

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



N° d'ordre :

Université d'Oran 2

**Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers
Département des Sciences de la Terre**

Mémoire

Présenté pour l'obtention du grade
Master en Géologie

Option : **Hydrogéologie**

Thème

**Contribution à la caractérisation hydrochimique de la nappe
phréatique du secteur urbain d'Oran**

Présenté par :

Mr. OUMAR Issouffa Madi

Soutenu le : 1^{er} juillet 2015 devant la commission d'examen :

Mme. ZAIDI-MEBROUK N.	Professeur	Présidente
Mr. HASSANI M.I.	Professeur	Encadreur
Mme. ABLAOUI H.	M.A.A	Examinatrice
Mme. SENADJKI	Chef de dpt. Laboratoire (SEOR)	Invitée

Oran 2015

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu qui m'a permis de réaliser et de poursuivre mon rêve. Je tiens également à remercier Monsieur Hassani Moulay Idriss d'avoir bien voulu m'encadrer et de m'avoir conseillé et guidé dans mon travail. Grâce à lui j'ai beaucoup appris durant cette courte période.

Mes sincères remerciements à tous les enseignants ayant accepté de faire partie du jury, à savoir Madame Zaidi-Mebrouk Naima, présidente, Madame Ablaoui Halima, membre, et Mme. Senadjki Samia, invitée, chef de dept. Laboratoire (SEOR).

Un très grand merci à Monsieur Chellouai Lamine qui a su apporter sa pierre à l'édifice.

Enfin, je ne peux finir sans remercier l'ensemble du personnel du département des Sciences de la Terre et de l'Univers, tous les enseignants en particulier les hydrogéologues (Mr. Borsali T., Foukrache M., Mansour H., Safa A., Hadjou F., Hayane Sidi Mohamed).

DEDICACES

Je dédie ce précieux travail à ma chère famille qui n'a jamais cessé de croire en moi, en particulier mon père, ma mère et mes frères. A tous ceux qui m'ont aidé, soutenu de loin comme de près jusqu'à ce que je puisse atteindre cet objectif.

OUMAR Issouffa Madi

SOMMAIRE

Remerciements.....	
Dédicaces.....	
Sommaire.....	
Liste des figures.....	
Liste des tableaux.....	
Introduction générale.....	1

Chapitre I

Contexte hydrogéologique de la zone d'étude

1- Cadre géographique.....	2
2- Cadre morphologique, hydrologique et climatologique.....	3
2-1-Morphologie	3
2-2-Hydrologie	3
2-3-Climatologie	4
2-3-1-Précipitations	4
2-3-1-1-Précipitations moyennes mensuelles.....	4
2-3-1-2-Précipitations saisonnières	5
2-3-1-3-Précipitations annuelles.....	6
2-3-2-Température.....	6
2-3-2-1-Températures moyennes mensuelles.....	7
2-3-3-L'évaporation	8
2-3-4-Le vent.....	8
2-3-5-Indice climatique	9
3-Contexte géologique	9
3-1-Cadre géologique régional.....	9

3-2-Géologie du secteur d'étude	12
3-3-Structure générale	14
4-Hydrogéologie.....	15
4-1-L'aquifère des calcaires récifaux du Djebel Murdjadjo	15
4-2-L'aquifère du complexe dunaire Calabrien	17
4-3-L'aquifère alluvionnaire	17
4-4-Piézométrie du secteur d'études	18

Chapitre II

Contexte hydrochimique

1-Introduction.....	20
2-Etudes des paramètres physiques	22
a-Le pH.....	22
b-La température	23
c-La conductivité.....	23
d-Le résidu sec.....	25
e-La duréte	27
3-Etude des paramètres chimiques majeurs	27
3-1-Balance ioniques.....	27
3-2-Principaux cations et anions	28
a-Le calcium.....	28
b-Le magnésium.....	30
c-Sodium et potassium	32
d-Les bicarbonates.....	34
e-Les chlorures	36
f-Sulfate.....	38

3-3-Etude des rapports caractéristiques.....	40
a-Le rapport $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$	40
b-Le rapport Na^+/Cl^-	40
c-Le rapport $\text{Mg}^{++}/\text{Ca}^{++}$	40
3-4-Classification hydrochimique	40
a-Interprétation par le Diagramme de Schoeller-Berkaloff.....	42
b-Interprétation par le diagramme de Piper.....	43
4-Indices de saturation.....	44
5-Indice chloro-alcalin (ex : i.e.b : indices d'échange de bases).....	48

Chapitre III

Etude des éléments indicateurs de pollution et des métaux lourds

I-Introduction.....	49
II-Etude des éléments indicateurs de pollution	50
II-1-Généralité	50
II-2-Origine de la pollution	50
II-3-Les principaux indicateurs de pollution organique	50
a-Ammonium.....	50
b-Les nitrites.....	51
c-Les nitrates	51
d-Les phosphates	51
e-Les matières organiques	51
f-Les matières en suspension.....	52
II-4-Situation dans la zone d'étude	52
II-4-1-Les nitrates.....	53
II-4-2-Les nitrites	56

II-4-3-L'ammonium	57
II-4-4-Le phosphore	58
II-4-5-La silice.....	59
II-4-6-Matières organique et en suspension	59
III-Etude des métaux lourds	59
III-1-Généralité.....	59
III-2-Les principaux éléments toxiques.....	59
a-Le fer	59
b-Le manganèse.....	60
c-Le cuivre.....	60
d-Le Zinc	60
e-Le plomb	61
f-Le chrome	61
III-3-Source de pollution des substances toxiques	62
III-4-Mécanismes de migration et atténuation des polluants des nappes	62
III-5-Situation dans le secteur d'étude	63
III-6-Description et répartition spatiale des résultats	63
a-Le fer	63
b-Le manganèse.....	65
c-Le cuivre.....	66
d-Le zinc.....	67
e-Le plomb	68
f-Le chrome	69
Conclusion générale	70

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Situation géographique de région d'Oran.....	2
Figure 2 : Localisation géographique du secteur d'étude.....	2
Figure 3 : Carte représentant les sous bassins versants hydrologiques au niveau du secteur d'Oran (in Benabdellah M., 2010).....	4
Figure 4 : représentation des précipitations moyennes mensuelles à la station d'Es-Sénia (1997 /2010).....	5
Figure 5 : Précipitations saisonnières (période 1997-2010).....	6
Figure 6 : Graphe représentant les températures mensuelles à la station d'Es-Sénia (1997 à 2010).....	7
Figure 7 : indice d'aridité de la d'Es-Sénia selon la méthode de De Martonne.....	9
Figure 8 : Log géologique synthétique de la région d'Oran (Hassani M.I, 1987, extrait).....	11
Figure 9 : Carte géologique du secteur d'étude (carte d'Oran au 1/50.000, d'Y. Gourinard, 1957).....	12
Fig. n° 10 : Coupe géologique des falaises du port d'Oran (Thomas G, 1985).....	13
Figure 11 : représentation des principaux aquifères de la zone d'étude..... (A. Joseph, 1979).	15
Figure 12 : Coupe hydrogéologique schématique du Djebel Murdjadjo (M. I. Hassani, 1987).....	16
Figure 13 : Carte piézométrique du secteur d'étude (d'après Agep/Sogreah, 1997).....	18
Figure 14 : Localisation géographique des points d'eau prélevés.....	21
Figure 15 : Carte en courbes isoteneurs de la conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$).....	24
Figure 16 : Carte en courbes isoteneurs en résidu sec (mg/l).....	26
Figure 17 : Carte en courbes isoteneurs de calcium (mg/l).....	29
Figure 18 : Carte en courbes isoteneurs de magnésium.....	31
Figure 19 : Carte en courbes isoteneurs de sodium (mg/l).....	33
Figure 20 : Carte en courbes isoteneurs en bicarbonates.....	35
Figure 21 : Carte en courbes isoteneurs de chlorures (mg/l).....	37

Figure 22 : Carte en courbes isoteneurs en sulfates (mg/l).....	39
Figure 23 : Représentation graphique des résultats sur le diagramme de Schoeller–Berkaloff.....	43
Figure 24 : Représentation graphique des résultats sur le diagramme de Piper.....	44
Figure 25 : Diagrammes des indices de saturation en fonction des chlorures (calcite, dolomite et aragonite) en fonction des chlorures.....	47
Figure 26 : Diagrammes des indices de saturation (gypse et anhydrite) en fonction des chlorures.....	48
Figure 27 : Carte des teneurs en nitrates (mg/l) des points d'eau.....	55
Figure 28 : Carte des teneurs en nitrites (mg/l) des points d'eau.....	56
Figure 29 : Carte des teneurs en ammonium (mg/l) des points d'eau.....	57
Figure 30 : Carte des teneurs en phosphore (mg/l) des points d'eau.....	58
Figure 31 : Carte des teneurs en fer (mg/l) des points d'eau.....	64
Figure 32 : Carte des teneurs en manganèse (mg/l) des points d'eau.....	65
Figure 33 : Carte des teneurs en cuivre (mg/l) des points d'eau.....	66
Figure 34 : Carte des teneurs en zinc (mg/l) des points d'eau.....	67
Figure 35 : Carte des teneurs en plomb (mg/l) des points d'eau.....	68
Figure 36 : Carte des teneurs en chrome (mg/l) des points d'eau.....	69

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : coordonnées de la station climatologique d'Es-Sénia.....	4
Tableau 2 : représentation des précipitations moyennes mensuelles durant la période 1997-2010 à la station d'Es-Sénia (données O. N. M).....	5
Tableau 3 : représentation des précipitations saisonnières (1997-2010).....	5
Tableau 4 : représentation des précipitations des précipitations annuelles à la station d'Es-Sénia (1997 /2010) (données O.N.M).....	6
Tableau 5 : représentation des températures moyennes mensuelles (°C) de la station d'Es-Sénia 1997 à 2010 (données O.N.M).....	7
Tableau 6 : Evaporation moyenne mensuelle (mm) à la station d'Es-Sénia de 1990 à 2001 (données O.N.M).....	8
Tableau 7 : Représentation des Evaporations annuelles (mm) à la station d'Es-Sénia de 1990 à 2002.....	8
Tableau 8 : Représentation des vitesses moyennes mensuelles du vent à la station d'Es-Sénia de 1990 à 2002.....	8
Tableau 9 : Coordonnées géographiques, selon les coordonnées du système Lambert Nord Algérie, des points d'eau échantillonnés (source, puits et forages).....	20
Tableau 10 : Résultats de l'analyse physico-chimique des points d'eau prélevés (29/11/2000).....	22
Tableau 11: Dureté des différents puits et source (°F).....	27
Tableau 12 : Pourcentage d'erreur des analyses d'eaux du secteur d'étude.....	28
Tableau 13 : Résultats des rapports caractéristiques (r en mg/l).....	40
Tableau 14 : Résultats des analyses chimiques en r (méq/l).....	41
Tableau 15 : faciès caractéristiques des échantillons d'eau prélevés.....	41
Tableau 16 : indices de saturation des eaux souterraines de la zone d'étude.....	46
Tableau 17 : valeurs des indices d'échange de base des eaux du secteur d'étude.....	49
Tableau 18: Résultats de l'analyse physico-chimique des éléments indicateurs de pollution des points d'eau prélevés (29/11/2000).....	53

Tableau 19 : Les sources industrielles de pollution par des substances toxiques (J.F. Busse, 1980).....62

Tableau 20 : Représentation des résultats des concentrations en éléments mineurs.....63

INTRODUCTION GENERALE

Dans le monde actuel, aucun développement économique et démographique n'est possible sans avoir recours des ressources en eau de qualité. Actuellement, la pollution touche de plus en plus de façon directe les eaux souterraines et les eaux de surface dont une partie est destinée à l'alimentation en eau potable. Près de la moitié de l'eau douce utilisée pour la boisson et l'irrigation dans le monde provient du sous-sol. Le développement humain dépend donc des ressources en eaux souterraines. Ces dernières sont naturellement pures. Néanmoins, la pratique montre une détérioration croissante de cette qualité du fait d'activités humaines, source de pollution tels que les nitrates, les pesticides, les hydrocarbures, etc.

Les nappes d'eaux souterraines, libres, situées sous les zones urbaines sont particulièrement vulnérables à toutes sortes de pollutions induites par la présence de plusieurs activités industrielles à l'intérieur même du tissu urbain, générant des rejets solides et des effluents liquides. Les pollutions peuvent également être causées par les eaux pluviales ainsi que par des eaux usées pouvant provenir de fuites de réseaux d'assainissement vétustes ou défectueux.

La grande agglomération oranaise est caractérisée par la présence d'une nappe d'eau souterraine de nature hydrodynamique essentiellement libre dans son sous-sol. Celle-ci est utilisée pour des usages agricoles ou même industrielles, elle sert aussi à l'approvisionnement de nombreux bains-douches et même à l'alimentation directe en eau potable dans certaines de ses parties.

Ce travail a pour but de caractériser la qualité hydrochimique de ces eaux souterraines en se basant notamment sur les éléments indicateurs de pollution (nitrates, phosphates, etc.) ainsi sur les teneurs en éléments mineurs (métaux lourds). L'étude des caractéristiques physico-chimiques des eaux de la zone étudiée s'est basée sur l'exploitation des analyses d'eau relatives à dix (10) points d'eau (sources, puits), repartis dans la zone urbaine d'Oran. Les échantillons d'eau ont été prélevés lors d'une campagne d'échantillonnage réalisée le 29 novembre 2000 par une équipe du département des Sciences de la Terre dans le cadre de la réalisation du mémoire d'ingénieur de MM. Zouaoui et Hamadou (2001).

Pour notre étude, une nouvelle campagne de prélèvements n'a pu être effectuée faute de pouvoir effectuer des mesures hydrochimiques de laboratoire.

CHAPITRE I

Contexte hydrogéologique de
la zone d'étude

1- Cadre géographique :

Située au nord-ouest de l'Algérie, au bord de la mer méditerranée avec comme coordonnées X = 0° 30' Ouest à 0° 45' Ouest, Y = 35°35' Nord à 35°47' Nord, l'agglomération d'Oran représente le deuxième centre urbain et économique du pays.

Elle se localise plus précisément dans la partie Nord-Ouest du plateau d'Oran, au pied du Djebel Murdjadjo, et constitue la ville d'Oran, raccordée aux localités voisines de Bir El Djir, Canastel, Es-Sénia, El Hassi (Pont Albin), etc.

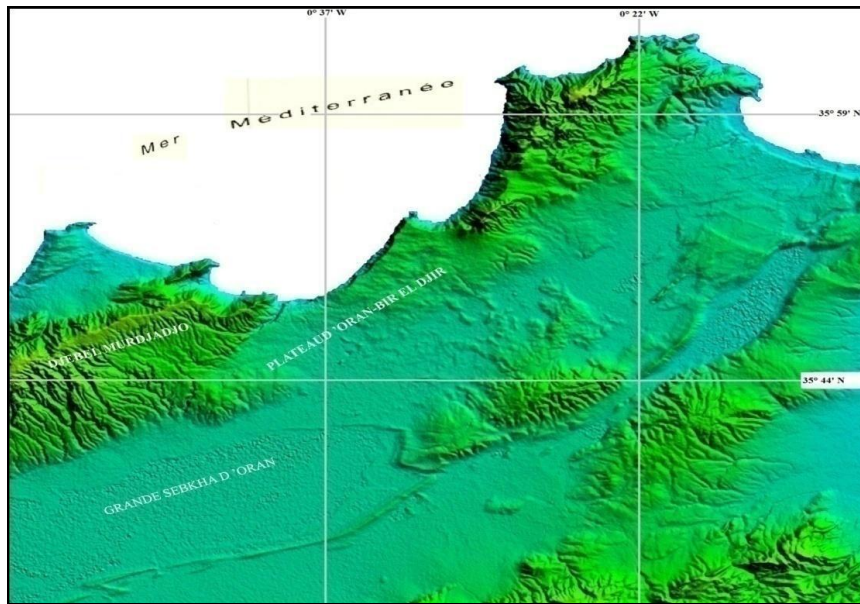


Figure 1 : Situation géographique de région d'Oran.

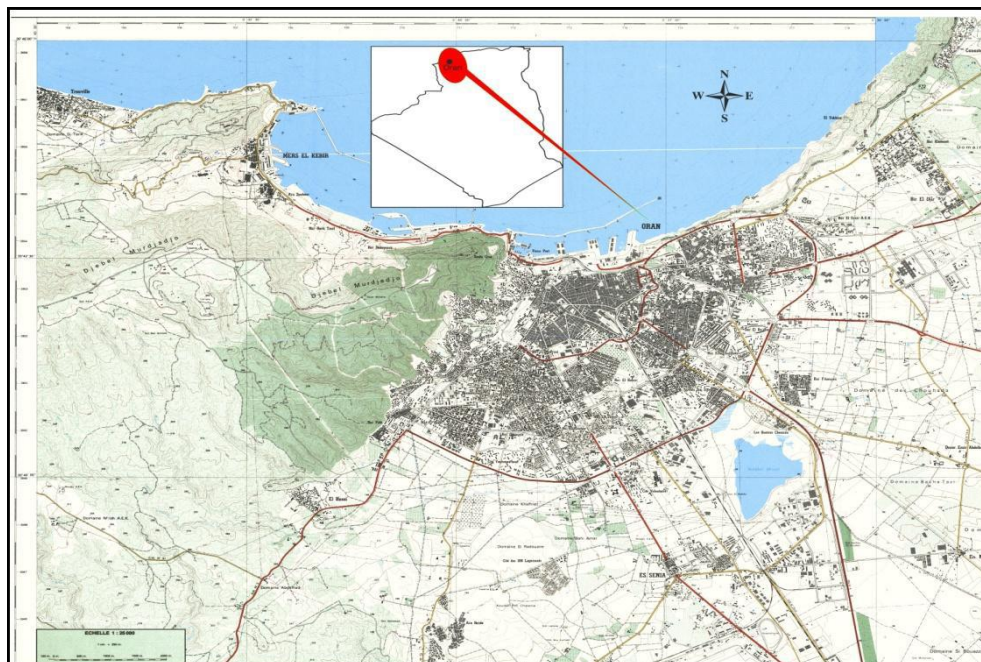


Figure 2 : Localisation géographique du secteur d'étude.

2-Cadres morphologique, hydrologique et climatologique :

2-1- Morphologie :

La structure morphologique de la région d'Oran est caractérisée, du nord au sud, par trois grands sillons, à savoir :

- un sillon septentrional représenté par la plaine des Andalouses
- un sillon médian (Plateau d'Oran – Grande Sebka) prolongeant vers l'Ouest le sillon du bassin du Cheliff,
- un sillon méridional situé au sud des Monts de Tessala (plaine de Sidi-Bel-Abbès).

En bordure septentrional du sillon médian, soit en bordure méridionale du Djebel Murdjadjo se trouve notre zone d'étude (figure 1). L'ensemble est orienté selon la direction tellienne (Ouest-Sud-Ouest, Est-Nord-Est).

2-2- Hydrologie :

Le sillon médian défini précédemment détermine un bassin versant de type endoréique. Il est limité par la ligne de crêtes du Djebel Murdjadjo et des Monts de Tessala, il constitue le bassin versant de la Grande Sebka d'Oran. L'effet de l'assèchement du climat et la tectonique récente influence beaucoup l'organisation du réseau hydrographique de la région (Hassani M.I, 1987).

On retrouve un réseau hydrographique bien développé sur le flanc sud du Djebel Murdjadjo.

En général, ce sont des entailles plus ou moins profondes dans les calcaires et qui s'estompent d'amont en aval vers la plaine. On distingue d'une manière claire et nette deux types de réseaux hydrographiques :

- un réseau dendritique qui se développe dans les schistes d'âge secondaire, situés en amont du djebel.
- un réseau de type rectangulaire d'oueds, entaillant fortement le karst (canyons) et liés au réseau de fractures affectant les calcaires miocènes, plus en aval.

Le régime des oueds qui dépend des précipitations est caractérisé par un écoulement temporaire et irrégulier. Les écoulements pérennes se font rares à cause de la ré-infiltration assez rapide après une circulation de quelques centaines de mètres sur les calcaires miocènes, des eaux provenant des sources et celles associées au ruissellement de surface. La majorité des chaabets et oueds (Misserghin, Tamermouth, Dahlia, etc..) dévalent suivant une direction Nord-Sud vers la plaine de Misserghin et la Grande Sebka d'Oran. Par contre à l'extrémité Nord-est du Djebel Murdjadjo, les écoulements prennent une direction Nord-Ouest, Sud-est vers le Plateau d'Oran, en particulier l'Oued Chaabane qui

draine la partie à l'Est d'El Hassi (Pont Albin). Il s'écoule vers Ain Beida, Es Sénia et finit par déboucher à Dayat Morselly (figure 3). Quant à l'Oued Keffri, il présente une direction Est-Ouest avant de rejoindre en aval le ravin de Ras El Ain et finit par se jeter à la mer au niveau du vieux port d'Oran (Hassani M.I., 1987).

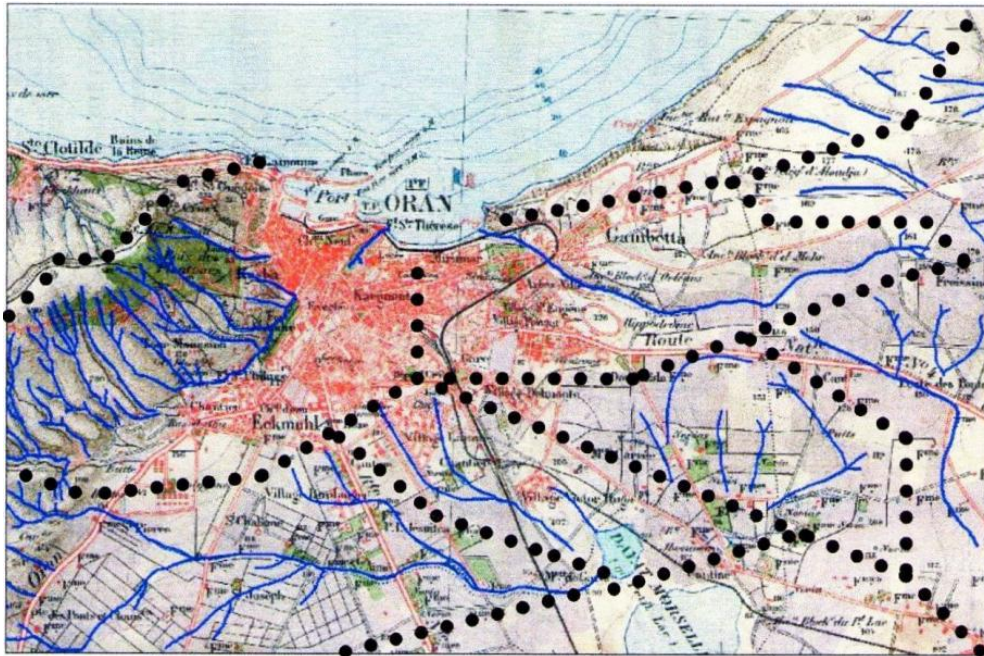


Figure 3 : Carte représentant les sous bassins versants hydrologiques au niveau du secteur d'Oran (in Benabdellah M., 2010).

2-3- Climatologie :

L'étude se base sur diverses données climatologiques relevées, sur la période 1990-2010, éau niveau de la station d'Es-Sénia, située à la partie sud de la zone d'étude (tableau 1).

Tableau 1 : coordonnées de la station climatologique d'Es-Sénia.

Station d'Es-Sénia	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Indicatif ONM
Coordonnées	35°38 N	00°36W	90	490

2-3-1- Etude des Précipitations :

2-3-1-1-Précipitations moyennes mensuelles :

Les précipitations moyennes mensuelles (mm), maximales (mm) et minimales (mm) de la station climatologique d'Es-Sénia sont présentées au tableau 2 et figure 4.

Tableau 2 : représentation des précipitations moyennes mensuelles durant la période 1997-2010 à la station d'Es-Sénia (données O. N. M).

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Max (mm)	155	100	62	76	70	32	24	17	66	134	185	128
Min (mm)	1	0	1	0	0	0	0	0	1	7	3	3
Moy (mm)	42	38	25	29	22	4,9	2	1,5	15	35	68	44

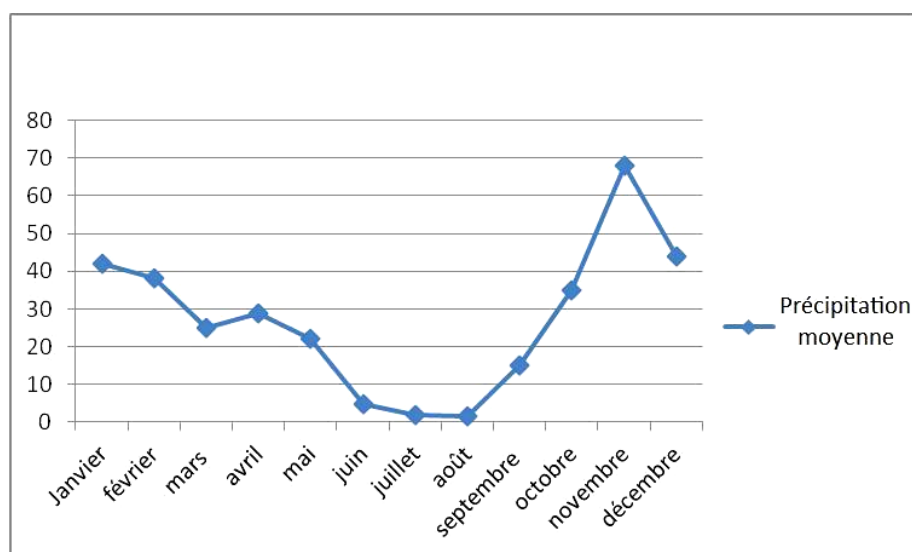


Figure 4 : représentation des précipitations moyennes mensuelles à la station d'Es-Sénia (1997 /2010).

La quantité maximale se trouve au mois de novembre avec 68 mm et la quantité minimale en août avec 1,5 mm.

2-3-1-2-Précipitations saisonnières :

Les précipitations saisonnières sont représentées au tableau 3 :

Tableau 3 : représentation des précipitations saisonnières (1997-2010).

Saison	Hivers (A)	Printemps (P)	Eté (E)	Automne (A)	Régime climatique
Précipitation saisonnière (mm)	124	76	8,4	118	H.A.P.E

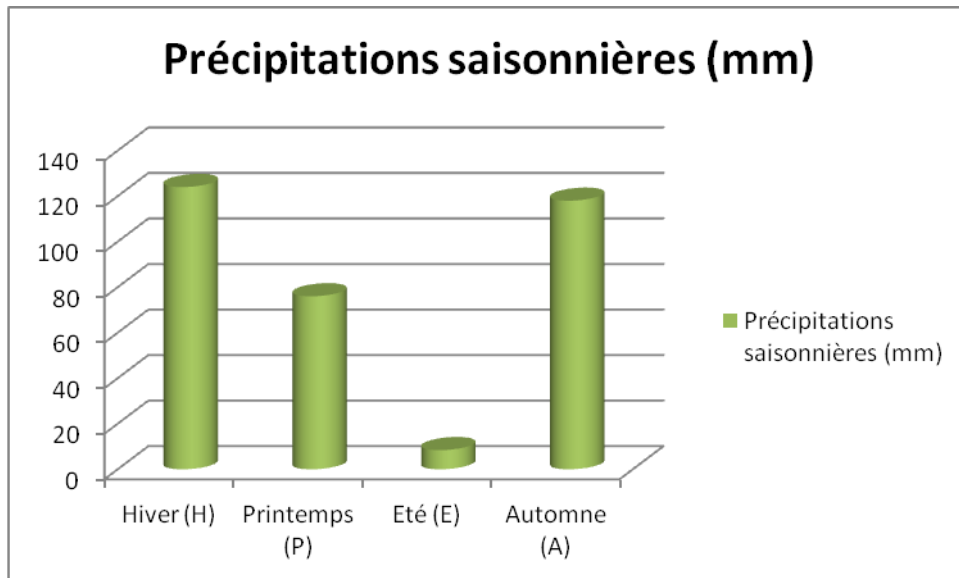


Figure 5 : Précipitations saisonnières (période 1997-2010)

Le régime climatique est de type H.A.P.E, le maximum des précipitations se présente en hiver (124 mm).

