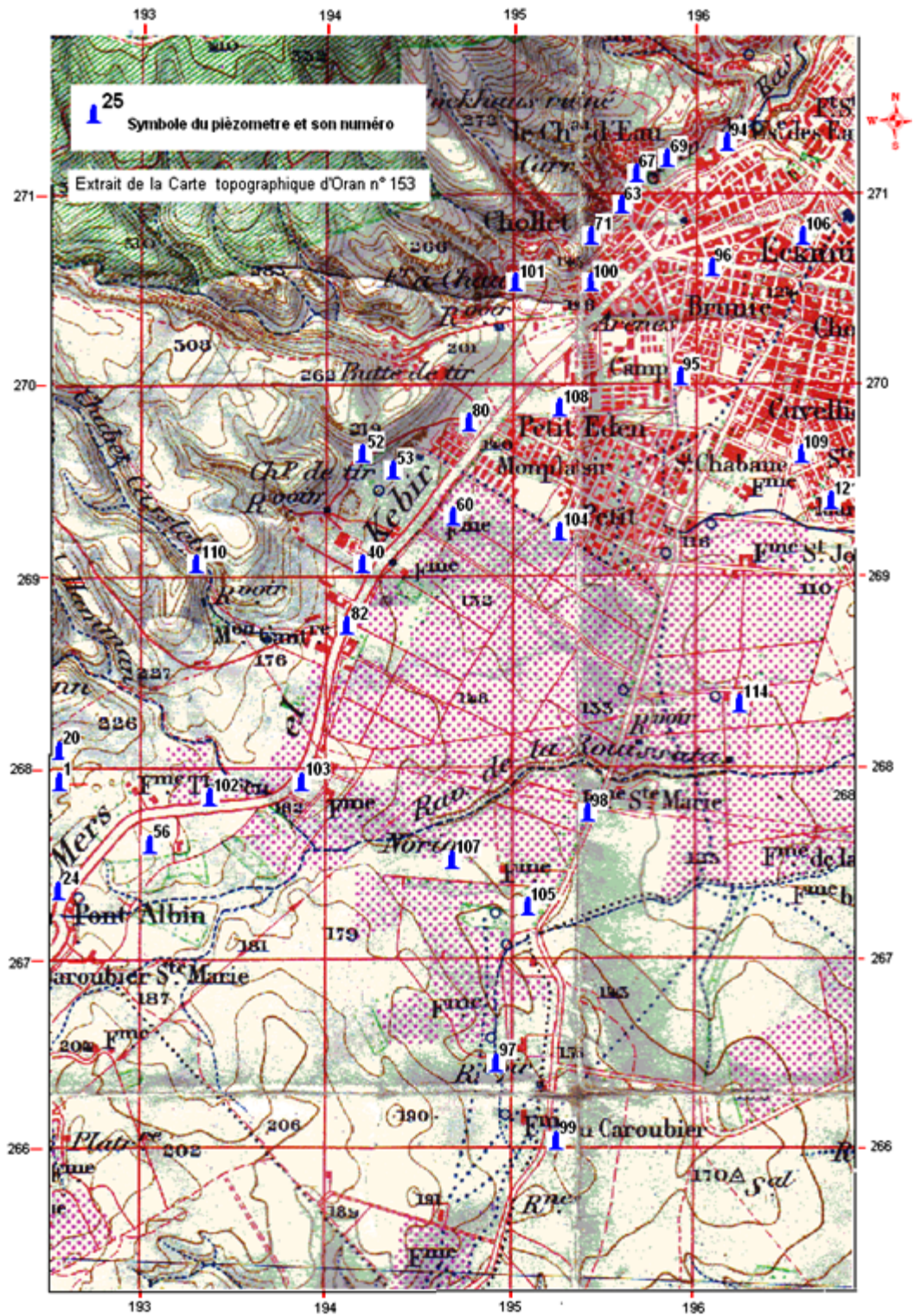


Figure n°24 - Carte de Localisation des Piézomètres du Bassin de Ras-el-Aïn
(2007-2018) Échelle : 1/25000

VI/- Les Paramètres Hydrodynamiques :

Il s'agit de paramètres physiques définissant quantitativement le comportement d'un milieu ou d'un corps conducteur vis-à-vis d'un fluide, c'est-à-dire son aptitude à le contenir, à permettre son écoulement et à régir les propagations d'influence.

Les principaux paramètres régissant l'écoulement des eaux souterraines sont :

La transmissivité, la perméabilité, le coefficient d'emmagasinement et la porosité efficace.

Certains paramètres sont indispensables pour connaître les débits exploitables par un forage. Ils peuvent être déterminés au laboratoire ou sur le terrain, notamment lors de test de pompes dans un puits.

VI/-1 La porosité :

Elle s'exprime par le rapport du volume des vides au volume total du milieu (ex : 0,3 ou 30%).

La porosité totale ne dépend pas de la taille des grains mais diminue avec :

L'hétérogénéité des grains

La porosité efficace représente le volume d'eau mobilisable par gravité, soit l'« eau libre » (non liée aux grains de la roche par capillarité) et circulant dans les pores « ouverts ».

D'une manière générale, les roches meubles sont poreuses « en petit » (porosité d'interstice) et les roches compactes poreuses « en grand » (porosité de fissures et de karst).

	Porosité totale	porosité efficace
sables	20% à 40%	10% à 25%
craie	10% à 40%	1% à 5%
Calcaires massifs fissurés	1% à 10%	1% à 5%
Argile	40% à 50%	1% à 2%

Tableau n°10

Quelques ordres de grandeurs des valeurs de porosités totale et efficace

La nappe des calcaires du Murdjadjo est drainée par la source de Ras-el-Aïn à l'Est, cette source émerge des calcaires marno-calcaires et des marnes jaunes à silex qui sépare le Horst Murdjadjo du plateau d'Oran. Cet Aquifère a sans nul doute une

Porosité qui varie entre 1% à 5%, il lui associé une porosité en grand, du fait de son importante Karstification.

VI/2 Le coefficient de perméabilité :

Darcy propose une loi expérimentale à la suite d'observations d'écoulements d'eau sous pression dans une conduite verticale remplie de sable.

La **vitesse apparente v** d'écoulement de l'eau (débit par unité de surface) est proportionnelle à la perte de charge et inversement proportionnelle à la hauteur de la conduite.

$$v = ki$$

k coefficient de perméabilité du sol en [m/s]

La perméabilité (**conduction hydraulique**) représente la vitesse avec laquelle l'eau traverse une unité de section perpendiculaire par rapport au sens du courant d'un milieu poreux sous un gradient hydraulique unité à 20°C.

$$Q = vS = kSi \text{ En m}^3/\text{sec}$$

Q : débit d'écoulement

v : vitesse d'écoulement en m/s ;

S : section traversée par l'écoulement en m² ;

k : perméabilité de Darcy m³/sec ;

i : gradient hydraulique.

La loi de Darcy est valable sous 4 conditions : continuité, isotropie et homogénéité, du réservoir, et écoulement laminaire

Roches	Coefficient de perméabilité
Gravier	10 ⁻² m/s
Sable	10 ⁻² à 10 ⁻⁵ m/s
Craie	10 ⁻³ à 10 ⁻⁵ m/s
Argile	10 ⁻⁹ à 10 ⁻¹³ m/s

Tableau n° 11 - Quelques ordres de grandeurs de coefficients de perméabilité

Concernant les roches compactes et fissurées, représentatives du Bassin de Ras el Aïn (perméabilité en grand), les valeurs perméabilité sont extrêmement variables.

VI/-3 La Transmissivité :

C'est le volume d'eau qui traverse une tranche verticale de 1 m de large sur toute la hauteur de l'aquifère sous un gradient hydraulique unitaire pendant 1 seconde à 20°C.

Pour l'utilisation d'un forage, l'aquifère devra satisfaire au moins 12 m³/jour pour une utilisation domestique et 125 m³/jour pour une utilisation industrielle, municipale ou pour l'irrigation.

$$T = k.e \text{ m}^2/\text{sec}$$

k : perméabilité
e : épaisseur de l'aquifère.

Concernant notre secteur d'étude, nous avons repris les données de Transmissivité enregistrées en 1986 (tableau -5), pour les régions situées au voisinage de la source de Ras el Aïn. Nous n'avons pas des données réactualisées. L'aquifère profond, semblerait être situé au niveau de Aïn el Beïda, les drains sont largement transmissifs avec une porosité en grand, caractérisant, ainsi un Aquifère Kastique.(Tableau n°12)

Région	Transmissivité(m ² /s)	Aquifère capté
Ain el Beida	2,5 10 ⁻¹	calcaire très fissuré
Pont Albin	2,1 10 ⁻³	calcaire gréseux
Les Amandiers	7 10 ⁻⁴	calcaire marneux

Tableau n° 12 – Transmissivité des Aquifères du bassin de Ras-el-Aïn 2001

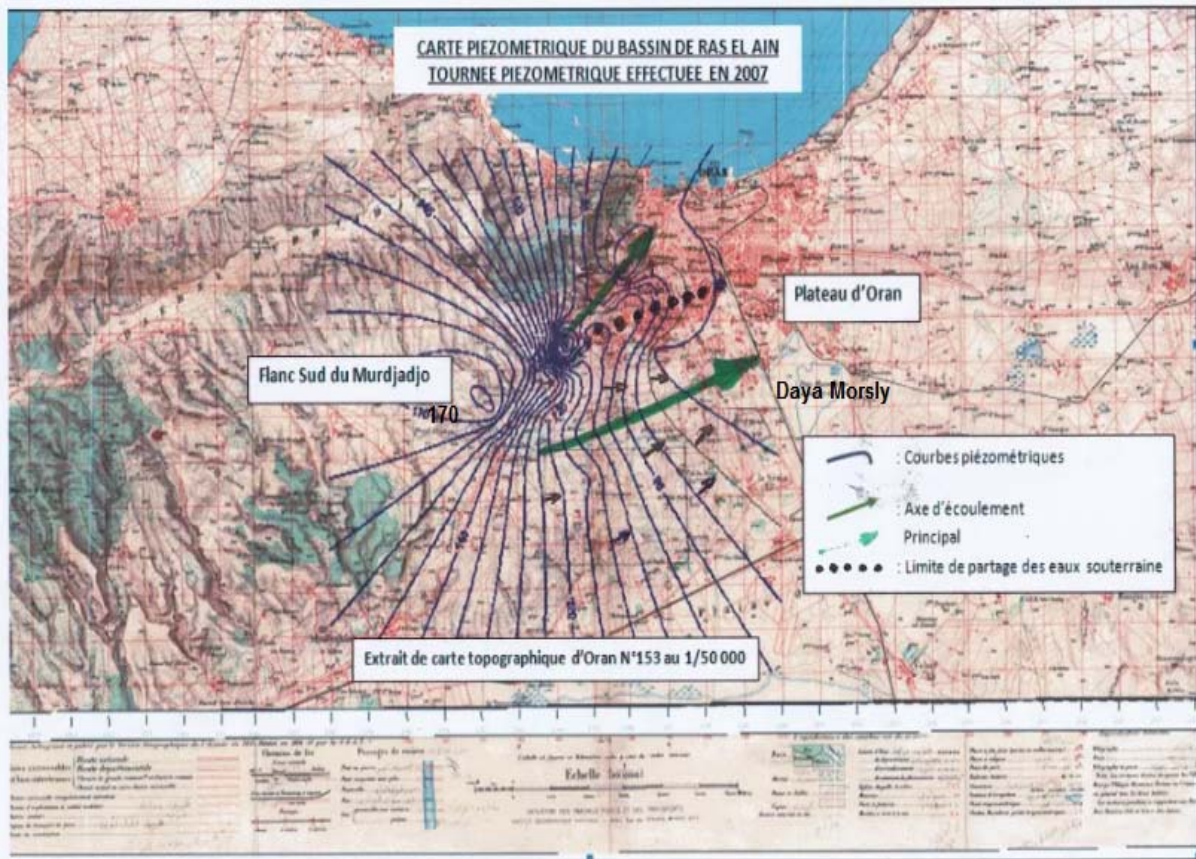


Figure n°25- Carte piézométrique de Ras-el-Aïn
2007
Équidistance des courbes : 5m

