



MÉMOIRE

En vue de l'obtention du

Présenté et Soutenu par :
OUAR Halima

Intitulé
**Analyse Thermique et Hydrochimique des Sources
d'Eaux Thermales au Nord-Ouest de l'Algérie**

Diplôme de Master

Spécialité : Hydrogéologie

Soutenu le : 29 / 09 / 2020

Devant le jury composé de :

ZEROUAL Ibrahim	MCACU Ali KAFI Tindouf	Président
BEKKOUCHE Mohamed Faouzi	MCACU Ali KAFI Tindouf	Examineur
HAMI Khelifa	MCACU Ali KAFI Tindouf	Encadreur

DÉDICACE

Grâce à dieu le tout puissant, qui m'a donné la volonté, la force, et qui m'a éclairé vers le bon chemin, que nul ne peut se faire sans son désir.

À Mes très chers parents pour qui j'exprime tout mon respect, mon affection et mon amour ;

À mes frères et à mes sœurs ;

À mon fils Youcef Essadik ;

À mon mari ; Je le souhaite tout le bonheur du monde.

À la famille MELLAD Mohamed Lamine ;

À la famille BELAÏDI Ali ;

À la famille BENSLIMEN Khaled ;

À la famille MAATI Menacuar ;

À la famille Ararem Mabrouk ;

À Tout le corps enseignant, personnels administratif et pédagogique de l'Université ;

À Tous mes amis de travail et mes camarades de promotion ;

À Tous les personnes que j'aime.

Je dédie ce travail

REMERCIEMENTS

Avant tout propos, je remercie Dieu le tout puissant qui m'a donnée sagesse et santé afin de réaliser ce modeste travail.

Je tiens à exprimer mon connaissance à toutes les personnes qui ont permis de mener à bien ce travail.

*A Docteur **ZEROUAL Ibrahim**, maitre de conférences à l'institut des sciences et de la technologie au centre universitaire Ali KAFI, qui a bien voulu présider le jury. je lui exprime toute mes gratitude.*

*A Docteur **HAMI Khelifa**, maitre de conférences à l'institut des sciences et de la technologie au centre universitaire Ali KAFI, ma promoteur qui m'a guidé et soutenu tout au long de la réalisation de ce mémoire je le remercie de m'avoir fait bénéficier de ses connaissances et de leur expérience qui mon beaucoup aidée.*

*Je tiens remercier pleinement Docteur **BEKKOUCHE Mohamed Faouzi**, maitre de conférences à l'institut des sciences et de la technologie au centre universitaire Ali KAFI, d'avoir accepté de juré ce travail, je lui adresse mes plus respectueux remerciements.*

*Je remercie vivement Mme **DJELOULI DELLA.K**, maitre-assistant au centre universitaire Ali KAFI, de m'avoir encouragé et sa participation dans ce travail.*

Résumé

Au Nord-Ouest de l'Algérie se situe le littoral Oranais, qui est caractérisée par de nombreuses sources thermo-minérales avec une température d'émergence variée entre 22° et plus de 68°.

Le thermalisme du littoral oranais est lié à une grande fracture à jeu récent et les activités sismiques et tectoniques. Les principaux réservoirs de ces sources correspondent aux formations gréseuses et carbonatées.

Les analyses chimiques des eaux ont montré que la plupart des sources acquièrent leurs minéralités au contact des terrains évaporitiques d'origine triasique, ou messinien, donnant ainsi naissance à des sources thermales très minéralisées.

La plupart des sources étudiées appartiennent à la catégorie des eaux mésothermales et présentent des caractéristiques particulières de dégagement gazeux et de radioactivité.

Mots clés : Sources thermales, température, faciès chimiques, analyses, physico-chimique, station thermale, Hydrothérapie.

Abstract

In the North-West of Algeria located the Oran coast, which is characterized by numerous thermo-mineral springs with temperature at emergence varying between 22° and over 68°.

The hydrotherapy of the Oranie coast is linked to major fractures due to recent fault, and seismic tectonic activities. The main host rocks reservoirs of these sources correspond to the sandstone and carbonate formations.

Chemical analyzes of the waters have shown that most of the mineralized sources acquire their minerals on contact with evaporate grounds of Triassic or Messinian Origin, thus giving rise to highly mineralized thermal springs.

Most of the sources studied belong to the category of mesothermal waters and have particular characteristics of gaseous release and radioactivity.

Keywords: Thermal springs, temperature, chemical facies, analyzes, physico-chemical, thermal spa, Hydrotherapy.

ملخص

في شمال غرب الجزائر ، يقع ساحل وهران ، الذي يتميز بالعديد من الينابيع المعدنية الحرارية مع درجة حرارة تتراوح بين 22 درجة وأكثر من 68 درجة.

المياه المعدنية الحارة للساحل الوهراني مرتبطة بامتداد الفوالق العميقة و كذلك في المناطق التي تمتاز بالنشاط التكتوني. كما تعتبر أهم مخازن هذه المياه المعدنية متعلقة بالتكوينات الرملية و الكربونية.

أظهرت التحليلات الكيميائية للمياه أن معظم الينابيع تحصل على معادنها عند ملامستها المتبخرات الملحية ذات الأصل الترياسي أو الميسيني ، مما يؤدي إلى تشكل ينابيع حرارية شديدة المعادن.

تنتمي معظم الينابيع التي تمت دراستها إلى فئة المياه المتوسطة الحرارة وتكون بعض الينابيع مشبعة بثنائي أكسيد الكربون و تحمل نشاط إشعاعي.

الكلمات المفتاحية: الينابيع الحرارية ، درجة الحرارة ، الجوانب الكيميائية ، التحليلات ، الفيزيائية الكيميائية ، المحطة الحرارية ، العلاج.

SOMMAIRE

Remerciements

Dédicace

Résumé

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des acronymes et abréviations

Introduction générale	1
Chapitre (1) : Analyse Bibliographique sur les travaux en relation avec le sujet	
1. Introduction	2
Chapitre (2) : Généralité sur les sources chaudes en Algérie de point de vue Géologie et Hydrogéologie	
1. Inventaire et répartition des eaux thermo-minérales	17
2. Description détaillée des sources par secteurs	21
2.1. Méséta oranaise	21
2.1.1. Lithostratigraphie	21
2.1.1.1. Dans les Monts de Saida	
2.1.1.2. Dans les Monts de Tlemcen	22
2.1.2. Aperçu structural	22
2.1.3. Sources des Monts de Tlemcen	23
2.1.3.1. Hammam Chiguer (1) et Hammam Boughrara (2)	23
2.1.3.2. Ain El Hammam (4)	25
2.1.3.3. Ain Tahamamite (5)	25
2.1.3.4. Hammam Sidi Abdelli (6)	25
2.1.4. Sources des Monts de Saida	26
2.1.4.1. Hammam Rabi (20) et Sidi Aissa (19)	26
2.2. Oranie occidentale et les régions voisines	28
2.2.1. Lithostratigraphie	29
2.2.2. Aperçu structural	30
2.2.3. Sources liées aux massifs littoraux	31

2.2.3.1. Ain Madagh (11)	31
2.1.3.2. Ain Franin (12)	31
2.2.3.3. Autres sources	32
2.2.4. Sources liées aux plaines	33
2.2.4.1. Hammam Bouhadjar (8) et Sidi Aïd (9)	33
2.2.4.2. Ain Sellama (13)	35
2.2.4.3. Hammam Bouhnia (14, 15, 16, 17, 18)	35
2.2.4.3.1. Les principales sources et leur situation	36
2.2.4.4. Ain Nouissy (24)	37
2.3. Moyen Chéïf	38
2.3.1. Aperçu lithostratigraphique	38
2.3.1.1. Les formations anténéogènes	38
2.3.1.2. Les formations Néogènes et Quaternaires post-nappes (Fig.1.23)	38
2.3.2. Aperçu structural	39
2.3.2.1. Tectonique souple	39
2.3.2.2. Tectonique cassante	40
2.3.3. Sources du Moyen Chéïf	40
2.3.3.1. Ain Mentilia	40
2.3.3.2. Sidi Hadj (46)	41
2.4. Chott chergui	42
2.4.1. Lithostratigraphie	42
2.4.2. Aperçu structural	42
2.4.3. Eaux thermales du Chott Chergui	43
2.4.3.1. Ain Skhouna (21, 22, 23)	43
2.5. Atlas saharien occidental	44
2.5.1. Lithostratigraphie	44
2.5.2. Aperçu structural	44
2.5.3. Source thermique de Monts de Ksour	45
2.5.3.1. Ain Ouarka (10)	45
2.6. Thermalisme	46
2.6.1 Thermalismes en France	47
2.7. Les stations thermales médicalisées	47
2.7.1. Hammam Bouhrara	47
2.7.2. Hammam Bouhadjar	48
2.7.3. Hammam Bouhanifia	48

2.7.4. Hammam Rabbi	48
2.7.5. Hammam Righa	49
2.7.6. Hammam Guergour	49
2.7.7. Hammam Meskoutine	49
2.7.8. Hammam Salhine	50
2.8. Eaux minérales et eaux de sources	50
2.8.1. Les eaux bicarbonatées	51
2.8.2. Les eaux sulfatées	51
2.8.3. Les eaux sulfurées	51
2.8.4. Les eaux chlorurées	51
2.8.5. Les eaux Oligo-métalliques	51
2.9. Conclusion du chapitre	51

Chapitre (3) : Analyse hydrochimie de quelque cas

1. Quelques définitions	54
2. Les deux types d'eaux thermales fréquentes	56
a. Les eaux carbogazeuses	56
b. Les eaux Sulfurées	56
3. Généralités et méthode d'étude des eaux thermo-minérales	57
3.1. Caractérisations des eaux thermo-minérales	57
3.1.1. Gisement d'eau thermo-minérale	57
3.1.1.1. L'impluvium	57
3.1.1.2. La zone de transit	57
3.1.1.3. La zone d'émergence	57
3.1.2. Classifications des eaux thermo-minérales	58
3.1.2.1. Thermalité	58
a- Le gradient géothermique	58
a. 1. Anomalie géothermique dans l'Algérie du Nord	59
a. 2. Perte de chaleur	59
b. Les réactions chimiques exothermiques	59
c. La désintégration des minéraux radioactifs	60
d. Les mouvements de l'écorce terrestre	60
3.1.2.2. Chimisme de l'eau	60
3.1.3. Exploitation des eaux thermo-minérales	60
3.2. Hydrogéochimie des eaux thermo-minérales	61

3.2.1. Données hydrochimiques disponibles	61
3.2.2. Balance ionique	61
3.2.3. Méthodes d'interprétation	62
3.2.3.1. Méthodes d'interprétation des données physiques	62
3.2.3.1.1. Température	62
3.2.3.1.2. pH	62
3.2.3.1.3. Conductivité	62
3.2.3.1.4. Résidu Sec	63
3.2.3.1.5. Radioactivité	63
3.2.3.1.6. Gaz	63
3.2.3.2. Méthodes d'interprétation des données chimiques	63
3.2.3.2.1. Représentations graphiques	63
3.2.3.2.2. Rapports caractéristiques	64
3.2.3.2.3. Indice de déséquilibre Chloro-alcalin I.D.C	64
Chapitre (4) Applications aux secteurs étudiés	
4. Applications aux secteurs étudiés	66
4.1. Méséta oranaise	66
4.1.1. Aquifère carbonaté (l'aquifère des dolomies et des calcaires du Jurassique)	66
4.1.1.1. Monts de Tlemcen	66
4.1.1.1.1. Caractéristiques physico-chimiques	66
4.1.1.1.2. Caractéristiques chimiques	67
4.1.1.1.3. Classifications hydrochimiques	68
4.1.1.1.4. Indice de Déséquilibre Chloro-alcalin (I.D.C)	69
4.1.1.2. Monts de Saida	70
4.1.1.2.1. Caractéristiques physico-chimiques	70
4.1.1.2.2. Caractéristiques chimiques	70
4.1.1.2.3. Classifications hydrochimiques	71
4.1.1.2.4. Rapports caractéristiques	72
4.1.1.2.5. Indice de Déséquilibre Chloro-alcalin (I.D.C)	72
4.1.2. Conclusion	72
4.2. Oranie occidentale	73
4.2.1. Sources liées aux massifs littoraux	73
4.2.1.1. Caractéristiques physico-chimiques	73
4.2.1.2. Caractéristiques chimiques	74
4.2.1.3. Classifications hydrochimiques	74

4.2.1.4. Rapports caractéristiques	75
4.2.1.5. Indice de Déséquilibre Chloro-alcalin (I.D.C)	75
4.2.2 Sources liées au Plio-quaternaire	75
4.2.2.1. Caractéristiques physico-chimiques	75
4.2.2.2. Caractéristiques chimiques	76
4.2.2.3. Classifications hydrochimiques	77
4.2.2.4. Rapports caractéristiques	78
4.2.2.5. Indice de Déséquilibre Chloro-alcalin (I.D.C)	79
4.2.3. Conclusion	79
4.3. Moyen Chélif	79
4.3.1. Nappe du calcaire à lithothamnium	79
4.3.1.2. Caractéristiques chimiques	80
4.3.1.3. Classifications hydrochimiques	80
4.3.1.4. Rapports caractéristiques	81
4.3.1.5. Indice de Déséquilibre Chloro-alcalin (I.D.C)	81
4.3.2. Conclusion	81
4.4. Chott chergui	81
4.4.1. Nappe du Sénonien	81
4.4.1.1. Caractéristiques physico-chimiques	81
4.4.1.2. Caractéristiques chimiques	82
4.4.1.3. Classifications hydrochimiques	82
4.4.1.4. Rapports caractéristiques	83
4.4.1.5. Indice de Déséquilibre Chloro-alcalin (I.D.C)	83
4.4.2. Conclusion	83
4.5. Monts de ksour	84
4.5.1. Aquifère du Jurassique inférieur (calcaire du Lias)	84
4.5.1.1. Caractéristiques physico-chimiques	84
4.5.1.2. Caractéristiques chimiques	84
4.5.1.3. Classifications hydrochimiques	85
4.5.1.4. Rapports caractéristiques	85
4.5.1.5. Indice de Déséquilibre Chloro-alcalin (I.D.C)	85
4.5.2. Conclusion	86
4.6. Etude synthétique	86
4.6.1. Paramètres physiques	86
4.6.1.1. Températures mesurées	86