2-3-1-3- Précipitations annuelles :

Les précipitations annuelles sont représentées au tableau 4.

Tableau 4 : représentation des précipitations des précipitations annuelles à la station d'Es-Sénia (1997 /2010) (données O.N.M).

Année	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Moyenne
Précipitation	174	233	279	254	472	286	383	356	236	311	478	410	247	422	326

Le module pluviométrique est de 326 mm. Le maximum des précipitations a été de 478 mm en 2007 et le minimum a correspondu à 174 mm en 1997.

2-3-2-Température :

La température est une donnée essentielle pour toute étude climatologique. Elle est également importante pour toute étude hydrochimique car elle prédétermine les conditions hydrochimiques de sub-surface.

2-3-2-1-Température moyennes mensuelles :

Les données relatives aux températures moyennes mensuelles, maximales et minimales sont présentées en tableau 5.

Tableau 5 : représentation des températures moyennes mensuelles (°C) de la station d'Es-Sénia 1997 à 2010 (données O.N.M).

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Max (°C)	12,5	13,5	16,3	17,5	20,5	24,8	27,1	27,7	24,6	21,5	17	13,6
Min (°C)	8,2	8,9	13	15,2	17,3	21,5	23,9	25,1	22,6	18	12,9	9,5
Moy (°C)	10,85	11,75	14,17	16,27	19,23	23,1	25,77	26,25	23	20	14,91	11,83

- pour les températures maximales, le minimum se présente au mois de janvier (12,5°C) et le maximum en août (27,7°C).

- pour les températures minimales, le minimum se présente au mois de janvier (8,2°C) et le maximum en août (25,1°C).

- pour les températures moyennes, le mois de janvier reste le plus froid de l'année avec 10,85°C, et le mois d'aout le plus chaud avec (26.25 °C).

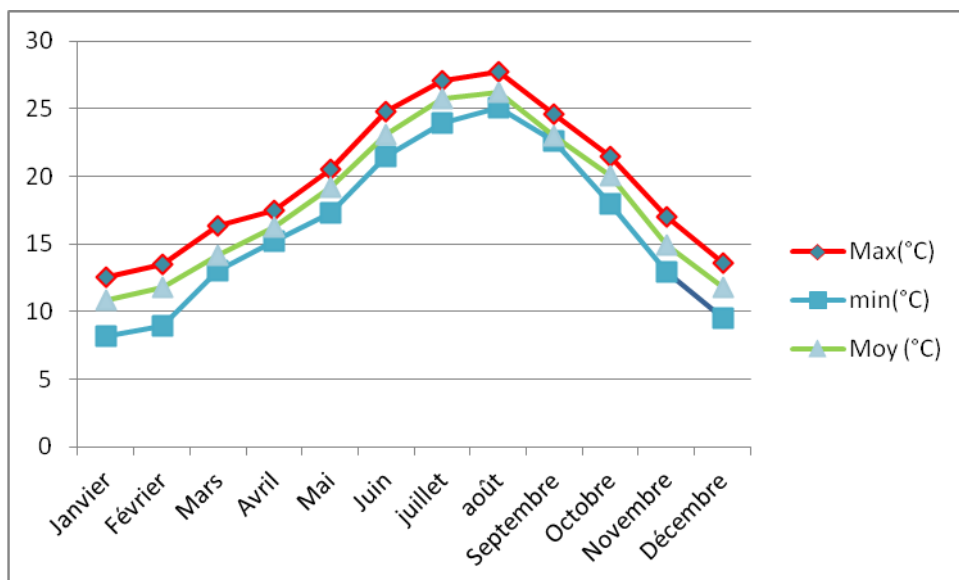


Figure 6 : Graphe représentant les températures mensuelles à la station d'Es-Sénia (1997 à 2010).

La saison froide débute au mois de novembre ($T < 15^{\circ}\text{C}$) et prend fin en avril. La saison chaude s'étend du mois de mai et à fin octobre.

2-3-3- Evaporation :

Nous avons disposé des valeurs des moyennes mensuelles et annuelles de l'évaporation enregistrée à la station Es-Sénia pendant la période 1990-2002.

Tableau 6 : Evaporation moyenne mensuelle (mm) à la station d'Es-Sénia de 1990 à 2001 (données O.N.M).

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Moyenne	66	70	96	122	151	167	174	181	148	110	79	65

Le maxima de l'évaporation est atteint au mois d'août (181 mm) et le minima en décembre avec 65 mm.

Deux périodes se dégagent à savoir, une où l'évaporation est importante, d'avril à octobre, et une autre qui occupe le reste de l'année, de novembre à mars.

Sur la période étudiée, le maximum de la moyenne annuelle s'est présenté en 1995 (1643 mm) et le minimum en 2002 (1070 mm).

La moyenne de la période 1992-2002 a été de 1434 mm.

Tableau 7 : Représentation des Evaporations annuelles (mm) à la station d'Es-Sénia de 1990 à 2002.

Année	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Moyenne	1407	1453	1549	1643	1412	1511	1571	1561	1467	1133	1070

2-3-4- Le vent :

Les moyennes mensuelles de la vitesse du vent à la station d'Es-sénia entre 1990 et 2002 se répartissent comme suit (tableau 8).

Tableau 8 : Représentation des vitesses moyennes mensuelles du vent à la station d'Es-Sénia de 1990 à 2002.

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Vitesse moy (m/s)	26.38	30.46	35.07	42.69	41.1	43.31	39.38	37.1	36.38	34.53	30.76	27.15
Direction	Ouest	Ouest	Ouest	Ouest	Ouest	Ouest	WSW	Ouest	Ouest	WSW	WSW	WSW

Sur presque toute l'année le vent souffle de direction ouest sauf dans quatre mois (juillet, octobre, novembre, décembre) où il souffle selon une direction WSW.

A noter qu'un vent de type chaud et sec appelé "Sirocco" souffle de direction WSW, de 5 à 7 jours entre les mois de juin et novembre.

2-3-5- Indice climatique :

L'utilisation de la méthode du diagramme de De Martonne détermine pour le secteur d'étude un climat semi-aride à la limite d'un régime désertique (figure 7). La formule déterminant l'indice d'aridité annuel : $I = P/T + 10$ donne une valeur de 10.71.

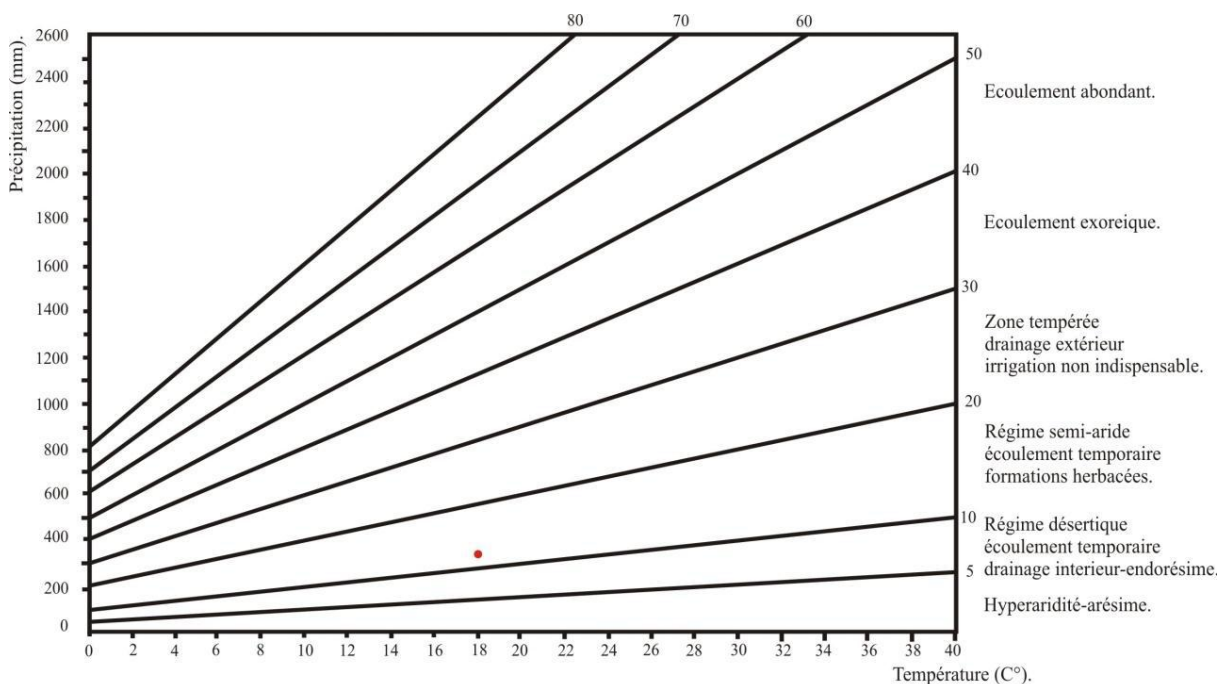


Figure 7 : indice d'aridité de la d'Es-Sénia selon la méthode de De Martonne.

3- CONTEXTE GEOLOGIQUE :

3-1- Cadre géologique régional :

Le Plateau d'Oran fait partie de "Littoral Oranais". Ce dernier a fait l'objet de nombreuses études géologiques et synthèses : F. Doumergue (1912), Tinthoin (1948), A. Perrodon (1957), Gourinard (1958), B. Fenet (1975), Thomas (1985), etc.

Ce domaine fait partie intégrante de la zone externe du Domaine Tellien de la Chaîne Alpine. Il se situe dans la partie nord-occidentale du bassin Néogène sub-littoral du Bas-Chelif. Dans la région, le massif d'Oran (Djebel Murdjadjo) en fait partie. Il est séparé du Djebel Khar (Montagne des Lions) par le plateau d'Oran.

La structure géologique régionale de ce domaine détermine deux grands ensembles : (figure 8)

* Un substratum, anté à synchro nappe, constitué dans les Djebels Khar et dans le Djebel Murdjadjo jusqu'à Madagh, par les massifs schistosés autochtones d'âge Jurassique et Crétacé.

* Un remplissage post-nappe, dans les parties plus basses du domaine, constitué par :

- Un Miocène 1er cycle, constitué de 250 mètres de dépôts continentaux de grès et conglomérats rouges, qui affleure au nord, dans le bassin de Mers El Kebir et au sud dans les Monts de Tessala (région de Taфраoui-Aghbal).

- Un Miocène 2^{ème} cycle, constitué par :

- Un niveau détritique de base formé de grès marins affleurant sommairement dans les zones hautes.

- Des formations médianes constituées de marnes bleues qui prennent une grande extension sous le plateau d'Oran et dans les Monts de Tessala où ils peuvent atteindre 600 mètres d'épaisseur.

- Des formations terminales, constituées au fond du domaine, par la série des tripolis et la série des gypses alors que dans le Djebel Murdjadjo, il y a passage latéral à des formations de bordure : c'est le faciès des calcaires récifaux qui prend une grande extension dans la région.

- Un Pliocène inférieur et moyen affleurant dans les Djebels Djira et Debbi, au sud d'El Braya, où des marnes à intercalations gréso-gypseuses atteignent 100 à 200 mètres d'épaisseur.

- Des formations pleisto-holocènes, correspondant à un empilement de couches sub-horizontales et argilo-sableuses ou limoneuses se raccordant sur les bords avec des sédiments devenant plus grossiers (in M.I. Hassani, 1987)

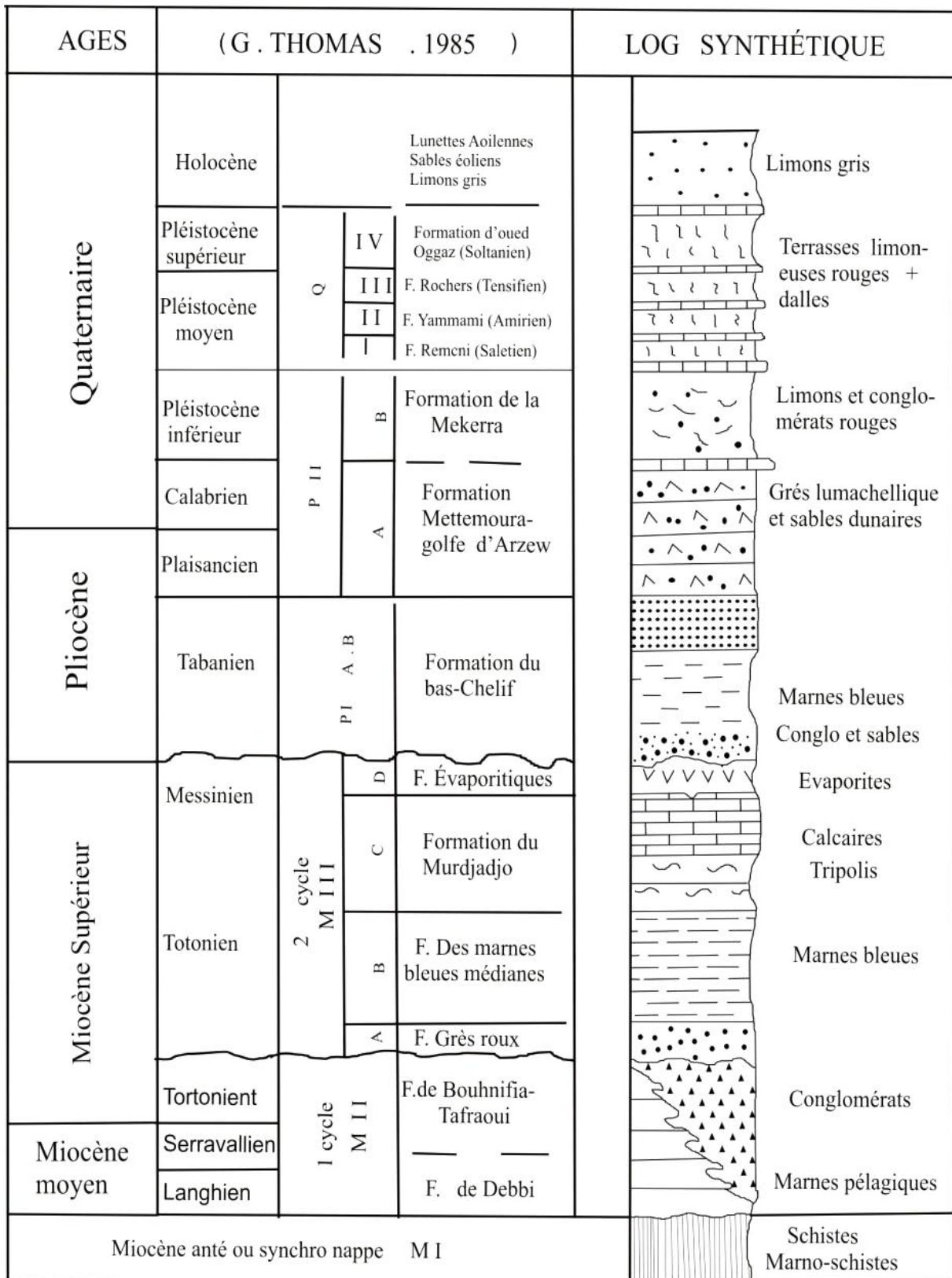


Figure 8 : Log géologique synthétique de la région d'Oran
(Hassani M.I, 1987, extrait).

3.2- Géologie du secteur d'étude :

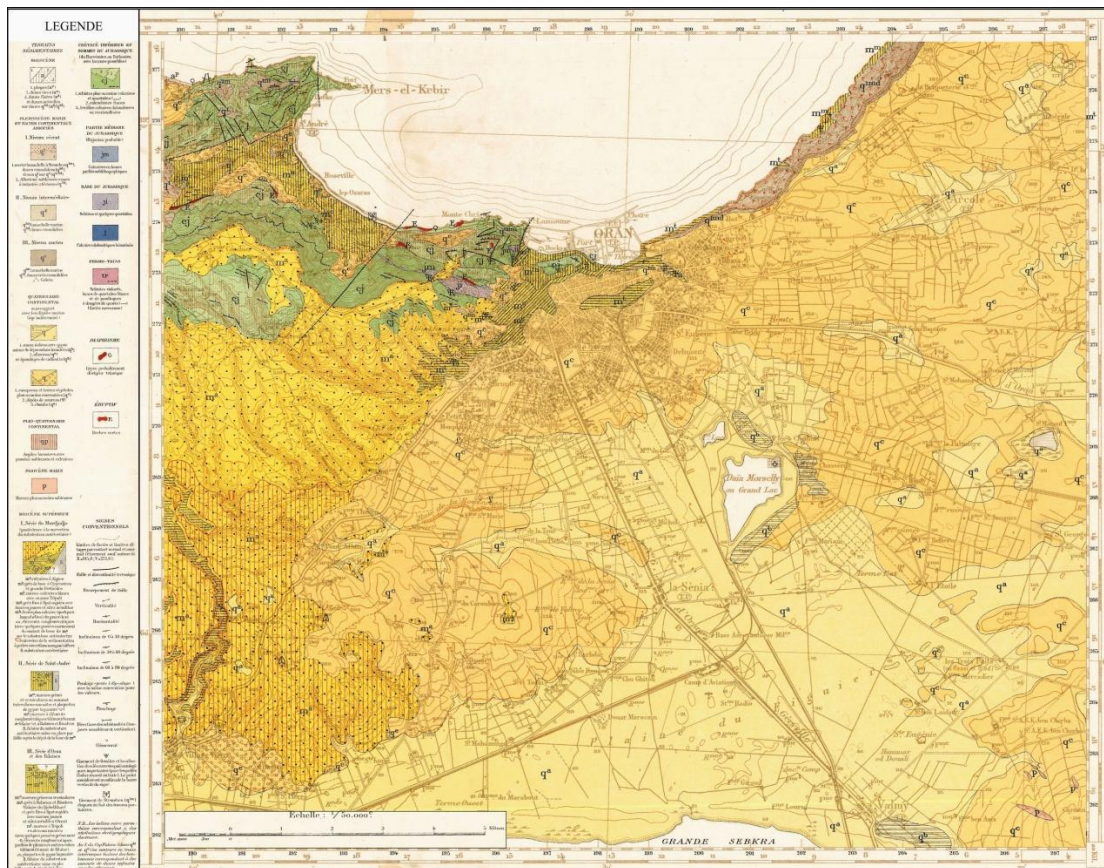


Figure 9 : Carte géologique du secteur d'étude (carte d'Oran au 1/50.000, d'Y. Gourinard, 1957).

- Le substratum anté à synchro nappe :

A proximité de l'agglomération oranaise, la série géologique débute par le substratum, anté à synchro nappe qui constitue les promontoires qui dominent la ville d'Oran (Djebel Murdjadjo). Son âge s'étend du Jurassique moyen au Crétacé-Barrémien.

De bas en haut, on peut distinguer :

- des schistes et quartzites,
- des calcaires lités,
- des schistes et calcaires,
- des calcaires plus ou moins dolomitiques.

- Le Miocène supérieur :

Dans le Djebel Murdjadjo, le substratum est surmonté par les formations du Miocène supérieur qui affleurent sur toute la zone comprise entre Oran et Boutlélis.

Ce sont des calcaires et des marno-calcaires avec, dans la partie inférieure de la série, des bancs de grès fins associés à des lits de marnes jaunes et quelques bancs de lumachelles.

Sous le plateau d'Oran, le Miocène supérieur est représenté par des marnes grises ou verdâtres, litées. Dans la coupe de la falaise du port d'Oran (figure 10), cette formation se présente à la base de la série sous forme d'une série séquentielle à deux termes : marnes grises à bleues et bancs à tripoli. Les marnes grises sont très riches en débris coquilliers divers (Huîtres, Lamellibranches.....). Elles sont largement gréseuses. Les bancs de tripoli sont très finement lités et d'épaisseur variable. La série se termine par une surface d'érosion.

- Dans les anciennes carrières de Gambetta, les bancs de tripoli intercalés dans les marnes sont très épais (plusieurs mètres), latéralement leur épaisseur peut varier rapidement.

- A Ras El-Ain, des marnes gréseuses peuvent passer latéralement à des grès alternant avec des bancs de tripolis, ces marnes sont riches en débris coquilliers divers.

- Sur le flanc sud du Djebel Murdjadjo, les marnes gréseuses laissent rapidement leur place à des marnes à tripoli lorsqu'on s'éloigne vers la Sebkha. L'âge de cette formation est déterminé par une faune marine (diatomées de Miocène supérieur).

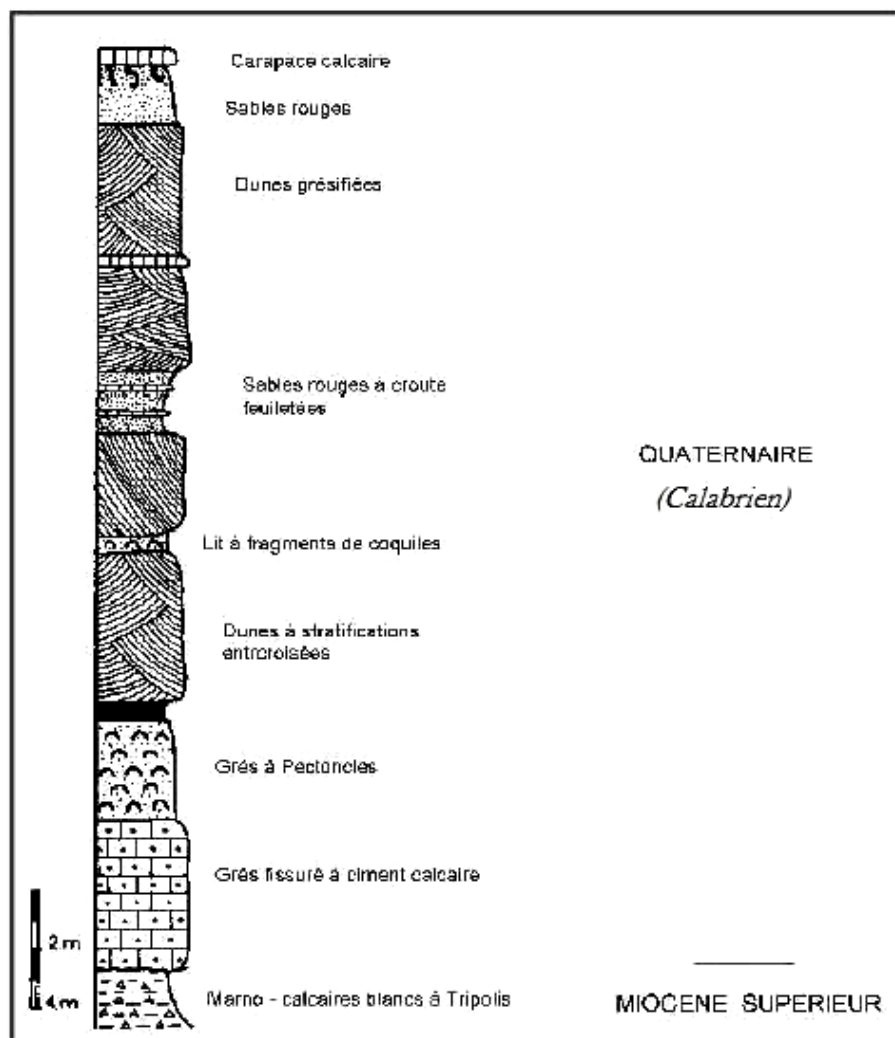


Fig. n° 10 : Coupe géologique des falaises du port d'Oran (Thomas G, 1985).

- Le Calabrien grès-sableux:

Le Pliocène inférieur et moyen qui affleure au sud d'El-Braya n'est pas représenté sous la partie nord du plateau d'Oran. En profondeur, sa limite longe la bordure nord de la grande Sebkha. Le biseautage de la série permet aux formations des grès tendres et des sables du Pléistocène inférieur (Calabrien) de reposer en discordance directement sur les formations du Miocène supérieur. Le contact est visible dans les affleurements de la falaise du port d'Oran (coupe de la figure 11). Ce contact est souligné par une ligne de sources, principalement la source de Cueva d'El Agua (covalawa) (X = 193.3, Y = 262.8).

La formation grès-sableuse du Calabrien affleure largement au nord-est de l'agglomération oranaise jusqu'à Canastel. Son épaisseur varie entre 15 et 25 m.

Cet ensemble se présente sous forme des dunes à stratification entrecroisée. Les sables sont plus ou moins grésifiés et contiennent des débris organiques d'origine marine.

Le Calabrien s'approfondit vers le sud où il se retrouve à plus de 30 m de profondeur au niveau de l'aéroport d'Es Sénia.

- Le Quaternaire récent

La zone des piedmonts au sud-est du Djebel Murdjadjo, est constituée de terrasses et glacis d'accumulation formés de limons sableux ou argiles rubéfiés attribués au Pléistocène supérieur (G. Thomas, 1985).

La surface de Plateau est occupée, au nord, par des dépôts du Quaternaire, peu épais, constitués d'argiles rouges de décomposition du Calabrien, et des dépôts de ruissellement limono-sableux. Ces formations sont progressivement envahies vers le sud par des limons gris correspondant à des sols hydromorphes. Près de l'Aéroport, le sous sol est constitué de gypse pur à 95 %, là, l'épaisseur de cette formation atteint 30 m d'épaisseur.

3.3- Structure générale :

La tectonique de la région est contrôlée par des phases de cisaillement et de collision qui engendrent une tectonique polyphasée. Depuis le dépôt des formations post nappes, la compression est prédominante (G. Thomas, 1985).

Cette tectonique dessine les traits essentiels de la structure actuelle et s'exprime selon les directions principales N 10-20°, N 50-70° et N 140°.

Le plateau d'Oran fait partie d'un ensemble correspondant au flanc nord d'un vaste synclinal dont l'axe est occupé par la Sebkha et son prolongement vers l'est s'étend jusqu'au niveau du golfe d'Arzew.

La partie sud du Plateau correspond à une zone à tectonique assez calme, avec un léger pendage des formations vers le sud en direction de la Grande Sebkha et de la Dayat Morselly.

Ce plongement n'est toutefois pas uniforme et peut s'inverser localement, créant des dépressions avec des points bas où l'eau de pluie s'accumule en saison humide.

La zone occidentale du plateau est formée par la bordure orientale de l'anticlinal du Djebel Murdjadjo. Le nord-est du plateau (zone de Bir El Djir), zone de collines, correspond à l'affleurement des grès et des lumachelles du Calabrien.

Le sud-est du Plateau d'Oran correspond à une zone de collines occupées au centre par les formations gréseuses du Pliocène (zone au sud d'El Braya).

4- HYDROGEOLOGIE :

Le cadre géologique du secteur permet d'individualiser plusieurs systèmes aquifères plus ou moins interconnectés (figure 11) :

- l'aquifère des calcaires récifaux miocènes du Djebel Murdjadjo, à la limite occidentale de l'agglomération,
- l'aquifère du complexe dunaire du Calabrien à la partie N-E de l'agglomération,
- la nappe des alluvions plio-quadernaires au Sud et Sud-est de l'agglomération d'Es-Sénia.