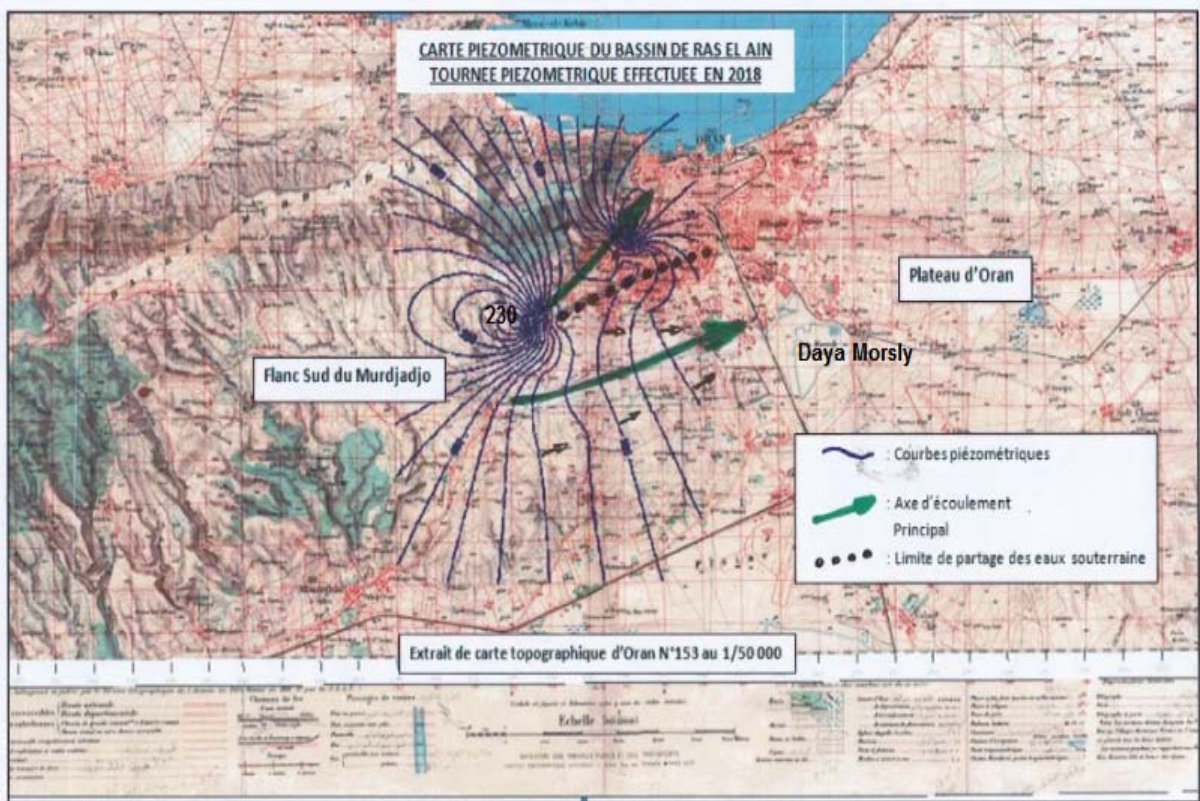


Figure n°27- Carte piézométrique de Ras-el-Aïn
2018
Équidistance des courbes : 10 m

VII/- Conclusion :

La comparaison des cartes, nous a montré que l'évolution piézométrique devient légèrement plus sollicitée (augmentation de dépressions), ceci dépend de la forte implantation des ouvrages sur toute la surface du flanc Sud du Murdjadjo et la surexploitation des nappes.

L'extension du bassin d'alimentation vers Daya Morsly en direction du plateau d'Oran, vers l'Est est bien évidente, caractérisée par un axe de drainage principal bien prononcé.

L'homogénéité de l'Aquifère des calcaires, accusée par une dynamique sensiblement stable à l'échelle spatio- temporelle semble ainsi bien confirmée, au vu des cartes piézométriques actualisées (carte 2018).

Cependant, il est à noter que l'allure des courbes hydrohypes pour la période 2018, manifeste un nodule d'espacement de plus en plus serré, marqué par un dôme piézométrique enregistrant un côté atteignant 230 m .En revanche, la période 2007, montre une altitude piézométrique maximum de l'ordre de 170 m.

Cette situation peut être l'apport d'eau des précipitations qui est très élevé en 2016 (Jusqu'à 600 mm) comparé à celui enregistré en 2007 (300mm).

Les paramètres hydrodynamiques exploités ultérieurement, confirment la stabilité du caractère dynamique de la nappe à l'échelle du bassin de Ras el Aïn.

CHAPITRE IV
HYDRO -CHIMIE

CHAPITRE IV

HYDROCHIMIE

I/- Historique :

- Au mois d'août 1847 (M Jule) :

L'eau de la source de Ras-el-Aïn est la plus pure de toutes les eaux tertiaires de la province d'Oran. Elle est fraîche, limpide et d'un goût agréable.

Cette source constitue l'affleurement naturel de la nappe à la faveur d'une fissuration intense affectant cette formation. Les eaux de pluie qui tombent sur le revers méridional de ce massif s'infiltrent à travers les couches du terrain tertiaire, suivant les plans de stratification, se réunissent en un cours d'eau souterrain suivant le thalweg du ravin de Ras-el-Aïn, et débouchent au jour à 72 mètres environ de hauteur au-dessus du niveau de la mer et à 2,000 mètres environ du rivage ; elles forment un cours d'eau volumineux, qui fournit en été 5,000 m³ d'eau par vingt-quatre heures. Le ravin de Ras-el-Aïn traverse la ville d'Oran et la divise en quelque deux parties égales. Il est très-encaissé dans la partie inférieure de son cours, près de son embouchure dans la mer, à cause de l'empiétement des constructions.

- La SEOR (Société de l'Eau et de l'assainissement d'Oran)

Précise ce qu'il en est en 2012 :

“Située au fond du ravin d'Oued Errhi, elle constitue la plus ancienne des ressources de la ville. Bien plus, la présence de cette source n'a été un facteur déterminant dans la fondation même de la ville d'Oran en ce lieu. La source de Ras-el-Aïn a fait l'objet de plusieurs aménagements le long des siècles.

L'eau provient de l'écoulement souterrain des eaux d'infiltration dans le calcaire fissuré du massif du Murdjadjo. Son débit journalier est de 5.000 m³. Elle dessert actuellement le quartier des Planteurs et le port, y compris la centrale thermique. Les eaux de cette source ne subissent aucun traitement spécial, à l'exception d'une désinfection finale, avant distribution.”

Ce qui reste dangereux aujourd'hui pour la santé de la population, c'est que cette source de Ras-el-Aïn est gravement polluée. Car, si à l'origine, le site au-dessus de la nappe était vierge de toute construction, il n'en est pas le cas aujourd'hui.

Devant l'exode rural et les besoins immenses en logements, une agglomération d'habitations s'est constituée progressivement au-dessus de la source, sans qu'il y ait d'égout collecteur. Ces innombrables refuges de fortune disposent de fosses septiques, lesquelles, par infiltration, versent leurs eaux usées dans la nappe.

D'où l'impérieuse nécessité de procéder à un contrôle quotidien de l'eau de Ras-el-Aïn.

II/- Introduction :

L'étude de la chimie des eaux souterraines apporte à l'hydrogéologie une somme considérable de renseignements utiles à la compréhension des phénomènes se produisant dans les systèmes aquifères. C'est-à-dire dans les échanges possibles entre l'eau et la roche, sachant que la minéralisation des eaux souterraines peut provenir de l'acquisition des éléments chimiques par la dissolution et l'altération des minéraux du réservoir.

Les caractéristiques physiques et chimiques des eaux dépendent d'un certain nombre de facteurs tels que la composition chimique et minéralogique des terrains traversés. Une éventuelle pollution peut modifier les caractéristiques naturelles de l'eau. C'est dans ce contexte que le présent chapitre est abordé. Il propose ainsi d'étudier l'évolution temporelle et spatiale de la qualité physico-chimique de l'eau du bassin de Ras-el-Aïn.

La détermination de ces caractéristiques s'est basée sur des analyses et des mesures, sur des échantillons d'eau qui reflètent notamment, le mieux que possible, la composition de l'eau dans l'aquifère.

III/- 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°29).

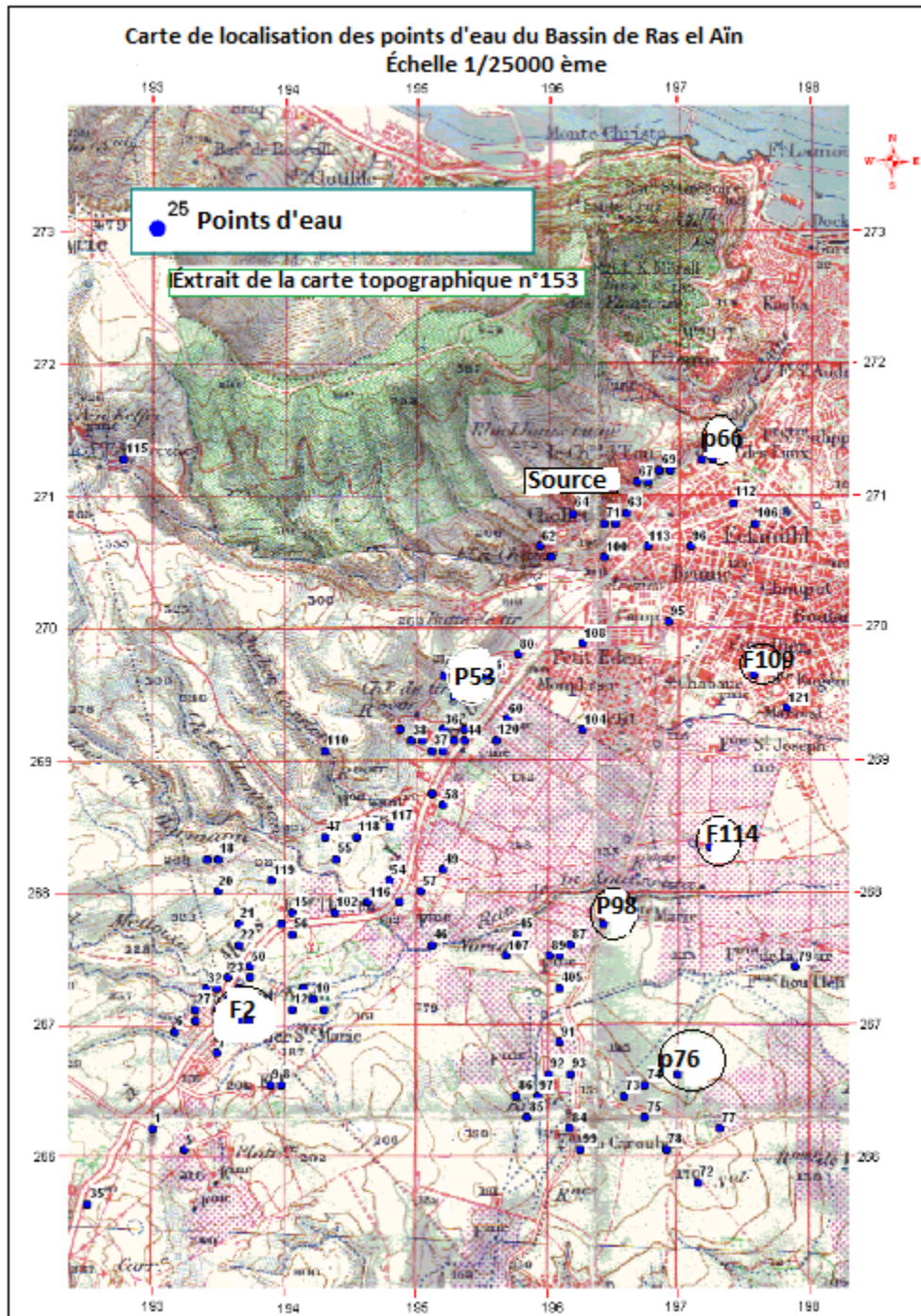


Figure n°29 - Carte de la localisation des points d'eau du bassin de Ras-el-Aïn

Échelle : 1/25000

IV/- Méthodes et matériels :

IV/-1 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°13).

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°14).

Il a donc fallu prendre tous ces paramètres en considération. Nous avons mis à jour des tableaux récapitulatifs d'analyses du secteur concerné grâce à la base de données de L'ANRH et la SEOR (voir Annexe).

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 : Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , pour les cations et SO_4^{2-} , HCO_3^- , 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.

Bassin de Ras el Ain (2007)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	Minéral	Rs	PH	C25	Co3
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°13 - Données Hydro-Chimiques du Bassin de Ras-el-Aïn
2007**

Source de Ras el Ain	PH	T°C	C25°C	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	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

**Tableau n°14 - Données Hydro -Chimiques de la source de Ras-el-Aïn
2007-2018**

IV/-2 Méthodes de traitement des données :

Un certain nombre d'histogrammes à l'aide du logiciel Excel a été élaboré, ils serviront de base pour l'interprétation des résultats des analyses physico- chimiques.

Les données collectées ont été traitées en utilisant une méthode hydro chimique qui adopte les diagrammes de Piper et Schoeller- Berkaloff pour la classification hydro chimique des eaux, le diagramme de WILCOX nous a servi à suivre l'évolution du degré de salinisation des sols.

Ces diagrammes sont très couramment utilisés dans le domaine de l'hydrochimie des eaux, avec de très bons résultats.

La réalisation de ces diagrammes a été faite en utilisant le logiciel Diagrammes Version : 5.1.1.

IV/-2-1 Le Diagramme de PIPER :

Le Diagramme de Piper est l'une des représentations les plus classiques pour comparer les compositions chimiques des eaux naturelles.