4.6.1.2. Conductivités	87
4.6.1.3. Relation conductivité, Résidu Sec et minéralisation	88
4.6.1.4. pH	89
4.6.2. Paramètres chimiques	90
4.6.2.1. Calcium	90
4.6.2.2. Magnésium	90
4.6.2.3. Sodium	91
4.6.2.4. Potassium	91
4.6.2.5. Chlorure	91
4.6.2.6. Sulfate	91
4.6.2.7. Bicarbonates	91
4.6.2.8. Nitrates	92
4.6.3. Classifications hydrochimiques	92
4.6.4. Représentations graphiques	92
4.6.4.1. Diagramme de Schoeller-Berkaloff	92
4.6.4.2. Diagramme de Piper	94
4.6.4.3. Indice de Déséquilibre Chloro-Alcalin I.D.C	95
4.6.4.4. Diagramme de l'I.I.R.G (Institut International de Recherche en Géothermie)	98
4.6.4.4.1. Principe du diagramme I.I.R.G	98
4.7. Conclusion	100
Conclusion générale	104
Référence bibliographiques	106
Annexes	111

Listes des figures

Fig.1.1: Le réseau neuronal d'intelligence artificielle appliqué aux données gravimétriques et magnétiques d'Al-Ain automatiquement a mis en évidence la structure en forme de «U» reliant les deux principales sources chaudes Mubazzarah et Ain Faidha [2]	3
Fig.2.1 : Secteurs des eaux thermo-minérales étudiées A, B, C, D, et E [10]	19
Fig.2.2 : Principales eaux thermo-minérales de l'Ouest Algérien [10]	20
Fig.2.3 : Situation géologique des sources thermo-minérales liées à la Méséta Oranaise	23
Fig.2.4 : Carte de situation géographique de Hammam Chiguer et Hammam Boughrara	24
Fig.2.5 : Carte et coupe géologiques de Hammam Boughrara	24
Fig.2.6 : Carte de situation géographique de Hammam Ain Al Hammam	25
Fig.2.7 : Carte de situation géographique de Hammam Ain Tahamamite	26
Fig.2.8 : Carte de situation géographique de Hammam Sidi Abdelli	26
Fig.2.9 : Carte de Situation géographique de Hammam Rabi N°31	27
Fig.2.10: Coupe géologique-axe-Saida-Hammam Rabi	27
Fig.2.11 : Log géologique synthétique de la région d'Oran	28
Fig.2.12: Situation géologique des sources thermo-minérales des secteurs orientaux	30
Fig.2.13: Carte de situation géographique des sources thermo-minérales liées aux Massifs littoraux	31
Fig.2.14: Coupe géologique d'Ain Franin	32
Fig.2.15: Situation géologique de la source d'Ain Franin	32
Fig.2.16: Carte de situation des sources thermo-minérales de la région de Hammam Bouhadjar	33
Fig.2.17: Coupe schématisant les conditions d'alimentation des sources thermales de Hammam Bouhadjar	34
Fig.2.18: Carte géologique de la région de Hammam Bouhadjar	34
Fig.2.19: Carte de situation géographique de la source thermo-minérale d'Ain Sellama	35
Fig.2.20: Carte de situation géographique des sources thermo-minérales de Hammam Bouhnifia	36
Fig.2.21: Localisation schématique des principales sources (M.T.A, 2010)	37
Fig.2.22: Carte de Situation géographique d'Ain Nouissy	38
Fig.2.23 : Log stratigraphique synthétique de la plaine du Moyen Chelif Occidental	39
Fig.2.24: Carte de Situation géographique d'Ain Mentilia	41
Fig.2.25: Carte de Situation géographique Sidi Hadj	41
Fig.2.26: Schéma tectonique de la région du Chott Chergui	42
Fig.2.27: Carte de Situation géographique d'Ain Skhouna	43
Fig.2.28: Coupe schématique montrant les liaisons hydrologiques possibles entre les divers horizons aquifères	44

Fig.2.29: Carte de situations géographique de Hammam Ain Ouarka	45
Fig.2.30: Carte géologique du secteur d'Ain Ouarka	46
Fig.2.31: Hammam Boughrara	47
Fig.2.32: Hammam bouhadjar	48
Fig.2.33: Hammam Bouhanifia	48
Fig.2.34: Hammam Rabbi	49
Fig.2.35: Hammam Meskoutine	50
Fig.2.36: Hammam Salhine	50
Fig. 3.1: Gisement d'eau thermo-minérale	58
Fig.3.2: Carte du gradient géothermique de l'Algérie du Nord	59
Fig.4.1 : Histogramme des teneurs en éléments majeurs	68
Fig. 4.2 : Représentation graphique des eaux des Monts de Tlemcen sur les diagrammes de Schoeller-Berkaloff et de Piper	69
Fig.4.3 : Histogramme des teneurs en éléments majeurs	71
Fig.4.4 : Représentation graphique des eaux des Monts de Saida sur les diagrammes de Schoeller-Berkaloff et de Piper	71
Fig.4.5 : Représentation graphique des eaux de la Méséta oranaise sur diagramme de Piper	72
Fig.4.6 : Histogramme des teneurs en éléments majeurs	74
Fig.4.7 : Représentation graphique des eaux liées aux massifs littoraux sur les diagrammes de Schoeller-Berkaloff et de piper	74
Fig.4.8 : Histogramme des teneurs en éléments majeurs	77
Fig.4.9 : Représentation graphique des eaux liées au Plioquaternaire sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff	77
Fig.4.10 : Représentation graphique des eaux de l'Oranie occidentale sur diagramme de Piper	78
Fig.4.11 : Histogramme des teneurs en éléments majeurs	80
Fig.4.12 : Représentation graphique des eaux du Moyen Chélif sur les diagrammes de Schoeller – Berkaloff et Piper	80
Fig.4.13 : Représentation graphique des éléments majeurs	82
Fig.4.14 : Représentation graphique des eaux du Chott Chergui sur les diagrammes de Schoeller-Berkaloff et Piper	83
Fig.4.15 : Histogramme des teneurs en éléments majeurs	84
Fig.4.16 : Représentation graphique des eaux de Monts de Ksour sur les diagrammes de Schoeller-Berkaloff et Piper	85
Fig.4.17 : Pourcentage des températures mesurées	87
Fig.4.18 : Droite de corrélation entre le Résidu Sec et la conductivité	88
Fig.4.19 : Droite de corrélation entre la conductivité et la minéralisation	88
Fig.4.20 : Droite de corrélation entre la minéralisation et le Résidu Sec	89
Fig.4.21 : Pourcentage de Ph	89

Fig.4.22 : Représentation graphique des éléments majeurs des eaux thermo-minérales étudiées	90
Fig.4.23 : Représentation graphique des eaux thermo-minérales de cinq secteurs sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff	94
Fig.4.24 : Représentation graphique des eaux sur le diagramme de Piper	95
Fig.4.25 : Interpolation et définition des zones de L'IDC	96
Fig.4.26 : Définitions des contours en fonction des stations	96
Fig.4.27 : Distribution spatiale des indices	97
Fig.4.28 : Définition des contours et histogramme des indices	97
Fig.4.29 : Représentation des iso valeurs sur la carte des stations	98
Fig.4.30 : Diagramme rectangulaire I.I.R.G	99
Fig.4.31 : Représentation graphique des eaux thermo-minérales étudiées sur Diagramme I.I.R.G	100
Fig.4.32 : Carte de chimie des eaux thermo-minérales de l'Ouest Algérien	102

Liste des tableaux

Tab.n°2.1: Principales eaux thermo-minérales de l'Ouest algérien [10]	17
Tab. n°4.1: Résultats de l'analyse physico-chimique (ANRH, 2014)	67
Tab. n°4.2: Rapports caractéristiques et indices de Déséquilibre Chloro-alcalin des sources	69
Tab. n°4.3: Résultats de l'analyse physico-chimique (ANRH, 2014)	70
Tab. n°4.4: Rapports caractéristiques et indices déséquilibre Chloro-alcalin des sources	72
Tab. n°4.5: Résultats de l'analyse physico-chimique (ANRH, 2014)	73
Tab. n°4.6: Rapports caractéristiques et indices de déséquilibre Chloro-alcalin	75
Tab. n°4.7: Résultats de l'analyse physico-chimique (ANRH, 2015)	75
Tab. n°4.8: Caractéristiques des eaux carbogazeuses [19]	76
Tab. n°4.9: Rapports caractéristiques et indices de déséquilibre Chloro-alcalin	78
Tab. n°4.10 : Analyse physico-chimique de la source thermo-minérale	79
Tab. n°4.11: Rapports caractéristiques et indice de déséquilibre Chloro-alcalin	81
Tab. n°4.12: Résultats de l'analyse physico-chimique (ANRH, 2015)	81
Tab. n°4.13: Rapports caractéristiques et indices de déséquilibre Chloro-alcalin des sources	83
Tab. n°4.14: Résultats de l'analyse physico-chimique (ANRH, 2015)	84
Tab. n°4.15: Rapports caractéristiques et indice de déséquilibre chloro-alcalin des eaux	85
Tab. n°4.16 : Classification des eaux selon la température mesurée	86
Tab. n°4.17: Classification des eaux selon la conductivité électrique	87
Tab. n°4.18: Classification des sources thermo-minérale étudiées suivant leur Ph	89
Tab. n°4.19: Formules caractéristiques et facies des sources thermo-minérales étudiées	92
Tab. n°4.20: Rapports caractéristiques et indice de déséquilibre chloro-alcalin des eaux des secteurs étudiées	95

Liste des Acronymes et Abréviations

Acronymes

A.N.R.H : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

Abréviations

H : Hammam

pH : potentiel hydrogène

I.D.C : Indice de Déséquilibre Chloro-alkalin

IS : Indice de Saturation

R.S : Résidu Sec

CE : Conductivité Electrique

IS : Indice de saturation

BI : Balance Ionique

I.D.C : Indice de Déséquilibre Chloroalkalin



Introduction générale

Depuis les temps, les êtres humains sont intéressés aux eaux chaudes qui émergeaient du sol. L'Algérie a fait preuve de richesse en eaux sources thermales et minérales depuis longtemps. Ces eaux ont été désirées depuis des lustres par les différentes expéditions coloniales, les vandales par la suite, les romains, les turcs et enfin de façon très particulier par les militaires, les médecins, les pharmaciens, les laborantins français qui se sont intéressées de près à cette denrée et à son usage thérapeutique.

Nous avons choisi de présenter ce document en quatre chapitres:

Le premier sera consacré à une analyse bibliographique sur les travaux en relation avec le sujet.

Le deuxième chapitre sera consacré à la description détaillée des principales sources thermo-minérales, basée sur une synthèse bibliographique géologique et hydrogéologique des cinq secteurs étudiés. Les dispositions lithostratigraphiques et structurales et leur influence sur le thermalisme de la région d'étude seront également examinées.

Le troisième chapitre, les différentes méthodes d'interprétation utilisées et les généralités sur les eaux thermo-minérales et en hydrogéochimie sont exposées dans le troisième chapitre.

Finalement quatrième chapitre, L'étude hydrogéochimique est ici appliquée à chaque secteur étudié. On révélé les faciès chimiques : Chlorurée sodique, Chlorurée calcique, bicarbonaté sodique, Bicarbonaté magnésien, sulfaté sodique, chloruré sodique et Chlorurée.

L'étude globale de l'Ouest algérien a porté sur 46 sources et forages d'eaux thermales dont 20 sources celles du littoral oranais. Dix-sept sources ont des températures moyennement élevées, entre 30° et 40°C, une douzaine autres d'entre elles ont des eaux vraiment chaudes, avec une température qui dépasse 40°C, les autres ont des températures qui varient entre 21° et 28°C.

Chapitre (1)

1.1. Introduction

La géothermie s'intéresse à l'étude des phénomènes thermiques de la terre qui sont liés à la formation et à la composition du globe [1].

La terre est chaude. La chaleur terrestre qui se propage à travers la croûte continentale (appelé flux de chaleur) n'est pas homogène ; le flux de chaleur varie donc du corps le plus chaud vers le corps le plus froid, ce qui produit à terme une égalisation des températures des deux corps en contact. Les radiateurs, les chaudières, les aéroréfrigérants, les dissipateurs thermiques, les condenseurs fonctionnent sur base d'une paroi d'échange la plus grande possible entre deux fluides, l'un chaud l'autre froid. Le fluide chaud cède sa chaleur au fluide froid au travers de la paroi caractérisé par sa surface d'échange, sans que les fluides ne se mélangent [1].