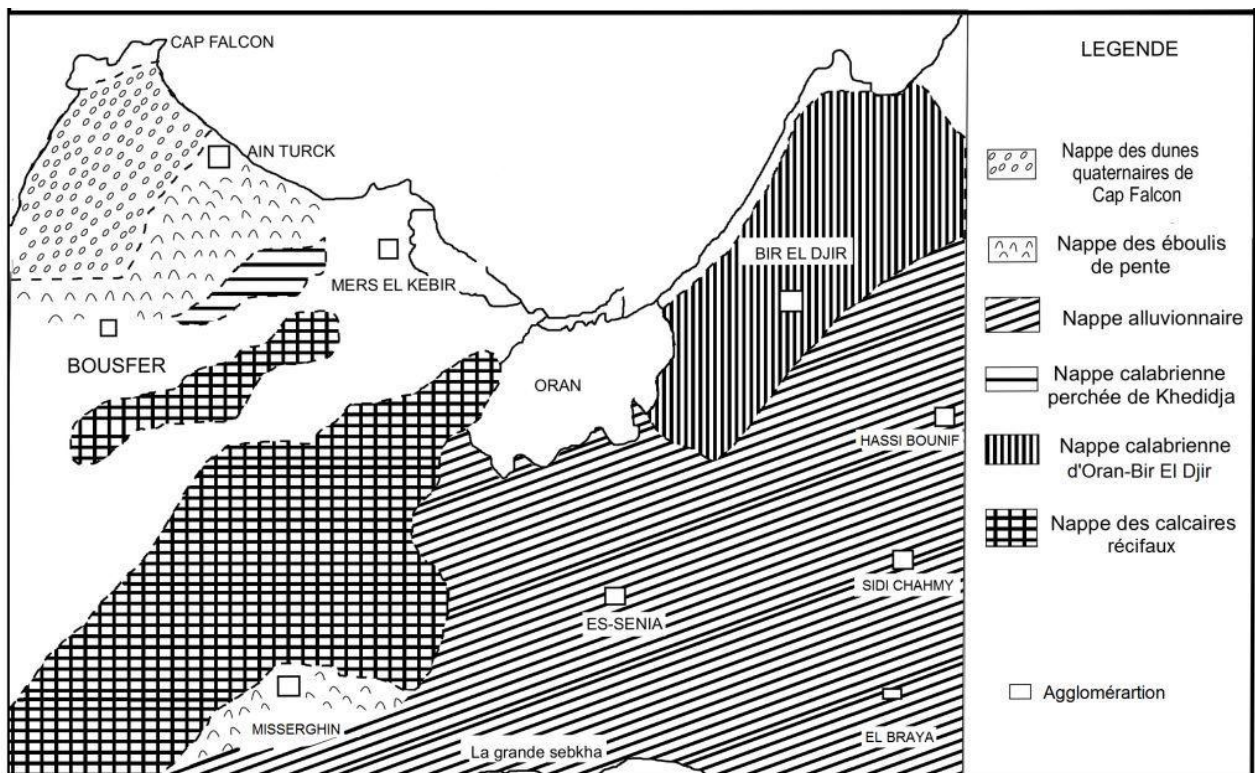


Figure 11 : représentation des principaux aquifères de la zone d'étude (A. Joseph, 1979).

4-1- L'aquifère des calcaires récifaux du Djebel Murdjadjo:

Les calcaires récifaux miocènes du Djebel Murdjadjo constituent un important aquifère karstique. La perméabilité est essentiellement de fissures et de chenaux. L'aquifère s'étend de Ras El Ain, à l'est, jusqu'à Boutlélis à l'ouest. Il constitue un impluvium de 135 km² pour une épaisseur atteignant environ 100 m.

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 (M.I. Hassani, 1987).

Dans cette aquifère, trois nappes peuvent être distinguées (figure 12):

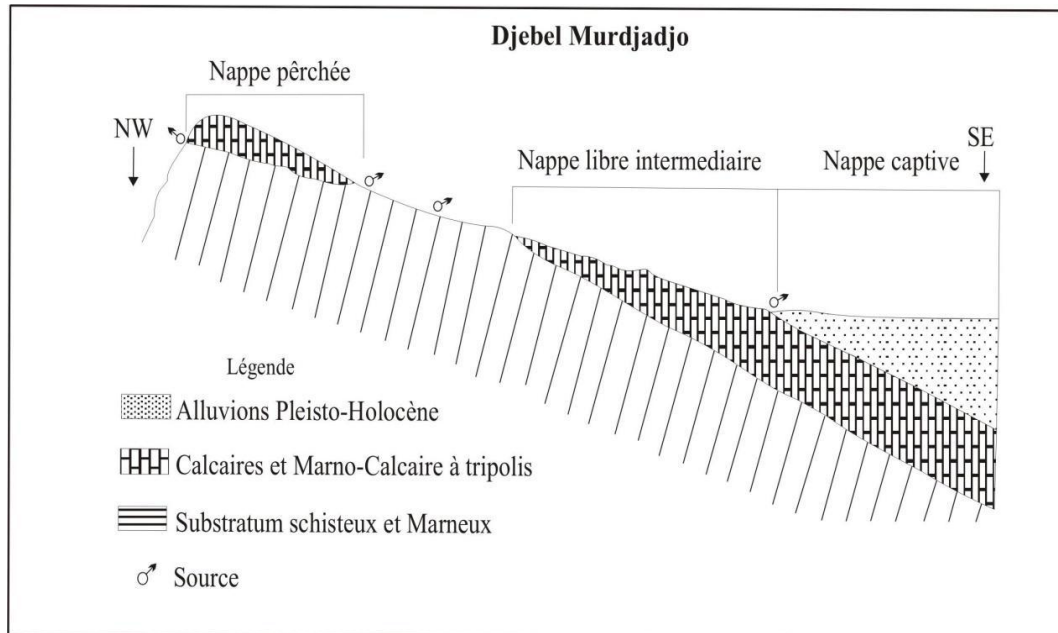


Figure 12 : Coupe hydrogéologique schématique du Djebel Murdjadjo (M. I. Hassani, 1987).

- **Une nappe perchée** : longeant une partie de la crête du Djebel. Cette nappe est drainée par une série de source au nord et au sud.

- **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 Brédeah à l'extrémité occidentale de l'aquifère,
- les sources de Misserghin affleurantes en amont de l'agglomération de même nom.
- La source de Ras El-Ain (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 captée par une galerie drainante.

La source de Ras El Ain, de par sa situation au sein de l'agglomération urbaine, est très vulnérable à la pollution organique et autre. Les calcaires à la perméabilité de fissures et de chenaux n'assurent aucune filtration des éléments polluants.

En amont du ravin de Ras El Ain, à partir du quartier des Amandiers en direction de l'ouest, l'aquifère des calcaires alimente par drainance latérale la nappe des alluvions. Dans

cette zone s'étendant jusqu'à El Hassi (Pont Albin), l'aquifère est exploité par d'innombrables forages et puits (puits des Amandiers, de Coca.....)

- **Une nappe captive** : en aval, à la ligne de rupture de pente du Djebel Murdjadjo, les calcaires passent sous les alluvions plio-quadernaires 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 fissure reste prépondérante. L'alimentation de cette nappe se fait par apports latéraux à partir des affleurements et partiellement par drainance à partir des eaux relativement minéralisées de la nappe plio-quadernaire sus-jacente.

4-2- L'aquifère du complexe dunaire Calabrien

Le complexe dunaire du Calabrien s'étend de la partie orientale de l'agglomération oranaise jusqu'au Djebel Khar. Il est formé de sables dunaires consolidés constituant un aquifère à porosité d'interstices, reposant sur le substratum imperméable des marnes à tripoli du Miocène supérieur.

L'aquifère du Calabrien présente une épaisseur qui atteint les 45 m au niveau des falaises côtières et du ravin blanc. Il contient une nappe libre, alimentée, au nord, par son impluvium, et drainée vers le nord par la ligne des sources qui émergent au contact des marnes à tripoli tout le long des falaises côtières. Au niveau du front de mer, on observe nettement cette ligne de sources au-dessus de l'usine à gaz. La plus importante de ces sources est la source de "Cueva d'El Agua" qui se déverse vers la mer. Une autre partie de l'écoulement souterrain se fait vers le ravin blanc en amont de la partie orientale du port d'Oran.

Plus au sud, le niveau piézométrique de nappe suit l'allure de la topographie, l'écoulement se fait vers le sud-est, en direction de la Dayat Morselly (figure 13). Les différents ouvrages sur lesquels les prélèvements d'eau ont été effectués (puits de Miramar, de la mosquée Zine El Abidine (St. Pierre), puits de St. Eugène, de Mediouni, des H.L.M...) sont foncés dans ces sables consolidés. Dans certains secteurs, la nappe peut devenir semi-captive sous les zones de recouvrement argileux puits des Abattoirs etc. (M.I Hassani, 2002).

Les valeurs de perméabilité caractérisant les principaux faciès de l'aquifère du complexe dunaire Calabrien sont les suivantes : (AGEP/Sogreah, 1997)

Argiles sableuses et gréseuses.....	6,6. 10 ⁻⁶ m/s
Sables argileux.....	1,1 10 ⁻⁵ à 7.10 ⁻⁴ m/s
Argiles et calcaires.....	1,1.10 ⁻⁴ m/s

4-3- L'aquifère alluvionnaire :

L'aquifère du remplissage plio-quadernaire s'étend du sud d'Oran jusqu'à la grande Sebka. Cet aquifère est alimenté par :

- 1- Son impluvium.
- 2- Les eaux provenant par drainance latérale des calcaires du Dj. Murdjadjo.

- 3- L'infiltration du ruissellement de surface provenant du Dj. Murdjadjo.
- 4- La drainance latérale à partir de l'aquifère du Calabrien.

La nappe est très exploitée, par forages et puits, pour des usages agricoles et industriels. C'est le cas dans la zone d'Es Sénia. L'eau de cette nappe est plus minéralisée.

La nappe s'écoule en direction de la Dayat Morselly qui correspond à l'affleurement de la surface libre de la nappe où l'eau peut être reprise par évaporation (M.I Hassani, 2002).

Les valeurs de perméabilité caractérisant les principaux faciès de l'aquifère alluvionnaire sont les suivantes : (AGEP/Sogreah, 1997)

Argiles à gravier ou à horizon sableux ou gypseuse.....	$1,2 \cdot 10^{-7}$ à $2,4 \cdot 10^{-4}$ m/s
Argiles rouges.....	$1,3$ à $7 \cdot 10^{-7}$ m/s
Silts.....	$1,1 \cdot 10^{-4}$ m/s
Sables fins, sables argileux, calcaires tuffeux.....	$9,4 \cdot 10^{-5}$ m/s

4-4- Piézométrie du secteur d'étude :

L'établissement d'une carte en courbes hydro isohypses de la nappe s'étendant sous l'agglomération oranaise (AGEP/Sogreah, 1997), détermine une nappe de type radiale à profil hyperbolique.

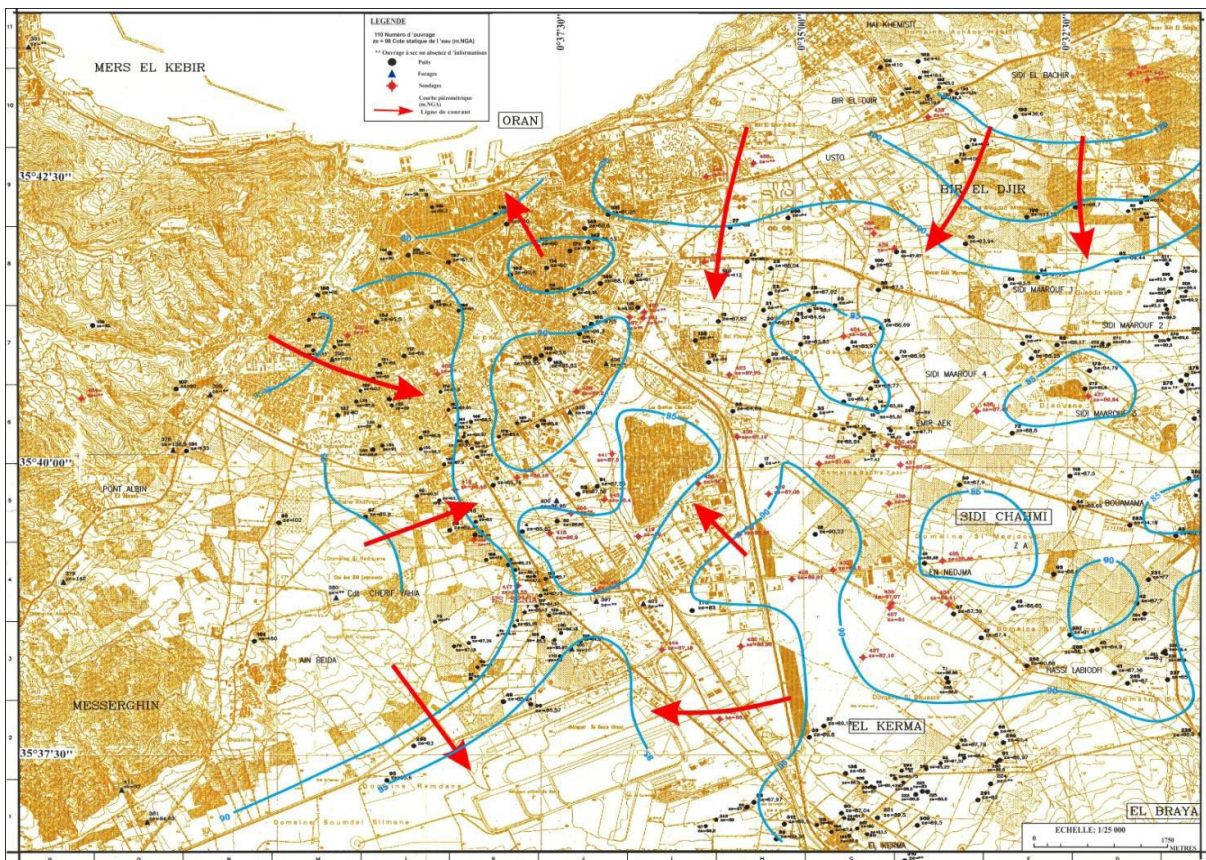


Figure 13 : Carte piézométrique du secteur d'étude (d'après Agep/Sogreah, 1997).

Il apparaît que la plupart des directions d'écoulement convergent vers un secteur central en demi-cercle qui s'étend entre l'aéroport d'Oran, Dayat Morcelly, "St Remy", Sidi Maarouf, Sidi Chahmi et Nedjma, de ce fait les exutoires passés et présents de cette nappe sont représentés par les nombreuses dayats situées dans ce secteur.

Les principales directions d'écoulement proviennent des zones se situant au Nord-Est (zone d'affleurement des formations calabriennes du secteur Bir El Djir-Sidi El Bachir), à l'Est (zone des reliefs situés entre Hassi Bounif et El Braya), au Sud-Est (zone des collines situées entre El Kerma et El Braya), et enfin à l'Ouest (zone d'affleurement des calcaires miocènes du flanc sud-est du Djebel Murdjadjo).

A noter également l'existence dans la partie nord du secteur d'une direction d'écoulement vers le N-NW en direction du port d'Oran (front de mer) (M.I Hassani, 2002).

CHAPITRE II

Contexte hydrochimique

1-Introduction :

La qualité d'une eau souterraine est caractérisée par un certain nombre de paramètres physiques et chimiques, déterminant à leur tour des caractères organoleptiques seuls immédiatement perceptibles pour l'utilisateur.

Les paramètres pris en compte sont:

- * la dureté de l'eau correspondant à sa minéralisation en calcium et magnésium
- * le pH qui dépend de la teneur en ions;
- * la teneur en gaz dissous issus de l'atmosphère (O₂ et CO₂);
- * la teneur en substances minérales dissoutes généralement sous forme ionique: anions (bicarbonates, chlorures, sulfates, nitrates, fluorures) et cations (calcium, magnésium, sodium, potassium, fer, manganèse, ammonium);
- * la turbidité, produite par des matières en suspension (argiles) dans les aquifères karstiques.

L'étude des caractéristiques physico-chimiques des eaux de la zone étudiée s'est basée sur l'exploitation des analyses d'eau relatives à dix (10) points d'eau (sources, puits), repartis dans la zone urbaine d'Oran (figure 15). Les échantillons d'eau ont été prélevés lors d'une campagne d'échantillonnage réalisée le 29 novembre 2000 par une équipe du département des Sciences de la Terre dans le cadre de l'encadrement du mémoire d'ingénieur de MM. Zouaoui et Hamadou (2001).

Les coordonnées géographiques et la position de ces points d'eau sont représentées en tableau 9 et en figure 14:

Tableau 9 : Coordonnées géographiques, selon les coordonnées du système Lambert Nord Algérie, des points d'eau échantillonnés (source, puits et forages).

N°	Lieu	Coordonnées Lambert		Nappe captée
		X	Y	
1	<i>Source de Ras El-Ain</i>	196.13	271.23	Nappe des calcaires
2	<i>Puits des Amandiers</i>	195.07	269.52	
3	<i>Puits ex : Coca.</i>	194.09	268.69	
4	<i>Puits de St. Eugène (mosquée)</i>	199.17	271.88	Nappe du Calabrien
5	<i>Puits de Mediouni (mosquée)</i>	197.80	270.58	
6	<i>Source Cueva Del Agua</i>	199.62	273.42	
7	<i>Puits de Miramar</i>	198.78	272.53	
8	<i>Puits de St. Pierre (mosquée)</i>	198.35	272.33	
9	<i>Puits des H.L.M (mosquée)</i>	201.47	272.38	
10	<i>Puits de l'Inesmo</i>	198.31	269.42	

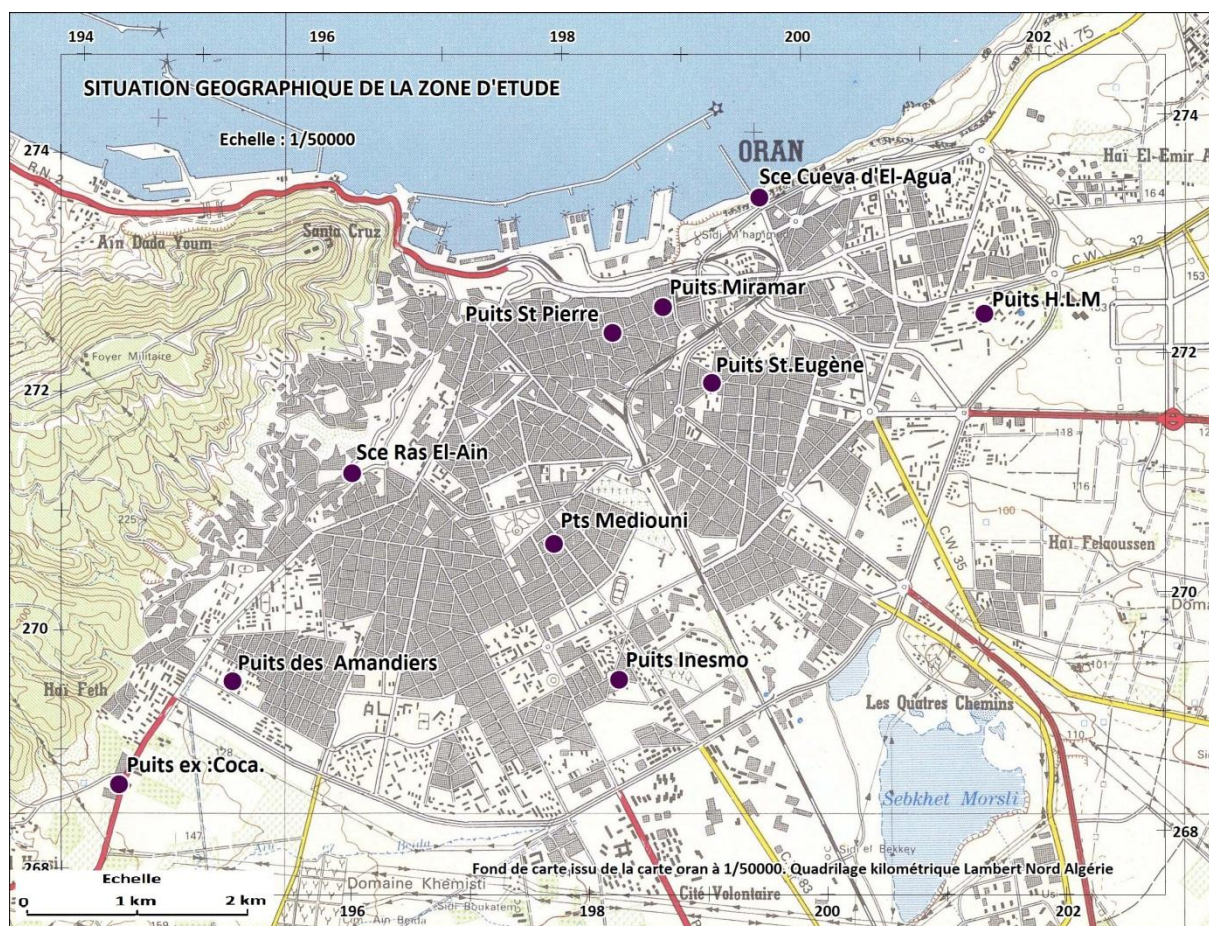


Figure 14 : Localisation géographique des points d'eau prélevés.

L'analyse des eaux échantillonnées a concerné aussi bien, les éléments chimiques majeurs que les éléments chimiques indicateurs de pollution (phosphates, nitrates, etc.).

L'ensemble des déterminations analytiques des dix points échantillonnés ont été réalisées au Laboratoire de Chimie de la Direction Régionale Ouest de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H) d'Oran.

Les principaux résultats sont reportés en tableau 10.

Tableau n° 10 : Résultats de l'analyse physico-chimique des points d'eau prélevés (29/11/2000).

N°	Nom	Ca ⁺⁺ (mg/l)	Mg ⁺⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ⁻⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	PH	T°C	Cond (µs/Cm)	Résidu sec
1	Ras El Ain	115	60	202	7	351	120	332	52	7.2	20.72	1760	1200
2	Les Amandiers	135	80	202	10	331	216	336	100	7.8	20.5	1870	1460
3	Puits ex : Coca.	132	62	150	10	257	139	321	100	7.5	20.72	1570	1140
4	Puits St. Eugène	152	152	460	25	673	324	537	70	7.5	18.35	3090	2460
5	Puits Mediouni	120	120	745	13	890	384	761	90	7.3	20.5	4660	3000
6	Source Cueva d'El Agua	161	161	337	18	474	348	449	80	7.7	20.38	2630	2060
7	Puits de Miramar	192	192	359	17	629	331	453	70	7.2	19.79	2890	2060
8	Puits St. Pierre	207	207	350	25	547	408	495	90	7.2	20.75	2840	2260
9	Puits H.L.M	176	176	281	7	428	336	478	40	7.2	20.83	2320	1760
10	Puits Inesmo	144	144	460	9	702	324	396	31	7.5	20.67	2950	2260

2 - ETUDES DES PARAMETRES PHYSIQUES :

a) - le pH:

Le pH de l'eau conditionne les équilibres physico-chimiques, en particulier l'équilibre calco-carbonique et donc l'action de l'eau sur les carbonates (attaque ou dépôt). Le pH est acide dans les eaux des aquifères sableux ou granitique. Il est alcalin dans les calcaires. Le pH est corrigé selon le cas par élimination du CO₂ dissous en excès ou par correction de la dureté carbonatée.

Ce paramètre (pH) est important à connaître; car, connaissant les teneurs de CO₂ dissous, il permet indirectement l'évaluation de l'agressivité chimique des eaux.

la détermination du pH constitue une mesure de la concentration des ions H⁺ dans l'eau. Le pH montre le degré d'acidité du milieu. Le pH dépend de l'origine des eaux et de la nature géologique des terrains. Les eaux évoluant en milieu carbonaté ont un pH élevé, alors que celles provenant de terrains pauvres en calcaires ou siliceux ont un pH voisin de 7 et quelques fois un peu inférieur (environ 6).

Le pH représente l'état de l'équilibre carbonique. Le CO₂ libre dissous dans l'eau forme un acide faible qui abaisse le pH. Il réagit avec les bases pour former des carbonates acides, pratiquement insolubles, et des bicarbonates très solubles. Suivant la teneur en calcium et en magnésium, le pH remonte au fur et à mesure de la neutralisation du CO₂ par l'une ou l'autre des bases.

A noter que le pH ne constitue pas un facteur de toxicité en soit. Des valeurs comprises entre 5 et 9 permettent un développement normal de la faune et de la flore. En revanche, il conditionne directement le degré d'ionisation des diverses solutions salines que contiennent les eaux naturelles.

Dans notre secteur d'étude le PH des eaux varie très faiblement entre 7,2 et 7,8

b) - La température :

Il est reconnu que les variations des températures de l'air s'estompent au-delà de 3 m de profondeur et que la température des eaux souterraines est invariable au cours de l'année. La température des eaux souterraines moins profondes subit des variations saisonnières au cours de l'année et régit la quantité d'oxygène dissous dans l'eau. Plus l'eau est chaude, moins l'oxygène est capable de se maintenir en solution et le manque d'oxygène est l'un des facteurs de la pollution thermique. La température peut également jouer un rôle dans la décomposition des matières organiques et du développement de certaines maladies parasitaires, et peut également favoriser la fermentation qui agit comme pollution additionnelle et qui diminue la teneur en oxygène dissous. Ses variations brusques et soudaines doivent porter la suspicion sur cette eau.

Concernant les eaux de notre zone d'étude, la température des eaux prélevées a varié entre 18,35 °C (puits st Pierre) et 20,83 °C (puits HLM).

c) - La conductivité :

Elle est l'expression de la charge dissoute et rend compte de la minéralisation des eaux par la quantité d'ions en solution (J. Nicod, 1973).

La mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement la minéralisation globale de l'eau, et même d'en suivre l'évolution.

La conductivité d'une eau naturelle augmente avec la teneur en sels électrolytables dissous.

Elle est l'inverse de la résistivité.

Dans notre zone d'étude, les eaux échantillonnées présentent une conductivité qui varie de 1570 µs/cm au puits n° 3 (puits ex : coca) à 4660 µs/cm au puits n° 5 (Mediouni).

Globalement, les conductivités élevées semblent se concentrer autour du puits de Médiouni (4660 µs/cm).(figure 15).