Il permet une représentation des cations et anions sur deux triangles spécifiques dont les côtés témoignent des teneurs relatives de chacun des ions majeurs par rapport au total des ions. La position relative d'un résultat analytique sur chacun de ces triangles permet de préciser en premier lieu la dominance cationique et anionique.

A ces deux triangles, est associé un losange sur lequel est reportée l'intersection des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle. Ce point d'intersection représente l'analyse globale de l'échantillon. Cette position permet de préciser le faciès de l'eau naturelle concernée. Le diagramme de Piper permet également :

-D'illustrer l'évolution chimique d'une eau dans un aquifère ainsi que les mélanges d'eaux de minéralisations différentes

- D'avoir une idée sur la lithologie à partir des analyses chimiques,

-D'avoir une relation entre le chimisme de l'eau et la nature lithologique de l'encaissant, la projection de plusieurs échantillons en même temps :

- Pour suivre leurs évolutions dans le temps et dans l'espace
- Pour les comparer
- Pour avoir une idée sur la notion de mélange, de suivre les propriétés physico-chimiques au cours de leur évolution spatiotemporelle.

IV/-2-2 Diagramme de SCHOELLER – BERKALOFF :

Le diagramme de **SCHOELLER-BERKALOFF** permet de représenter le faciès chimique de plusieurs échantillons d'eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée.

La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale en échelle logarithmique.

La ligne brisée est formée en reliant tous les points qui représentent les différents éléments chimiques.

Un groupe d'eau de minéralisation variable mais dont les proportions sont les mêmes pour les éléments dissous, donnera une famille de lignes brisées parallèles entre elles. Lorsque les lignes se croisent, un changement de faciès chimique est mis en évidence.

IV/-2-3 Diagramme de Wilcox :

Il est utilisé pour évaluer le risque de salinisation des sols. Il prend en ligne de compte, la conductivité électrique ou la charge totale dissoute, toutes deux relatives à la salinité de l'eau, et l'indice d'absorption du sodium aussi appelée « pouvoir salinisant »

VI/- Résultats et Discussions :

Présentation et interprétation des résultats :

VI/-1 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 :

$$BI = \frac{\sum(\text{catlons}) - \sum(\text{anlons})}{\sum(\text{catlons}) + \sum(\text{anlons})} \times 100$$

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 $5\% \leq BI < 10\%$,
Douteuse lorsque BI $\geq 10\%$

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

V/-1-1 Stations du bassin de Ras el Aïn 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 ($5\% \leq BI < 10\%$),
20% sont douteuses (BI ≥ 10).

Toutes les analyses présentant des BI dont les valeurs $\geq 10\%$ 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 :

Points d'eau	BI	Σ cations	Σ 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 Aïn	1,94	20,97	20,17	1,94	Excellente

Tableau n° 15- les Pourcentages d'erreurs des échantillons d'eau prélevés dans le bassin de Ras-el-Aïn

VI-1-2 La source de Ras-el-Aïn pour la période 2010-2018 :

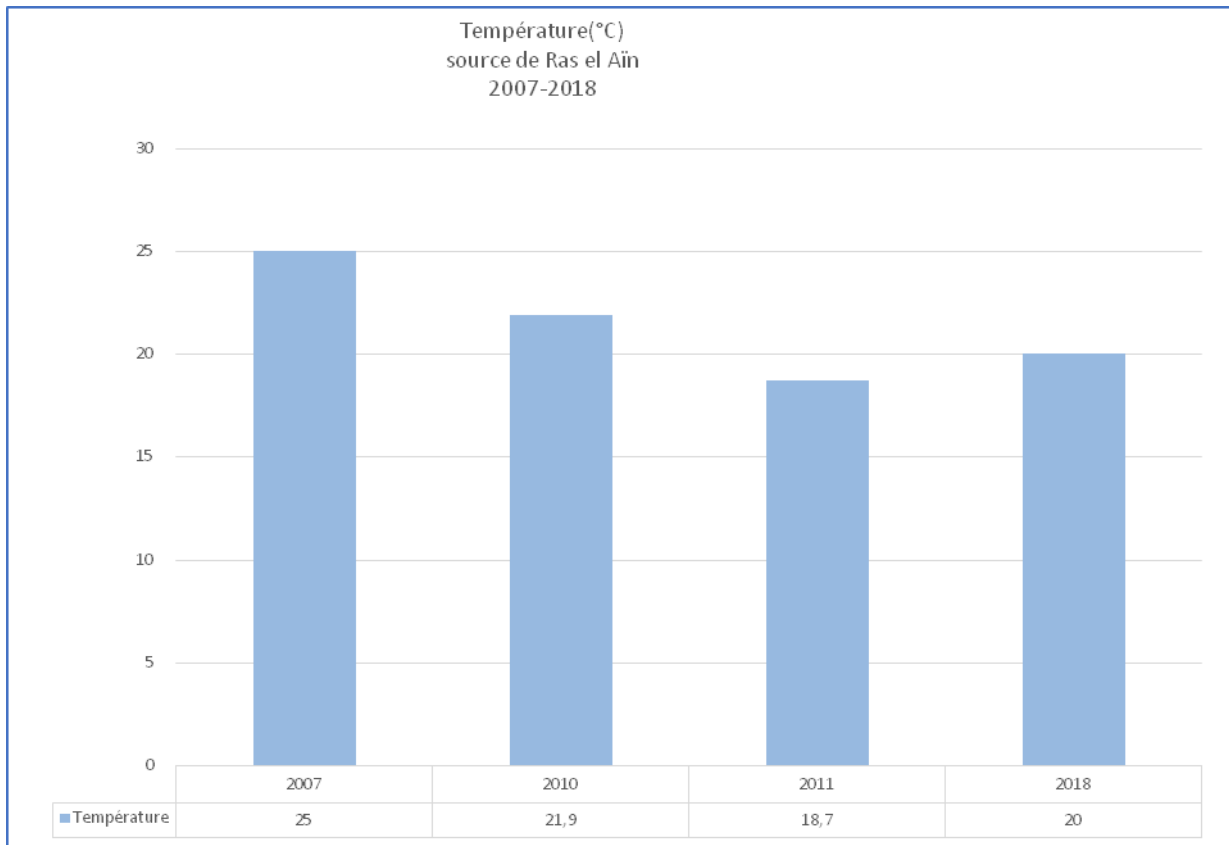
Nous n'avons pas des résultats probants pour la source de Ras-el-Aïn pour la période 2010-2018, Toutes les analyses présentaient des BI dont les valeurs $\geq 10\%$. Dans notre cas, les problèmes relatifs à la qualité des analyses sont dus aux défaillances d'analyses des éléments suivants :

HCO_3^- , 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)

VI-2 Les paramètres Physiques :

VI-2-1 La température :

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.



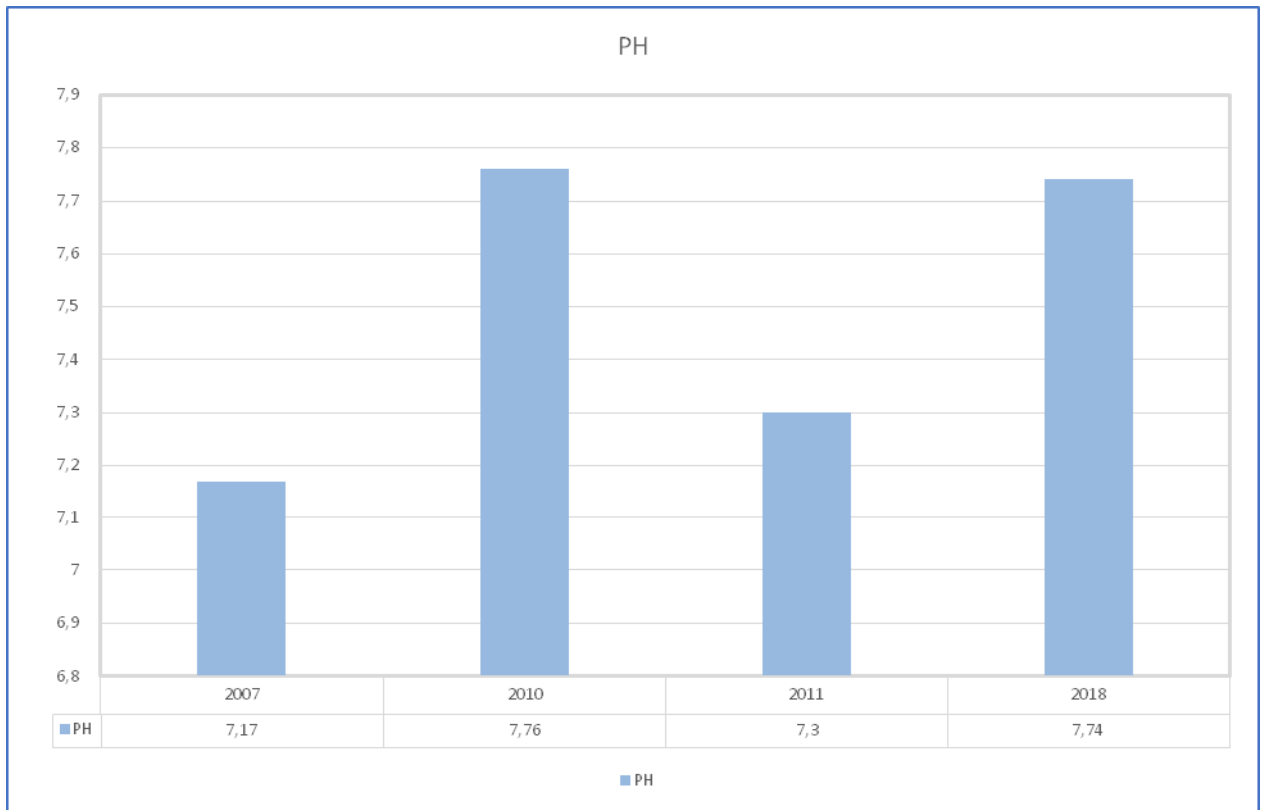
**Figure n°30 - Variation des Températures de la source de Ras-el-Aïn
2007-2018**

VI-2-2 Le Potentiel d'Hydrogène :

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 voisin 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°31-Variation du pH des échantillons d'eau de la source de Ras-el-Aïn
2007-2018**

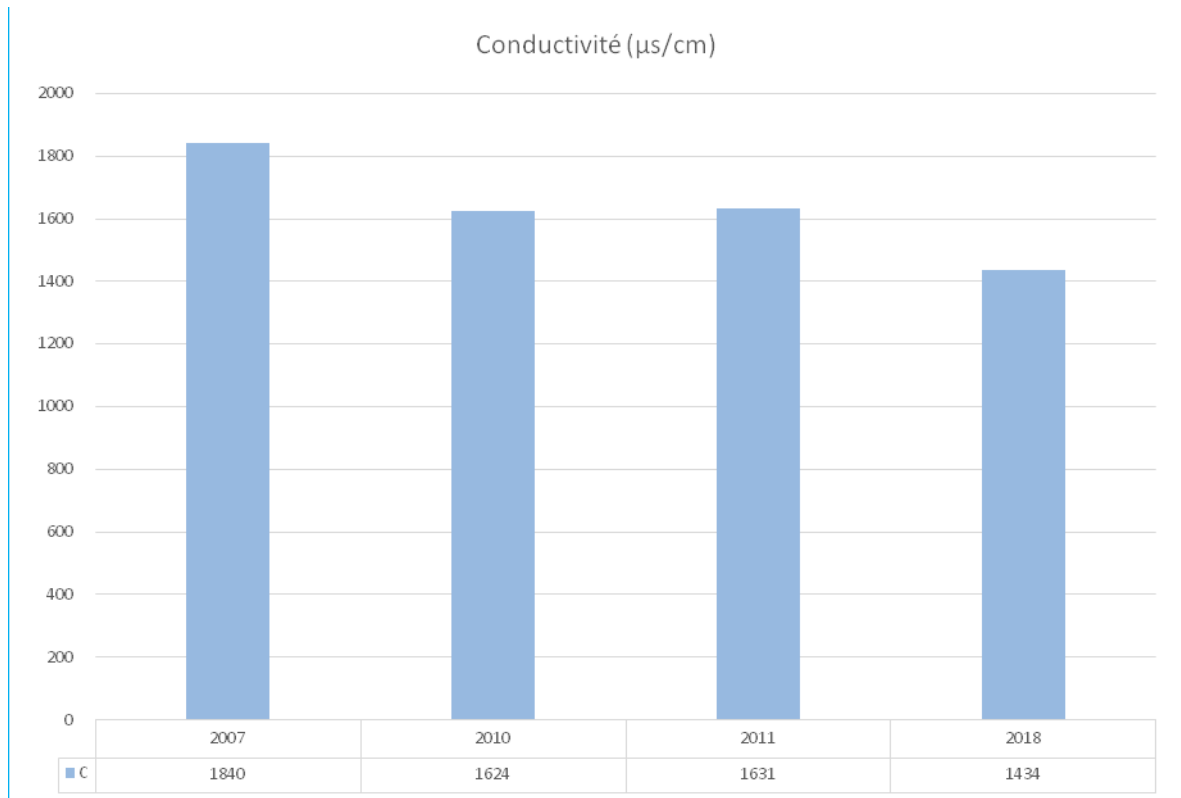
VI-2-3 La conductivité électrique :

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 $\mu\text{s/cm}$ en 2018 et 1840 $\mu\text{s/cm}$ 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.