En présence d'un flux de chaleur élevé les eaux souterraines se réchauffent et se transforment en eau thermale. Les eaux deviennent chaudes et remontent en surface sous différentes formes. Ces formes peuvent être :

- **Geysers** : Dans les pays volcaniques, l'eau bouillante jaillit à la surface sous forme de jets atteignant jusqu'à 50 m de haut.

Exemple : Les geysers d'Islande, de Nouvelle-Zélande ou de Californie ;

- **Fumerolles** : Ce sont des fentes à partir desquelles des gaz volcaniques, la plupart du temps vapeur d'eau, s'échappent vers l'atmosphère. Exemple: Fumerolles en Italie à Larderello ;

- **Sources thermales** : Ce sont des émanations d'eau, de vapeur d'eau et d'anhydride carbonique à température élevée. Elles doivent leur origine à des émanations de vapeur d'eau provenant de zones profondes qui, lorsqu'elles atteignent les couches superficielles, se refroidissent et se condensent, donnant naissance à des eaux de températures très élevées.

Exemple : Les sources thermales du Nord de l'Algérie.

L'exploration géothermique s'intéresse essentiellement à définir et à classer, la source de chaleur, le réservoir géothermique et le fluide géothermique [1].

Il existe deux principaux systèmes géothermiques à faible enthalpie aux eaux:

Mubazzarah - Ain Faïda dans la ville d'Al-Ain (émirat d'Abou Dhabi) et 2) Ain Khatt dans l'émirat RAK. Ces sources chaudes sont principalement utilisées pour la baignade et les eaux sont extraites des puits. Des levés géophysiques potentiels sur le terrain ont été effectués à et autour de ces sources chaudes pour comprendre la structure souterraine. Les résultats 2D et les résultats 3D ont montré que les sources chaudes émergent aux frontières de contact (structures géologiques) expliquant ainsi le rôle de tels contacts / défauts dans la remontée des eaux chaudes des parties plus profondes à la surface. La méthode ANN appliquée à la fois à la gravité et au magnétique les données ont mis en évidence une structure géologique en forme de «U» dans les champs géothermiques étudiés. La température de surface des eaux chaudes rejetées varie de 32,5° C à 49° C. Les eaux chaudes ont été échantillonnées pour étudier leurs caractéristiques chimiques et géothermiques. Les résultats de la chimie montrent qu'ils appartiennent au groupe de l'eau Na-Cl. Les géothermomètres ont montré une température de réservoir avec des valeurs de 56° C et 87° C. Si nous supposons un gradient géothermique normal de 3° C / 100 m, le réservoir géothermique pourrait avoir une profondeur d'environ 1 km [2].

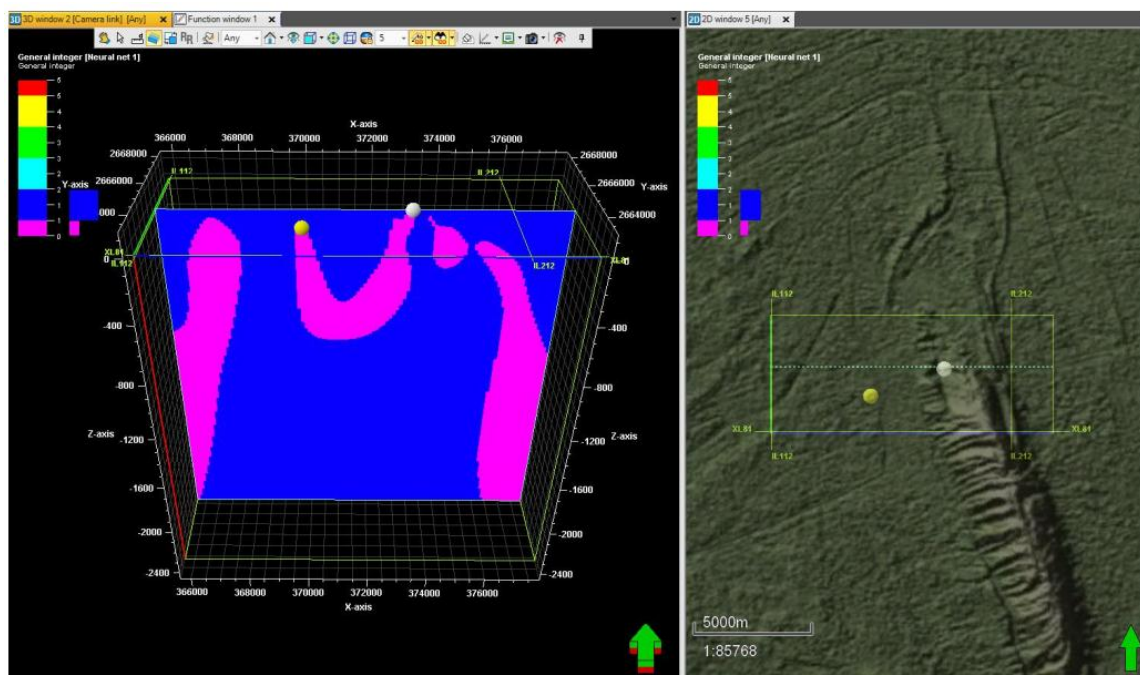


Figure.1.1: Le réseau neuronal d'intelligence artificielle appliqué aux données gravimétriques et magnétiques d'Al-Ain automatiquement a mis en évidence la structure en forme de «U» reliant les deux principales sources chaudes Mubazzarah et Ain Faidha [2].

Le chauffage de ces systèmes géothermiques est principalement par conduction. La simulation de Monte Carlo a été utilisée pour estimer la production potentielle géothermique-énergétique après 25 et 50 ans de production à ces champs géothermiques à faible enthalpie. Les résultats ont montré qu'un potentiel de puissance de 162 kWe à 320 kWe pendant 25 et 50 ans, respectivement. La production d'électricité géothermique calculée est basée sur les résultats obtenus de la recherche scientifique. Une faisabilité globale une étude utilisant des données réelles sur le terrain doit être entreprise du point de vue de la faisabilité économique [2].

L'étude de l'eau thermique des provinces géothermiques de Righa et Biban a été réalisée afin d'étudier la température et la chimie de l'eau thermique paramètres. La composition physico-chimique de sept sources thermales, avec différentes des méthodes telles que les travaux sur le terrain et le diagramme de Piper ont été examinées [3].

L'arrangement des principaux éléments de la géochimie ont fourni une compréhension globale du processus de minéralisation qui renforce l'évolution géochimique de l'eau thermique à l'intérieur de la zone d'étude. Combinaison de méthodes géologiques et hydrogéologique sa mis en évidence une bonne relation entre les processus chimiques et le système d'écoulement hydrothermal.

L'analyse des données a montré que les eaux thermales de la zone d'étude proviennent de la géothermie Réservoir jurassique. Les résultats de l'hydrochimie indiquent que 70% des échantillons d'eau sont types chimiques chlorés sodiques. Une cartographie globale a été réalisée pour illustrer potentiel géothermique et ses utilisations possibles dans différents secteurs économiques [3].

Par «modélisation du processus thermique», il sera défini comme modélisation des techniques thermiques, appliquée au chauffage de l'acier billettes à grande échelle, en vue du traitement par formage. Les technologies doivent être corrélées avec les particularités des granulats, ayant pour objectif principal la réduction de l'énergie et consommations de métaux [4].

La réception du flux thermique dépend de la chaleur surface exposée au rayonnement thermique conformément à leur position sur le foyer de l'agrégat chauffant. La base du mécanisme de transfert de chaleur par conduction est une idée du transfert d'énergie par les éléments d'un gaz. À partir de cette idée, il est possible de parler du gaz électronique dans le champ, dans le cas des métaux où les éléments-électrons poursuivent l'énergie transfert. La diffusivité thermique: un lien entre la conductivité thermique et la capacité thermique de certains aciers en fonction de la température et de la composition chimique. On peut remarquer que, pour obtenir des résultats exacts pour le calcul de la conductivité thermique, il est nécessaire d'établir une équation différente, selon non seulement sur la qualité de l'acier mais aussi sur le niveau de la température. Dans le cas des expériences, les installations utilisées fonctionneront en appliquant différents relations pour la conductivité thermique, suivant la valeur du nombre de Lorenz [4].

Il existe des complexités de facteurs qui influencent les contraintes thermiques pendant la processus de chauffage des produits en acier. Ces facteurs peuvent être organisés comme suit:

- facteurs dépendant du matériau: (conductivité thermique λ , capacité thermique c).
- facteurs en fonction des dimensions: surface d'échange thermique équivalente S .
- facteurs liés aux conditions technologiques du transfert de chaleur: température du agrégat θ_c , température de la surface du produit θ_s , température finale de chauffage θ_f , variation de l'enthalpie, Δ
- facteurs dépendant des conditions d'échange thermique entre la source thermique et les aciers chauffés: coefficient complexe de rayonnement et convection (α_r-c).
- facteur dépendant de l'échange de chaleur à l'intérieur de l'acier: différence de température entre la surface et l'axe Analyser la possibilité de transférer les résultats théoriques et expérimentaux dans des cas pratiques,

il est nécessaire d'établir une «fonction de transfert» [4].

L'analyse détaillée des cartes et des courbes de gradient géothermique a démontré que le sud de l'Algérie est caractérisé dans son ensemble par un gradient géothermique à une moyenne géothermique faible d'environ $3^\circ \text{C} / 100\text{m}$. La partie orientale de la plate-forme saharienne présente des anomalies thermiques allant de 3 à $4^\circ \text{C} / 100\text{m}$, qui apparaissent sur la surface dans les régions de Zelffana, Ouargla et Touggourt. La partie ouest est relativement chaude avec un gradient dépassant $7^\circ \text{C} / 100\text{m}$. Selon les cartes des flux de chaleur, le nord du Sahara a un débit moyen compris entre 80 et $100 \text{ Mw} / \text{m}^2$ et un débit relativement élevé de 90 à $110 \text{ Mw} / \text{m}^2$ dans la partie ouest [5].

Les activités tectoniques hercyniennes les plus probables sont les principales causes de cette anomalie du flux de chaleur. En effet, toutes les conditions sont réunies dans le sud de

l'Algérie pour disposer d'une importante source d'énergie renouvelable représentée par l'énergie géothermique en sous-surface dans cette région. Au final, nous recommandons d'utiliser les techniques de basse énergie de la géothermie pour chauffer les serres, quartier chauffage à travers l'aquifère Continental Intercalaire au Sahara oriental de la plate-forme saharienne. Dans la partie ouest du Sahara, il est recommandé de réaliser un meilleur levé des roches sèches profondes (HDR) pour potentiel géothermique potentiel [5].

L'Algérie a un potentiel élevé d'énergie géothermique suffisante pour être utilisée dans le chauffage domestique, l'agriculture et la pisciculture. Jusqu'à maintenant tous les capacités géothermiques ne sont pas complètement utilisées. Le gouvernement algérien a désormais une nouvelle stratégie pour soutenir des projets utilisation des énergies renouvelables et a récemment approuvé de nouvelles lois et fourni des ressources financières importantes aux investisseurs pour les aider explorer et exploiter les énergies renouvelables pour la production d'électricité et d'autres usages. Les zones géothermiques les plus importantes sont inventorié dans une nouvelle carte mondiale pour tout le pays, un flux de chaleur très élevé trouvé dans la zone géothermique du Sahara (90-110 mW / m²). Le deuxième potentiel géothermique élevé était dans la zone géothermique orientale de la source thermique de Hammam Debagh avec T 98 ° C. La localité de Hammam Debagh a été choisie pour un projet pilote de mise en œuvre d'une centrale électrique. Un bon EGS (géothermie améliorée System) est également possible dans le Hoggar Shield. Le gouvernement investit aujourd'hui dans la protection de l'environnement en explorer l'énergie verte comme les eaux géothermiques en remplacement des ressources de pétrole fossile [6].

Le littoral oranais possède de nombreuses sources thermo-minérales, répartis sur l'ensemble de son territoire, dont la majorité se trouve au Nord dans le domaine tellien. Les températures mesurées à l'émergence varient entre 22°C et 68,5 °C. Les sources thermo-minérales sont étroitement liées aux différents réservoirs aquifères rencontrés dans la région. Les principaux réservoirs sont généralement de nature carbonatée ou parfois gréseuse. L'étude du contexte tectonique des sources thermo-minérales du littoral oranais nous a permis de connaître la nature et la direction des failles à l'origine des émergences thermo-minérales de cette région. Ceci est conforté par la présence de certaines sources au voisinage de manifestations volcaniques (Hammam Bouhadjar et Hammam Boughrara) [1].

La région d'étude comprend plusieurs zones différentes : le socle kabyle, la chaîne calcaire, la série des flyschs kabyles, les séries telliennes et la nappe néritique constantinoise. La tectonique de la région est très complexe, conditionnée par des formations faillées profondes et des écaillés de couverture et des chevauchements. D'après les résultats des analyses effectuées sur les eaux thermales de la région d'étude et d'après les trois méthodes de représentation graphique, on peut dire que les eaux thermales représentent les faciès suivants : - Faciès bicarbonaté sodique: (Hammam Sidi Djaballah, Hammam Sidi Trad, Hammam Zattot, Hammam Sidi Zid, Hammam Beni Salah, Hammam OuledZaïd, Hammam Tassa); - Faciès sulfaté calcique: (Hammam El Hamma, Hammam Oued Hmimine, Hammam Sidi Ali, Hammam Guerfa et Hammam Belhachani); -Faciès chloruré sodique: (Hammam Meskhoutine "sauf E12 et E13"); - Faciès sulfaté sodique: E12 et E13 (Hammam

Meskhoutine) plus Hammam N'Baïl. - Le centre et l'extrême Nord- Est du secteur est caractérisé par des faciès chlorurés et chloré- sulfaté sodique. - L'origine des faciès peut être due à la présence du volcanisme récent au voisinage des Hammams. - Le faciès sulfaté calcique occupe le Nord-Ouest et le Sud du secteur étudié [7].