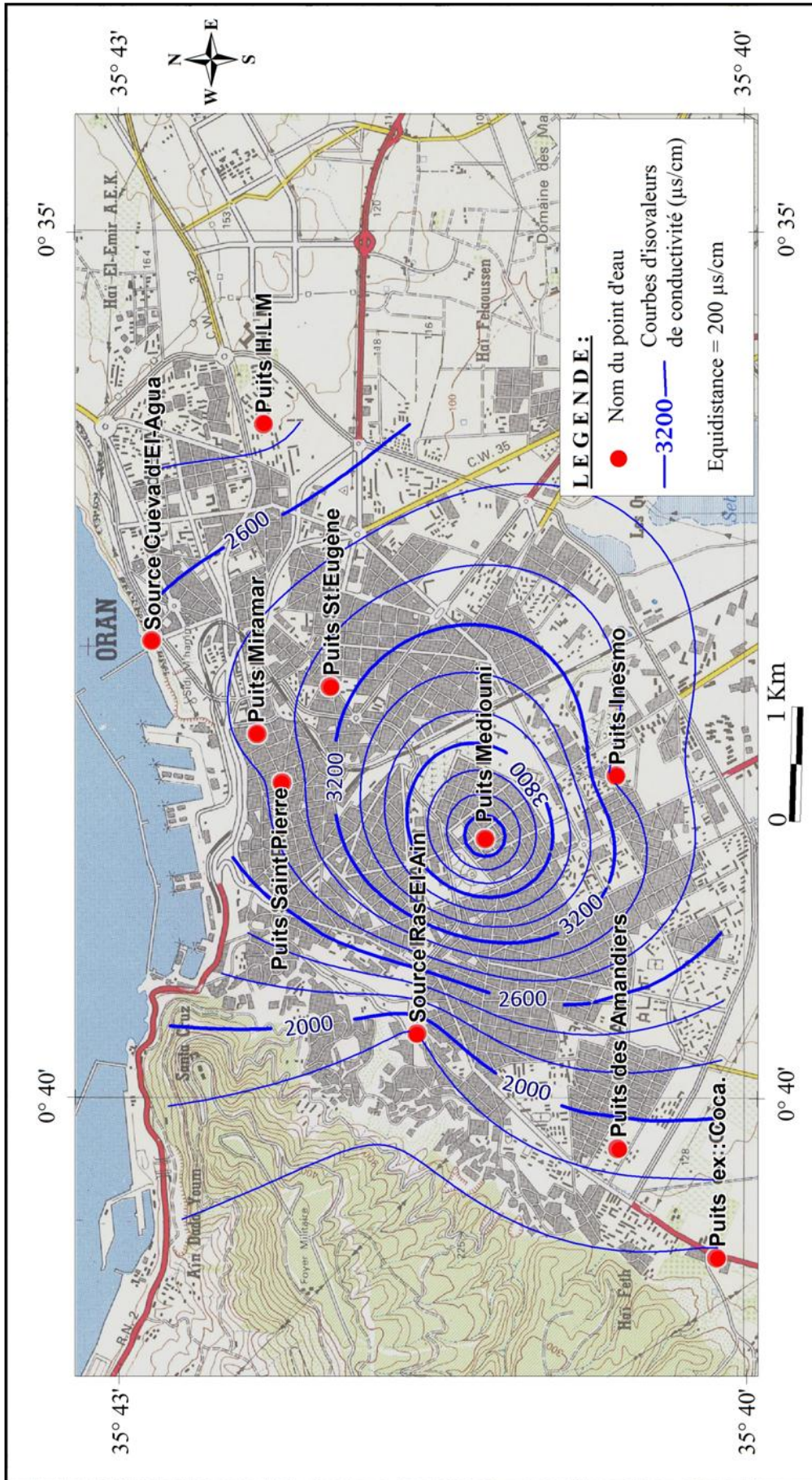


Figure 15 : Carte en courbes isovaleurs en conductivité ($\mu\text{s/cm}$).

d) - Le Résidu sec :

Le résidu sec représente la minéralisation totale de l'eau c'est-à-dire la totalité des sels dissouts et des matières organiques contenues dans l'eau. Il est exprimé soit en mg/l ou en g/l.

Son évolution suit en grande partie celle de la conductivité. Pour des raisons de saveur, une valeur limite de 1000 mg/l est recommandée par l'O.M.S., dans le cas d'une eau destinée à la consommation humaine.

Globalement, les concentrations restent relativement faibles (1300 mg/l) à la lisière des affleurements des calcaires miocènes et augmentent plus en aval. Une même tendance, mais de direction inverse, s'observe à la partie Est de l'agglomération. Une augmentation continue de minéralisation s'observe entre le puits HLM (moins de 1140 mg/l) et celui de Mediouni (3000 mg/l). (figure 16).

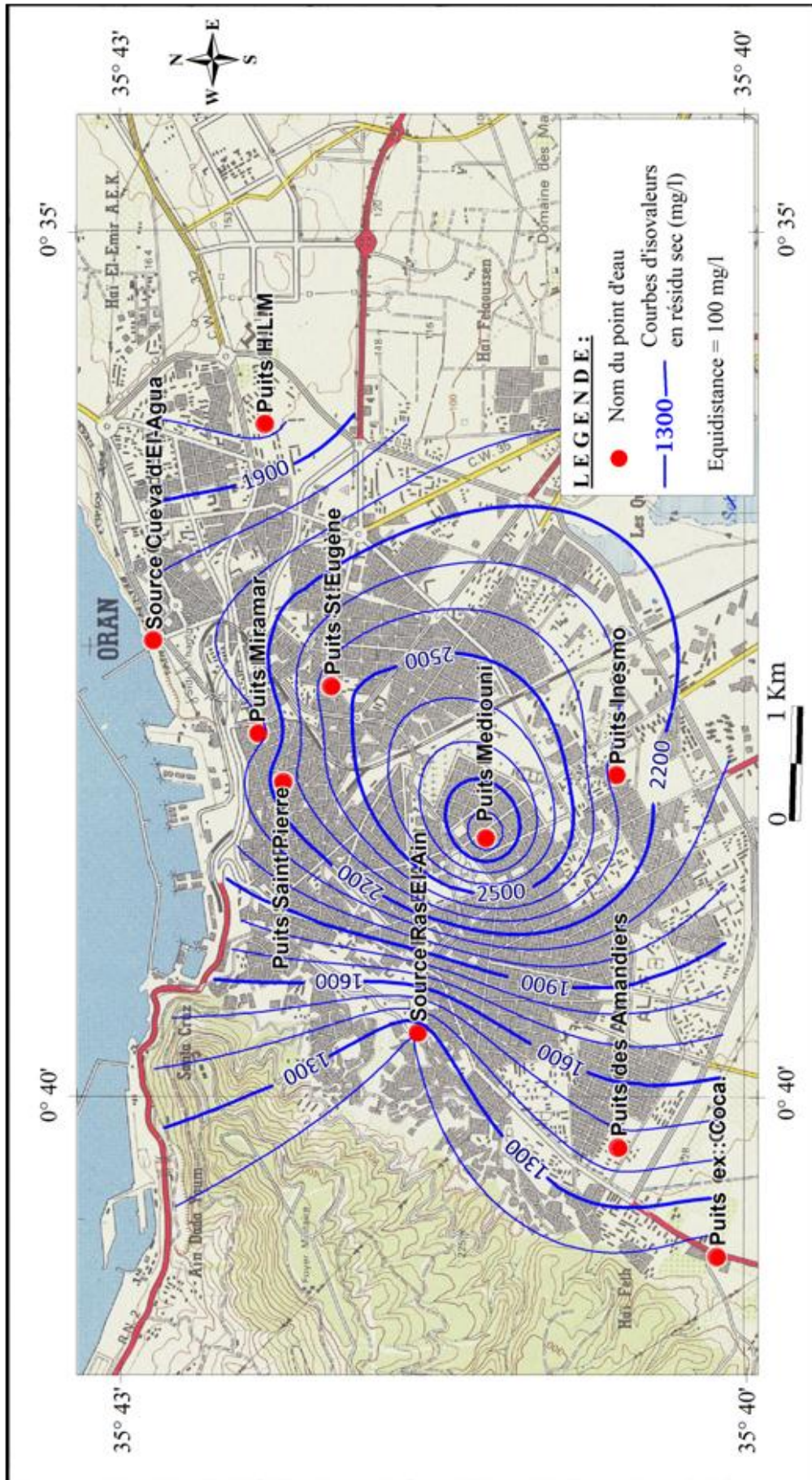


Figure 16 : Carte en courbes isovaleurs en résidu sec (mg/l).

e- La durezza :

La durezza totale d'une eau est produite par les sels de calcium et de magnésium qu'elle contient. La durezza est mesurée par le titre hydrotimétrique exprimé en °F (degré français); 1 °F correspond à 10 mg de carbonate de Ca dans 1 litre d'eau. Des valeurs faibles correspondent à des eaux douces (titre hydrotimétrique compris entre 5 et 20 °F). Les eaux dures ont un titre compris entre 20 et 35 °F. Des valeurs supérieures indiquent des eaux très dures.

Le TH ou titre hydrotimétrique est un indice qui permet d'estimer la durezza d'une eau. On l'obtient en totalisant le calcium et le magnésium qu'elle contient. Étant donné que le TH est exprimé en degrés français, les teneurs en milliéquivalent sont multipliées par 5.

Dans le secteur d'étude, tous les points d'eau présentent des valeurs supérieures (> 30°F) rendant les eaux très dures les rendant peu adaptées à la consommation. (tableau 11).

Tableau 11: Durezza des différents puits et source (°F).

N°	Lieu	Durezza (°F)
1	Ras El Ain	53
2	Les Amandiers	67
3	Puits ex : Coca.	58
4	Puits St.Eugène	100
5	Puits Mediouni	79
6	Source Cueva d'El Agua	106
7	Puits de Miramar	127
8	Puits St. Pierre	137
9	Puits H.L.M	116
10	Puits Inesmo	95

3 - ETUDE DES PARAMETRES CHIMIQUES MAJEURS :

3-1- La balance ionique :

Le contrôle de la qualité des analyses chimiques est assuré par la balance ionique qui permet une comparaison de la somme des cations et celle des anions.

Le pourcentage d'erreur du à une inexactitude de l'analyse ou à une non-détermination de certaines ions est donné par la relation :

$$e \% = \frac{\Sigma r \text{ cations} - \Sigma r \text{ anions}}{\Sigma r \text{ cations} + \Sigma r \text{ anions}} \times 100$$

On peut considérer une analyse comme :

- très bonne si $e\% < 2$;
- acceptable si $2 < e\% < 5$;
- mauvaise si $e\% > 5$.

Les valeurs du pourcentage d'erreur pour chaque échantillon d'eau prélevé sont portées sur le tableau 12.

Tableau 12 : Pourcentage d'erreur des analyses d'eaux du secteur d'étude.

points d'eaux	Σr anions	Σr cations	e%	analyse
1	18.67	19.64	2.53	Acceptable
2	20.97	22.37	3.23	Acceptable
3	16.86	18.46	4.53	Acceptable
4	35.64	40.73	6.66	Mauvaise
5	47	48.59	1.66	Très bonne
6	29.25	36.39	10	Mauvaise
7	33.18	41.42	11.04	Mauvaise
8	33.47	43.22	12.71	Mauvaise
9	27.54	35.67	12.86	Mauvaise
10	33.51	39.26	7.9	Mauvaise

3-2 - Principaux cations et anions :

Les cations : Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ et les anions : Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^- (tableau 10) ont fait l'objet de l'analyse chimique.

Les cations :

a) - Calcium :

Les eaux souterraines en contact avec les roches sédimentaires ont leur calcium qui provient surtout de la mise en solution de calcite ($CaCO_3$), aragonite ($CaCO_3$), dolomite ($CaMgCO_3$), gypse ($CaSO_4 \cdot H_2O$) et anhydrite ($CaSO_4$). Dans les contextes géologiques cristallins, le calcium peut provenir des feldspaths, plagioclases calciques, amphiboles, pyroxènes...

Une eau potable devrait contenir entre 100 et 140 mg/l de calcium. Les eaux qui dépassent le seuil de 200 mg/l de calcium présentent d'importants inconvénients pour les usages domestiques ou même pour les chaudières.

D'après la carte en courbes isoteneurs de calcium (figure 17), il apparaît que les valeurs minimales se concentrent autour de la source de Ras El Ain (115 mg/l) et s'accroissent vers le nord de l'agglomération pour atteindre un maximum de 207 mg/l autour du puits de Saint Pierre.

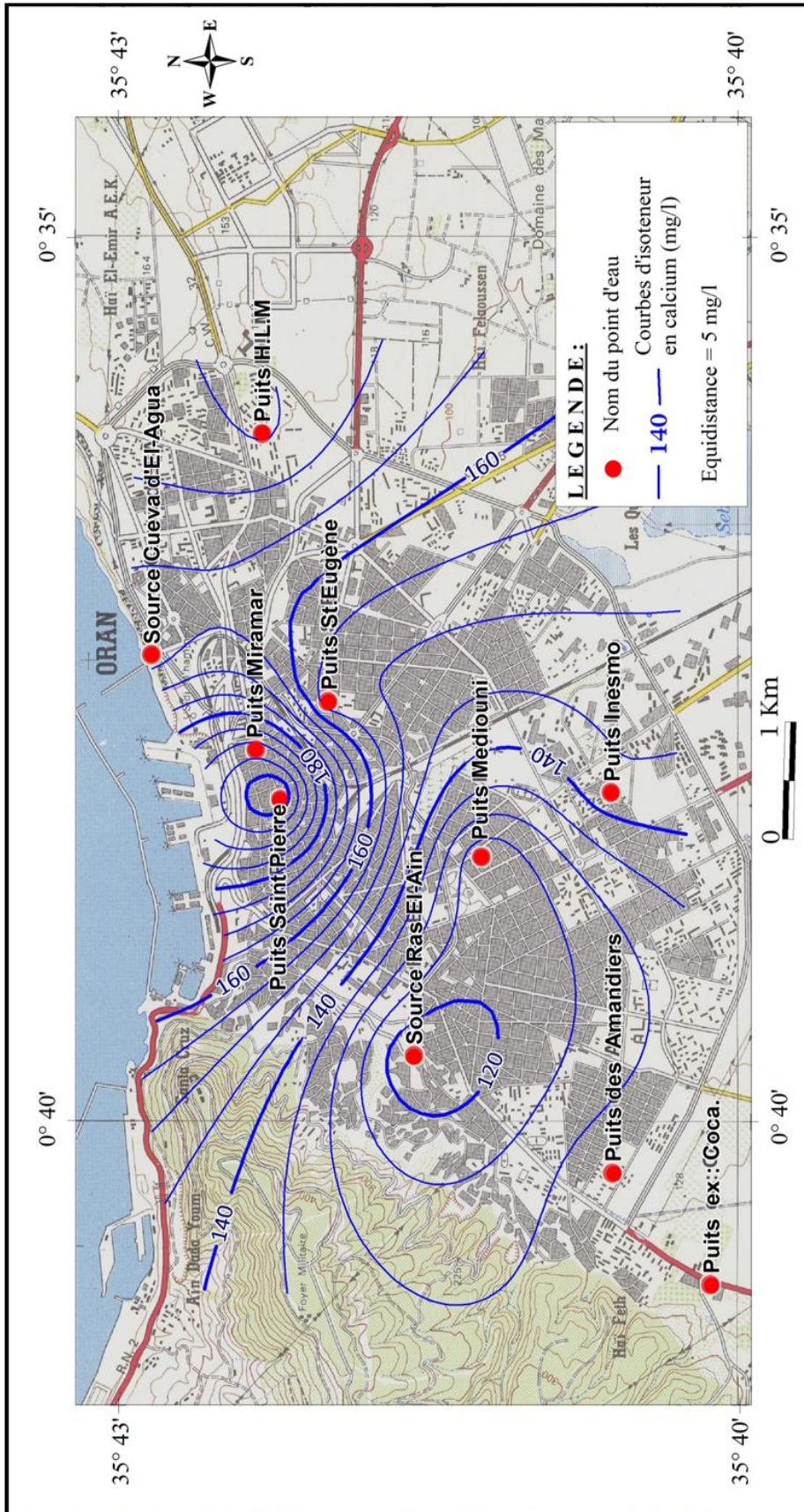


Figure 17 : Carte en courbes isoteneurs de calcium (mg/l).

b)- Magnésium :

C'est un des éléments les plus répandu dans la nature. Il constitue environ 2,1% de l'écorce terrestre. Son abondance géologique, sa grande solubilité, sa large utilisation industrielle (alliage, réducteur thermique...), font que les teneurs dans l'eau peuvent être importantes, allant de quelques milligrammes à plusieurs centaines de milligrammes par litre. A 100 mg/l, le magnésium a tendance à donner un goût désagréable à l'eau. La concentration maximale admissible est de 50 mg/l. C'est un des éléments significatifs de la dureté de l'eau. Le magnésium peut provenir de la décomposition de dolomie (carbonate de magnésium).

Dans le secteur d'étude, les teneurs vont croissantes de la partie sud ouest de l'agglomération, 60 mg/l au S-W à la source de Ras El Ain, vers le nord de l'agglomération, 207 mg/l au niveau du puits de Saint-Pierre (figure 18).

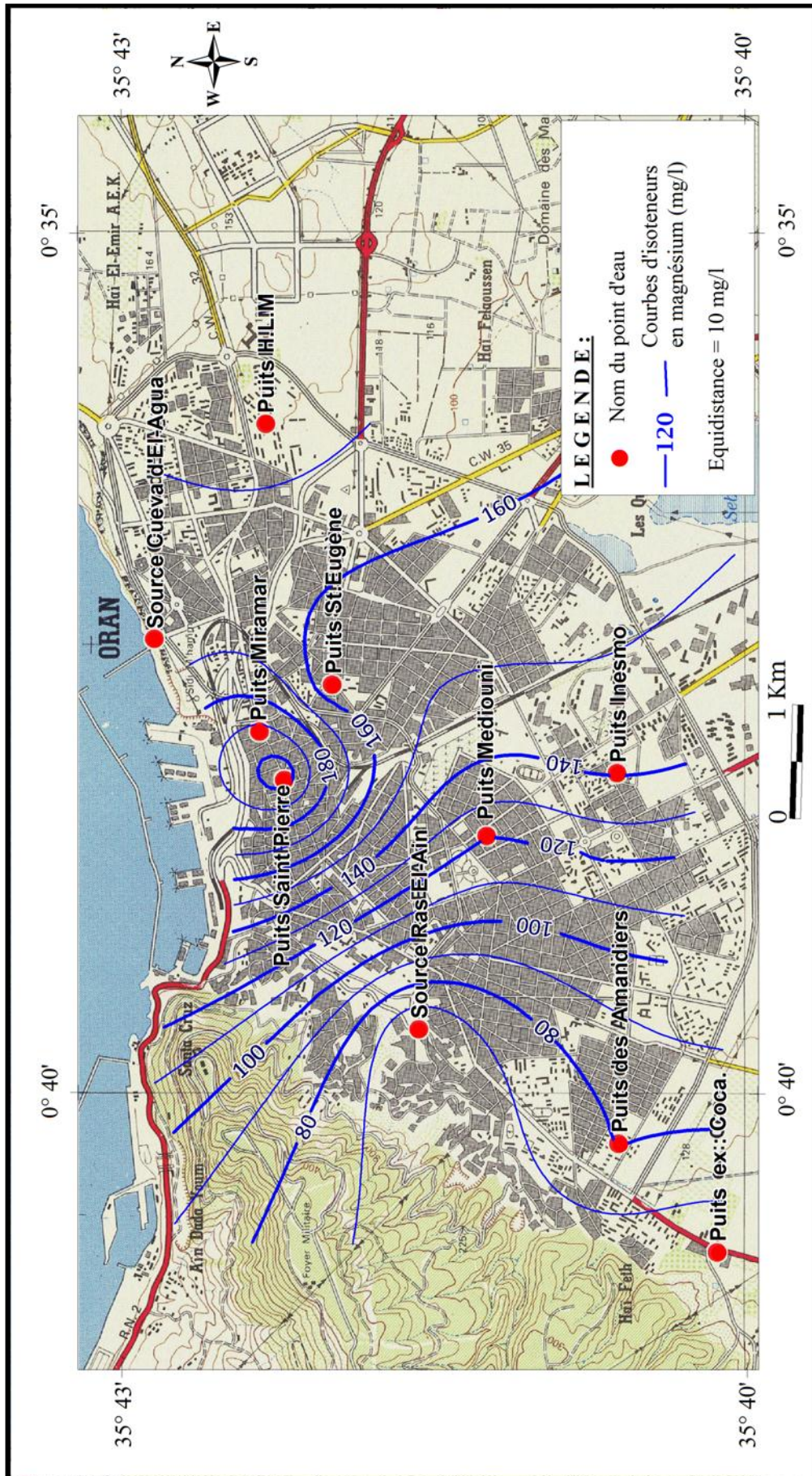


Figure 18 : Carte en courbes isoteneurs de magnésium.

c)- Sodium et Potassium :

En général, ces deux éléments ont une origine semblable à celle des chlorures et sont également liés aux minéraux argileux. Ils peuvent être échangés contre les ions Ca^{++} et Mg^{++} par les minéraux argileux ou des substances organiques et provenir de l'hydrolyse des silicates. Concernant le sodium, la valeur minimale est de 150 mg/l au puits Coca et on remarque une relative forte concentration vers le centre de l'agglomération avec une maximale de 745 mg/l au puits de Mediouni. (figure 19).

Le potassium présente une valeur minimale de 7 mg/l à Ras El Ain et au puits HLM, et une valeur maximale de 25 mg/l au puits Saint-Eugene et Saint-Pierre.

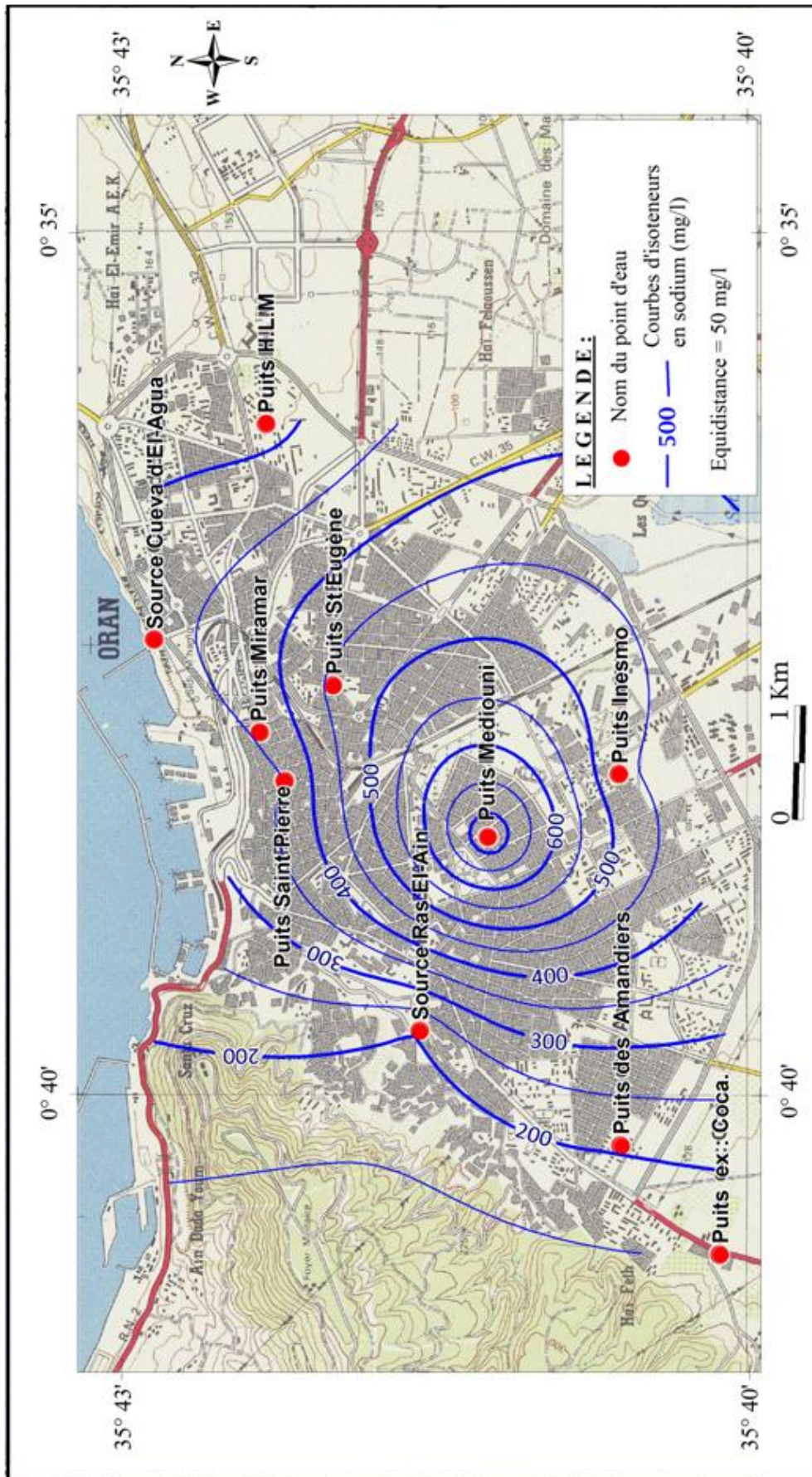
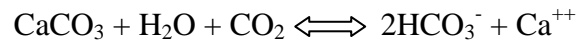


Figure 19 : Carte en courbes isoteneurs de sodium (mg/l).

Anions :

d)- Les bicarbonates:

L'origine de l'ion HCO_3^- pourrait être due à la dissolution des carbonates par le CO_2 des eaux de pluie et de percolation, selon l'équation chimique suivante:



La décomposition de la matière organique peut provoquer l'augmentation de la pression partielle de CO_2 et, par conséquent, une élévation du pH ce qui confère l'agressivité à l'eau, d'où une augmentation en HCO_3^- (Custodio et Diaz 1976, Pulido Bosch, 1980).

Au niveau du secteur d'étude, la carte en courbes isoteneurs de bicarbonates (figure 20) indique un minimum de teneur de 321 mg/l au puits Coca et un maximum de 761 mg/l au puits de Mediouni. Ici, également, la concentration s'élève vers le centre de l'agglomération.