**Figure n°32 -Évolution de la Conductivité électrique de la source de Ras-el-Aïn
2007-2018**

VI-3 Les Paramètres chimiques :

VI-3-1 Les Chlorures

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.

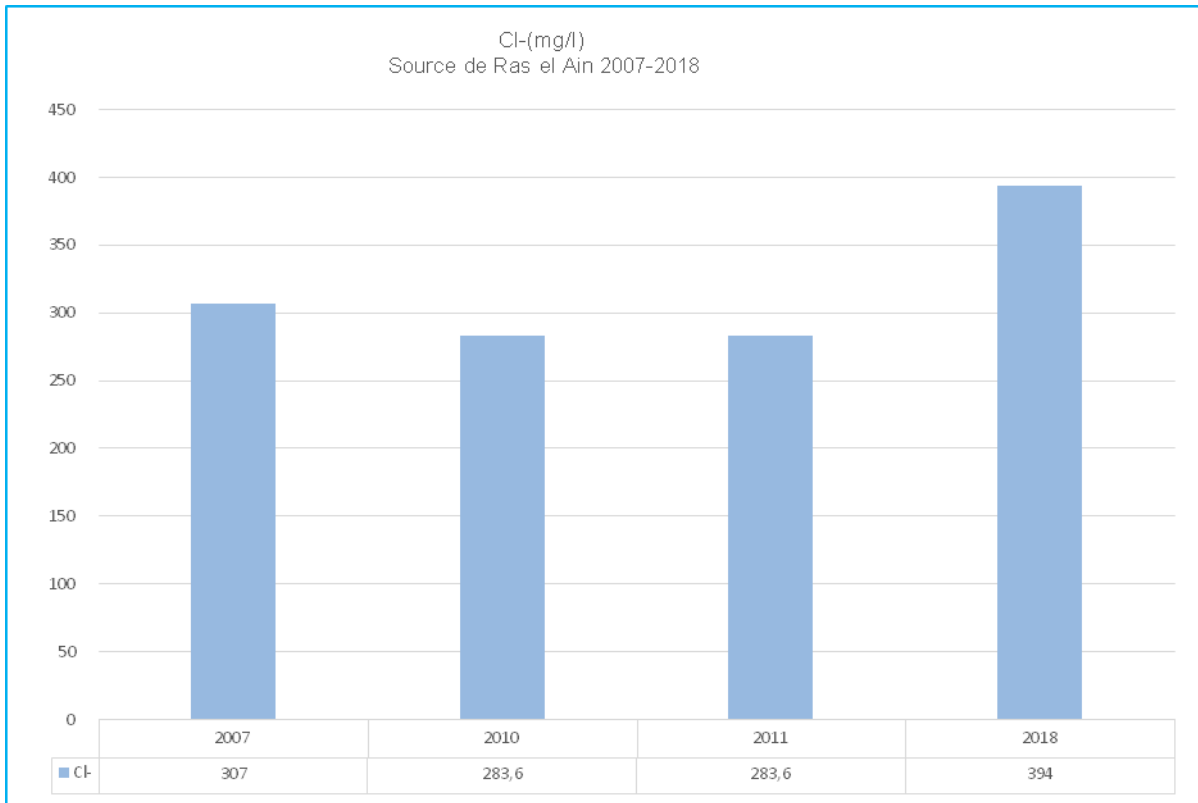


Figure n°33 - Évolution de la Concentration en chlorures de la source de Ras-el-Aïn 2007-2018

VI-3-2 Le Titre Hydrotimétrique TH :

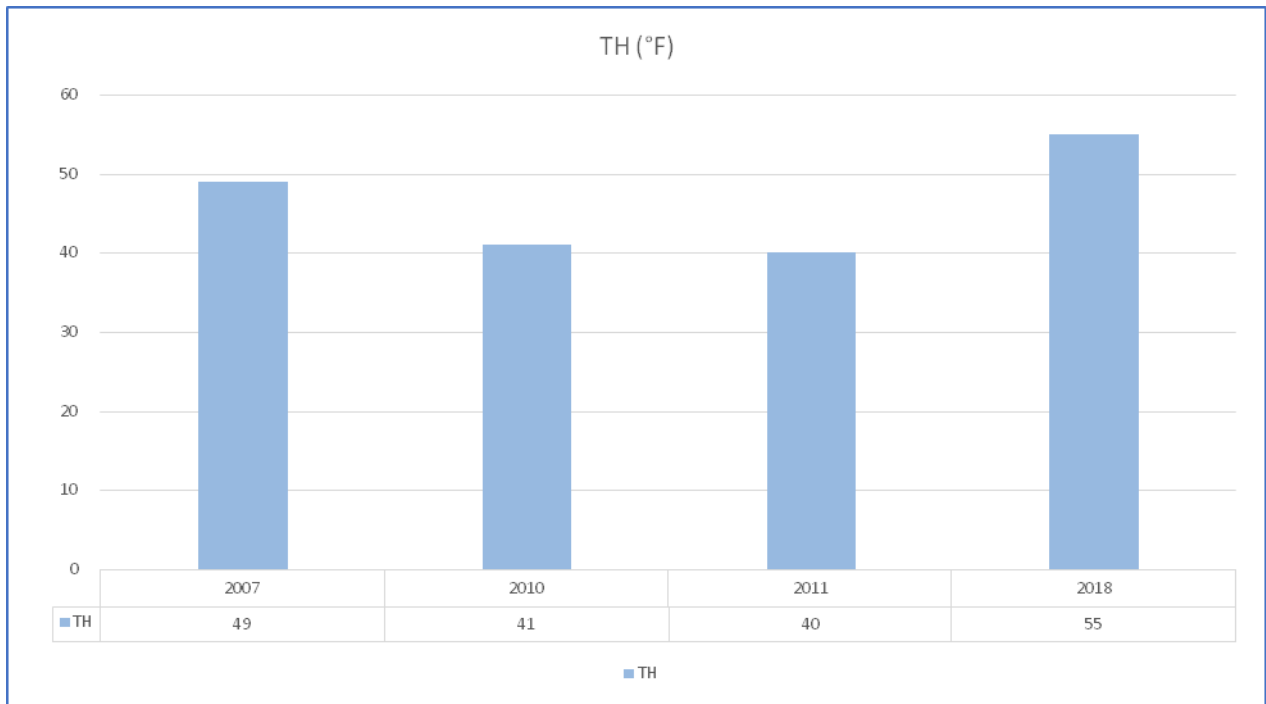
Le TH est une autre manière d'estimer la minéralisation d'une eau notamment en carbonates de calcium et de magnésium et en anhydride carbonique libre. Cette mesure est la plus usitée est couramment appelée dureté, Le principe de l'hydrotimétrie consiste à étudier l'action de l'eau sur le savon. Elle 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 CaCO₃ 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 interstratifiés dans les couches calcaires. Celles-ci, au contact des eaux des précipitations infiltrées contribuent à une augmentation de la dureté des eaux souterraines.

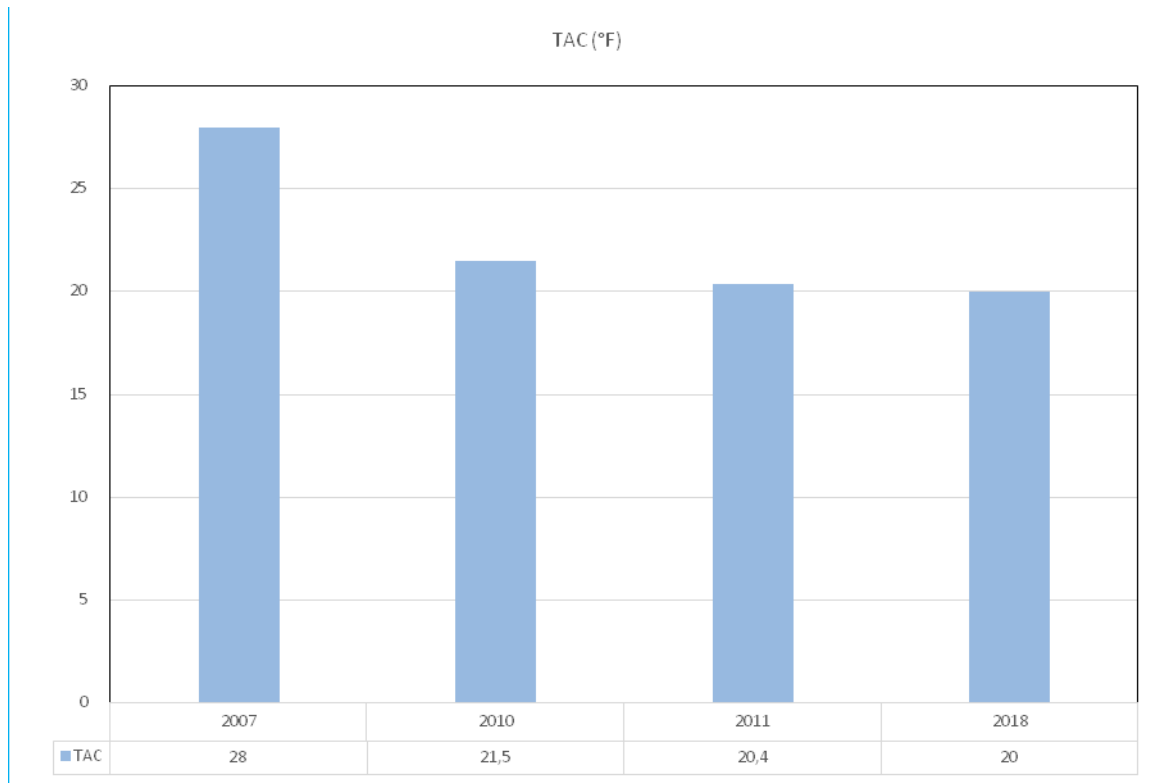


**Figure n°34 - Évolution du titre hydrotimétrique de la station de Ras-el-Aïn
2007-2018**

VI-3-3 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°35 - Évolution du titre alcalimétrique du bassin de Ras-el-Aïn
2007-2018**

VI- 4 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.

VI-4-1 Le Calcium et le magnésium :

Le calcium (Ca^{2+}) et le magnésium (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 (CaCO_3), la dolomie (CaMgCO_3), la magnésite (MgCO_3), le gypse (CaSO_4).

Contexte	Mg ²⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (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

Tableau n°16 - Echelle de concentration des ions Ca²⁺ et Mg²⁺

Les valeurs maximum enregistrées des teneurs en Ca²⁺ 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.

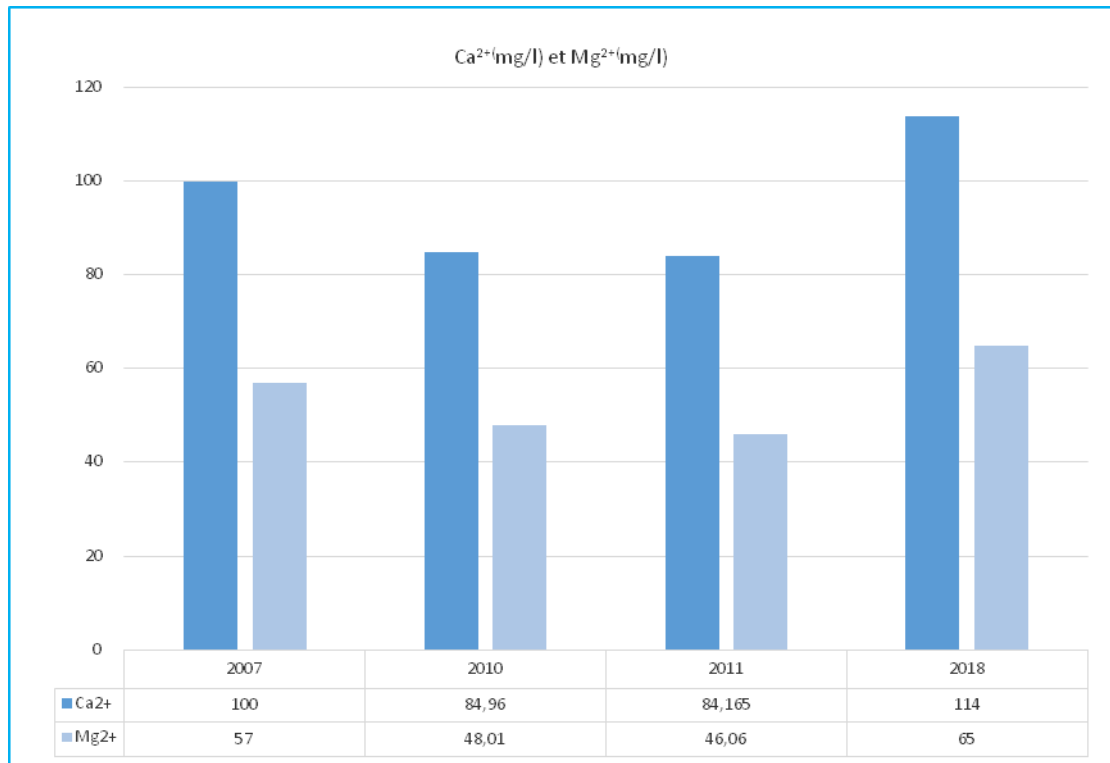
Nous constatons qu'il n'y a pas une grande variation des teneurs, ceci pourrait justifier une même dissolution de formations carbonatées des roches calcaires du Tertiaire du Murdjadjo.