L'étude du thermalisme dans la région d'Azzaba, nous a permis de contribuer à la connaissance des sources hydrothermales (manifestation, relation avec la tectonique, chimisme des eaux et par conséquent les effets thérapeutiques, etc....) [8].

L'étude géologique et structurale de notre secteur nous a permis de constater que : - L'eau thermale remonte d'une profondeur assez grande à travers les zones faibles (failles). Ces aquifères sont alimentés par les grands massifs calcaires ; - Les sources thermales émergent à faveur des grands accidents tectoniques comme le montre la carte de la néotectonique, sur la bande thermique d'Annaba et la bande thermique de Constantine. L'étude hydroclimatologique a fait l'objet d'une description et d'une analyse hydrologique des divers facteurs climatiques (températures et précipitations) pour les stations : Azzaba (1987 – 2007) et Skikda (1987 – 2007) qui ont révélé les résultats suivants : - Un climat subtropical méditerranéen humide avec un hiver froid et humide et avec un été chaud et sec ; - Une répartition irrégulière des précipitations et des températures. Donc ces paramètres météorologiques et hydrologiques influent sur l'aspect hydrodynamique des aquifères d'une façon remarquable [8].

L'étude hydrogéologique a permis de constater que les eaux thermales de la région d'Azzaba remontent à partir des formations du Jurassique en profondeur passant par les formations du Crétacé (dolomie et calcaire), pour atteindre les formations du Quaternaire en surface [8].

L'étude hydrochimique renseigne sur l'origine de la roche magasin et le cheminement des eaux chaudes. Le faciès chimique dominant pour les eaux thermales de la région d'Azzaba est le sulfaté calcique [8].

- Les teneurs en sulfates sont dues aux formations argilo – gréseuses. - Les fortes teneurs en calcium sont dues aux formations carbonatées (calcaire) [8].

Les eaux thermales de la région d'Azzaba sont tous acides et ont des conductivités moyennement élevées à importantes [8].

La minéralisation des eaux thermales est en générale élevée :

- la forte minéralisation donne le faciès sulfatés; - les minéralisations élevées sont accompagnées par une température élevée. L'étude de l'indice d'échange de base (i.e.b) a permis de déduire que tous les points des eaux thermales de la région d'Azzaba ont une origine sédimentaire [8].

Le type des eaux thermales de notre secteur d'étude dépendant de la température sont Orthothermales pour les eaux dont la température est comprise entre 37°C et 45°C et Hyperthermales pour les eaux dont la température est supérieure à 45°C [8].

L'analyse à composante principale (A.C.P) effectuée sur les divers échantillons analysés a pu mettre en évidence les éléments caractérisant le faciès chimique et a fait ressortir les éléments responsables de la pollution [8].

La projection des individus nous a montré que les individus ont été regroupés de façon à caractériser les deux différentes sources, donc ces individus ont été regroupés selon leur origine similaire [8].

L'étude de l'indice de saturation montre que pour les éléments évaporitiques la halite est en sous saturation dans les eaux, ce qui provoque sa dissolution et l'enrichissement des eaux en sodium et en chlorure [8].

Le gypse et l'anhydrite sont en sursaturation, ce qui provoque leur sédimentation.

Les éléments carbonatés sont en sursaturation dans les eaux, ce qui entraîne leur sédimentation sous forme de dolomie [8].

L'étude de la spécificité curative des eaux thermales des sources d'El Hamma et de Hammam Es-Salihine montre qu'elles sont bénéfiques pour les maladies dermatologiques et Rhumatismales [8].

Enfin on peut dire que le domaine de thermalisme représente un investissement important et nécessaire pour l'activation de notre secteur de tourisme en Algérie, le développement du thermalisme devrait être porté par une stratégie englobant les facteurs suivants :

1- établissement d'un fichier national informatisé des eaux thermales, minérales et thermominérales, comprenant toutes les informations nécessaires à leurs connaissances ; 2- rentabilisation par une modernisation des infrastructures existantes y compris les voies d'accès aux sites, tout en protégeant l'environnement et en réhabilitant les vestiges des anciens thermes ; 3- exploitation rationnelle des ressources thermominérales en plus l'hydrothérapie par une complémentarité intégrant les applications multiples qu'elles génèrent, telles l'utilisation des eaux pour la boisson et l'optimisation des ressources géothermiques : chauffage, électricité, agriculture ; 4- création de la spécialité de médecine thermique [8].

Cette étude est orientée à l'étude de la qualité physico-chimique des eaux de source et thermales dans la Wilaya de Saida-Algérie. Trois régions d'études relevant de cette Wilaya ont été incluses dans l'étude dont : Hammam Rabi, Sidi Aissa et Ain Skhoua. Des analyses physico-chimiques ont été effectuées en triples essais sur les échantillons prélevés de chaque zone expérimentale. La commune de Sidi Aissa dispose d'une eau de source de meilleure qualité minérale et susceptible d'être orientée à une large consommation. Les eaux de source

prélevées dans les régions de Hammam Rabi et Sidi Aissa sont de médiocre qualité. L'eau thermale de hammam rabbi à être caractérisée comme étant une eau thermale minérale au premier degré, vue sa grande richesse en principaux éléments minéraux dont surtout le chlorure et le calcium. Cette eau peut convenir mieux à notre avis aux traitements thérapeutiques de certains maladies (dermiques, rhumatismes,...etc.) que les autres eaux thermales étudiées (de Sidi Aissa et de Ain Skhouana) [9].

L'eau thermale de hammam rabbi peut être caractérisée comme étant une eau thermale minérale au premier degré, car elle a révélé une grande richesse en principaux minéraux tels que le sulfate, chlorure et calcium par comparaison aux autres stations thermales sises à Sidi Aissa et à Ain Skhouana. L'eau de Sidi Aissa a montré, toutefois, une conductivité, des niveaux de TCaP2+P et de TAC plus élevés par rapport aux autres sources thermales la qualifiant ainsi de plus dure [9].

Quant aux eaux thermales qui s'avèrent aussi contenir de fortes proportions minérales ceci peut leurs conférer sans doute des vertus thérapeutiques intéressantes et servir de moyens thérapeutiques contre certaines maladies qu'il faut étudier en perspectives de recherche d'une manière très approfondie [9].

Ce travail a mis en évidence l'importance de la convergence des résultats basés sur les différentes études géologiques, structurales, sismotectoniques, hydroclimatologiques, hydrogéologiques et hydrogéochimiques pour la compréhension des processus souterrains à l'origine de l'eau thermale et sa minéralisation dans le littoral oranais. Les conclusions obtenues peuvent se résumer en plusieurs points: - Le littoral oranais possède de nombreuses sources thermo-minérales, répartis sur l'ensemble de son territoire, dont la majorité se trouve au Nord dans le domaine tellien. Les températures mesurées à l'émergence varient entre 22°C et 68,5 °C. - Sur le plan climatique, cette étude, nous a permis de déterminer les principales caractéristiques climatologiques de la région d'étude. Le littoral oranais est soumis à un climat méditerranéen de type semi-aride, à la limite d'un régime désertique, avec un hiver froid et pluvieux et un été chaud, mettant ainsi en évidence le phénomène d'évaporation dans la dissolution des sels et leur concentration dans les eaux. - Les sources thermo-minérales sont étroitement liées aux différents réservoirs aquifères rencontrés dans la région. Les principaux réservoirs sont généralement de nature carbonatée ou parfois gréseuse. Ils correspondent : □ aux formations carbonatées et karstifiées du Jurassique supérieur et du Crétacé inférieur, au niveau des Monts de Tlemcen (Méséta Oranaise) □ aux formations du Mio-plio-Quaternaire (dans les plaines de l'Oranie occidentale). □ aux formations calcaires et dolomitiques du Jurassique (massifs littoraux). La source thermo-minérale d'Ain Franin est liée au réservoir gréseux anté-jurassique. □ aux formations de calcaire à lithothamnium et aux formations du Plio-quaternaire. (Quelques sources apparaissent dans le bassin néogène). - L'étude du contexte tectonique des sources thermo-minérales du littoral oranais nous a permis de connaître la nature et la direction des failles à l'origine des émergences thermominérales de cette région. La tectonique cassante est marquée par de nombreuses familles de failles directionnelles plus ou moins profondes orientées NE-SW, NW-SE et E-W à la faveur desquelles émergent la majorité des sources thermo-minérales. Ces accidents sont souvent

injectés d'évaporites d'âge triasique. Ils sont généralement le siège d'une forte activité sismique souvent accompagnée par des manifestations thermales. Ceci est conforté par la présence de certaines sources au voisinage de manifestations volcaniques (Hammam Bouhadjar et Hammam Boughrara) [10].

- L'étude des caractéristiques physico-chimiques des eaux thermo-minérales étudiées est complexe. Plusieurs modes et outils d'interprétation ont été utilisés. Elles montrent que :

- * La majorité des sources appartiennent au groupe mésothermale à hypothermale et présentent des caractéristiques particulières de dégagements gazeux et de radioactivité.
- * En comparant avec les sources des autres secteurs (l'Atlas saharien, le Chott chergui et les Monts de Saida), la majorité des sources thermales étudiées sont relativement minéralisées, de type chloruré sodique. Ce faciès est généralement lié à l'influence des évaporites du Trias.
- Les eaux thermo-minérales des différents aquifères du littoral oranais présentent d'importantes variations de la minéralisation d'une zone à l'autre. Leur salinité est surtout contrôlée par les chlorures et le sodium. Les zones les plus chargées sont en liaison directe avec les formations évaporitiques (Trias et Messinien) pour les nappes du Jurassique et du Plio-quadernaire. Les sources de la nappe côtière (l'exemple de la source d'Ain Franin), qui résulteraient d'un mélange entre une eau de mer et une ou plusieurs eaux douces, et est probablement liée à un lessivage des formations évaporitiques du Trias qui affleurent dans les massifs littoraux. On peut ainsi lui attribuer une origine mixte à la fois marine et évaporitique.
- Le calcul des indices de saturation en minéraux carbonatés et gypsifères a montré que les eaux thermo-minérales du littoral oranais sont globalement saturées à tendance vers la sursaturation par rapport à la calcite, la dolomite et l'aragonite. La présence des travertins à proximité de certaines émergences est un témoin des précipitations des carbonates. Elles sont par contre sous-saturées par rapport à la halite, et à un degré moindre par rapport au gypse et à l'anhydrite, ces minéraux contribuent à augmenter la minéralisation de ces eaux.
- Les analyses isotopiques ont révélé que les eaux de quelques sources thermominérales étudiées sont d'origine météorique, avec des zones de recharge beaucoup plus élevées en altitude que leurs émergences.
- Les températures de profondeur obtenues par les différents géothermomètres donnent des résultats différents et parfois anormaux (inférieures à la température d'émergence). Cette dispersion pourrait être due à des phénomènes de dilution avec les eaux superficielles. D'autres méthodes d'investigation telles que l'utilisation des isotopes stables et radioactifs, sur un plus grand nombre de sources, seraient nécessaires pour aboutir à de meilleurs résultats. Une bonne compréhension des processus souterrains à l'origine de l'eau thermale et de sa minéralisation est une condition nécessaire en vue d'une meilleure utilisation de la ressource et de sa préservation dans le domaine du thermalisme en Algérie. [10].

Les graphes (température – profondeur) nous ont permis de constater l'augmentation de la température avec la profondeur. Cette variation peut être linéaire ou non linéaire selon le milieu de traverse. Le Sahara Algérien représente dans son ensemble un gradient géothermique moyen de l'ordre de 4°C / 100 m. deux parties distinctes sont bien mises en évidence à travers la carte la carte de gradient géothermique moyen est de l'ordre de 3°C /100 m. L'autre dans le Sahara Occidentale, qui présente un fort gradient géothermique qui

atteint plus de $6^{\circ}\text{C} / 100\text{ m}$, plus particulièrement dans les régions de Bechar, Beni Abbès et Timimoun. La carte de flux de chaleur nous a permis d'estimer de la chaleur en place dans chaque point du territoire saharien. Le Sahara septentrionale présente un flux moyen, compris entre 80 et 100 MW/m^2 , en remarque sur la carte quelques anomalies locale entre positives et négatives. La partie Occidentale présente un flux élevé compris entre 90 et 110 MW/m^2 . Les mouvements hercyniens semblent être les principaux responsables du flux élevé dans cette région. La partie septentrionale de Sahara Algérien reforme deux conditions majeurs pour les l'existence d'un réservoir géothermique, un gradient géothermique et une nappe aquifère en profondeur. Sur la base de résultats précédents et afin d'assurer une meilleure exploitation possible des ressources géothermiques du Sahara Algérien, il est suggéré l'utilisation de la géothermie basse énergie dans sa partie septentrionale. Le domaine de chauffage des serres serait très recommandé dans cette région [11].