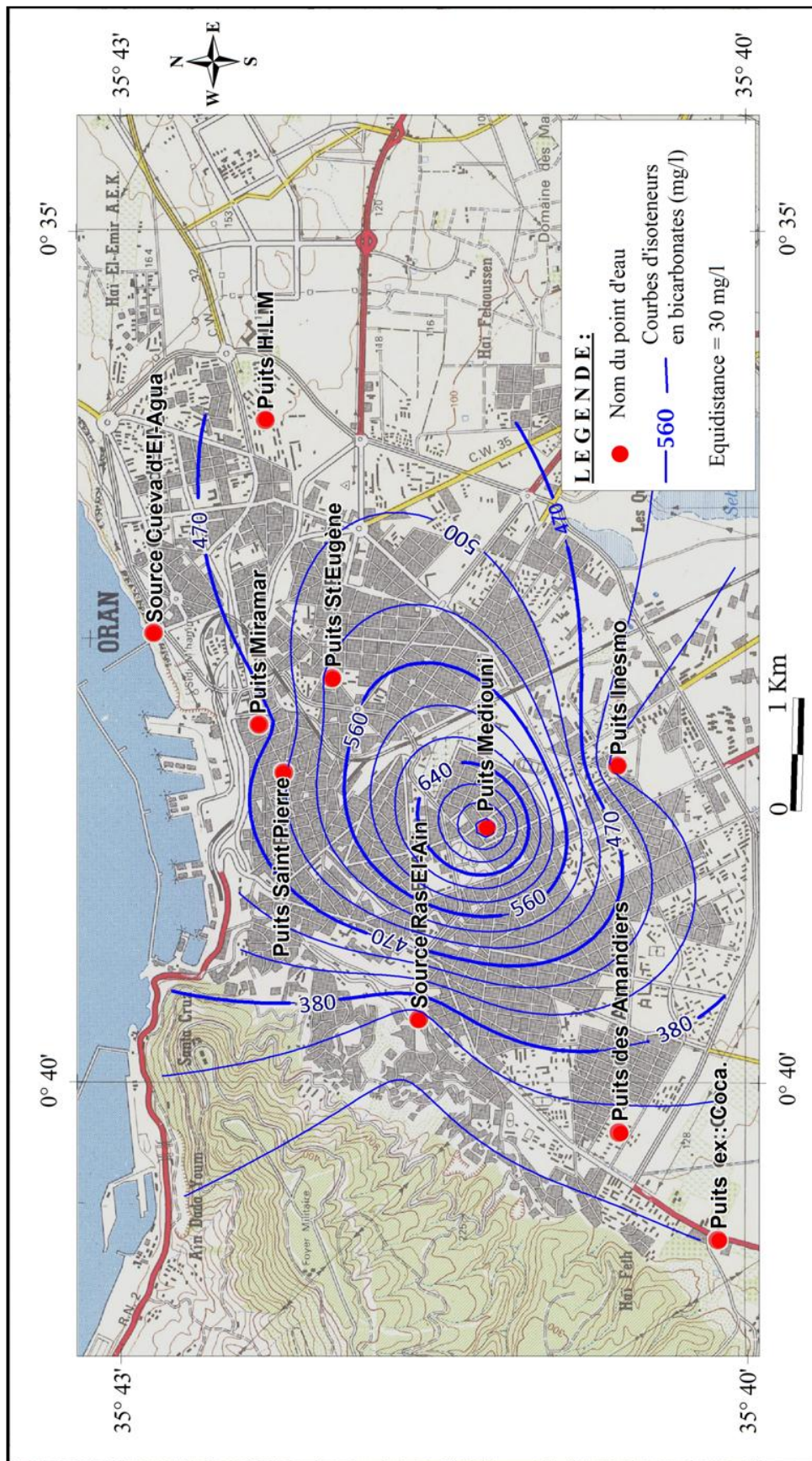


Figure 20 : Carte en courbes isoteneurs en bicarbonates.

e) - Chlorures :

L'eau contient des chlorures mais en proportion très variable. De ce fait toute eau qui provient des régions magmatiques demeure pauvre en chlorure alors que les eaux des régions sédimentaires en contiennent davantage. Il est vrai que les chlorures disposent de deux origines :

- les apports atmosphériques et la dissolution des évaporites salées,
- dans les régions littorales, les pluies apportent des chlorures d'origine maritime qui viennent s'accumuler en surface par évaporation puis vont être entraînés dans les aquifères.

La carte en courbes isoteneurs de chlorures (figure 21) indique des teneurs relativement faibles à l'Ouest (puits Coca, Amandiers, ras El Ain) et à l'Est (puits HLM) de l'agglomération, évoluant à des concentrations plus élevées vers le centre de l'agglomération, avec un maximum de 890 mg/l au puits Médiouni.

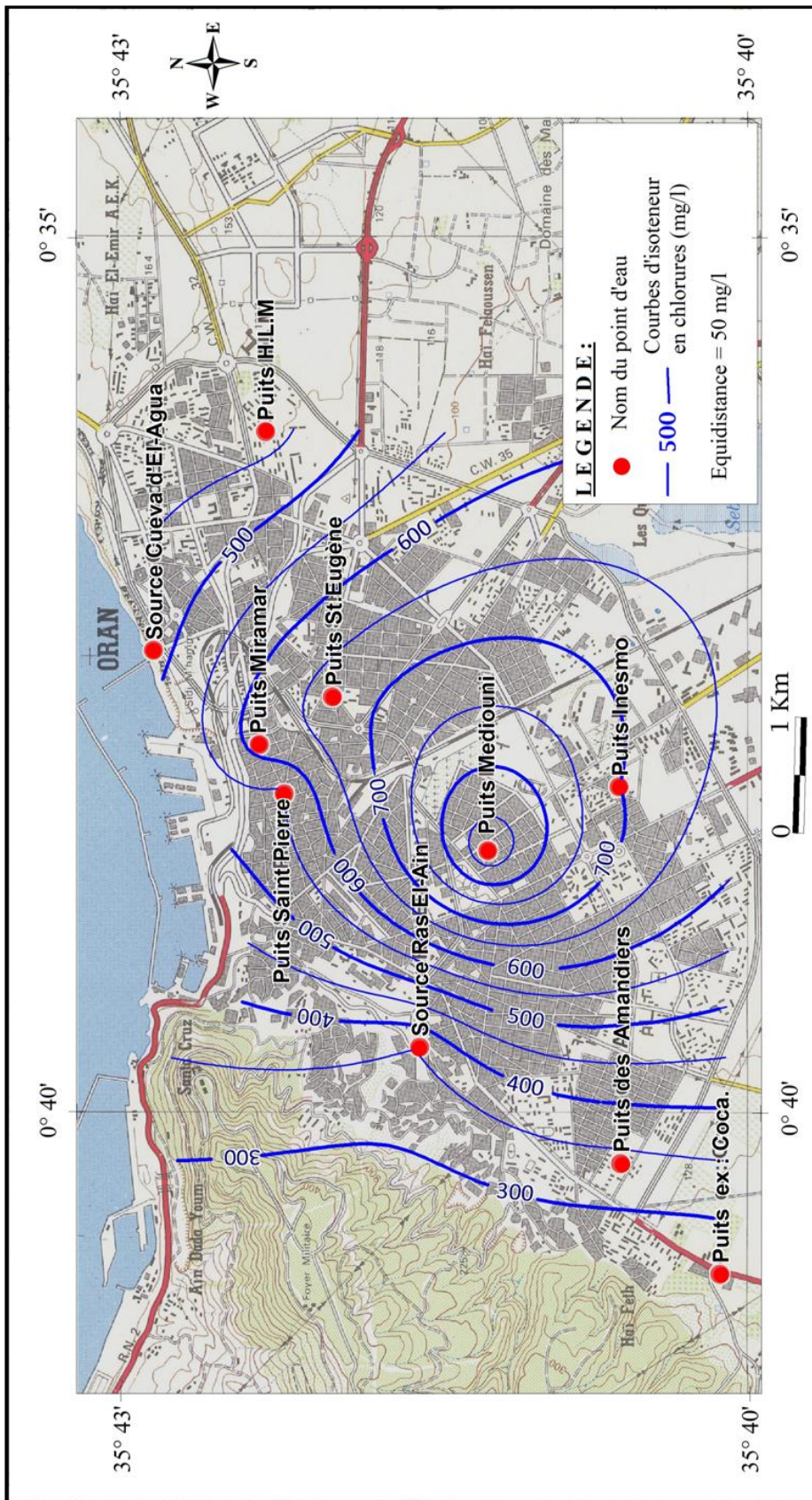


Figure 21 : Carte en courbes isoteneurs de chlorures (mg/l).

f) - Sulfates :

Les eaux naturelles contiennent pratiquement toujours des sulfates mais en proportion variable. Les ions sulfates peuvent avoir une origine météoritique. Tout comme ils peuvent provenir de l'activité agricole (pollution), biologique naturelle, des usages domestiques (détergents) ou même de la présence d'évaporites (gypse) dans le milieu naturel. Les industries peuvent également produire beaucoup de sulfates. Ils peuvent également provenir de leur mise en solution à partir de l'encaissant et résulteraient de la légère solubilité du CaSO_4 des roches gypseuses et de l'oxydation des sulfures répandus dans les roches (pyrite).

Dans notre secteur d'étude, la plus faible valeur se trouve au niveau de la nappe des calcaires plus précisément à la source de Ras El Ain (120 mg/l), et la plus forte valeur au niveau du puits Saint pierre (408 mg/l). L'augmentation de concentration des sulfates se fait vers le nord de l'agglomération (figure 22).

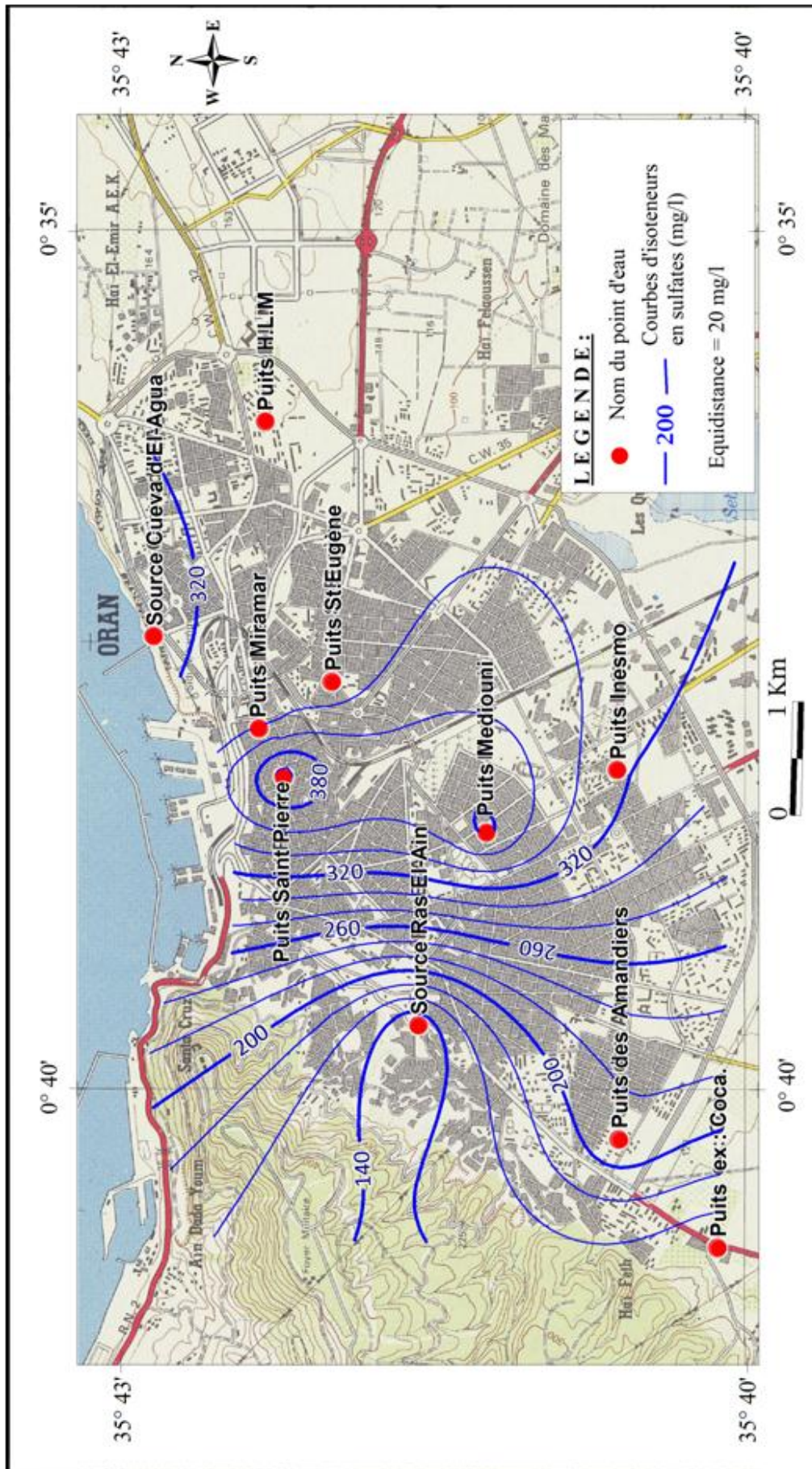


Figure 22 : Carte en courbes isoteneurs en sulfates (mg/l).

3-3-Etude des rapports caractéristiques :

Les rapports caractéristiques concernés sont : SO_4/Cl ; Mg/Ca et Na/Cl (Tableau 13).

Tableau 13 : Résultats des rapports caractéristiques (r en mg/l).

Points d'eau	$r(\text{SO}_4/\text{Cl})$	$r(\text{Mg}/\text{Ca})$	$r(\text{Na}/\text{Cl})$
1	0,25	0,86	0,88
2	0,48	0,97	0,94
3	0,40	0,77	0,90
4	0,35	1,65	1,05
5	0,32	1,65	1,29
6	0,54	1,65	1,10
7	0,39	1,65	0,88
8	0,55	1,65	0,98
9	0,58	1,65	1,01
10	0,34	1,65	1,01

a) - Le rapport $\text{SO}_4^{--}/\text{Cl}^-$:

Nous pouvons constater que la plupart des valeurs du rapport $\text{SO}_4^{--}/\text{Cl}^-$ sont inférieures à l'unité : les chlorures dominent les sulfates.

b) - Le rapport Na^+/Cl^- :

Concernant le rapport de Na^+/Cl^- , on remarque que pour les points d'eau 1, 2, 3, 7 et 8, ce sont les chlorures qui dominent le sodium, tandis que pour les points d'eau 4, 5, 6, 9 et 10 le sodium est dominant.

c) - Le rapport $\text{Mg}^{++}/\text{Ca}^{++}$:

La prédominance du magnésium sur le calcium est assez nette sur l'ensemble des points sauf aux points d'eau 1, 2 et 3 où le calcium domine.

3-4 - Classification hydrochimique :

Les faciès des eaux échantillonnées ont été déterminés à partir de leurs teneurs en milliéquivalent/l et de leurs formules caractéristiques (Tableau 14 et 15)

Tableau 14 : Résultats des analyses chimiques en r (méq/l).

N° du point d'eau	r Ca ⁺²	r Mg ⁺²	r Na ⁺	r K ⁺	r Cl ⁻	r SO ₄ ⁻²	r HCO ₃ ⁻	r NO ₃ ⁻
1	5,74	4,94	8,78	0,18	9,89	2,5	5,44	0,84
2	6,73	6,58	8,78	0,26	9,32	4,5	5,51	1,61
3	6,58	5,10	6,52	0,26	7,24	2,90	5,11	1,61
4	7,58	12,51	20	0,64	18,96	6,75	8,80	1,13
5	5,99	9,88	32,39	0,33	25,07	8	12,48	1,45
6	8,03	13,25	14,65	0,46	13,35	7,25	7,36	1,29
7	9,58	15,80	15,61	0,43	17,72	6,90	7,43	1,13
8	10,32	17,04	15,22	0,64	15,41	8,5	8,12	1,45
9	8,78	14,49	12,22	0,18	12,06	7	7,83	0,65
10	7,18	11,85	20	0,23	19,77	6,75	6,49	0,5

Tableau 15 : faciès caractéristiques des échantillons d'eau prélevés.

N° du point d'eau	Lieu	Anions	Cations
1	Source de Ras El-Ain	Cl ⁻ > HCO ₃ ⁻ > SO ₄ ⁻² > NO ₃ ⁻	Na ⁺ > Ca ²⁺ > Mg ²⁺ > K ⁺
2	Puits des Amandiers	Cl ⁻ > HCO ₃ ⁻ > SO ₄ ⁻² > NO ₃ ⁻	Na ⁺ > Ca ²⁺ > Mg ²⁺ > K ⁺
3	Puits Ex : Coca	Cl ⁻ > HCO ₃ ⁻ > SO ₄ ⁻² > NO ₃ ⁻	Ca ²⁺ > Na ⁺ > Mg ²⁺ > K ⁺
4	Puits St. Eugène	Cl ⁻ > HCO ₃ ⁻ > SO ₄ ⁻² > NO ₃ ⁻	Na ⁺ > Mg ²⁺ > Ca ²⁺ > K ⁺
5	Puits Mediouni	Cl ⁻ > HCO ₃ ⁻ > SO ₄ ⁻² > NO ₃ ⁻	Na ⁺ > Mg ²⁺ > Ca ²⁺ > K ⁺
6	Cueva d'El Agua	Cl ⁻ > HCO ₃ ⁻ > SO ₄ ⁻² > NO ₃ ⁻	Na ⁺ > Mg ²⁺ > Ca ²⁺ > K ⁺
7	Puits de Miramar	Cl ⁻ > HCO ₃ ⁻ > SO ₄ ⁻² > NO ₃ ⁻	Mg ²⁺ > Na ⁺ > Ca ²⁺ > K ⁺
8	Puits St. Pierre	Cl ⁻ > SO ₄ ⁻² > HCO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻	Mg ²⁺ > Na ⁺ > Ca ²⁺ > K ⁺
9	Puits H.L.M	Cl ⁻ > SO ₄ ⁻² > HCO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻	Mg ²⁺ > Na ⁺ > Ca ²⁺ > K ⁺
10	Puits Inesmo	Cl ⁻ > SO ₄ ⁻² > HCO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻	Na ⁺ > Mg ²⁺ > Ca ²⁺ > K ⁺

- La majorité des eaux présentent un faciès **chloruré-sodique** à l'exception des
- puits 3 (puits : ex coca) qui montre un faciès **chloruré-calcique** (légère prédominance du calcium sur le sodium), et
- puits 7, 8 et 9 au faciès **chloruré-magnésien** (légère prédominance du magnésium sur le sodium).

Concernant les échantillons à faciès chloruré-sodique, la classification hydrochimique permet de faire ressortir une prédominance variable entre les cations Ca^{++} et Mg^{++} et les anions HCO_3^- , et SO_4^- déterminant l'existence de trois sous faciès. On distingue :

- un sous-faciès bicarbonaté-calcique aux points : 1 et 2
- un sous-faciès bicarbonaté-magnésien aux points : 4, 5 et 6
- un sous-faciès sulfaté-magnésien au point 10

Le faciès chloruré-magnésien présente également deux sous-faciès :

- un sous-faciès bicarbonaté-sodique au point 7
- un sous-faciès sulfaté-sodique aux points : 8 et 9

Il est par ailleurs indiqué de présenter et d'interpréter les résultats par des représentations graphiques qui permettent de comparer facilement plusieurs eaux entre elles.

a) Interprétation par le diagramme de Schoeller-Berkaloff :

C'est un diagramme logarithmique qui présente deux avantages :

1 - On peut faire figurer l'ensemble des eaux aux concentrations différentes avec une bonne précision

2 - La conversion en milliéquivalents par litre (méq/l) des résultats de dosage en milligrammes par litre (mg/l).

Les valeurs des analyses chimiques des eaux ont été reportées sur les digrammes de Schoeller-Berkaloff (figure 23).

L'interprétation de ces diagrammes permet de confirmer les faciès principaux déterminés précédemment.

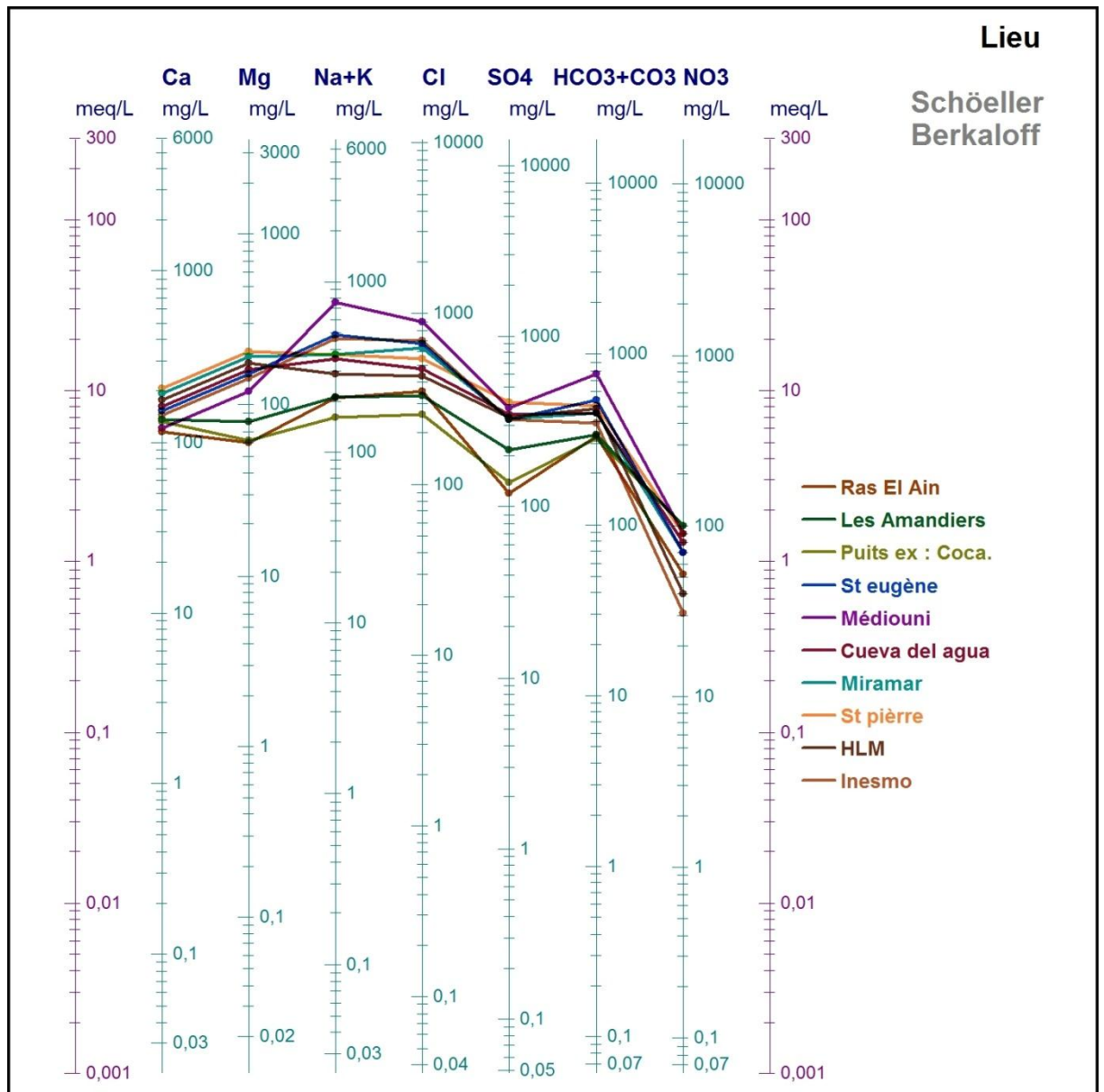


Figure 23 : Représentation graphique des résultats sur le diagramme de Schoeller–Berkaloff.

b) Interprétation par diagramme de Piper :

Le diagramme de Piper comporte un losange et deux triangles équilatéraux. Les côtés sont divisés en cents parties égales correspondant à des pourcentages d’ions par rapport à l’ensemble des ions de même signe.

Il consiste à représenter ses deux triangles les pourcentages des quantités en réactions de chaque cation et anion. Ces deux points sont reportés sur le losange en un seul point qui

représente la famille chimique de l'eau. Ce diagramme permet de regrouper un grand nombre d'analyses.

Les résultats obtenus précédemment sont confirmés sur ce diagramme (figure 24).

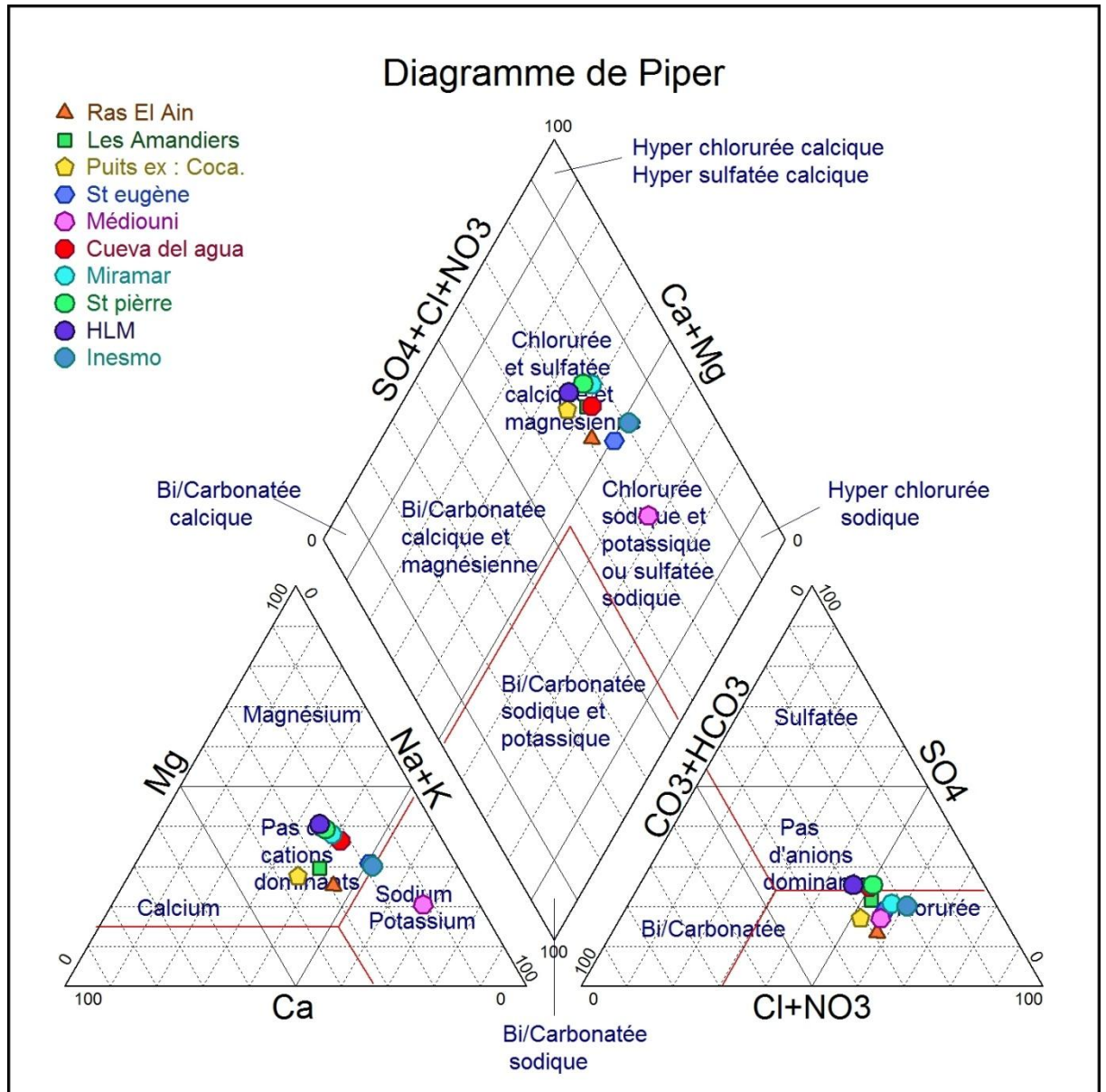


Figure 24 : Représentation graphique des résultats sur le diagramme de Piper.

4- Indices de saturation :

L'état thermodynamique du milieu aquifère par rapport à certains minéraux peut être déterminé par l'étude de leurs indices de saturation et d'équilibre.

L'état de saturation (I.S) est défini par le logarithme du rapport des produits d'activité ionique (PAI) sur le produit de solubilité (K) lors de l'échantillonnage:

$$IS = \log \frac{PAI}{K}$$

Nous prenons en considération la présence de calcite (CaCO_3) en solution par exemple :



Donc le produit d'activité ionique :

$$PAI = a\text{Ca}^{2+} \cdot a\text{CO}_3^{2-}$$

$$(a\text{Ca}^{2+} = \text{activité de l'ion Ca}^{2+})$$

A l'état d'équilibre thermodynamique, le produit de solubilité de la calcite (K_{CaCO_3}) est :

$$K_{\text{CaCO}_3} = a\text{Ca}^{2+} \cdot a\text{CO}_3^{2-} / a\text{CaCO}_3$$

Alors, l'indice de saturation exprimé est :

$$IS = \log \frac{PAI}{K_{\text{CaCO}_3}}$$

Si,

$IS = 0$, l'eau est saturée vis-à-vis de la calcite

$IS > 0$, l'eau est sursaturée par rapport à la calcite

$IS < 0$, il montre que l'eau est sous-saturée vis-à-vis de la calcite

De la même manière, les indices de saturation vis-à-vis du gypse, de l'anhydrite, de la calcite, de la dolomite, de l'aragonite sont calculés.