Les ions (Mg²⁺) 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°36) ci-dessous.



**Figure n°36 - Évolution de Ca²⁺ et Mg²⁺ du bassin de Ras-el-Aïn
2007-2018**

V/-4-2 Les Sulfates :

Les origines des sulfates dans les eaux sont variées. Les origines naturelles sont l'eau de pluie (Evaporation d'eau de mer) $1 < C < 20$ mg/l) et la mise en solution de roches sédimentaires évaporitiques, notamment le gypse (CaSO₄).

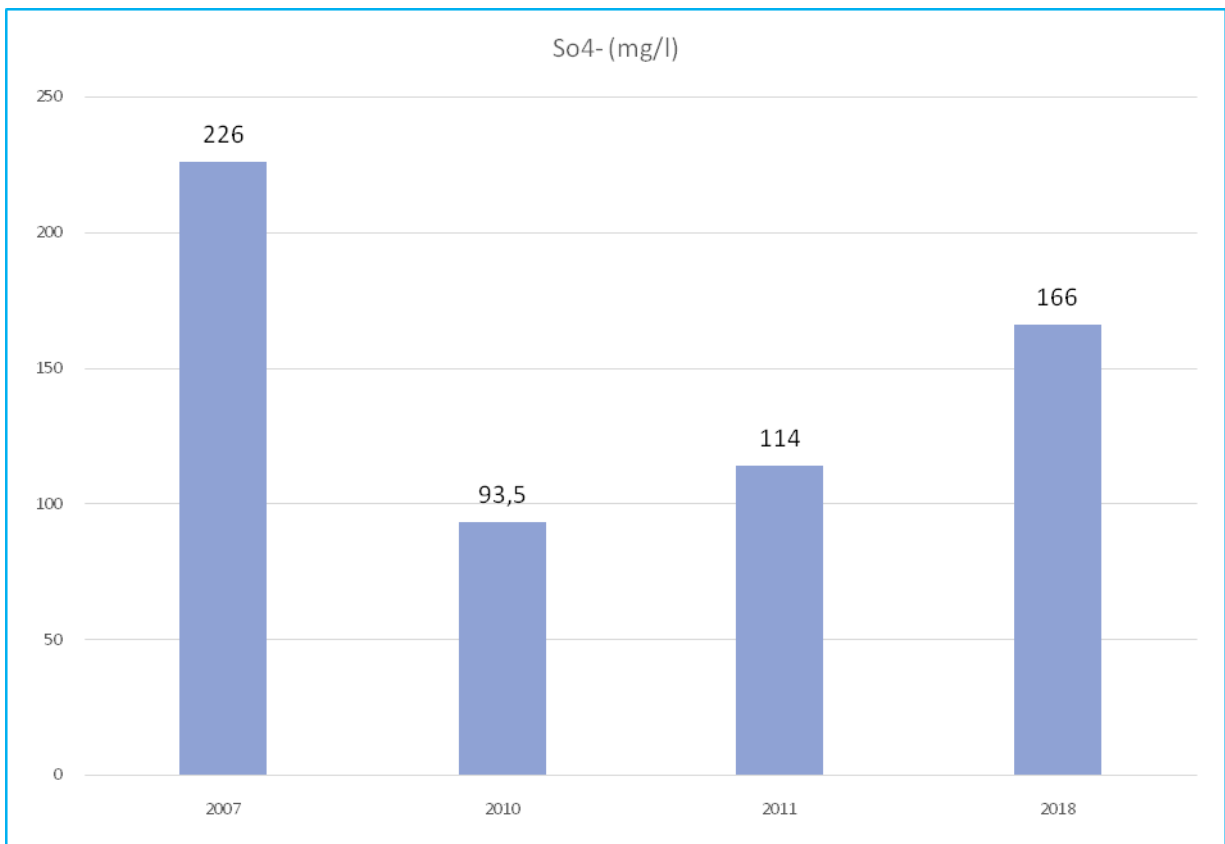
Au contact du gypse, fréquent dans les terrains tertiaires, l'eau se charge en sulfate de calcium et devient dure (séléniteuse) et impropre à la consommation.

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°37 - Évolution des Sulfates dans le bassin de Ras-el-Aïn
2007-2018**

VI-5 Les substances indésirables :

VI-5-1 Les Nitrates :

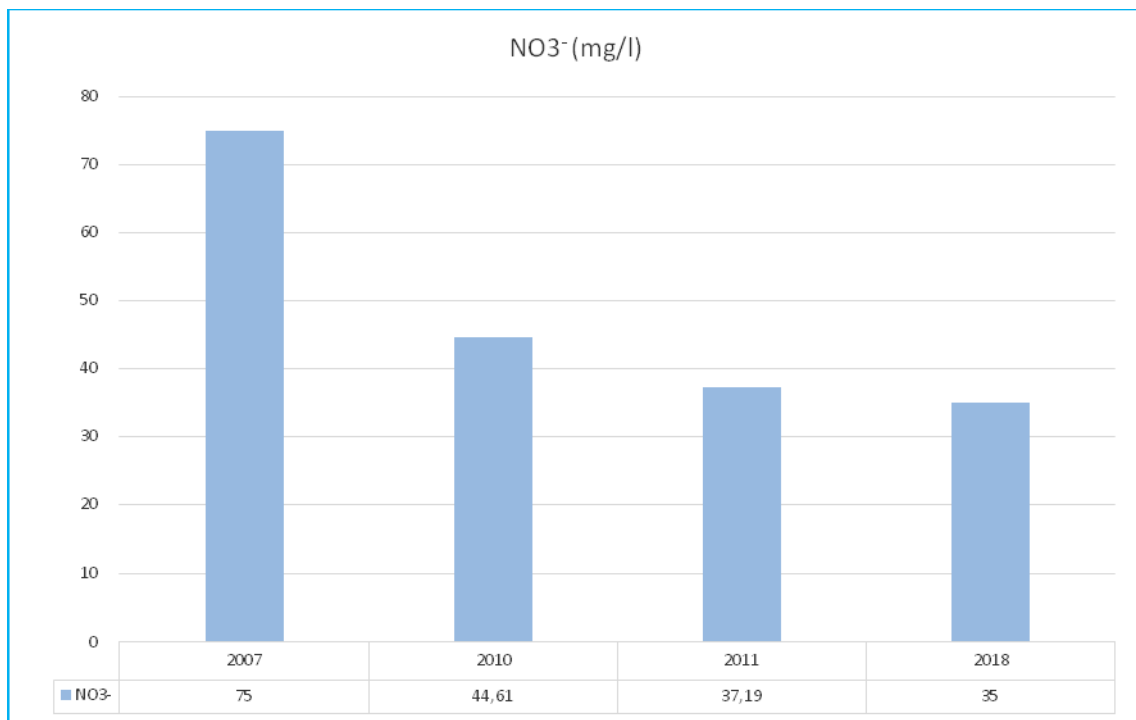
Les nitrates sont naturellement présents dans les eaux souterraines à de faibles concentrations. Toutefois des teneurs importantes témoignent de la contamination

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.⁷

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



**Figure n°38 - Évolution des Nitrates dans le bassin de Ras-el-Aïn
2007-2018**

VI-6 Détermination des principaux faciès hydro chimiques

VI-6-1 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-Aïn sur la période de 2007-2018.

Les deux schémas ci-dessous (Figure n°39 et n°40) montrent la représentation des échantillons d'eau souterraine sur le diagramme de PIPER.

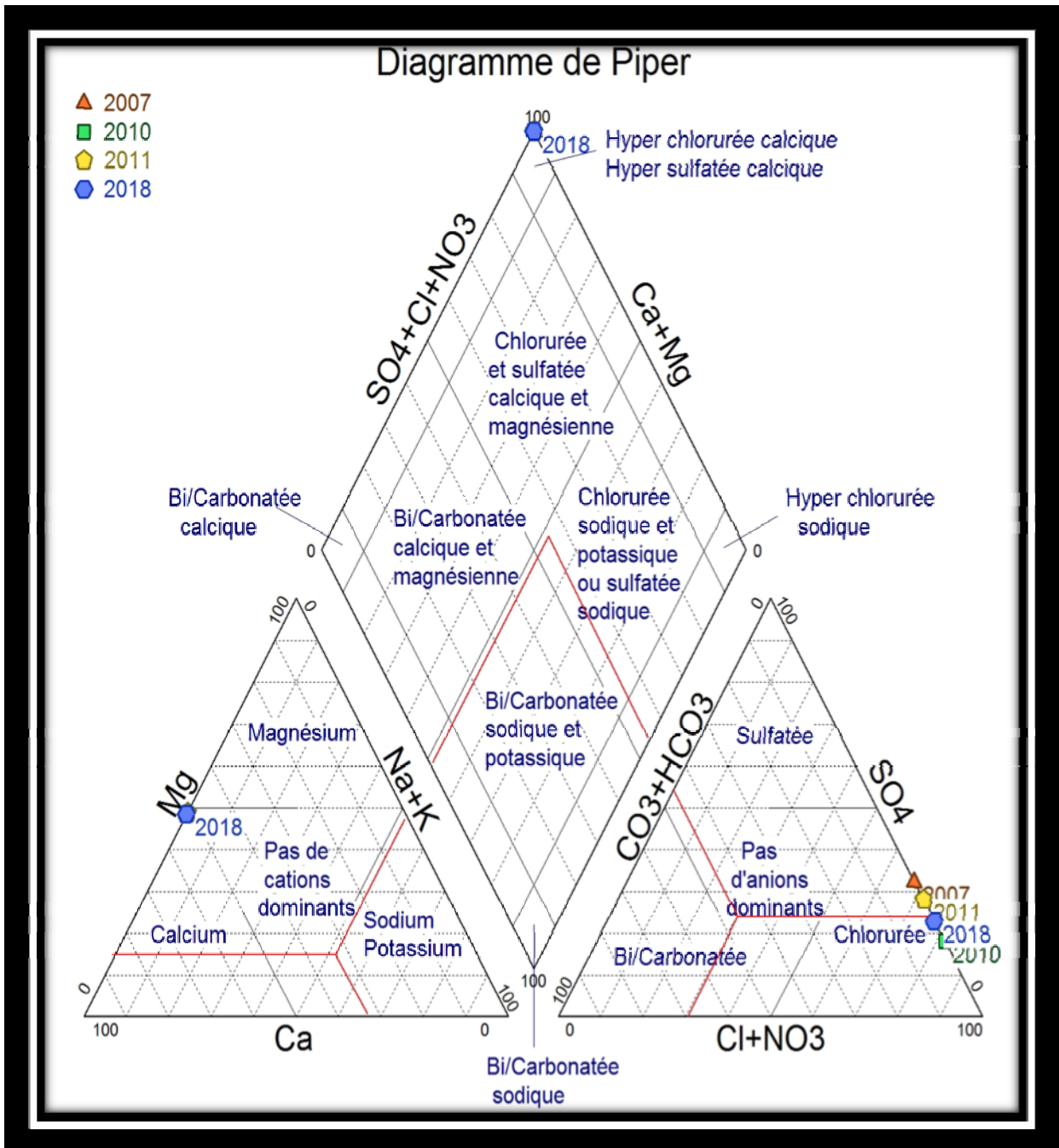


Figure n° 39 - Diagramme de PIPER
Source de Ras-el-Aïn 2007-2018

Ces résultats portés sur le diagramme de **PIPER** (Figure n° 39) permettent de déterminer les tendances chimiques des eaux de la source de Ras-el-Aïn à travers le temps.

L'ensemble des nuages de points présente une dominance de faciès Hyper chlorurée calcique.