La région de HadjarSoud situé à une cinquantaine de Kilomètre au Sud-Ouest de Annaba. Dans l'ensemble, la géologie de la région est très compliquée, ceci est le résultat de la tectonique qui affecte la totalité de la région caractérisée par des déformations souples (plis) et d'autres cassantes (failles) liées à de nombreuses phases tectoniques compressives. Les valeurs de résistivités dans la partie orientale sont assez homogènes. Les alluvions d'épaisseur maximales de 110m ont une résistivité de 40 ohm.m , tandis que dans toute la partie occidentale, elles sont hétérogènes [12].

Les calcaires liasiques, les dolomies et les alluvions constituent au-delà du lit de l'oued El Kébir un aquifère aux caractéristiques hydrodynamiques importantes. D'après les faciès chimiques trouvés dans la région de HadjarSoud, qui sont chloruré calcique, chloruré magnésien, bicarbonaté calcique et sulfaté calcique, on peut penser que l'origine de la provenance de ces éléments est due essentiellement à la lithologie du terrain sachant qu'il est composé d'argile numidienne, des grès et des formations calcaires. Dans la mesure où l'eau thermique est l'élément prépondérant dans la pratique du thermalisme, en fonction de sa qualité les sources thermales aménagées en Hammam dans notre région d'étude seront orientées vers des indications thérapeutiques propres pour lutter contre certaines maladies. La classification de ces eaux minérales utiles en thermalisme repose donc sur l'anion prédominant : bicarbonate, sulfate, chlorure. Les eaux bicarbonatées calciques rencontrées dans notre région d'étude pourront être utilisé dans les affections gastro-intestinales. De même que les eaux sulfatées qui contiennent des sulfates de calcium et de magnésium seront intéressantes dans les affections du rein, du foie et des voies biliaires. Quant aux eaux chlorurées sodiques riches en chlorure de sodium qui peut atteindre des teneurs considérables voisines de la limite de solubilité, leurs indications thérapeutiques intéressent les maladies de l'enfant (hypotrophie, affections respiratoires), les affections du système nerveux central et périphérique et la gynécologie. Elles sont aussi très utilisées pour la rééducation physique. Les eaux rencontrées dans la zone d'étude sont hyperthermales à cause de leurs températures élevées ($40,5 - 44,5^{\circ}\text{C}$) [12].

La géothermie est la science qui s'intéresse à l'étude de la chaleur de la croûte terrestre, stockée en sub-surface dans des réservoirs poreux ou fracturés, dans le but de

comprendre son évolution et de l'exploiter. La prospection géothermique se base fondamentalement sur la détermination du flux de chaleur et du gradient géothermique qui sont nécessaires pour l'évaluation du potentiel géothermique. Le flux de chaleur conduitif mesuré à la surface de la terre est de l'ordre de 60-80 mW/m². Des valeurs supérieures indiqueraient des conditions d'anomalies géothermiques dans le sous-sol. Les mesures de gradient géothermiques effectuées sur différents endroits de la terre ont montré que celui-ci n'est pas uniforme mais qu'il varie largement d'un endroit à un autre. En moyenne, le gradient géothermique mesuré à la surface de la terre est de 3°C/100 m. De part sa situation géographique (sur la frontière de la plaque Afrique), le Nord de l'Algérie se caractérise par une activité sismique et tectonique intense qui serait à l'origine de nombreuses manifestations thermales en surface. L'essentiel du potentiel géothermique de l'Algérie se trouve au Nord avec plus de 240 sources thermales. Une vingtaine de sources thermales sont comptées au Nord-ouest, environ une quarantaine au Centre et plus de cent cinquante à l'Est. En plus de ces nombreuses sources thermales au Nord, le Sud de l'Algérie contient un important réservoir géothermique en profondeur, connue par « la nappe albiennne ». La nappe albiennne se situe dans le Sahara septentrional et s'étend en Algérie sur une surface de 650 000 km². Elle est considérée par l'UNESCO comme la plus grande nappe d'eau fossile profonde au monde. Les études géothermiques réalisées sur l'Algérie indiquent que le gradient géothermique au Nord serait principalement d'origine tectonique ou chimique. Par contre au Sud, il est serait d'origine chimique ou bien du uniquement à l'effet de la profondeur. Les réservoirs géothermiques sont calcaires au Nord et gréseux au Sud, ils sont situés principalement dans Mésozoïque supérieur et le Cénozoïque. Au Nord, Ils sont généralement très profonds (près de 2000 m de profondeur) et de grande dimension (près de 30 000 m d'extension). Les réservoirs géothermiques du Nord et du Sud de l'Algérie sont différents : au Sud de l'Algérie, les réservoirs sont continus et de très grande dimension et leur structuration est généralement suivant un axe d'orientation Est-ouest, alors qu'au Nord, les réservoirs géothermiques sont discontinus, de moindre dimension et leurs structures suivent généralement la direction (NO-SE) perpendiculaire aux failles (NE- SO). La cartographie du toit de l'Aptien dans la région de Hammamet à Tébessa, ainsi que la coupe géo-sismique réalisée à travers l'Albo-aptien, ont permises de définir la géométrie du réservoir géothermique dans cette localité [13].

Hammam Maskhoutine est l'unique région d'Algérie qui compte 9 sources qui sont classées hyperthermales avec des températures qui varient entre 72 à 98°C, elle présente par conséquent un intérêt particulier dans l'étude de la géothermie en Algérie. Les eaux thermales de Hammam Meskhoutine sont classées parmi les eaux salines, ferrugineuses, carbonatées calciques et chlorurées sodiques. La carte en isochrones au toit du Miocène réalisée dans le plateau de Mostaganem a apporté une description de l'aspect structural en profondeur du réservoir miocène de la région. Deux structures en synclinales, situées en graben entre deux failles subméridiennes, sont mises en évidence. Les coupes géo-sismiques réalisées montrent que l'épaisseur et la profondeur moyenne du réservoir miocène sont plutôt constantes ; elles sont estimées respectivement à 750 m et à 2000 m [13].

Les ressources géothermiques de plateforme continentale et de bassins sédimentaires, comme en Algérie, peuvent constituer des paramètres de débit et de température suffisants

pour la production d'énergie. Dans ce cas, les réservoirs géothermiques profonds sont exploités en utilisant des centrales géothermiques à cycle binaire (cycle Kalina, cycle de Rankine). Ces dernières utilisent le fluide géothermique à moyenne température (85-170°C) et un fluide secondaire de travail ayant un faible point d'ébullition par rapport à celui de l'eau. La centrale binaire convertit la chaleur géothermique en énergie mécanique puis en énergie électrique par l'intermédiaire d'un générateur. La capacité de production de ces unités est de plusieurs MWe (<5 MWe) [13].

Les pompes à chaleur géothermiques représentent une technologie relativement nouvelle, mais déjà bien établie dans plusieurs pays. Cette technologie se base sur l'exploitation d'énormes quantités de chaleur stockées dans le sol et dont la température est relativement constante allant de 4 °C à 30 °C, pour fournir le chauffage, le refroidissement et l'eau chaude domestique pour les maisons, les écoles, les usines et les bâtiments publics [13].

La méthodologie adoptée a montré que les massifs carbonatés de l'ensemble sud sétifien présentent une structure en horsts et grabens, limités par de grandes failles qui faciliteraient la communication entre les différents réservoirs et l'acheminement des eaux thermales profondes jusqu'à la surface. Ce réservoir géothermal se trouve dans les formations carbonatées du Jurassique entre 1 400 m à l'Est et 2 200 m au centre et à l'Ouest où les eaux acquièrent leur minéralisation originelle (carbonatée) et se minéralisent davantage en chlorures, sodium et sulfates au contact des formations terrigènes salifères et par échange de base avec les argiles. Au cours de la remontée, l'eau thermale traverse des terrains perméables et donne, à l'Est, les zones thermales de Zana et Hammam Sokhna et, à l'Ouest, celles de djerbel Youssef, Hammam OuledYelles et Hammam Guergour. Ces eaux ont un faciès qui varie selon les régions avec, à l'Est, un faciès de type Cl-Na, au centre, un faciès de type SO₄-Ca et, à l'Ouest, un faciès de type SO₄-Na à Ca. Ces eaux montrent également des teneurs importantes en éléments traces et métallifères témoins d'une circulation profonde à travers le socle cristallophyllien [14].

Les études hydrogéologiques réalisées dans le Sud de l'Algérie révèlent que les ressources en eau du Sahara se trouvent dans deux grands complexes géologiques : le continental intercalaire et le complexe terminal. Les deux nappes se situent dans le Sahara septentrional. La nappe du continental intercalaire est chaude, elle est la plus intéressante du point de vue géothermique. D'après la carte de gradient géothermique, deux parties distinctes sont mises en évidence : - L'une dans le Sahara septentrional dont le gradient est moyen de 3 à 4°C/100m. - L'autre dans le Sahara occidental avec un gradient de 6°C/100m. La partie septentrionale du Sahara algérien renferme les deux conditions majeures pour l'existence d'un réservoir géothermique, un gradient géothermique et une nappe aquifère en profondeur. A la base des résultats précédents et afin d'assurer une meilleure exploitation possible des ressources géothermiques du Sahara algérien, il est suggéré l'utilisation de la géothermie basse énergie dans sa partie septentrionale. Le domaine du chauffage des serres, serait très recommandé dans cette région [15].

Principe de fonctionnement la géothermie consiste à extraire l'énergie géothermique contenue dans le sol pour l'utiliser sous forme de chauffage ou pour la transformer en électricité. Par rapport à d'autres énergies renouvelables, la géothermie profonde ne dépend pas des conditions atmosphériques (soleil, pluie, vent). Tout bêtement la chaleur du sol chauffe de l'eau que l'on envoie dans les maisons, ou la chaleur du sous-sol transforme de l'eau en vapeur qui fait tourner une turbine. C'est une énergie relativement propre en fonction des techniques utilisées, par contre un forage reste une opération délicate.

La géothermie peut donc être une solution rentable et un investissement intéressant à condition que votre habitation réponde à certains critères. La position géographique, et la qualité de la terre à exploiter sont à prendre en compte. On notera donc que les régions avec un flux géothermique plus important, telles que l'Alsace, la région parisienne, les Pyrénées présentes plus de potentiel quant à cette énergie. Il faut souligner par ailleurs que l'utilisation de l'énergie géothermique est davantage rentable sur des maisons neuves (coût d'installation et terrassement). Cette énergie n'est donc pas une solution pour tous les français, ces derniers pourront se tourner vers d'autres énergies : solaire, photovoltaïque, bois...

Nous pouvons donc dire qu'il ne faut privilégier aucune énergie, mais voir au cas par cas laquelle sera la plus intéressante pour votre logement. Ne pas oublier que la clef repose sur la diversité des énergies utilisées [16].

Les ressources géothermiques de l'Algérie sont relativement importantes et diverses. La géothermie est exploitée pour la production de chaleur ou de l'électricité. Dans ce travail l'objectif recherché est de développer un modèle d'utilisation de l'énergie géothermique, à basse température dans la région d'Ouargla pour la production de l'énergie électrique. Dans un premier temps, il a été nécessaire de décrire l'énergie géothermique, pour ensuite évoquer ses applications et particulièrement l'expérience roumaine de la Centrale Géothermique à Cycle Binaire. Le modèle adopté pour notre cas est constitué d'un évaporateur, d'un compresseur, un condenseur et une pompe ressemblant à des boîtes noires. Le fluide de fonctionnement est l'anhydride carbonique CO₂. A l'aide du diagramme d'enthalpie et pression on a fait un balayage pour la température d'évaporation en vue d'obtenir le débit d'eau nécessaire ainsi que le rendement de la turbine.

Les résultats obtenus dans cette hypothèse sont satisfaisants pour le débit d'eau nécessaire, mais avec un rendement insuffisant de 10% de la turbine. Dans une seconde étape la deuxième étape on a proposé un rendement de la turbine entre 70% et 50%. Les résultats obtenus nous conduisent à travailler avec une température de fonctionnement de 30°C pour une détente de la turbine de 10°C, 09°C, 08°C et 27.5°C pour une détente de la turbine 16°C. La conclusion générale de ce travail, est qu'on peut produire l'électricité à partir de l'énergie géothermique à basse température ; mais à condition d'exploiter les résultats pour les dimensionnements de l'échangeur de chaleur (évaporateur, condenseur) et de la turbine ainsi qu'il faut une étude économique. Enfin, nous espérons que ce modeste travail serve de base pour d'autres travaux plus élaborés et constitue d'un apport pédagogique abordable pour les futures promotions [17].

Conclusion du chapitre

L'analyse de cette revue bibliographique, nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

La géothermie est la science qui étudie les phénomènes thermiques internes du globe terrestre, stockée en sub-surface dans des réservoirs poreux ou fracturés, et la technologie qui vise à l'exploiter. Par extension, la géothermie désigne aussi parfois le flux de chaleur et le gradient géothermique qui sont nécessaires pour l'évaluation du potentiel géothermique issue de l'énergie de la Terre qui est convertie en chaleur.

Le classement des eaux thermales : On classe les eaux minérales en fonction de leur température d'émergence :

- 1- Les eaux sont hypothermale $4^{\circ}\text{C} < T < 37^{\circ}\text{C}$.
- 2- Les eaux sont mésothermales $22^{\circ}\text{C} < T < 37^{\circ}\text{C}$.
- 3- Les eaux sont Orthothermale $37^{\circ}\text{C} < T < 45^{\circ}\text{C}$
- 4- Les eaux sont hyperthermale $T > 45^{\circ}\text{C}$ Hammam Maskhoutine $T 72^{\circ}$ à 98°C .