En ce qui nous concerne, le calcul des indices de saturation a été obtenu en utilisant le logiciel Diagramme (R. Simler, 2002). Les résultats sont représentés au tableau 16.

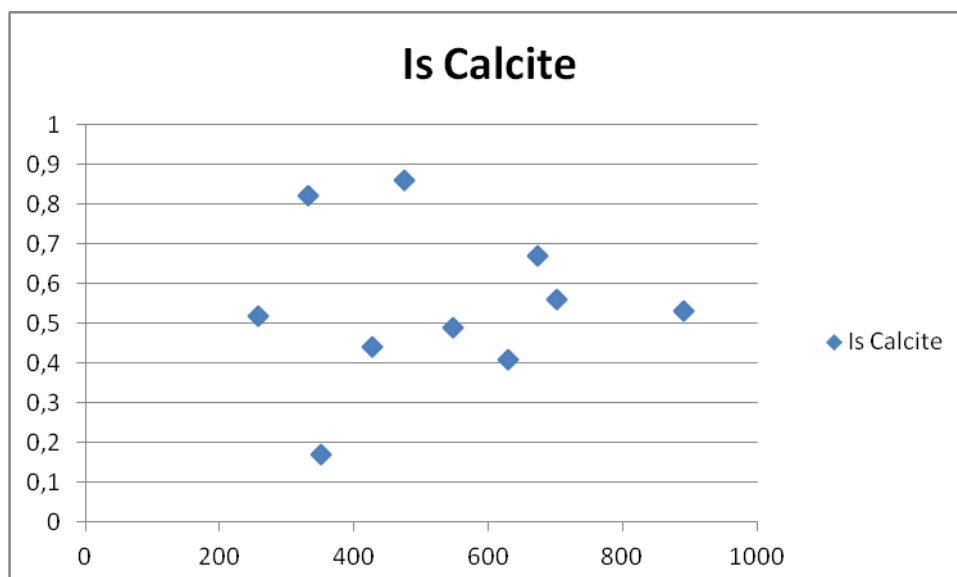
Tableau 16 : indices de saturation des eaux souterraines de la zone d'étude.

Point d'eau	Cl ⁻	Is Calcite	Is Dolomite	Is Aragonite	Is Gypse	Is Anhydrite
1	351	0,17	0,35	0,02	-1,29	-1,53
2	331	0,82	1,71	0,67	-0,99	-1,23
3	257	0,52	1,00	0,37	-1,16	-1,40
4	673	0,67	1,60	0,52	-0,85	-1,09
5	890	0,53	1,36	0,38	-0,90	-1,14
6	474	0,86	2,02	0,71	-0,78	-1,01
7	629	0,41	1,12	0,27	-0,74	-0,98
8	547	0,49	1,29	0,35	-0,63	-0,86
9	428	0,44	1,17	0,29	-0,75	-0,99
10	702	0,56	1,41	0,41	-0,86	-1,10

D'après les résultats du tableau 16, on peut constater que les eaux de la nappe étudiée sont sursaturées par rapport à la calcite, la dolomite et l'aragonite. Ce qui veut dire que le temps de séjour des eaux dans le sous sol a été plus ou moins long.

En revanche, elles sont sous-saturées par rapport au gypse et à l'anhydrite.

Les chlorures étant le principal élément conditionnant la minéralisation des eaux, nous avons représenté sur les digrammes de la figure 25 et 26 les indices de saturation de ces différents minéraux en fonction des chlorures.



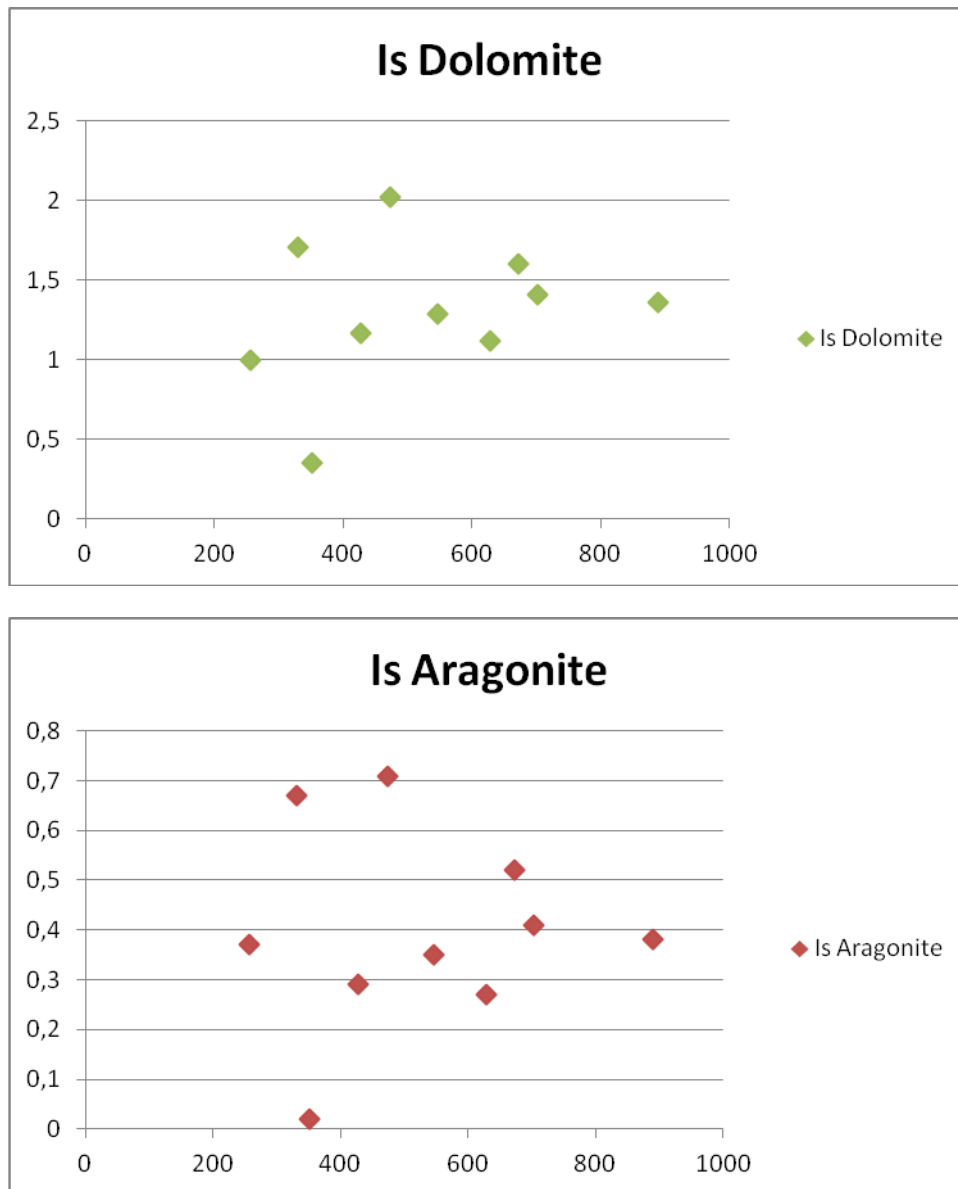


Figure 25 : Diagrammes des indices de saturation en fonction des chlorures (calcite, dolomite et aragonite) en fonction des chlorures.

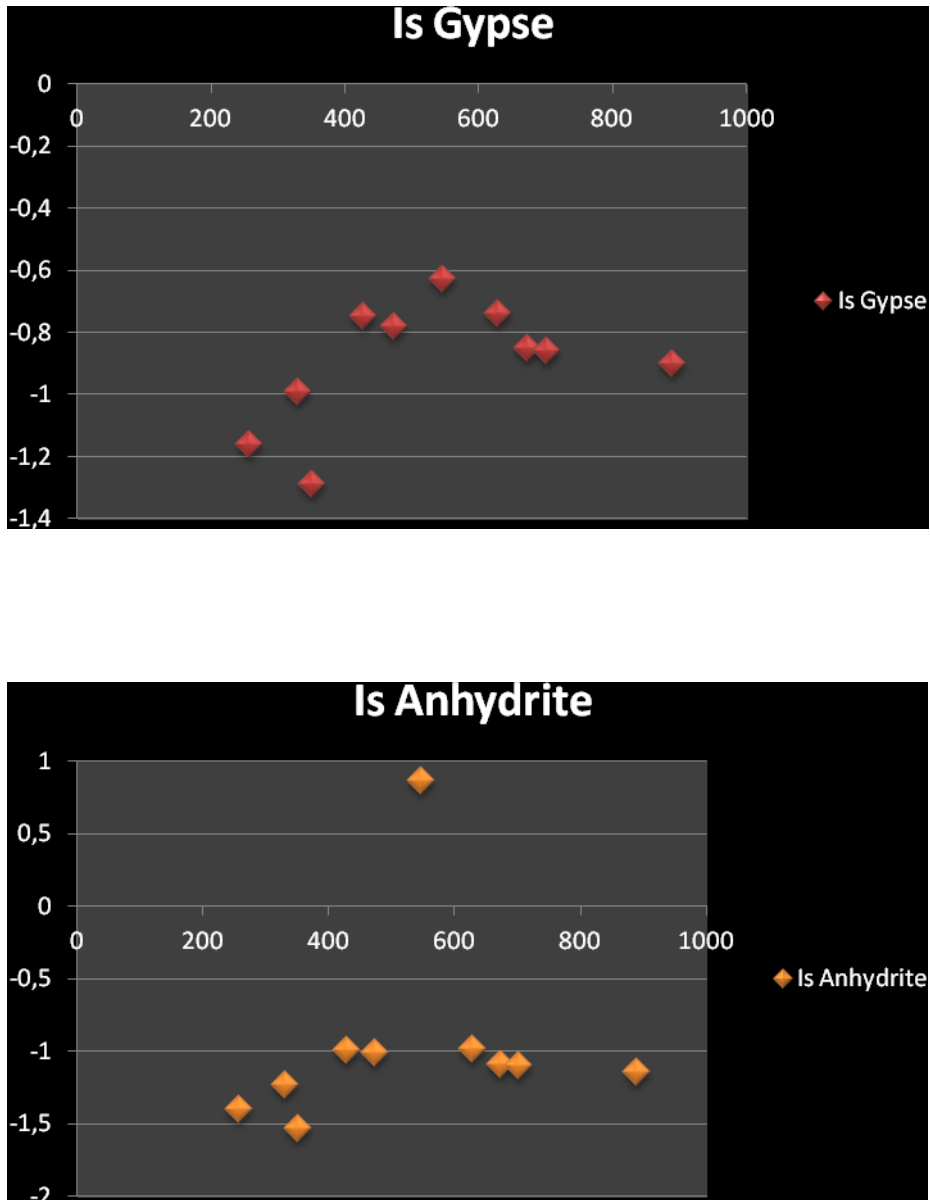


Figure 26 : Diagrammes des indices de saturation (gypse et anhydrite) en fonction des chlorures.

5- Indice chloro-alkalin (ex i.e.b : indice d'échange de bases) :

C'est le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature primitivement existants dans l'eau. Il est obtenu à l'aide de la relation suivante :

$$I.C.A. = \frac{rCl^- - r(Na^+ + K^+)}{rCl^-}$$

Si,

- I.C.A.= 0, il y a un équilibre entre les compositions chimiques de l'eau et de l'encaissant.
- I.C.A. < 0, l'encaissant libère le sodium et le potassium et fixe le calcium.
- I.C.A.> 0, l'encaissant libère le calcium et fixe le sodium et le potassium.

Les valeurs de l'indice d'échange de base sont présentées dans le tableau 17.

Tableau 17 : valeurs des indices d'échange de base des eaux du secteur d'étude.

Points d'eau	$r\ Cl^-$	$r\ (Na^+ + K^+)$	I.E.B
1	9.89	8.986	0.09
2	9.32	9.042	0.03
3	7.24	6.78	0.06
4	18.96	20.65	-0.09
5	25.07	32.74	-0.31
6	13.35	15.12	-0.13
7	17.72	16.05	0.09
8	15.41	15.86	-0.03
9	12.06	12.40	-0.03
10	19.77	20.24	-0.02

La majorité des valeurs sont négatives (06 points d'eaux), elles s'échelonnent entre -0.02 à -0.31. Ceci traduit des échanges entre le calcium de l'eau avec le sodium des formations encaissantes tandis que le reste des points d'eau, avec un indice positif entre 0.03 et 0.09, indiquent que les eaux souterraines de la nappe étudiée échangent les ions Na^+ et K^+ contre les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} de l'encaissant.

CHAPITRE III

Etude des éléments indicateurs
de pollution et des métaux
lourds

I- Introduction :

L'eau représente une des sources indispensables à la vie de l'être humain, sans elle il n'y aurait pas de vie sur terre. Une eau en apparence limpide et pure peut cacher des micro-organismes ou des polluants, la prudence reste de mise.

Dans notre monde aucun développement économique et démographique n'est possible sans avoir recours aux ressources en eau. Actuellement, la pollution touche de plus en plus de façon directe les eaux souterraines et les eaux superficielles ou de surface dont une partie est destinée à l'alimentation en eau potable.

La notion de pollution est une notion relative, et avant de déclarer qu'une eau est polluée il convient de savoir à quel usage on la destine, et quels critères de qualité doit-elle satisfaire ?

Pour l'organisation mondiale de la santé (OMS), la pollution de l'eau peut être définie comme une dénaturation qui résulte d'une activité humaine et rend l'eau moins propre à l'usage auquel il convenait dans son état naturel.

Les causes naturelles de pollutions souterraines sont nombreuses, le cas le plus fréquent est celui des eaux des régions karstiques ou les calcaires fissurés n'assurent aucune filtration.

Par ailleurs, les nappes d'eaux souterraines, libres, situées sous les zones urbaines sont particulièrement vulnérables à toutes sortes de pollutions induites par la présence de plusieurs activités industrielles à l'intérieur même du tissu urbain, générant des rejets solides et des effluents liquides. Les pollutions peuvent également être causées par les eaux pluviales ainsi que par des eaux usées pouvant provenir de fuites de réseaux d'assainissement vétustes ou défectueux.

Dans la zone urbaine d'Oran, les pollutions pouvant affecter les eaux souterraines sont nombreuses. Il existe d'importantes zones d'habitation et autres (Planteur, Ras- El Ain...) qui ne disposent pas d'un réseau d'assainissement d'où le rejet des eaux usées dans des fosses perdues, creusées dans des formations carbonatées karstifiées, qui n'assurent aucune filtration des éléments polluants qui peuvent faire l'objet de migration dans le sous-sol à une vitesse très rapide. On retrouve également dans le tissu urbain la présence d'activités industrielles anciennes ou en cours, des dépôts d'hydrocarbures, etc. Par ailleurs, au sud de la zone urbaine (essentiellement entre Oran et Es-Senia), il y a la présence d'activités agricoles utilisatrices d'engrais, pesticides, etc. Cela donne naissance à plusieurs sources de pollution multiforme affectant les eaux souterraines s'étendant sous la zone urbaine. A cet effet, il est important de faire l'état de pollution éventuelle des eaux souterraines qui servent pour une partie d'entre elles à l'alimentation humaine.

II-Etude des éléments indicateurs de pollution :

II-1-Généralité :

La pollution de l'eau correspond à la présence dans l'eau de minuscules organismes extérieurs, de produits chimiques ou de déchets industriels.

Cette pollution (ou contamination) touche les eaux de surface (océans, rivières, lacs) et les eaux souterraines qui circulent dans le sol.

II-2- Origine de la pollution :

La pollution de l'eau peut avoir diverses origines parmi lesquelles il y a :

- **la pollution agricole** avec les déjections animales (vaches, porcs, etc.), les nitrates et les phosphates contenus dans les engrais, ainsi que les pesticides (insecticides et désherbants). Les **exploitations agricoles industrielles** qui rejettent divers produits présents dans les engrais (comme des nitrates) ou les produits phytosanitaires peuvent polluer les nappes phréatiques et entraîner la fermeture de points de captages d'eau potable si leur présence est trop importante
- **la pollution industrielle** : les sous-produits de l'industrie sont une des sources de pollution de l'eau parmi les plus importantes. Il s'agit essentiellement de produits chimiques et d'hydrocarbures ;
- **la pollution domestique** (c'est-à-dire de la maison) avec les eaux usées rejetées des toilettes, les poudres à laver (lave-linge, lave-vaisselle) et les détergents, et aussi le chlore qui sert pour la désinfection de l'eau.

II-3- Les principaux indicateurs de la pollution organique :

a) - L'ammonium :

L'élément ammonium est assez souvent rencontré dans l'eau. Il traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique. Généralement, l'ammoniaque se transforme assez rapidement en nitrites (NH_2) et en nitrates (NH_3) par oxydation. Pour une eau potable, l'O.M.S a fixée comme concentration admissible maximale 0.5 mg/l.

b)- Les nitrites :

Les nitrites sont les sels de l'acide nitreux (acide instable de formule HNO_2). La formule de l'ion nitrite est NO_2^- . La présence de nitrites dans le sang empêche l'hémoglobine de fixer convenablement l'oxygène. C'est la maladie bleue du nourrisson, plus savamment appelée "méthémoglobinémie". C'est la raison pour laquelle la teneur en nitrites dans l'eau potable est réglementée et, indirectement celle des nitrates en raison de leur capacité à se transformer en nitrites. Les normes de l'O.M.S indiquent comme teneur des nitrites dans l'eau destinée à la consommation humaine une valeur limite de 0.1 mg/l.

c)- Les nitrates :

La présence de nitrates dans l'eau est un indice de pollution d'origine agricole (engrais), urbaine (dysfonctionnement de réseaux d'assainissement) ou industrielle.

Ils posent deux types de problèmes à savoir :

- incidences sur la santé humaine : intoxication du sang des bébés (méthémoglobinémie) et des femmes enceintes, risques de cancers....
- incidences sur l'hydrobiologie : conséquence sur la vie de la faune aquatique et l'eutrophisation.

Dans de nombreux pays les eaux destinées à la consommation humaine doivent respecter des valeurs limites (50 mg/l pour le cas de l'Algérie) pour être qualifiées de potables.

d) - Les phosphates :

Leur présence dans les eaux naturelles est liée à la nature des terrains traversés et à la décomposition de la matière organique. Les eaux de surface ou souterraines peuvent être contaminées par des rejets industriels et domestiques ou par le lessivage des terres cultivées renfermant des engrais phosphatés.

Les normes de l'O.M.S indiquent comme niveau guide du phosphate 0.4 mg/l et une concentration maximale admissible de 5 mg/l pour l'eau destinée à la consommation humaine.

e) - Les matières organiques :

Les matières organiques peuvent être présentes sous forme dissoute (carbohydrates, acides humiques et composés d'origine artificielle comme les hydrocarbures, les solvants chlorés, ou

les pesticides), ou en suspension (déchets végétaux, plancton).Elles proviennent de la dégradation de la matière organique présente dans le milieu ou dans les sols lessivés par les pluies (décomposition des plantes et des animaux), mais aussi de composés issus de l'activité humaine.

f) - La matière en suspension :

La pollution de l'eau peut survenir par les matières en suspension provenant des mines, des cimenteries qui peuvent-être modifiées. En effet, l'altération est définie par la turbidité (l'aspect trouble de l'eau), elle-même liée soit à la présence de fer et manganèse, qui peut être une altération à elle seule, soit à la présence de matières en suspension (MES). Les matières en suspension, constituées de micro particules (argiles, plancton...) proviennent le plus souvent des eaux de ruissellement après des épisodes orageux : la pluie s'engouffre par des voies de cheminement préférentiel, et rejoint les nappes. La turbidité étant souvent liée à la pluie, les mesures réalisées à dates fixes ne sont pas forcément représentatives de l'altération réelle...

La teneur et la composition minérale et organique des matières en suspension dans les eaux sont en fonction de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie, des rejets... . En se déposant, elles peuvent colmater les fonds et créer des déséquilibres de la faune et de la flore. En outre, ces substances rendent l'eau opaque, et ralentissent les phénomènes liés à la lumière (photosynthèse).

II-4-Situation dans la zone d'étude :

A l'aide d'une étude de certains éléments indicateurs de pollution contenus dans les eaux souterraines, une appréciation peut être faite sur l'état de pollution des eaux souterraines du secteur d'étude. En plus des éléments chimiques majeurs, l'analyse des échantillons d'eaux a concerné également les teneurs en éléments indicateurs de pollution. Ces valeurs sont résumées dans le tableau 18.

La pollution bactériologique n'a pas été traitée dans cette étude. Les nitrates, nitrites, ammonium, phosphates, matière organique acide, matière organique basique, matière en suspension, la silice et la turbidité sont les principaux éléments.

La présence de ces éléments dans l'eau ou de leur non-conformité aux normes de potabilité pourrait informer sur l'impropriété ou non à la consommation humaine des eaux échantillonnées.

Tableau 18: Résultats de l'analyse physico-chimique des éléments indicateurs de pollution des points d'eau prélevés (29/11/2000).

N°	Lieu	NO ₃ (mg/l)	NO ₂ (mg/l)	NH ₄ (mg/l)	Phosphates (mg/l)	MO acide (mg/l)	MO basique (mg/l)	MES (mg/l)	S _i O ₂ (mg/l)	Turbidité (NTU)
1	Source de Ras El- Ain	52	0,02	0,01	0,02	1,8	0,00	0,00	17,2	4,3
2	Puits des Amandiers	100	0,02	0,00	0,1	1,9	0,6	336	20	4,2
3	Puits Ex : Coca	100	0,02	0,00	0,17	1,6	0,1	321	15	4,6
4	Puits St. Eugène	70	0,08	0,01	0,05	4,6	0,1	537	8	5,2
5	Puits Mediouni	90	0,17	0,02	0,05	4,1	0,5	691	7,6	5,5
6	Cueva d'El Agua	80	0,01	0,01	0,03	2,4	0,1	449	24	5,5
7	Puits de Miramar	70	0,02	0,01	0,05	3,2	0,00	453	37	4,4
8	Puits St. Pierre	90	0,8	0,8	0,05	3,6	0,9	495	7,2	4,6
9	Puits H.L.M	40	0,01	0,01	0,05	2,4	0,2	478	32	5,3
10	Puits Inesmo	31	0,01	0,01	0,03	3,1	0,3	996	21	4,5

II-4-1) - Les nitrates :

La figure 27 indique que pour les eaux des calcaires, il y a une forte concentration en nitrate au puits des Amandier (100 mg/l) et au puits ex : Coca (100 mg/l), et une concentration à la limite des normes de potabilité à la source Ras El Ain (52 mg/l).

Il se peut que cette concentration en nitrates soit due à la position de ces points d'eau en aval

des quartiers d'El Hassi, des Amandiers et de Ras El Ain qui ne possèdent aucun réseau d'assainissement. Rappelons aussi l'absence de périmètre de protection pour la source de Ras El-Ain et des autres points d'eau bien que leurs eaux soient utilisées comme eau potable. Pour les eaux du calabrien, à part le puits H.L.M et celui de l'Inesmo, la majorité des puits ont des teneurs en nitrates élevées variant entre 70 mg/l et 90 mg/l (puits de St Pierre, source Cueva d'El Agua, Puits St. Eugène, Puits de Miramar et de Mediouni).

L'existence des nitrates à faible concentration aux puits Inesmo (31mg/l) et H.L.M (40 mg/l) est due au fait que la zone non saturée de la nappe est épaisse et protégée à sa partie supérieure par un niveau semi-perméable (M.I. Hassani, 2002).

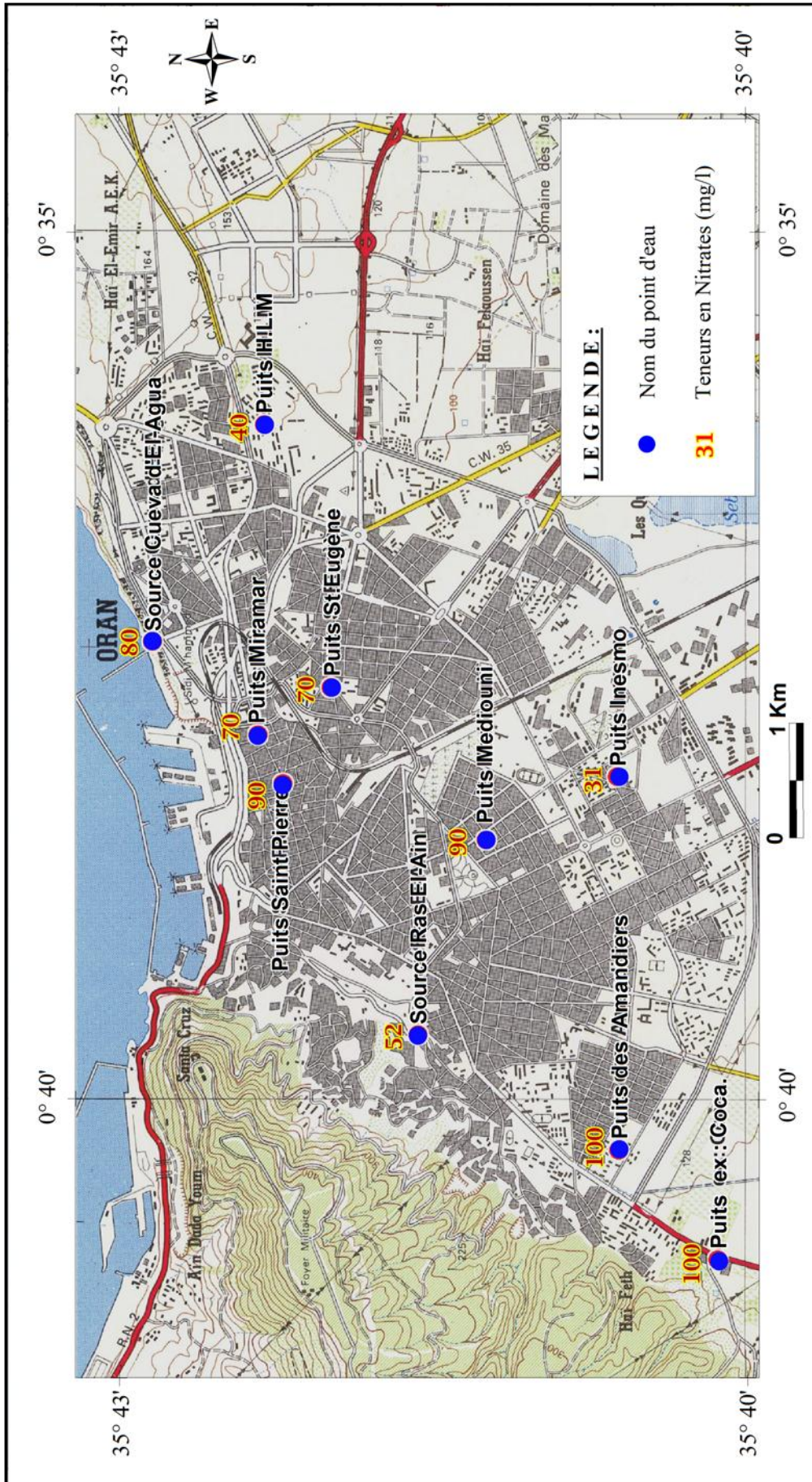


Figure 27 : Carte des teneurs en nitrates (mg/l) des points d'eau.