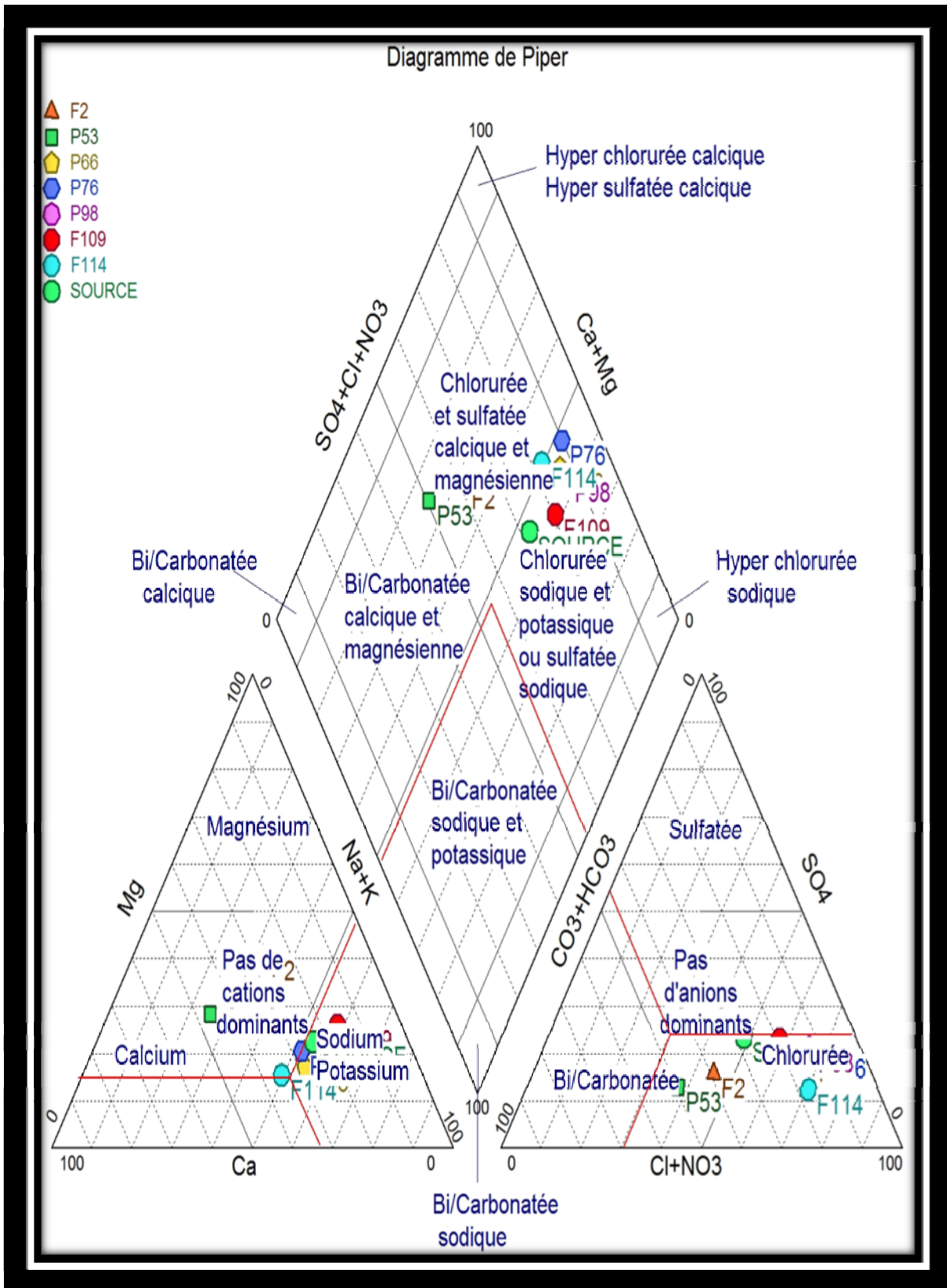


Figure n°40-Diagramme de PIPER
Bassin de Ras-el-Aïn 2007

- D'après le diagramme de Piper (Figure n°4), que les eaux appartiennent principalement aux deux familles des eaux :

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

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

1. Les eaux de puits
2. Les eaux de Forages
3. Les eaux de la source Ras-el-Aïn

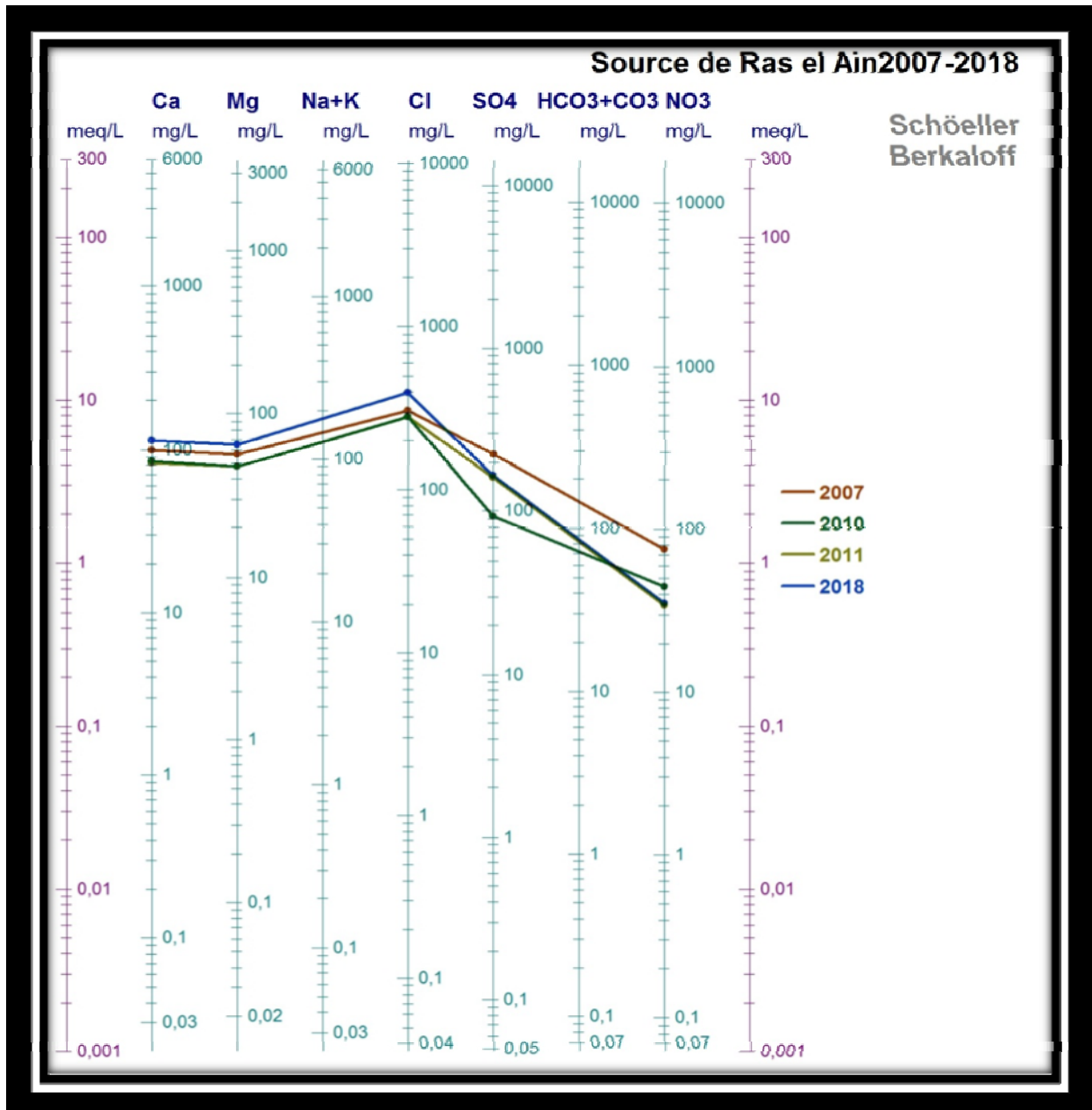
-On observe que les eaux de forages sont principalement de faciès chlorurés magnésiens. Les eaux de puits présentent globalement un faciès de type chloruré sodique, les eaux de la source de Ras-el-Aïn quant à elles sont chlorurés sodiques.

VI-6-2 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°41 et n°42)