L'exploitation de la géothermie dépend du type de gisements et du fluide géothermique existant, on se distingue trois types de géothermie dans le monde :

1- La géothermie haute énergie : mélange eau et vapeur (températures supérieures à 150°C) elle est destinée principalement à la production d'électricité.

2- La géothermie basse énergie : caractérise par une température comprise entre 30°C et 150°C , (profondeur moyenne de 1000 à 2500 m), elle est destinée principalement au chauffage urbain et au chauffage de serres.

3- La géothermie très basse énergie : est rencontrée à de faibles profondeurs (nappes phréatiques) ou la température est de l'ordre de 10 à 30°C . Elle est utilisée entre autre pour la pisciculture et le séchage de produits agricoles.

4- Géothermie roche chaude sèche (HDR) : Hot Dry Rock La technique consiste à prospecter les sites géothermiques favorables qui sont les sites renfermant des roches sèches en profondeur (moins de 6 km), tels que les granites. De l'eau froide sous forte pression est injectée par la suite en profondeur dans des puits ou forages d'injection. L'analyse de cette revue bibliographique, nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

L'analyse de cette revue bibliographique, nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

La température de surface des eaux chaudes rejetées varie de $32,5^{\circ}\text{C}$ à 49°C . Les eaux chaudes ont été échantillonnées pour étudier leurs caractéristiques chimiques et géothermiques. Les résultats de la chimie montrent qu'ils appartiennent au groupe de l'eau Na-Cl. Le cation appliqué les géothermomètres ont montré une température de réservoir avec des valeurs de 56°C et 87°C . Si nous supposons un gradient géothermique normal de $3^{\circ}\text{C} / 100\text{ m}$, le réservoir géothermique pourrait avoir une profondeur d'environ 1 km.

L'analyse détaillée des cartes et des courbes de gradient géothermique a démontré que le sud de l'Algérie est caractérisé dans son ensemble par un gradient géothermique à une moyenne géothermique faible d'environ $3^{\circ}\text{C} / 100\text{m}$. La partie orientale de la plate-forme

saharienne présente des anomalies thermiques allant de 3 à 4 ° C / 100m, qui apparaissent sur la surface dans les régions de Zelffana, Ouargla et Touggourt. La partie ouest est relativement chaude avec un gradient dépassant 7 ° C / 100m. Selon les cartes des flux de chaleur, le nord du Sahara a un moyen compris entre 80 et 100 Mw / m² et relativement élevé de 90 à 110 Mw / m² dans la partie ouest.

Le littoral oranais possède de nombreuses sources thermo-minérales, répartis sur l'ensemble de son territoire, dont la majorité se trouve au Nord dans le domaine tellien. Les températures mesurées à l'émergence varient entre 22°C et 68,5 °C. Les sources thermo-minérales sont étroitement liées aux différents réservoirs aquifères rencontrés dans la région. Les principaux réservoirs sont généralement de nature carbonatée ou parfois gréseuse. L'étude du contexte tectonique des sources thermo-minérales du littoral oranais a permis de connaître la nature et la direction des failles à l'origine des émergences thermo-minérales de cette région. Ceci est conforté par la présence de certaines sources au voisinage de manifestations volcaniques, à titre d'exemple : Hammam Bouhadjar et Hammam Boughrara.

Les eaux thermales qui s'avèrent aussi contenir de fortes proportions minérales ceci peut leurs conférer sans doute des vertus thérapeutiques intéressantes et servir de moyens thérapeutiques contre certaines maladies qu'il faut étudier en perspectives de recherche d'une manière très approfondie. La classification de ces eaux minérales utiles en thermalisme repose donc sur l'anion prédominant : bicarbonate, sulfate, chlorure. Les eaux bicarbonatées calciques sont utilisées dans les affections gastro-intestinales. De même que les eaux sulfatées qui contiennent des sulfates de calcium et de magnésium seront intéressantes dans les affections du rein, du foie et des voies biliaires. Quant aux eaux chlorurées sodiques riches en chlorure leurs indications thérapeutiques intéressent les maladies de l'enfant (hypotrophie, affections respiratoires), les affections du système nerveux central et périphérique et la gynécologie. Elles sont aussi très utilisées pour la rééducation physique.

L'énergie géothermique est considérée comme une énergie alternative qui est renouvelable, relativement propre, qui offre la possibilité d'utiliser les ressources existantes de la manière respectueuse de l'environnement.



Chapitre (2)

Chapitre (2) : Généralité sur les sources chaudes en Algérie de point de vue Géologie et Hydrogéologie

2.1. Inventaire et répartition des eaux thermo-minérales

Les eaux thermo-minérales étudiées sont réparties sur les principaux domaines géologiques du littoral oranais (Fig.2.1et 2.2). Pour faciliter le travail, nous avons regroupé les sources sur trois secteurs: la Méséta oranaise, l'Oranie occidentale et les régions voisines, et la région du Moyen Chélif. Deux autres secteurs ont également été prospectés à titre comparatif, le Chott Chergui (Ain Skhouna) et l'Atlas Saharien (Monts de Ksour). Cela permettra d'avoir une vision globale sur le thermalisme de l'Ouest algérien. Les sources de la zone d'étude ont été sélectionnées selon la définition géographique du littoral (une largeur moyenne de 50km) (Tab.2.1), les sources de Hammam Bouhnifia (éloignées d'environ 60km à la mer) ont été rajoutées afin de combler les données manquantes au niveau du littoral [10].

Tab.2.1: Principales eaux thermo-minérales de l'Ouest algérien [10]

Numéro	Nom de la source	Commune	T°C	Région
1*	Hammam Chiguer*	Chiguer	32	Tlemcen
2*	Hammam Bougherara*	Boughrara	42	
3	Hammam Ain Sidi Rahou*	Hennaya	24	
4	Hammam Ain El-Hammam*	Sebdou	26	
5*	Hammam Ain Tahamamite*	Tlemcen	32	
6	Hammam Ain Sidi Abdeli*	Sidi-Abdelli	34	
7*	Hammam Ain sidi Berkabi*	Sidi Abdelli	22	
8*	Hammam Sidi Ayd*	Bouhdjar	68	Ain-Témouchent
9*	Hammam Bouhadjar*	Bouhadjar	66,5	
10	Ain Ouarka	Assela	45	Naâma
11*	Ain Madagh*	Boutlelis	24	Oran
12*	Ain Franin*	Bir El Djir	35	
13*	Ain Sellama*	Mers El Hadjadj	24,5	
14*	Ain Palmier (*)	Bou Hanifia	65,5	Mascara
15*	Source Dupont(*)	Bou Hanifia	53,2	
16*	Ain El Hammamat(*)	Bou Hanifia	53	
17*	Ain Sidi Ali N°3(*)	Bou Hanifia	67	
18*	Ain El Hamam N°6(*)	Bou Hanifia	44,2	
19*	Hammam Sidi Aissa	Sidi Beubekeur	49	Saida
20*	Hammam Rabi	Ould Khaled	48	
21*	Ain Skhouna	Ain Skhouna	48	
22*	Ain Melha	Ain Skhouna	28	
23*	Ain Zeoul	Ain Skhouna	35	
24*	Ain Nouissy*	Ain Nouissy	38	Mostaganem
25	Keberta*	Sidi Charef	36	Relizene
26	Ain Sidi Ali*	Ain Rahma	27	
27	Ain Derkaoua*	Ain Rahma	30	
28	Ain Brahim*	Ain Rahma	28	
29	Hammam Labes*	Sidi Khattab	38	
30	Hammam Yakhas*	Sidi Khatab	38	
31	Ain El Gesra*	El Guittar	38	
32	Ain Mekeberta*	Mazouna	25	
33	Hammam Beni Yassad*	Mendes	30	
34	Hammam Mekeberta*	Oueld Esslem	35	
35	Ain Bahri*	Oueldja	37	

Chapitre (2) : Généralité sur les sources chaudes en Algérie de point de vue Géologie et Hydrogéologie

36	Charchar*	Ain Tarek	28	
37	Ain Mentilia*	Ammi Moussa	35	
38	Metahra*	Ramka	35	
39	Ain Erramka*	Ramka	28	
40	Hammam Erroudjet*	Ramka	35	
41	Mehisser*	Sobha	23	Chlef
42	Sidi Said*	Boukadir	24	
43	Hemouna*	Ouled Ben Abdelkader	23	
44	Ain Bouzarour*	Medjaja	22	
45	Ain Elkadhi*	Medjaja	22	
46*	Sidi Hadj	Sidi Hosny	21,9	Tiaret

**décrite dans le texte*

**Source thermale du littoral oranais*

()Source incluse au littoral oranais*

Chapitre (2) : Généralité sur les sources chaudes en Algérie de point de vue Géologie et Hydrogéologie

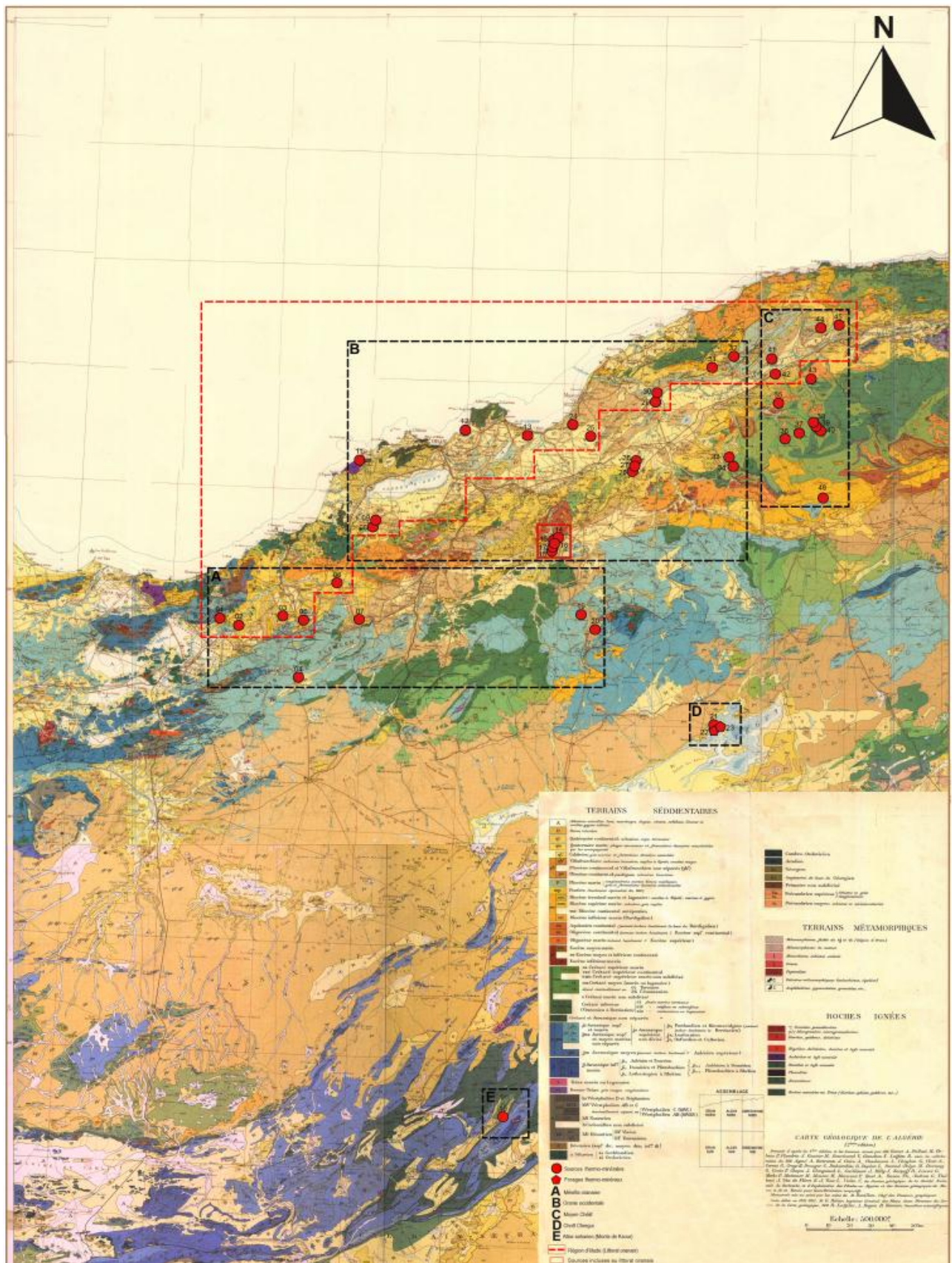


Fig.2.1. Secteurs des eaux thermo-minérales étudiées A, B, C, D, et E [10]

Chapitre (2) : Généralité sur les sources chaudes en Algérie de point de vue Géologie et Hydrogéologie