II-4-2) - Les nitrites :

Contrairement aux concentrations des nitrates qui sont supérieures aux normes de potabilité, celles des nitrites restent relativement faibles. Tous les puits présentent de faibles concentrations en nitrites, à l'exception des puits St Pierre (0.8 mg/l) et Mediouni (0.17 mg/l), qui dépassent le seuil admissible (0,1 mg/l) (figure 28).

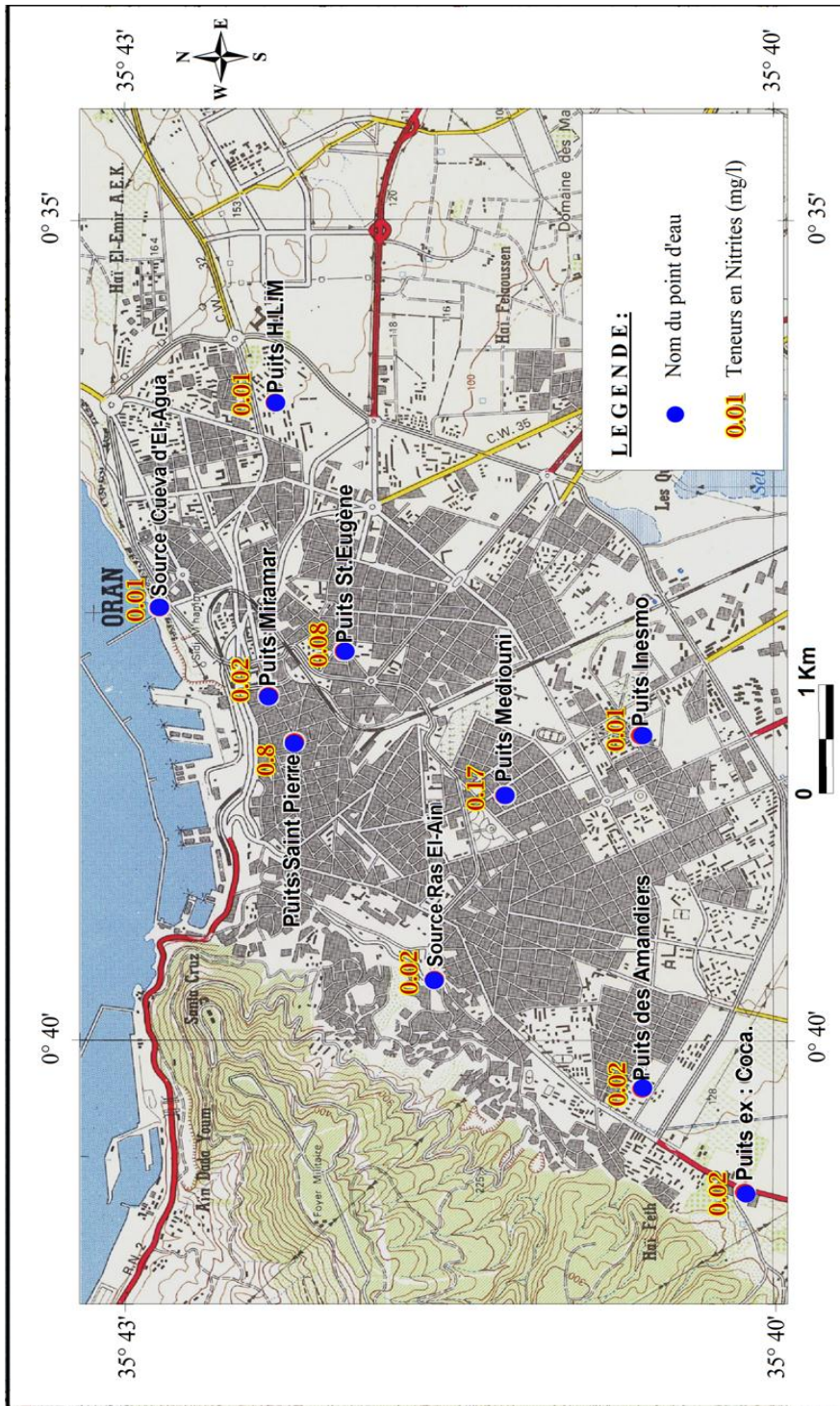


Figure 28 : Carte des teneurs en nitrites (mg/l) des points d'eau.

II-4-3) - L'ammonium :

Les valeurs dans le secteur d'étude sont nettement inférieures aux normes admises (0.5 mg/l) sauf au puits de St. Pierre qui montre une valeur élevée de 0.8 mg/l (figure 29). Ceci peut être expliqué par une fuite localisée du réseau d'assainissement.

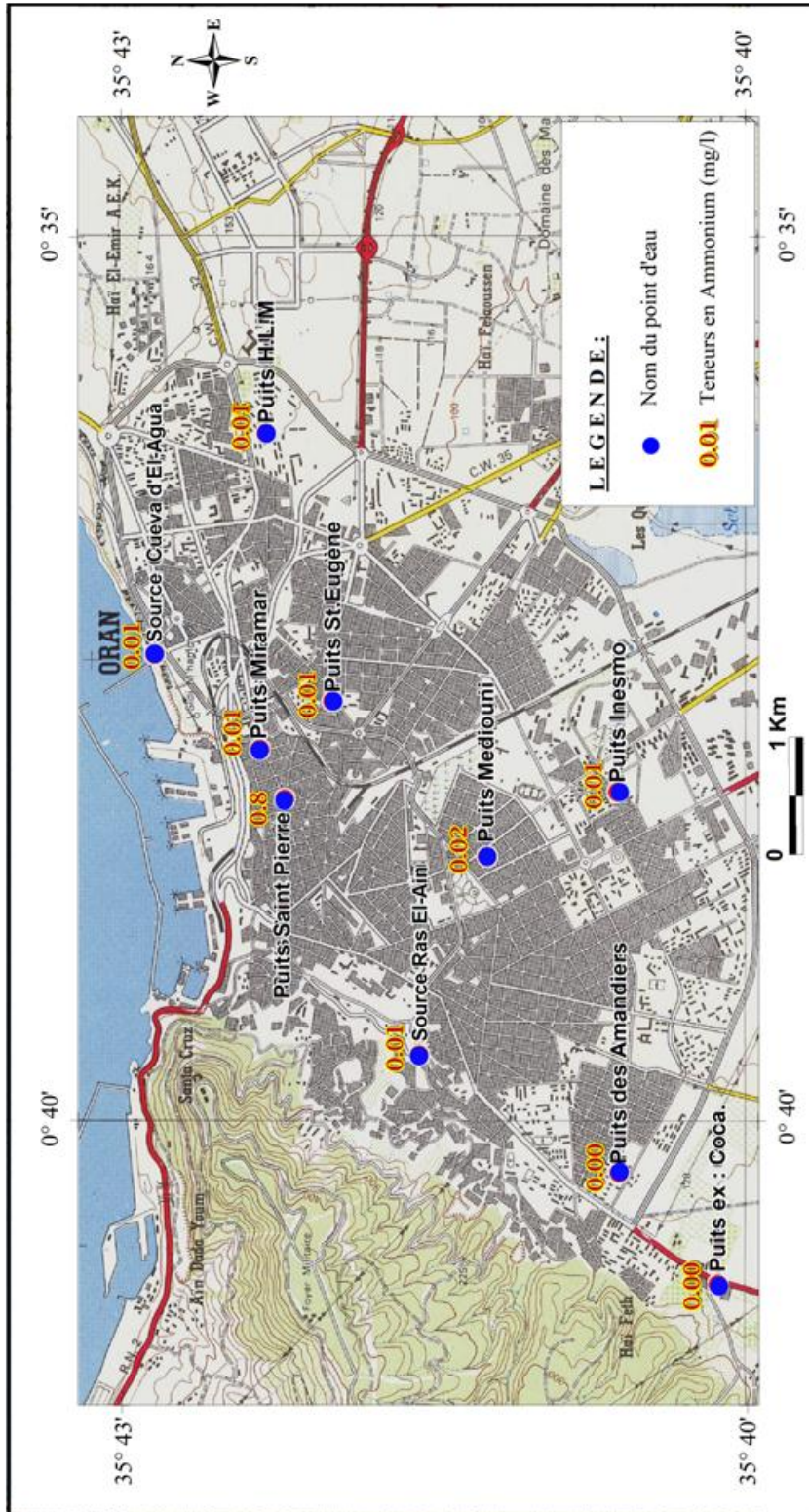


Figure 29 : Carte des teneurs en ammonium (mg/l) des points d'eau.

II-4-4)- Le phosphore :

Tous les points d'eau présentent des concentrations relativement faibles en phosphore, aucun puits (ou source) ne dépasse la valeur maximale admise de 5 mg/l. (figure 30).

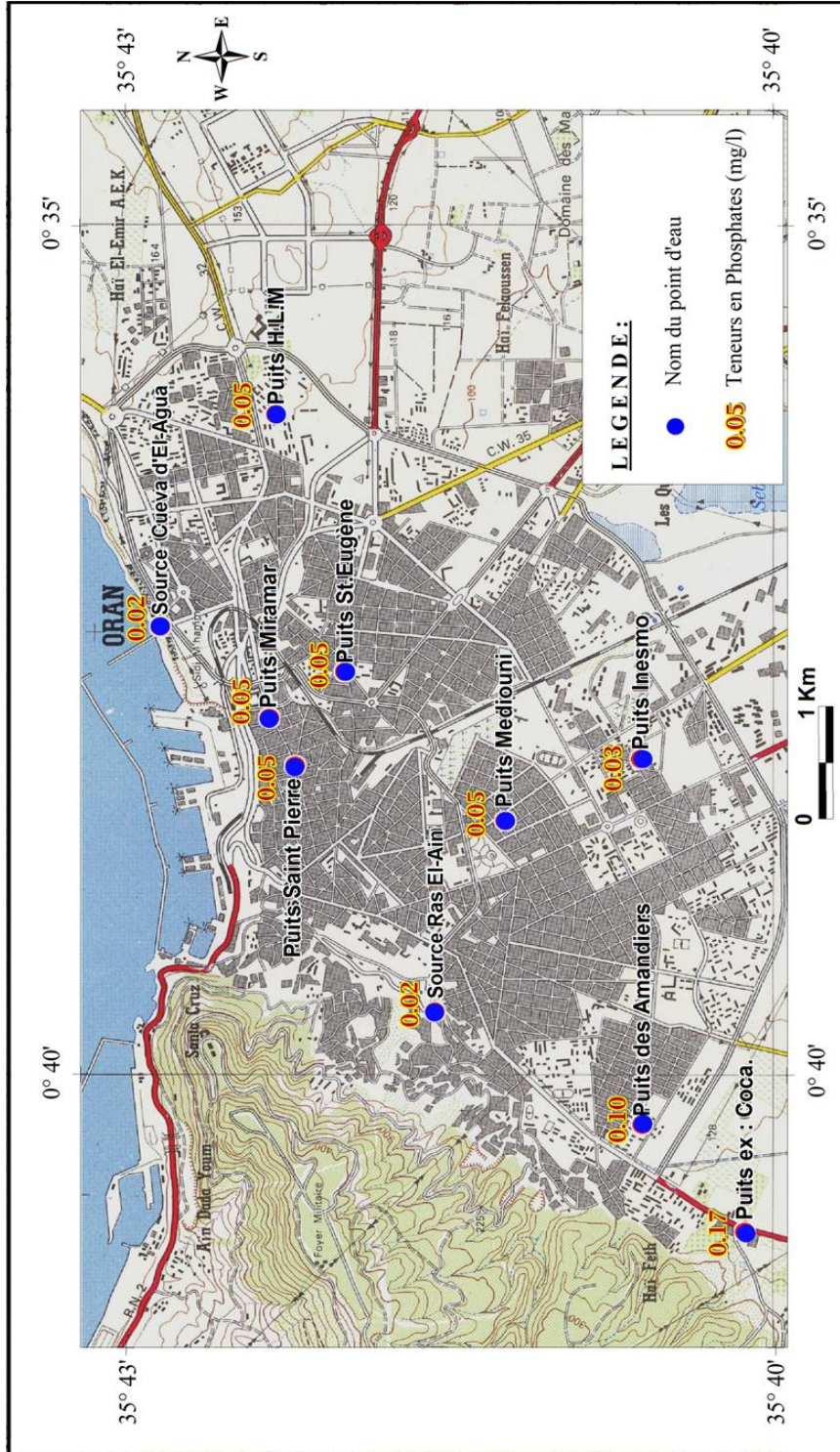


Figure 30 : Carte des teneurs en phosphore (mg/l) des points d'eau.

II-4-5)- La silice :

La silice peut-être rencontrée dans l'eau sous deux états, à savoir :

- état colloïdal
- état dissous

A noter que les eaux provenant des régions granitiques ont la possibilité d'en contenir plusieurs dizaines de milligrammes par litre, et qu'une eau potable de bonne qualité ne doit pas en contenir plus de 20 mg/l de silice. L'O.M.S n'a aucune recommandation sur la valeur maximale admissible. Ainsi il faut que les concentrations ne puissent pas entraîner directement ou indirectement un risque pour la santé publique.

En ce qui concerne le secteur d'étude les valeurs des teneurs en silice s'échelonnent entre 7.2 mg/l (puits Saint pierre) et 37 mg/l (puits de Miramar).

II-4-6) - Matières organiques et en suspension :

Les eaux souterraines du secteur ne présentent pas de teneurs particulièrement élevées.

III- Etude des métaux lourds :

III-1 Généralité :

A l'exception des métaux lourds (mercure, plomb, cadmium), les métaux sont utiles au développement des êtres vivants. Ils sont toutefois toxiques à de fortes concentrations. Leur origine peut être naturelle ou anthropique, d'origine agricole (engrais chargés en cadmium ou en zinc, déjection animale chargée en cuivre, manganèse ou zinc), mais surtout d'origine urbaine (boues de stations d'épuration, chargées en plomb et mercure, corrosion des canalisations en plomb) et d'origine industrielle (métallurgie, industrie chimique).

III-2-Les principaux éléments toxiques :

a) - Le fer :

Le fer est un élément assez abondant dans les roches. Il est soluble à l'état d'ion Fe^{++} (ion ferreux) mais insoluble à l'état Fe^{+++} (ion ferrique). La présence de fer dans l'eau peut favoriser la prolifération de certaines souches de bactéries qui précipitent le fer où corrodent les canalisations. L'eau ferrugineuse nécessite un traitement spécifique. La présence du fer

dans l'eau provient principalement : du lessivage des sols, avec dissolution des roches et minerais, des rejets industriels, de la corrosion des canalisations métalliques.

L'O.M.S ne définit pas de valeur guide pour cet élément.

b) - Le manganèse :

Le manganèse accompagne généralement le fer dans les roches. Le manganèse est présent, en quantité moindre que le fer, dans les roches. Son origine dans l'eau provient essentiellement de la dissolution des roches, et d'éventuels rejets industriels. La présence de manganèse est gênante car elle peut donner à l'eau une couleur noirâtre, provoquer des dépôts d'hydroxyde, lui conférer un goût métallique désagréable et tacher le linge. Le manganèse est nécessaire pour la croissance de l'homme, pour le métabolisme des glucides et des lipides et comme catalyseur dans certaines réactions enzymatiques. Les intoxications par le manganèse sont extrêmement rares : en dehors d'une absorption accidentelle ou volontaire en quantités importantes, le risque est exclusivement d'origine professionnelle.

Les normes de l'O.M.S indiquent comme concentration limite 1 mg/l.

c) - Le cuivre :

Naturellement présent dans la croûte terrestre, il est essentiel au développement de toute forme de vie. Le cuivre possède une exceptionnelle conductivité thermique et électrique. Le métal très pur est très résistant à la corrosion, mais aussi très malléable.

L'ion cuivrique Cu^{2+} est soluble dans l'eau, et à faible concentration. Il a un effet bactériostatique et fongicide. Dans certaines applications, cette propriété sert à prévenir le développement des germes et champignons (canalisations d'eau sanitaire, culture de la vigne, coques de bateaux et boiseries...).

Il est par ailleurs un oligo-élément vital pour toutes les plantes supérieures et les animaux.

On le trouve dans la nature sous forme de minerais de cuivre natif. Une eau potable ne doit contenir de cuivre qu'à l'état de traces.

d) - Le zinc :

Il est par certains aspects semblable au magnésium dans la mesure où son état d'oxydation courant est +2, donnant un cation de taille comparable à celle de Mg^{2+} . C'est le 24^{ème} élément le plus abondant dans l'écorce terrestre. Le zinc peut réagir avec les éléments ambiants : humidité, oxygène, dioxyde de carbone, etc. pour former une patine. Cette patine se traduit

par une diminution progressive de l'éclat métallique de la surface. La couche formée, insoluble, adhérente et protectrice, a comme constituant principal du carbonate basique de zinc.

En contact avec de l'eau stagnante, il forme des taches blanchâtres constituées notamment d'hydroxyde et d'oxyde de zinc, produits pulvérulents généralement peu adhérents et non protecteurs, parfois appelés rouille blanche.

Le zinc est une ressource non renouvelable. D'une façon générale, les eaux à pH bas ont des teneurs en zinc plus importantes. La présence de ce dernier dans les eaux de surface doit être rattachée à des activités industrielles. Concernant les eaux de distribution, le zinc peut provenir des canalisations de laiton ou de fer galvanisé, attaquées par les eaux agressives ou riches en chlorures et sulfates.

Pour l'eau de boisson, les normes de l'O.M.S ont défini comme ligne directrice la valeur : 3 mg/l

e) - Le plomb :

C'est un élément toxique, mutagène, et reprotoxique, sans valeur connue d'oligoélément. Il a en effet été classé comme potentiellement cancérigène en 1980.

Le plomb est un contaminant de l'environnement, toxique et écotoxique dès les faibles doses. Les maladies et symptômes qu'il provoque chez l'homme ou l'animal sont regroupées sous le nom de "saturnisme". Depuis la révolution industrielle, la pollution routière et industrielle ainsi que la chasse la pêche et les guerres (cf. munitions à base de plomb) sont à l'origine d'apports de plomb parfois considérables. Le plomb étant largement utilisé pour la fabrication des tuyauteries de distribution d'eau, il en a résulté de nombreuses intoxications d'origine hydrique. Il se trouve généralement, dans les eaux potables dans des proportions de 0,01 à 0,03 mg/l, alors que la concentration admise est de 0,01 mg/l.

f) - Le chrome :

Son étymologie vient du grec chroma signifiant couleur, car les composés du chrome sont diversement colorés. La toxicité du chrome varie fortement selon sa forme chimique (particule, nanoparticule, ion, oxyde, hydroxyde, valence, etc.).

Il peut être bioaccumulé par divers organismes (dont végétaux alimentaires quand il est présent dans l'eau d'irrigation). Dans ces cas, il peut devenir l'un des contaminants alimentaires pouvant affecter la santé. Il peut aussi être bioconcentré dans le réseau trophique; Il fait partie des métaux toxiques présent dans certains déchets industriels, d'incinérateurs, ou dans certains sédiments, pour lesquels on cherche des solutions d'inertage aussi durables que possibles par exemple dans des matrices de ciment. Le chrome est présent en petites quantités

dans la nature. Il est plus important dans les roches de type basique que dans celles de type siliceux. Sa présence dans les eaux souterraines est le plus souvent liée aux rejets des ateliers de galvanoplastie. L'O.M.S a adopté comme valeur guide du chrome 0.05 mg/l.

III-3- Source de pollution des substances toxiques :

Les sources industrielles de pollution par des substances toxiques sont variées (J.F. Busse 1980).

Tableau 19 : Les sources industrielles de pollution par des substances toxiques (J.F. Busse, 1980).

Sources (industrie)	Substances					Toxiques							
	Al	Cu	Fe	Mn	Zn	Ag	As	Ba	Cd	Cr	Cn	Pb	Se
Alliage	*			*					*				
Céramique-Verrerie				*		*	*	*	*				
Chimie	*												
Colorants	*		*	*	*	*							
Cosmétiques					*	*							
Désinfection	*												
Galvanoplastie	*					*			*	*	*		
Papeterie	*												
Pesticides	*				*	*			*				
Peintures –Vernis				*		*						*	
Pharmacie				*									
Photographie				*					*				
Station d'épuration		*											

III-4- Mécanismes de migration et atténuation des polluants des nappes :

Les polluants subissent diverses formes de dégradations liées à la nature du sous-sol, entre la surface de sol et la surface piézométrique des nappes d'eau souterraines.

La vitesse d'écoulement ne demeure pas le seul et unique mécanisme de migration des polluants dans un milieu perméable. Parallèlement aux processus hydrodynamiques, d'autres mécanismes liés à la nature du polluant et au milieu sont déterminants pour évaluer l'atténuation des contaminants.

Les principales réactions d'atténuation sont :

- Les processus physiques, (filtration, rétention capillaire...)
- Les processus biochimiques (biodégradation...)
- Les processus chimiques (précipitation et co-précipitation...)

III-5 – Situation dans le secteur d'étude :

Le tableau 20 regroupe les concentrations en métaux lourds des eaux prélevées au cours de la campagne du 20/11/2000.

Tableau 20 : Représentation des résultats des concentrations en éléments mineurs.

N°	Lieu	Fe (mg/l)	Mn (mg/l)	Cu (mg/l)	Zn (mg/l)	Pb (mg/l)	Cr (mg/l)
1	Source de Ras El-Ain	0.070	0.015	0.023	0.883	0.041	0.006
2	Puits des Amandiers	0.121	0.005	0.023	0.978	0.089	0.010
3	Puits ex : Coca.	0.133	0.005	0.030	0.427	0.070	0.007
4	Puits St.Eugene	0.072	0.014	0.024	5.650	0.026	0.019
5	Puits Mediouni	0.114	0.008	0.011	2.104	0.090	0.018
6	Source Cueva d'El Agua	0.143	0.020	0.019	0.618	0.046	0.018
7	Puits de Miramar	0.088	0.014	0.028	0.617	0.023	0.012
8	Puits St. Pierre	0.808	0.022	0.030	3.580	0.065	0.007
9	Puits H.L.M	0.071	0.125	0.006	1.237	0.007	0.010
10	Puits Inesmo	0.073	0.013	0.005	0.014	0.046	0.021

III-6-Description et répartition spatiale des résultats :

a)- Le Fer : (figure 31)

Les eaux des calcaires présentent une concentration qui ne dépasse pas les 0.2 mg/l. Les eaux du Calabrien ne dépassent pas cette même valeur sauf au puits de St Pierre (0.8 mg/l).

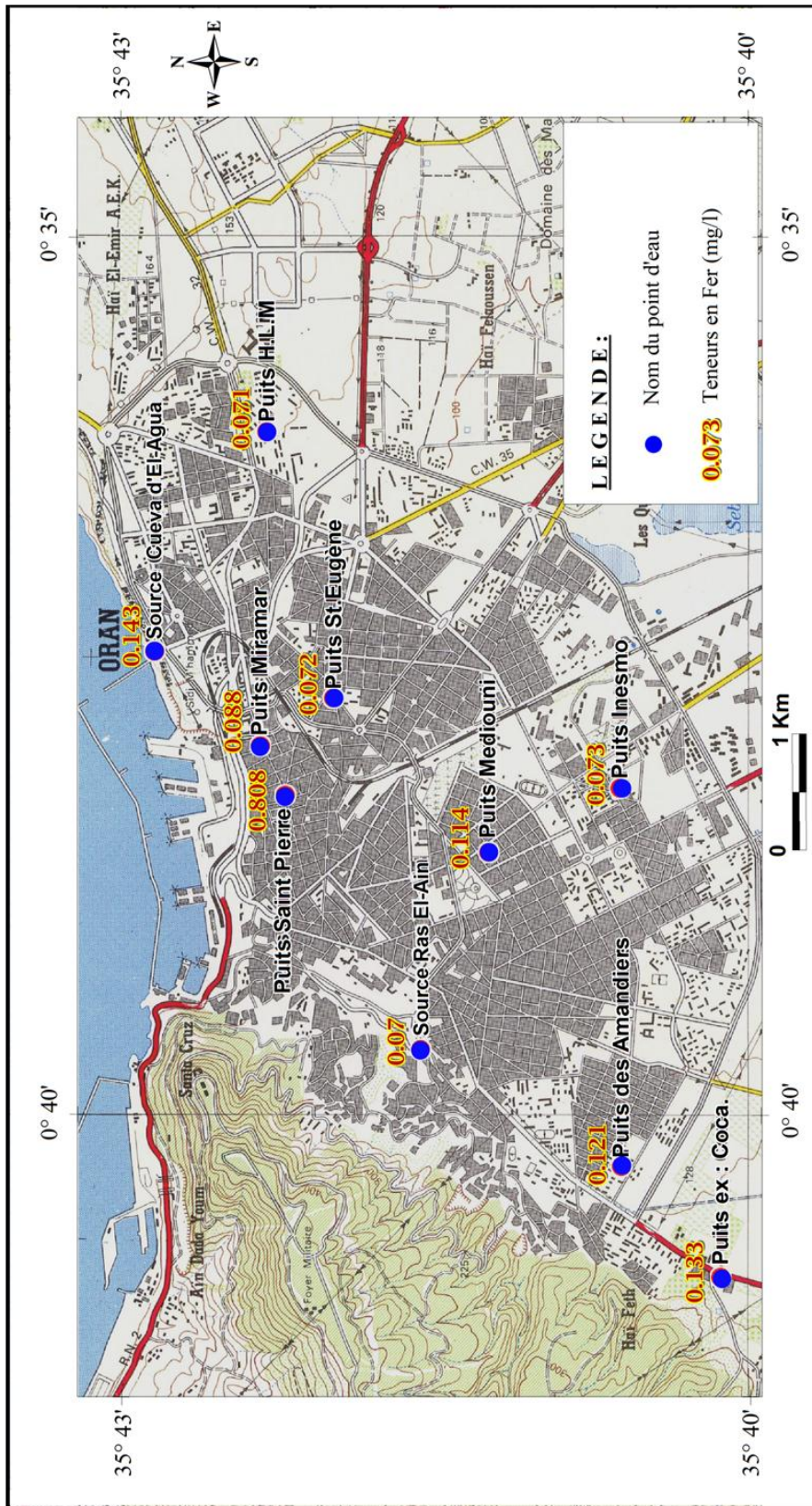


Figure 31 : Carte des teneurs en fer (mg/l) des points d'eau.

b) - Le manganèse : (figure 32)

Dans les eaux des calcaires, la teneur en manganèse reste inférieure à la valeur limite de potabilité prescrite par l'O.M.S, soit 0.1 mg/l. La teneur varie entre 0.005 mg/l (Puits des Amandiers et Puits ex : Coca.) et 0.015 mg/l (source de Ras EL-Ain). Dans les eaux du Calabrien, la teneur reste globalement faible et varie entre 0.020 mg/l à Cueva Del Agua et 0.022 mg/l au puits St. Pierre. Seul le puits des H.L.M se caractérise par une teneur atteignant 0.125 mg/l.