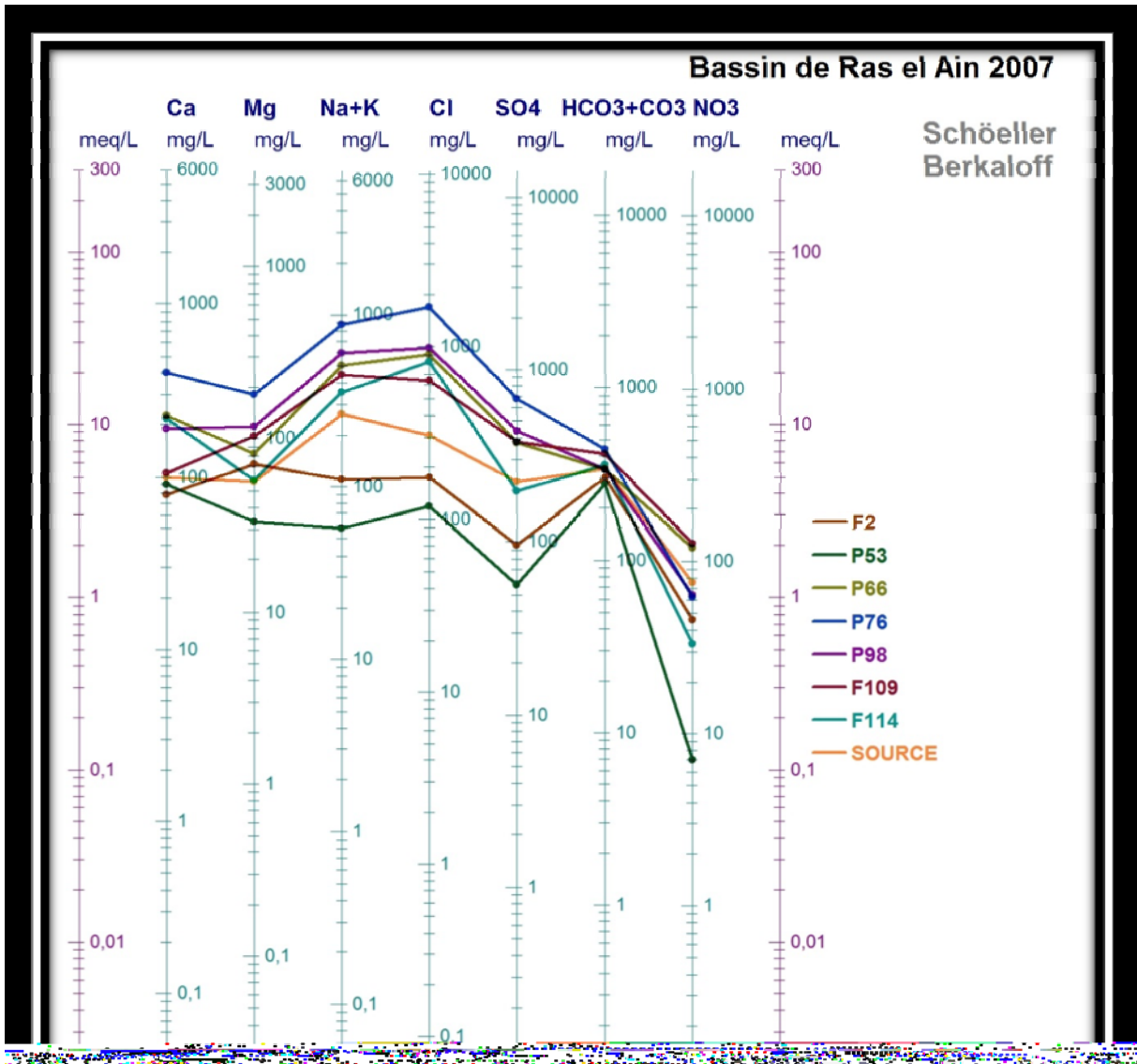
IV-6-2-a Source de Ras-el-Aïn



**Figure 41 -Diagramme de SCHOELLER-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.

VI-6-2-b Bassin de Ras-el-Aïn



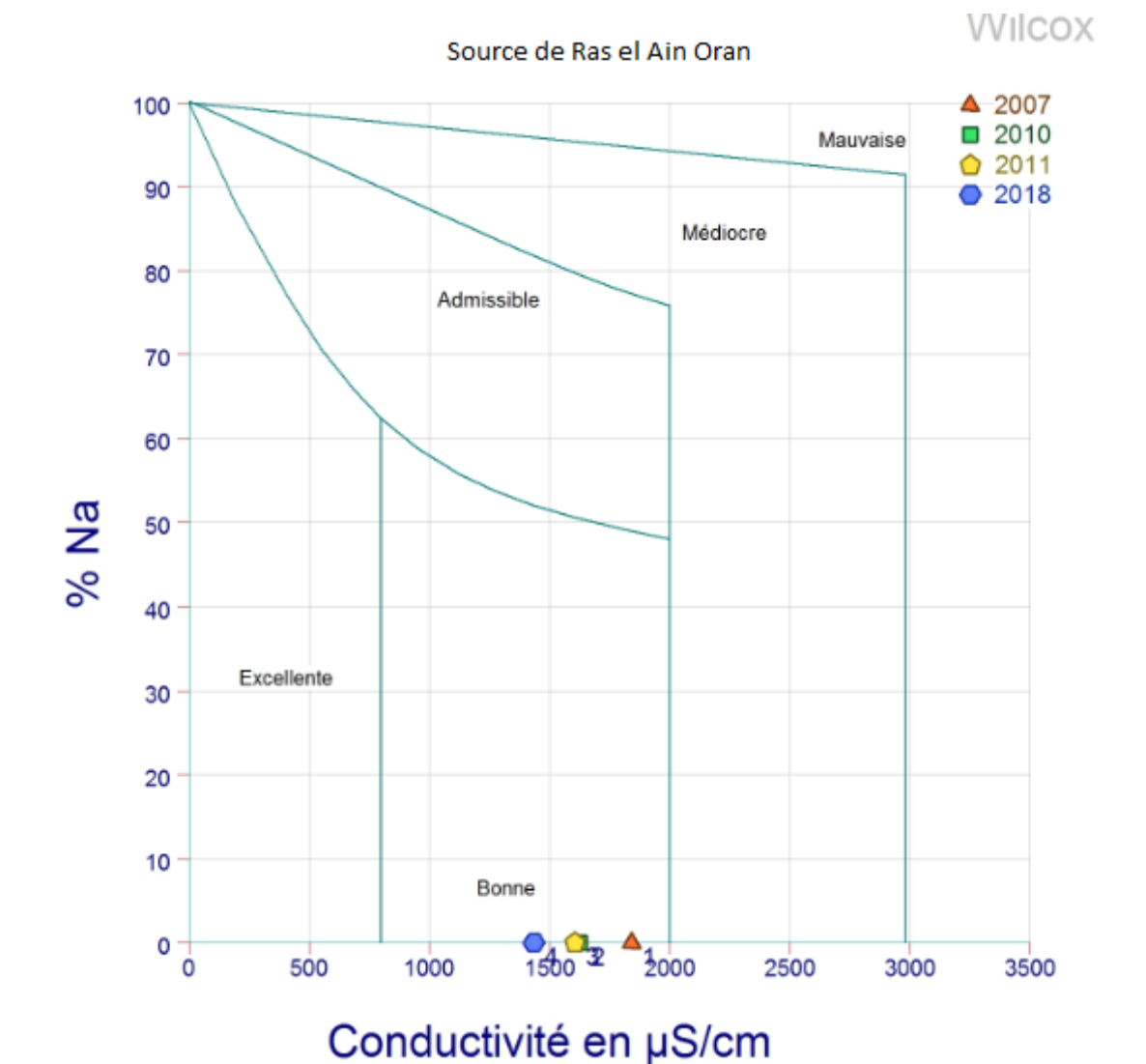
**Figure n°42- Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF
Bassin de Ras-el-Aïn 2007**

Les données chimiques des eaux de surface, représentées sur le diagramme de **SCHÖLLER BERKALOFF**, (Figure n°42) 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 interstratifiés de Gypse, formant l'ossature du massif au niveau du bassin de Ras-el - Aïn.

VI-6-3 Diagramme de WILCOX :

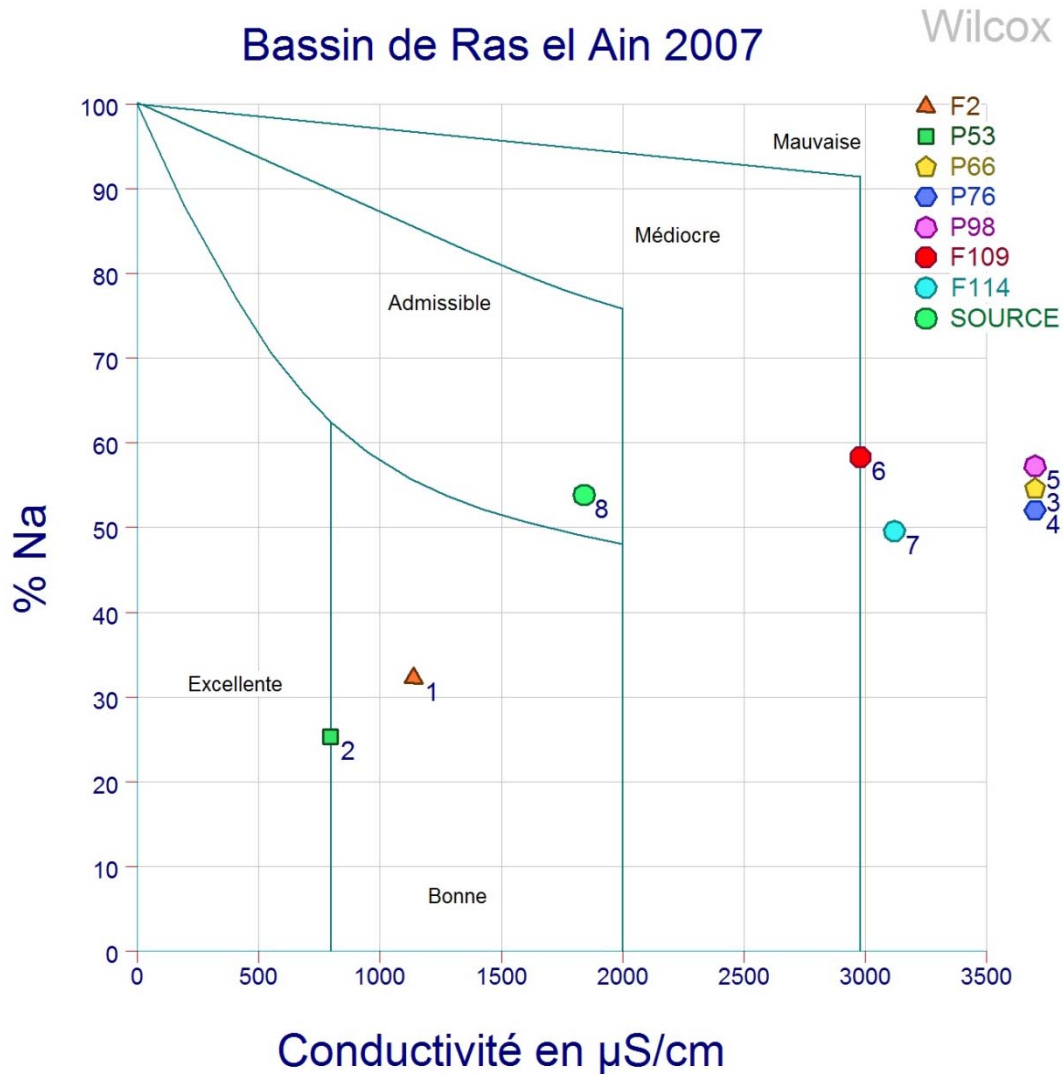
VI-6-3-a Source de Ras-el-Aïn



**Figure n°43-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°43)

VI-6-3-b Bassin de Ras-el-Aïn



**Figure n°44-Diagramme de WILCOX
Bassin de Ras-el-Aïn 2007-2018**

Le diagramme de **Wilcox** (Figure n°44) 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** (figure n°16) qui classe 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).

VI/ Pollution d'eau de la nappe du bassin de Ras-el-Aïn

VI-1/ Les pollutions Bactériologiques :

Les bactéries, virus et autres agents pathogènes rencontrés dans les eaux souterraines proviennent de fosses septiques, des décharges, des épandages d'eaux usées, de l'élevage, de matières fermentées, de cimetières, du rejet d'eaux superficielles. Ces pollutions peuvent être aussi dues à des fuites de canalisations et d'égouts ou à l'infiltration d'eaux superficielles.

La grande majorité de ces microorganismes nocifs, susceptibles d'engendrer des infections humaines redoutables, diffuse dans l'environnement hydrique par l'intermédiaire de souillures fécales humaines ou animales.

Les pollutions microbiologiques se rencontrent surtout dans les aquifères à perméabilité de fissure (craie, massifs calcaires), dans lesquels la fonction épuratrice du sous-sol ne peut s'exercer et dans lesquels la matière organique est dégradée partiellement. Les émergences de type karstique avec des circulations souterraines rapides sont par conséquent très vulnérables à cette pollution, c'est le cas de notre secteur d'étude qui semblerait rassembler toutes les conditions à la prolifération des Bactéries et d'éléments pathogènes.

La surveillance microbiologique des eaux de distribution concerne les paramètres suivants: coliformes thermo tolérants (*Escherichia coli*, *Enterobacter cloacae*, *Salmonella*, *Yersinia enterocolitica*, ...), streptocoques fécaux (genres *Enterococcus*

et *Streptococcus*) et bactéries aérobies revivifiables à 22°C (germes saprophytes) et à 37°C (germes pathogènes ou plutôt hébergés par l'homme et par les animaux à sang chaud).

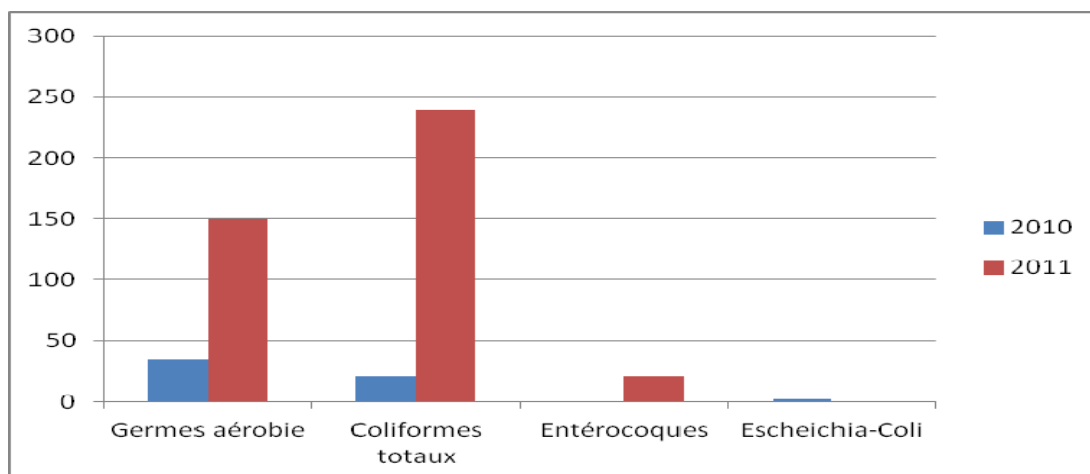
D'après L'Étude bactériologique réalisée par la SEOR. À partir des données des années de 2010 et de 2011(Annexe), la situation de la source de Ras-el-Aïn est très inquiétante (Tableau n°17).

Les coliformes totaux sont omniprésents dans la nature et sont associés à la matière organique en décomposition (pelouse, foin, bois, matières fécales, etc...).

Pour qu'une eau soit considérée potable, le résultat doit être de moins de 10 ufc (Unité Formant Colonie) par 100 ml. L'eau des puits et forages de la source de Ras-el-Aïn, avec une concentration de 21 ufc est considérée impropre à la consommation et un nettoyage des puits et des forages doit être effectué.

Source de Ras el Aïn	2010	2011	NA
Germes aérobiques à 37°C (u.f.c/ml)	35	150	10
Coliformes totaux à 37°C (u.f.c/100ml)	21	240	<10
Entérocoques (u.f.c/100ml)	0	21	0
Escheichia-Coli à 44°C (u.f.c/100ml)	2	0	0

Tableau n°17 - Relevés Bactériologique de la source de Ras-el-Aïn
2010-2011



Figure

n°45 - Évolution Bactériologique de la Source de Ras-el-Aïn 2010-2011

VII-2 La pollution de la source de Ras-el-Aïn par Hydrocarbures :

VII-2-1 Les polluants insolubles plus légers que l'eau : comme le Fuel, par exemple, plus légers que l'eau restent à la surface de la nappe où ils s'étalent. C'est principalement le cas des hydrocarbures, même si quelques-uns sont légèrement solubles (phénols, aromatiques). Pour circuler dans le sol et rejoindre la nappe, les hydrocarbures doivent être en quantité suffisante pour former une phase continue. S'ils sont présents sous forme discontinue (gouttelettes piégées dans les pores), la pollution sera plus lente.

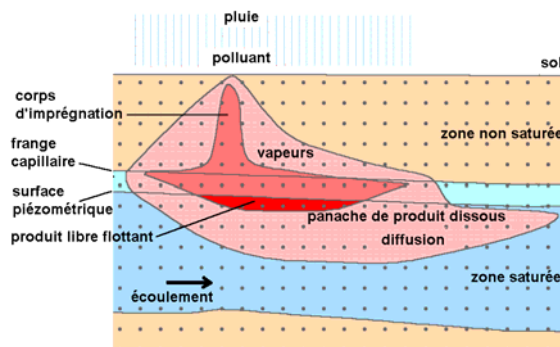


Figure n°46- Pollution par un produit plus léger que l'eau et qui atteint la nappe.