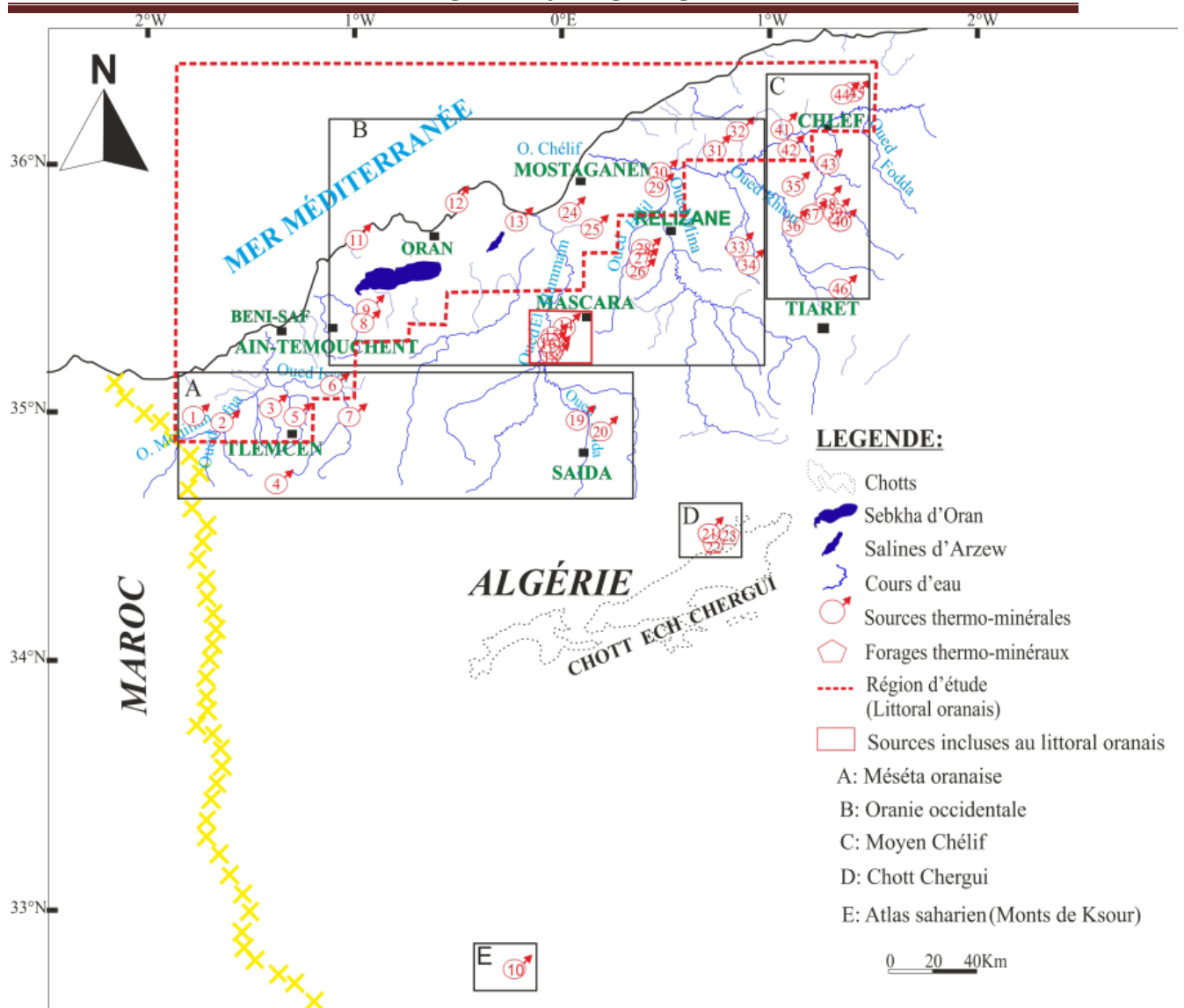


Fig.2.2. Principales eaux thermo-minérales de l'Ouest Algérien [10]

Chapitre (2) : Généralité sur les sources chaudes en Algérie de point de vue Géologie et Hydrogéologie

2. Description détaillée des sources par secteurs

Aperçu de nombre important de sources et de forages thermo-minéraux dans les secteurs étudiés, la description portera uniquement sur les principales sources.

Pour chaque secteur, nous avons effectué une synthèse géologique, hydrogéologique et structurale des travaux réalisés par plusieurs auteurs.

2.1. Méséta oranaise

La Méséta oranaise fait partie du domaine atlasique de la frontière Algéro-Marocaine à la transversale de Tiaret, au sein duquel elle constitue un ensemble rigide limité au Nord par le sillon Sud-tellien et à l'Ouest par le moyen Atlas. Elle couvre les Monts de Saida, des Daïa, de Tlemcen, du Nador et de Chellala-Reibell [10].

Il s'agit d'une zone caractérisée par un substratum, formé d'un matériel sédimentaire paléozoïque plissé qui affleure au niveau des horsts et d'une couverture jurassique dominante carbonatée (calcaire et dolomie) tabulaire ou faiblement plissée lors de l'orogénèse alpine [10].

Les affleurements les plus fréquents concernent le jurassique supérieur et le crétacé inférieur qui s'ennoient au Nord et au Sud sous d'épaisses séries Mio-Plio-Quaternaires. Au Nord-Ouest, le bassin Miocène de la Tafna constitue une dépression. Le Miocène inférieur, discordant sur les termes carbonatés du Jurassique supérieur, montre des conglomérats surmontés par des marnes bleues souvent évaporitiques à la base, ensuite viennent des conglomérats continentaux du Mio-Pliocène. Les formations jurassiques réapparaissent dans les Monts des Traras [10].

La structure d'ensemble est dominée par un système de horsts et grabens dont les axes structuraux sont généralement orientés SW-NE. Les accidents de socle se traduisent par une tectonique cassante déterminante des failles verticales qui limitent les plaines d'effondrements [10].

Dans ce secteur, les sources thermo-minérales sont réparties:

- 1- Dans les Monts de Saida, au niveau de l'oued de Saida.
- 2- Dans les Monts de Tlemcen, à la limite des affleurements jurassiques et des terrains miocènes.

2.1.1. Lithostratigraphie

Du point de vue lithostratigraphique, Nous distinguons :

2.1.1.1. Dans les Monts de Saida

Le paléozoïque affleure dans les Monts de Tiffrit. On le retrouve au Djebel Modzab à l'Est de Hammam Rabi où il est représenté par les formations sédimentaires recoupées par des intrusions plutoniques et des roches volcaniques. Il comprend des séries schisteuses, des calcaires, des grès, des tufs et des brèches volcaniques, des basaltes avec des intrusions de granodiorites, monzonites, granites et microgranites. Au-dessus, le Mésozoïque discordant

Chapitre (2) : Généralité sur les sources chaudes en Algérie de point de vue Géologie et Hydrogéologie

débuté par des conglomérats, grès, argiles et des venues basaltiques [10].

Dans la région de Saida, le fais inférieur et moyen montre un faciès assez constant représenté par des dolomies dont l'épaisseur varie beaucoup. La puissance maximum atteint 100m. Le Toarcien montre aussi des épaisseurs assez variables.

Il constitue de marnes dolomitique ou de calcaire argilo-dolomitiques à passées franchement argileuse. Le dogger comporte une dizaine de mètres de marne vertes et calcaire quartzo-pélique argileux dont l'épaisseur n'excède pas 50m. Le callovo-oxfordien est caractérisé par un faciès où dominant des argiles finement gréseuses contenant de volumineux cristaux de gypse et ferrugineuse à intercalations de bancs de calcaire argileux, dolomitique, de calcaire gréseux et de grès. L'épaisseur du Callovo-Oxfordien varie entre 250m et 400m. Au-dessus, le membre supérieur du jurassique est constitué d'une puissance dolomitique [10].

2.1.1.2 Dans les Monts de Tlemcen

Les Monts de Tlemcen sont caractérisés par des terrains dont l'âge varie du Primaire Au Plio-Quaternaire :

- Le plio-Quaternaire est représenté par les formations continentales qui comblent les dépressions au Nord des massifs carbonatés (Plaine de Maghnia).
- Les dépôts argilo-gréseux du Miocène formant un ensemble imperméable pouvant avoir sous le plio-quaternaire des plaines sub côtière de Maghnia et Hennaya.
- Le crétacé basal est constitué par 200m à 300m d'alternance de marnes et de marno-calcaires. Il s'agit d'une formation qui occupe de vastes zones et masque les formations carbonatées.
- Les calcaires et les dolomies du Jurassique supérieur constituent les affleurements les plus étendus.
- Les grès du Jurassique supérieur se présentent en bancs massifs entrecoupés par de nombreuses passées marneuses ou argileuses.
- Le callovo-oxfordien est représenté par des marnes et des argiles avec des passées gréseuses.
- Les terrains du Jurassique inférieur et moyen apparaissent à la faveur des horsts. Ils sont caractérisés par une faible extension à l'affleurement et d'importantes variations de faciès liées à des conditions de sédimentation complexe [18].
- Le Trias se présente suivant deux faciès : soit détritique et discordant sur les terrains antérieurs et surmonté par le lias carbonaté, soit riche en gypse, halite et argile en position anormale, résultat d'une tectonique diapirique.
- Les terrains d'âge primaire affleurent dans le horst de Ghar Roubane où la série débute par des schistes de couleur brune à rougeâtre alternant avec les quartzites très compactes de couleur grisâtre à rougeâtre en bancs décimétriques [10].

2.1.2. Aperçu structural

Du point de vue structural, selon les auteurs: Guiraud, 1973; Elmi, 1984 ; Fenet, 1975 ; Guardia, 1975; Benest et Auclair, 1967, on peut distinguer trois grandes familles d'accidents d'importances diverses (Fig.2.3):

- Les accidents NE-SW à ENE-WSW sont les plus fréquents, souvent groupés en faisceaux et déterminent les champs de horst et de grabens. Il s'agit de failles verticales qui limitent le horst de Ghar Roubane, de Tiffrit ou le fossé de Sebdou. Elles marquent généralement les limites du domaine de Hautes plaines des bassins Miocènes ou affectent les anticlinaux étroits comme celui de Chellala.

Chapitre (2) : Généralité sur les sources chaudes en Algérie de point de vue Géologie et Hydrogéologie

- Les accidents N-S à NNE-SSW marquent le passage des accidents crustaux de L. Glangeaud. Parallèlement aux transversales Tafna-Magoura à l'Ouest et Teniet el Had Tipaza à l'Est, il existe des accidents d'orientation moyenne N20°E. Ces accidents senestres sont jalonnés de diapirs triasiques particuliers lorsqu'ils sont conjugués à d'autres accidents.
- Les accidents NW-SE correspondent aux décrochements dextres et sont eux-mêmes décalés par les transversales (Guardia, 1975). Par exemple, au niveau des Monts du Nador où ils affectent surtout les formations dolomies-calcaires et calcaires du Jurassique supérieur et du Crétacé inférieur. Ils deviennent plus fréquents dans les Monts de Tlemcen et de Saïda [10].

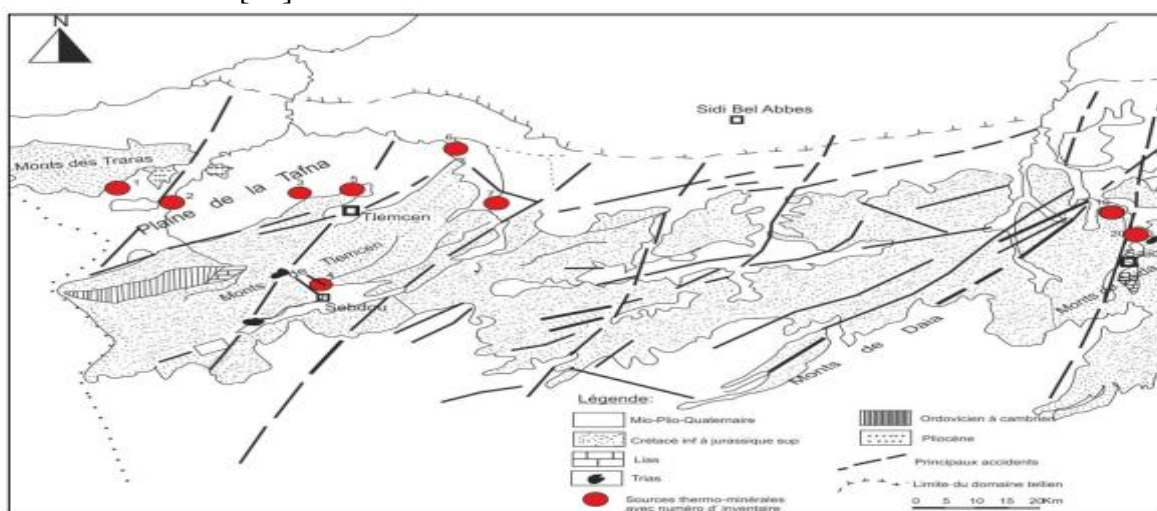


Fig.2.3 : Situation géologique des sources thermo-minérales liées à la Méséta Oranaise [19].

2.1.3. Sources des Monts de Tlemcen

2.1.3.1. Hammam Chiguer (1) et Hammam Boughrara (2)

Les stations Chiguer et Boughrara sont deux stations thermales parmi les plus connues dans la région de Tlemcen depuis plusieurs siècles, par leurs effets thérapeutiques dans le traitement de certaines infections de natures variées [10].

La station thermale de Chiguer est située à 4 km au Nord de la ville de Maghnia, la température de l'eau est de 32°C (Fig.2.4). L'émergence des eaux thermo-minérales de Chiguer se fait sur une série de griffons : un griffon conduisant l'eau à l'ancien moulin et tombant en cascade dans l'oued Mouillah et les autres griffons alimentant la piscine [10].