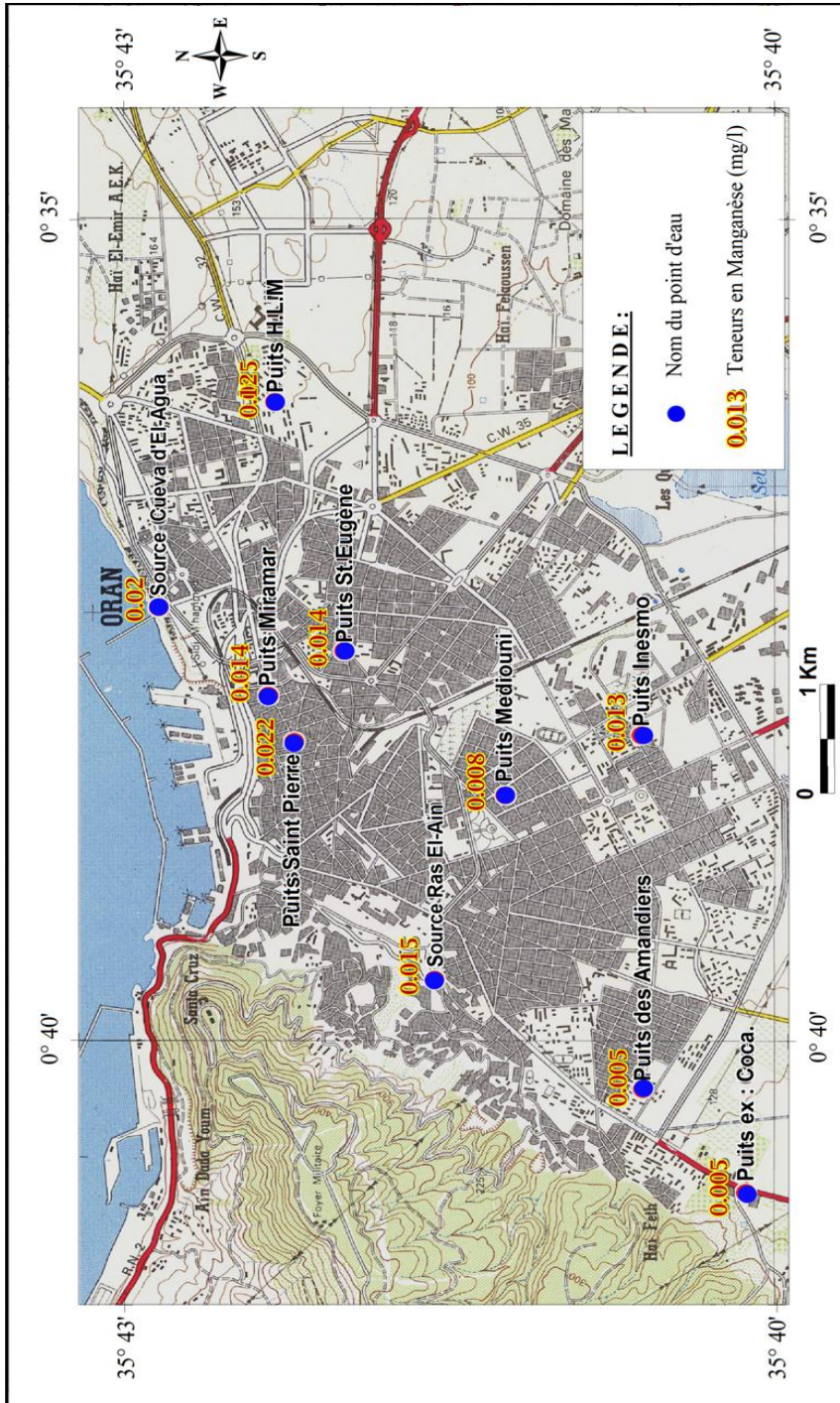


Figure 32 : Carte des teneurs en manganèse (mg/l) des points d'eau.

c) - le cuivre : (figure 33)

Dans les eaux des calcaires, la teneur en cuivre varie entre 0.02 mg/l et 0.03 mg/l, bien en dessous de la norme de potabilité qui est de 0.1 mg/l.

Concernant les eaux du Calabrien, les teneurs restent faibles, la valeur maximum se trouve au puits de Saint pierre (0.03 mg/l).

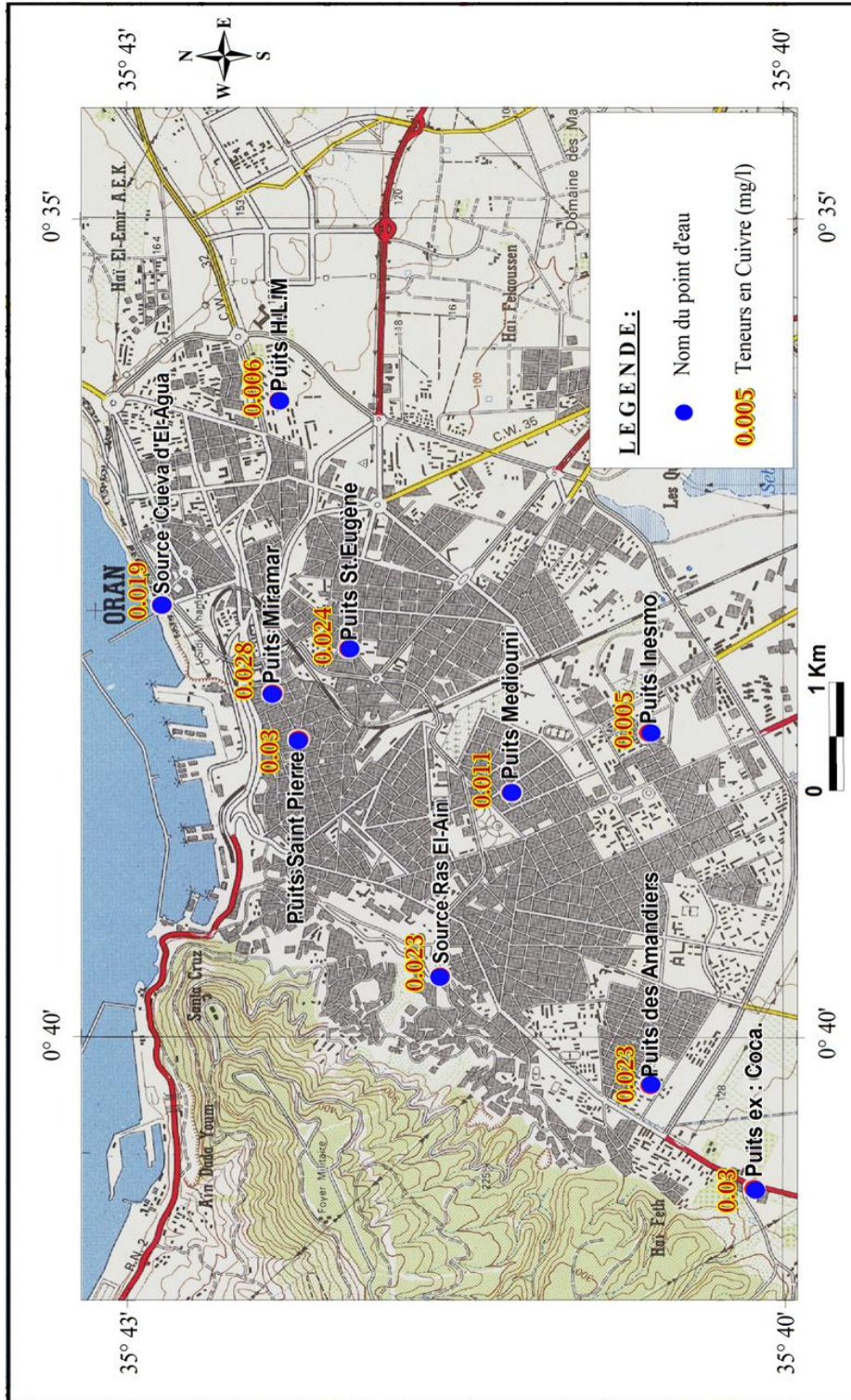


Figure 33 : Carte des teneurs en cuivre (mg/l) des points d'eau.

d) -Le zinc :

Dans les eaux des calcaires, les teneurs sont relativement faibles bien en dessous de la norme de potabilité qui est de 3 mg/l (figure 34).

Ceci est également le cas pour les eaux du Calabrien sauf au niveau de quatre points d'eau où les teneurs sont relativement élevées : Puits St. Pierre (3.58 mg/l) et puits de St. Eugène (5.65 mg/l).

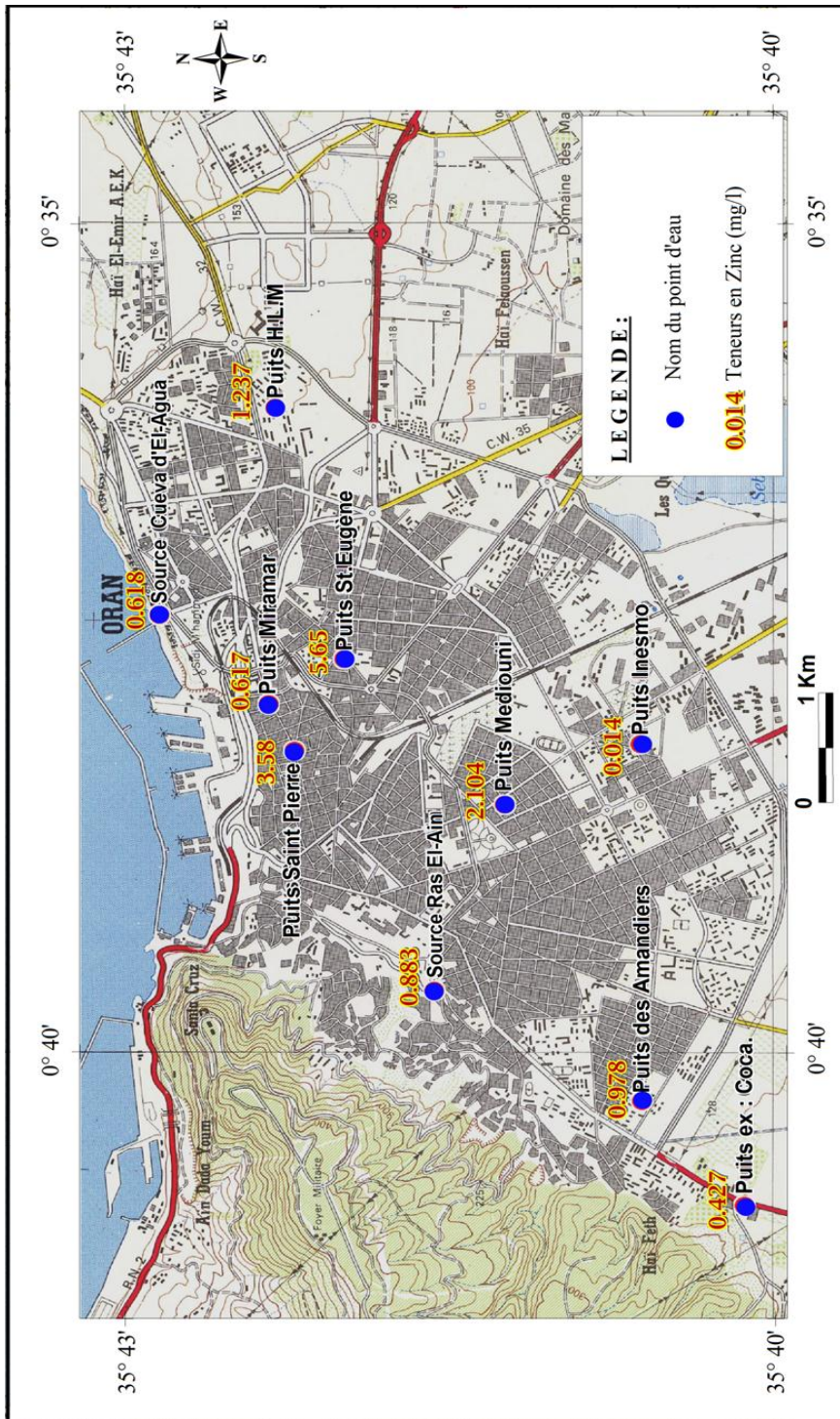


Figure 34 : Carte des teneurs en zinc (mg/l) des points d'eau.

e) Le plomb : (figure 35)

Dans les eaux des calcaires, les teneurs en plomb varient entre 0.041 mg/l et 0.089 mg/l, sachant que la norme de potabilité est de 0.1 mg/l.

Les eaux du Calabrien se caractérisent par des teneurs inférieures à 0.1 mg/l.

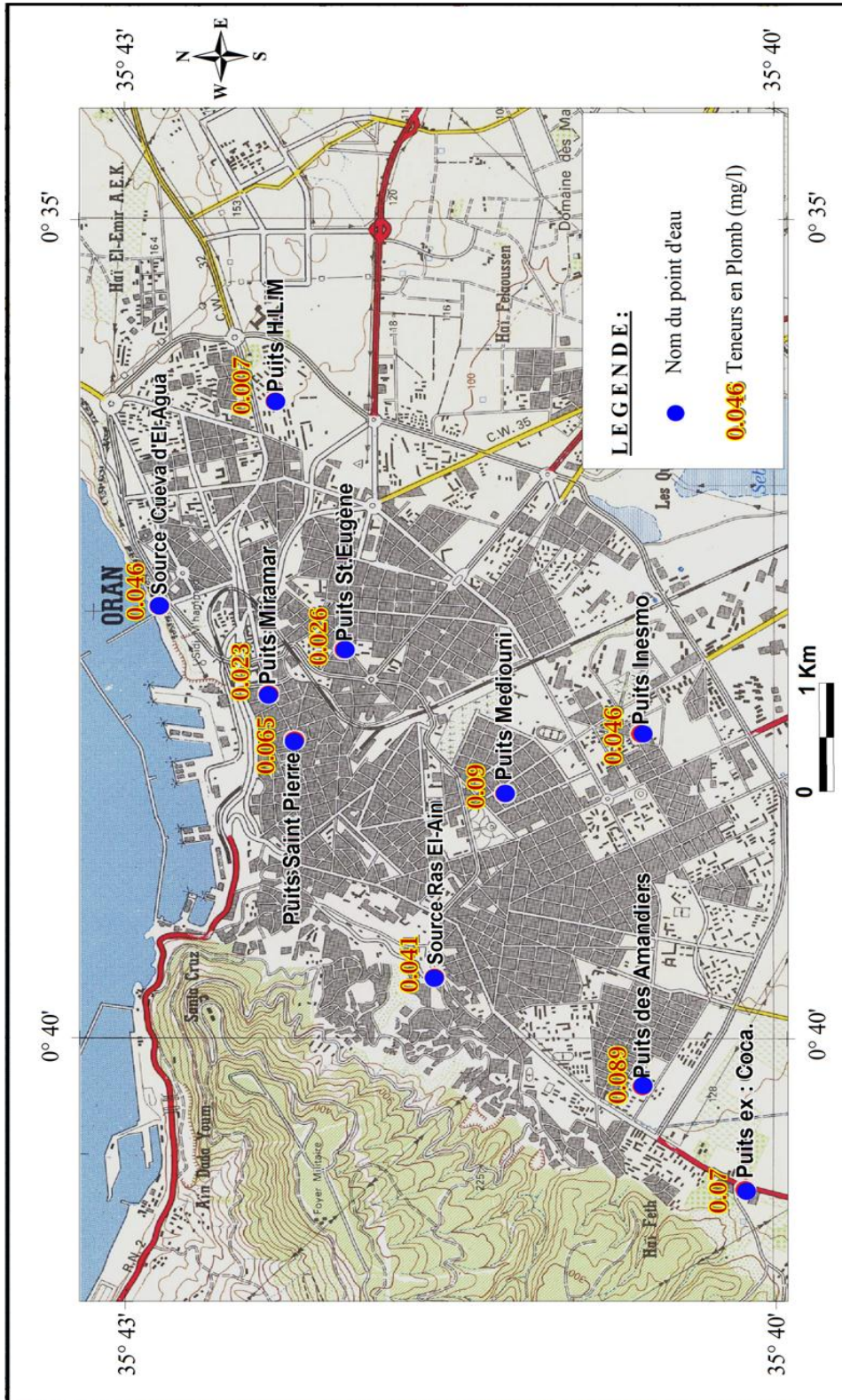


Figure 35 : Carte des teneurs en plomb (mg/l) des points d'eau.

f) Le chrome : (figure 36) :

Dans tous les points d'eau échantillonnés, les teneurs en chrome restent de loin inférieures à la norme de potabilité (0.05 mg/l).

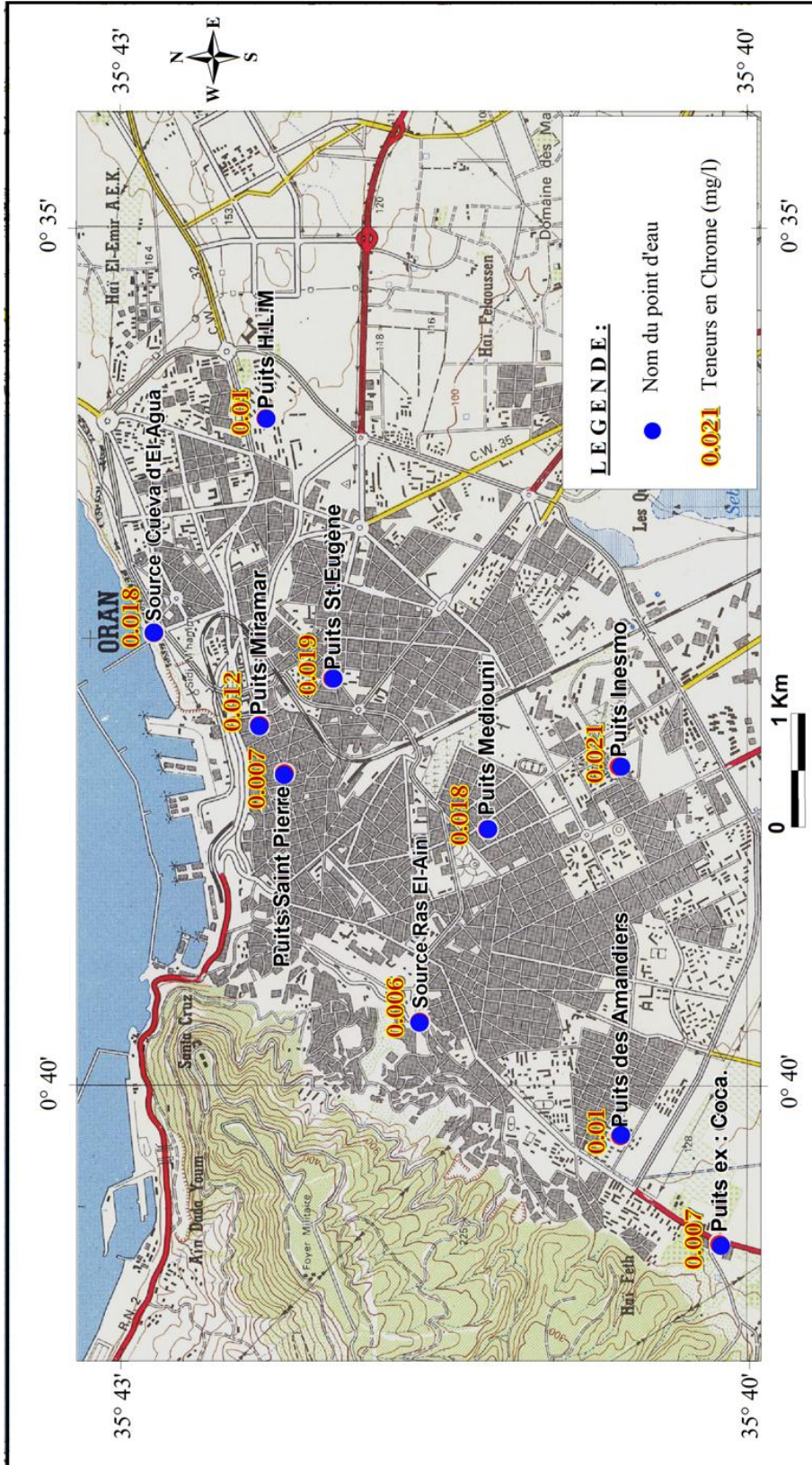


Figure 36 : Carte des teneurs en chrome (mg/l) des points d'eau.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Notre présente étude a commencé par présenter le cadre géographique suivi par les contextes climatiques, morphologiques et hydrologiques de la région.

Les études géologiques de plusieurs auteurs ont permis de dégager les principales formations géologiques du secteur d'étude, qui sont :

- le substratum anté à synchro nappe constitué de formations d'âge allant du Jurassique moyen au Crétacé - Barrémien,
- les formations du Miocène supérieur constituées essentiellement par les marnes à tripoli qui affleurent en bordure du plateau d'Oran et qui sont surmontées au Djebel Murdjadjo par les calcaires récifaux, karstifiés,
- le complexe dunaire du Calabrien, grés-sableux, qui repose en discordance essentiellement sur la formation des marnes à tripoli. Il prend une grande extension dans le plateau d'Oran,
- le Quaternaire récent constitué essentiellement par des formations colluvionnaires et alluvionnaires qu'on retrouve dans la zone piémont du Djebel Murdjadjo et dans la partie méridionale de l'agglomération.

Sur le plan hydrogéologique, les aspects lithologiques et structuraux des grandes formations géologiques de la zone d'étude déterminent les principaux systèmes aquifères présents, à savoir :

- l'unité des formations miocènes " calcaires du Murdjadjo",
- l'unité des grés et sables calabriens du plateau d'Oran,
- l'unité des alluvions du Plio-Quaternaire (Pléisto-Holocène).

Des informations sur les sens d'écoulement souterrain et sur le mode d'alimentation du système aquifère ont été dégagées à partir de la piézométrie générale de la nappe. Cette nappe est essentiellement libre, de son extension à travers les formations calcaires et niveaux sablo-gréseux, et jusqu'à son passage latéral dans les niveaux alluvionnaires. Deux directions d'écoulement convergent au nord, à savoir :

- Une, provenant de la zone d'affleurement des calcaires du Murdjadjo
- Une, provenant de la partie nord – est du plateau.

En ce qui concerne l'étude hydrochimique, le pH des eaux de la nappe varie très faiblement entre 7,2 et 7,8. La minéralisation des eaux reste relativement faible; à la lisière des affleurements des calcaires miocènes et augmentent plus en aval. Une même tendance, mais de direction inverse, s'observe à la partie Est de l'agglomération. Une augmentation continue de minéralisation s'observe vers les parties centrales et méridionales de la nappe. La dureté des eaux reste élevé ($> 30^{\circ}\text{F}$), rendant les eaux dures et peu adaptées à la consommation.

Au niveau des calcaires, les eaux de la nappe présentent deux faciès: un faciès chloruré calcique au puits ex : coca (légère prédominance du calcium sur le sodium) et un faciès chloruré sodique à la source de Ras El Ain et au puits des Amandiers.

Conclusion générale

Au niveau du calabrien les eaux présentent également deux faciès: un faciès chloruré magnésien aux puits Miramar, Saint pierre et H.L.M, ainsi qu'un faciès chloruré sodique aux puits de Saint Eugène, Médiouni, Inesmo et à la source de Cueva del agua.

Concernant les éléments indicateurs de pollution, la nappe au niveau des calcaires présente de faibles teneurs en nitrites, ammonium et phosphate, alors que la majorité de ses points a une concentration moyenne à élevée en nitrates ; source de Ras El Ain : 52 mg/l. puits des amandiers : 100 mg/l, puits ex : coca 100 mg/l.

Les eaux au niveau du reste de la nappe présentent des teneurs faibles en phosphates, mais concernant les nitrates cinq points d'eau dépassent largement les normes de potabilité admises ; Puits Saint pierre : 90 mg/l, Puits Miramar : 70 mg/l, Puits St Eugène : 70 mg/l, Puits Mediouni : 90 mg/l, Source Cueva Del Agua : 80 mg/l. Deux points dépassent les normes en nitrites (0.1 mg/l) à savoir le puits Saint pierre (0.8 mg/l) et le puits de Mediouni (0.17 mg/l).

Concernant les métaux lourds, la nappe des calcaires connaît de faibles concentrations sur tous ses points (Puits ex : coca, puits des Amandiers et la source de Ras El Ain). Le reste des eaux de la nappe présentent de faibles concentrations en cuivre, plomb et en chrome. Par contre pour l'élément fer, un puits dépasse les normes de potabilité : puits Saint pierre avec 0.808 mg/l. Il en est de même pour le manganèse avec le puits des HLM : 0.125 mg/l. Une majorité des puits dispose d'une notable concentration en zinc ; puits des HLM : 1.23 mg/l, puits de Saint Pierre : 3.5 mg/l, puits de Mediouni : 2.10 mg/l et le puits St Eugène : 5.6 mg/l.

Globalement, en dehors de la zone de calcaires et à part les teneurs en nitrates, la nappe ne semble pas trop affectée par les phénomènes de pollution mais cela mérite d'être suivi de façon plus régulière par réactualisation des campagnes de prélèvement et mesures ainsi que par une densification et un meilleur ciblage des points de mesure.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références Bibliographiques

Abid H. et Hacherouf B, 2001. Caractérisation hydrochimique et pollution par les nitrates des eaux souterraines de la région d'Oran. Mémoire d'ingénieur d'état, Université d'Oran. 67 p.

Adda M. et Bouchenouk I., 2007. Etude hydrochimique et bactériologique des eaux souterraines de la partie occidentale de l'agglomération oranaise (Secteur d'El Hassi "ex : Pont Albin"). Mémoire d'ingénieur d'état, Université d'Oran

Adda M, 2013. Caractérisation hydrochimique et pollution des eaux souterraines en contexte urbain : Cas de l'agglomération oranais (Algérie). Mémoire de magister, Université d'Oran.

Bouchentouf K., 1979, Eude hydrogéologique du versant sud du Murdjadjo et du plateau d'Oran. Mémoire de D.E.S, Université d'Oran.140 p. 41 fig.

Castany G. et Margat J, Dictionnaire français d'hydrogéologie. Edit : Dunod.

Foukrache M, 2001, Hydrogéologie de massifs côtiers Oranais (Arzew, Béni Safi). Mémoire de magister, 321 p. 140 fig. 94 tab.

Gourinard Y, 1952, Le littoral oranais (mouvements verticaux et anomalies gravimétriques). Congr. Géol. Inter. Alger, Monographie régionales (1), 22, 63 p.

Hamadou H. et Zouaoui A, 2001, Etude hydrochimique et de la pollution par métaux lourds les eaux souterraines de l'agglomération oranaise. Mémoire d'ingénieur d'état, Université d'Oran.

Hassani M.I, 1987, Hydrogéologie d'un bassin endoréique semi-aride. Le bassin versant de la grande sebkha d'Oran (Algérie). Thèse de Doctorat 3^{ème} cycle. Université de Grenoble. 304 p. 128 fig.

Hassani M.I, 2002, Impact de l'urbanisation sur la qualité des eaux souterraines de l'agglomération oranaise (Algérie). Actes Conférence Internationale "Gestion des Milieux Urbains", USTHB, 16-18 juin, Alger.

Joradp, 2011, Décret exécutif du 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation. Journal officiel de la république algérienne n° 18, Alger.

Merabet A. et Sebaa N, 1995, Synthèse hydrogéologique de la carte d'Oran. (région comprise entre Kristel et Madakh). Mémoire d'ingénieur d'état, Université d'Oran. Carte au 1/50.000. 147 p. 88 fig.

Rodier J, 1984, L'analyse de l'eau (eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer) Septième édition Dunod.

Tabek O, 1986, Notice explicative de la carte de vulnérabilité à la pollution carte d'Oran au 1/50.000, Mémoire d'ingénieur d'état, Université d'Oran.

Zidouri A, 1986, Contribution hydrogéologique du bassin d'alimentation de Ras El Ain. Mémoire d'ingénieur d'état, Université d'Oran.