VII-2-2 Les polluants insolubles et plus denses que l'eau : comme les organochlorés (boues ou les bitumes) migrent jusqu'à la nappe sans laisser de traces derrière eux. Une fois arrivés à la nappe, ils continuent à descendre jusqu'à la base, puis migrent dans le sens du pendage. Peu ou pas biodégradables, ils polluent la nappe pour des durées très longues. Ils sont très difficiles à localiser et à éliminer.

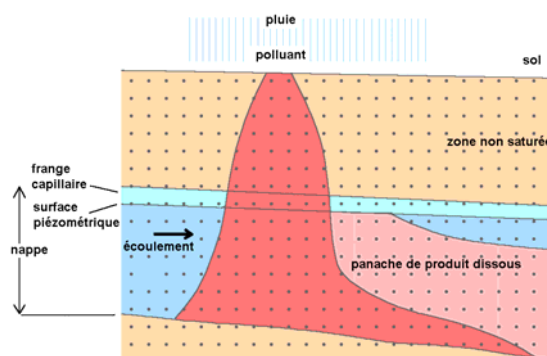


Figure n°47- Pollution de la nappe par un produit plus lourd que l'eau.

VI-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.

VI-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.

VI-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'amointrissement des forces d'inertie opposées à l'action de la gravité.

(Tableau n°18), récapitulatif des puits et forages du Bassin de Ras-el-Aïn délimités dans la zone II de protection rapprochée.

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

Tableau n°18- Tableau descriptif du périmètre de protection intermédiaire (Zone II)

(S.Benabid ANRH-2007)

VI/-3-3 Le périmètre de protection éloignée :

Le dernier périmètre (Figure n° 19) 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.

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

Tableau n°19- Tableau descriptif du périmètre de protection intermédiaire (Zone III) (S.Benabid (ANRH-2007)

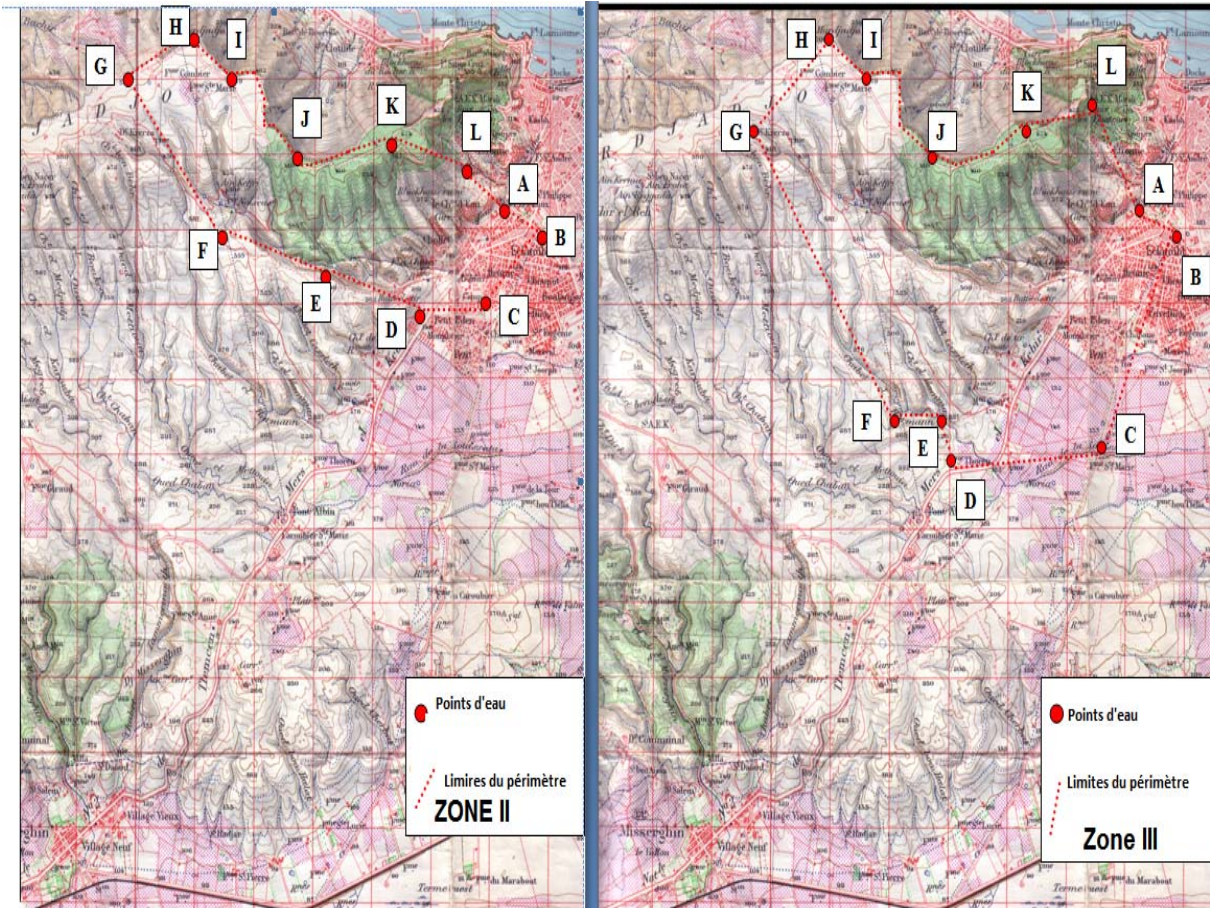


Figure n°48 : Cartes de délimitation des périmètres de protection
(S.Benabid ANRH-2007) (Zone II et Zone III) Echelle 1/50000

VII/- Conclusion :

La qualité naturelle des eaux souterraines peut être altérée par l'activité humaine. La détérioration de la qualité de l'eau est appréciée par mesures des paramètres physico-chimiques et bactériologiques.

Dans le cas d'une détérioration jugée importante, l'eau ne sera plus considérée comme potable pour la consommation humaine. Elle pourra être telle quelle utilisée à d'autres fins (irrigation...) ou devra subir un traitement approprié pour retrouver sa potabilité. L'eau des nappes n'est donc pas à l'abri de la pollution et l'autoépuration naturelle n'est pas complète dans toutes les nappes et vis-à-vis de certaines substances.

Dans les réservoirs calcaires du Murdjadjo les eaux sont dures, moyennement à fortement minéralisées en sels de calcium et magnésium, C'est le cas des eaux du bassin de Ras-el-Aïn. Dans les réseaux karstiques, l'eau peut se charger de particules argileuses en suspension au cours des fortes pluies.

L'eau du bassin de Ras-el-Aïn à une qualité qui dépend de celle de la nappe qui l'approvisionne, en l'occurrence, celle du Mont Murdjadjo.

Généralement deux types d'eaux ont été identifiés :

-Les eaux des calcaires : Ces eaux sont soit Calci-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 (voir analyses de le SEOR en annexe), 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 développés 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.

Conclusion Générale

Le premier objectif de cette étude était de rassembler les éléments de compréhension au fonctionnement générale de l'aquifère des calcaires à l'échelle du bassin de Ras el Aïn. Ceci permettra dans le futur à une meilleure représentation sous forme de modèle Hydrogéologique.

Le deuxième objectif était d'interpréter les données disponibles afin de cerner les problématiques actuelles et futures, et proposer des mesures complémentaires utiles à la modélisation du système Aquifère.

Cette étude s'articule principalement sur des informations lithologiques, piézométriques, hydro climatologiques et hydro chimiques.

Grâce aux coupes lithologiques et les sondages, nous avons pu préciser les variations dans l'espace et en profondeur des différents niveaux aquifères.

Les calcaires récifaux, très faillés renferment un aquifère en réseaux de fissures et de chenaux.

La morphologie structurale de ces carbonates aurait permis ainsi un emmagasinement fort appréciable dans tout le bassin hydrographique du flanc sud du massif du Murdjadjo.

Le principal exutoire de cet Aquifère karstique est la source de Ras el Aïn ainsi que de nombreuses autres sources qui émergent faisant partie de tout un système Hydrogéologique regroupant Misserghin, Berédah et le bassin de Ras el Aïn.

Dans le cadre de ce travail, l'étude hydro climatologique de la région étudiée nous a permis de définir les différents paramètres du bilan hydrologique. Ainsi l'exposition à la mer et en particulier le relief (le massif de Murdjadjo) jouent le rôle d'obstacle aux facteurs dominants du climat semi-aride de la région favorable aux apports occultes (brouillard).

Les variations piézométriques indiquent un rôle important des irrigations qui permettent le maintien du niveau d'eau pendant la période d'étiage durant tout l'été, cela permet de limiter le risque de manque d'eau et d'éventuelles restrictions. Par ailleurs, suivant le sens de l'écoulement principal (NW-SE), on constate que la morphologie de l'Aquifère calcaire de la nappe est restée inchangée pendant la

période d'observation des fluctuations des niveaux piézométriques de la nappe (2007-2018).

La réactualisation des cartes piézométriques nous a apporté un élément nouveau d'une importance capitale insoupçonnée, jusqu'à aujourd'hui. En effet, la cartographie de l'écoulement souterrain au niveau du bassin du massif du Murdjado s'est avéré alimenter en plus du grand bassin de Ras el Aïn situé à son piémont, le bassin de Daya Morsly communément appelé, « Petit lac », en effet les axes principaux s'étendent dans la direction SW-SE, vers le plateau d'Oran.

Nous pourrions envisager dans le futur de soulager le bassin du Murdjado par l'implantation de nouveaux points d'eau et contribuer, ainsi à alimenter une grande partie du plateau d'Oran.

Du point de vue hydro chimique, les eaux du bassin de Ras el Aïn appartiennent principalement aux deux familles d'eau :

Chlorurée-sodique (75%) des points d'eau

Chloruré - Magnésienne pour le reste des points eau.

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 (voir analyses de le SEOR en annexe), elle ne peut s'expliquer que par la sur exploitation de la nappe due à la prolifération des ouvrages.

L'urbanisation de plus en plus développée au sommet du massif et sur les versants, dépourvue de tout réseau d'assainissement véhiculent les eaux usées. Des germes de contamination fécale ont été détectés localement au niveau de la source de Ras-el - Aïn.

Des périmètres de protection peuvent être prescrits par une déclaration d'utilité publique, suite à la contamination de la source de Ras el Aïn.

Nous n'avons pas pu étudier l'évolution des Hydrocarbures dans notre secteur d'étude, les résultats des analyses actuels nous n'ayant pas été communiqués.

Références bibliographiques

- Belhaloui B**, 1999 : *Méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité des nappes libres à la pollution à partir des SIG application à la région d'Oran carte au (1/50000) D'Oran*
Mémoire d'Ingénieur Université d'Oran.
- 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
- 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.
- Benabid 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.
- 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.
- Dalloni et Fennet** (Étude géologique de l'Oranie)
- Thomas** Géodynamique des Bassins sédimentaires
- Gevin 1949**, Périmètre de Protection de Ras eL Ain.
- Sourisseau 1975**, **Étude** Hydrogéologique du Massif du Murdjadjo.
- F.Bouchama , 2001** : Synthèse d'établissement des périmètres de protection) **ANRH**
- Mostefa Djelloul-H.Belhadj** Jaugeages de la source de Ras El Ain **ANRH**
- A.Belkhodadi, 1994**)Choix du réseau de surveillance qualitative du Flan sud du Murdjadjo,**ANRH 1**
- Mostefa Djelloul**, *Annales Piézométrique du Flan Sud du Murdjadjo*)
- Castani 1998**, *Hydrogéologie principes et méthodes.*

-M^{elle} Kherzi Sabrina, 2011 : *Etude hydrochimique des eaux de l'Oued Djemâa Wilaya de Bejaïa.*

Mémoire pour l'Obtention de Magistère en hydraulique-Option : Hydraulique générale.

-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).

-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.

-Fahd Fatima Ezzahra, El Rhaffouli Oumayma, 2016 : *Etude Climatologique de la région de Fes.*

Mémoire pour l'Obtention de Licence Science et Techniques-Option : Géoressources et Environnement

Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, Faculté des Sciences et Techniques Maroc.

-M. Foukrache Mohammed 2001 *Hydrogéologie des massifs côtiers Oranais (Arzew- Bénisaf)*

Thèse de Magistère Université Essénia Oran Foukrache Mohamed 2001

- **Fadila Kettaf** ,2013, *La fabrique d'espaces publics : Conceptions, formes et usages des places d'Oran (Algérie)*

Thèse de Doctorat Université de Paul – Valéry Montpellier Fadila Kettaf

- **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*

Sites Web

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

<file:///F:/BIBLIOGRAPHIE%20RAS%20EL%20AIN/Climatologie%20globale%20à%20Oran%20Port%20-%20Infoclimat.html>

<https://www.infoclimat.fr/climatologie/annee/2017/oran-port/valeurs/60461.html>

https://www.persee.fr/doc/camed_0395-9317_1995_num_51_1_1152

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

-