La station thermale de Boughrara se trouve à 10 km à l'Est de la ville de Maghnia et à 50 km au Nord-Ouest de la ville de Tlemcen (Fig.2.5). Parmi les caractéristiques principales des eaux thermales de ce Hammam, une température de 42°C et un débit de 1,5 l/s [10].

La source chaude de Chiguer émerge dans une vaste plaine du Jurassique. Le bassin versant d'oued Mouillah est constitué par les calcaires qui longent l'oued Mouillah et se prolongent au Nord-Est des Monts de Trara et aux piémonts de Tlemcen, par les terres alluvions constituées principalement de calcaire recouvrant les basses terrasses et les lits des oueds et marnes du Miocène, localisés au Nord de la plaine de Maghnia [10].

Chapitre (2) : Généralité sur les sources chaudes en Algérie de point de vue Géologie et Hydrogéologie

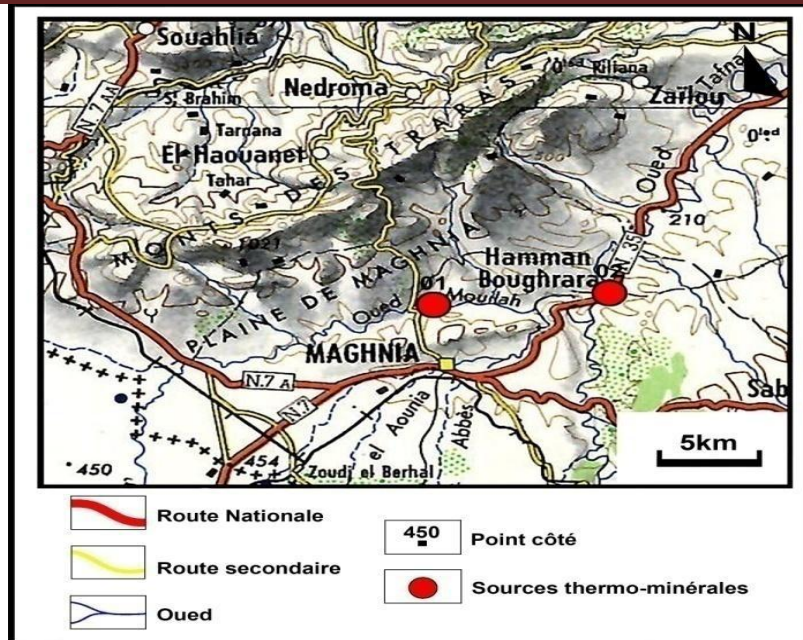
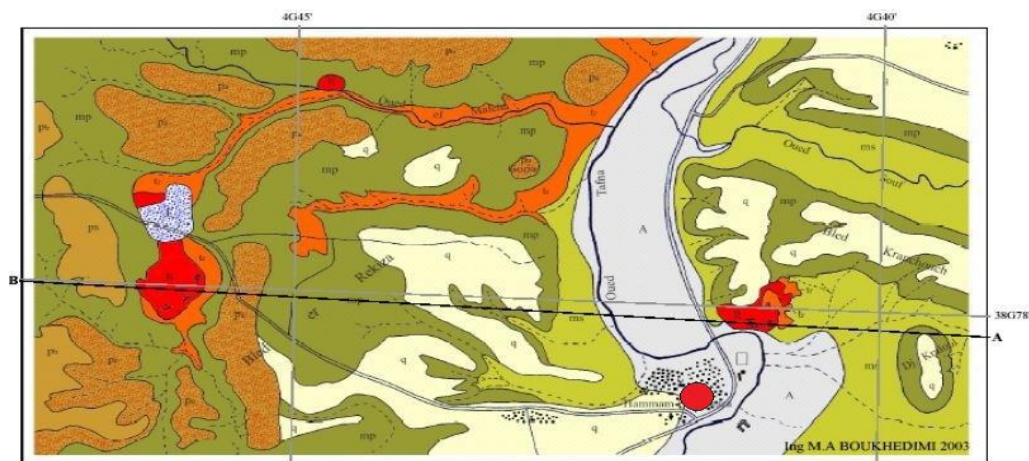


Fig.2.4 : Carte de situation géographique de Hammam Chiguer et Hammam Boughrara,
Source : Extrait des cartes topographiques de Tlemcen (1/500000)



Carte géologiques de Hammam Boughrara

e= 1/24 000

Cette carte à été réduite pour sa mise en page la carte originelle est au : 1/20 000

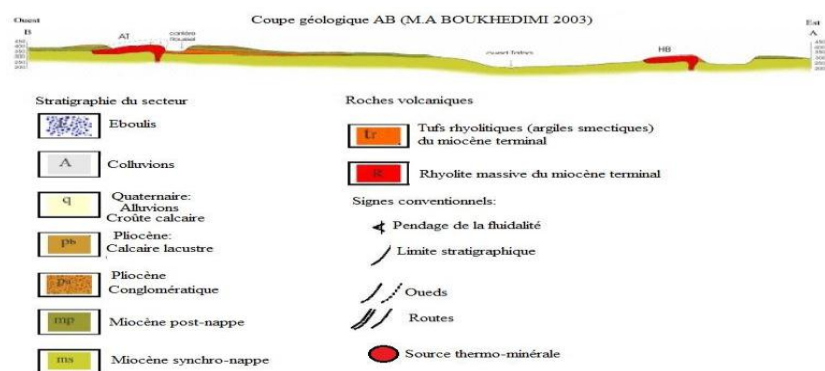


Fig.2.5: Carte et coupe géologiques de Hammam Boughrara (1/200000) [20]

Chapitre (2) : Généralité sur les sources chaudes en Algérie de point de vue Géologie et Hydrogéologie

Les dômes rhyolitique de Hammam Boughrara sont les plus anciens témoins du volcanisme en Oranie. Les terrains rhyolitique bentonitisés, sont à relier à un hydrothermalisme [21].

2.1.3.2. Ain El Hammam (4)

La source Ain El Hammam se situe sur la rive gauche de l'oued Tafna à 400m environ de la route de Sebdou (Fig.2.6). Elle émerge à la faveur d'une faille de direction NNESSW, son débit est de l'ordre de 10 l/s et sa température de 26°C. Cette source n'appartienne pas à la zone d'étude en raison d'éloignement de la mer [10].

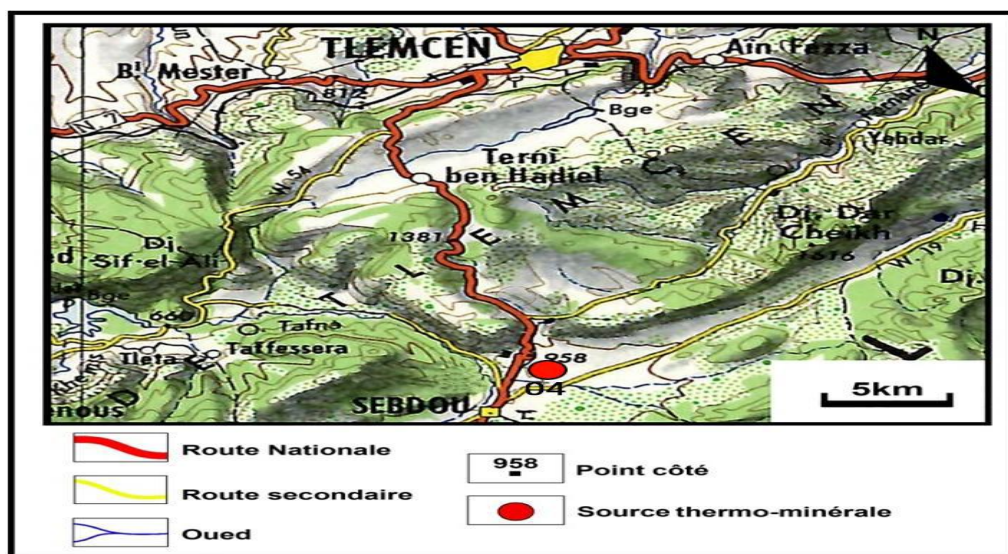


Fig.2.6 : Carte de situation géographique de Hammam Ain Al Hammam, Source : Extrait de la carte topographique de Tlemcen au 1/500000.

2.1.3.3. Ain Tahamamite (5)

La source thermale appelée aussi Tihmamite, se situe à Ouazidane (village de Chetouane) près de l'oued Messaoud, non loin de Hennaya à 8km au Nord-Ouest de Tlemcen (Fig.2.7). Elle émerge au pied des roches de type Seffah à la faveur d'une faille de direction NNE-SSW. Sa température est de 32°C pour un débit de l'ordre de 2l/s [10].

1.1.3.4. Hammam Sidi Abdelli (6)

La source est située à 25km de la ville de Tlemcen et à 8km du village Bensekrane sur la région de Sidi Abdelli (Fig.2.8). Sa température est de 34°C. De nombreuses émergences d'eaux chaudes accompagnées de dégagements gazeux alimentent les deux piscines du Hammam. Cette source fait partie des sources carbogazeuses du littoral oranais [10].

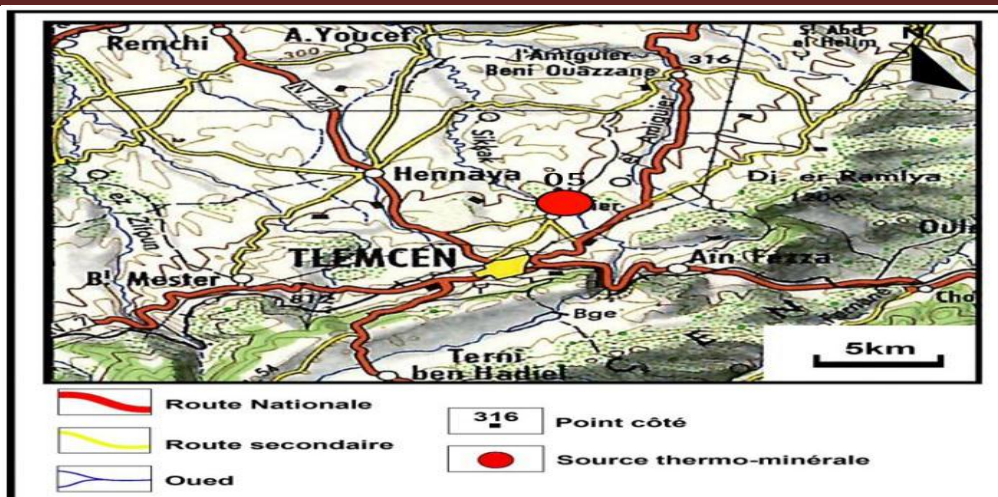


Fig.2.7: Carte de situation géographique de Hammam Ain Tahamamite, Source : Extrait de la carte topographique de Tlemcen au 1/500000

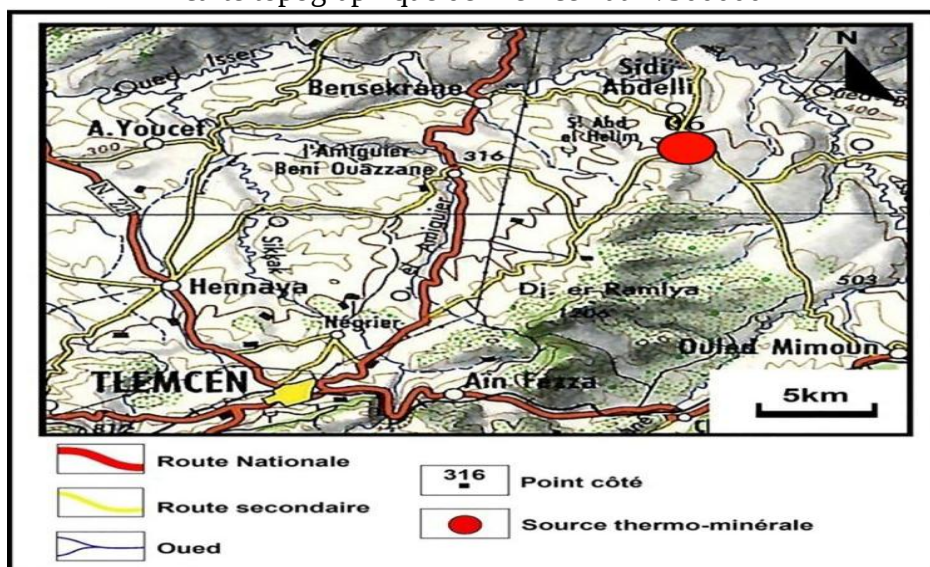


Fig.2.8. Carte de situation géographique de Hammam Sidi Abdelli, Source : Extrait de la carte topographique de Tlemcen au 1/500000

2.1.4. Sources des Monts de Saïda

2.1.4.1. Hammam Rabi (20) et Sidi Aïssa (19)

La source de Hammam Rabi est une source thermo-minérale dont l'eau est caractérisée par une température élevée (plus de 42°C). Elle est située à 11km environ au Nord de Saïda sur la nationale 6 (RN6) Saïda-Mascara (Fig.2.9).

La source thermo-minérale de Sidi Aïssa est située non loin de la source de Hammam Rabi, à quelques kilomètres au Nord-Ouest. Ces eaux sont semblables aux eaux de Hammam Rabi et elles auraient la même origine. Ces deux sources thermo-minérales ne font pas partie du littoral oranais.

Chapitre (2) : Généralité sur les sources chaudes en Algérie de point de vue Géologie et Hydrogéologie

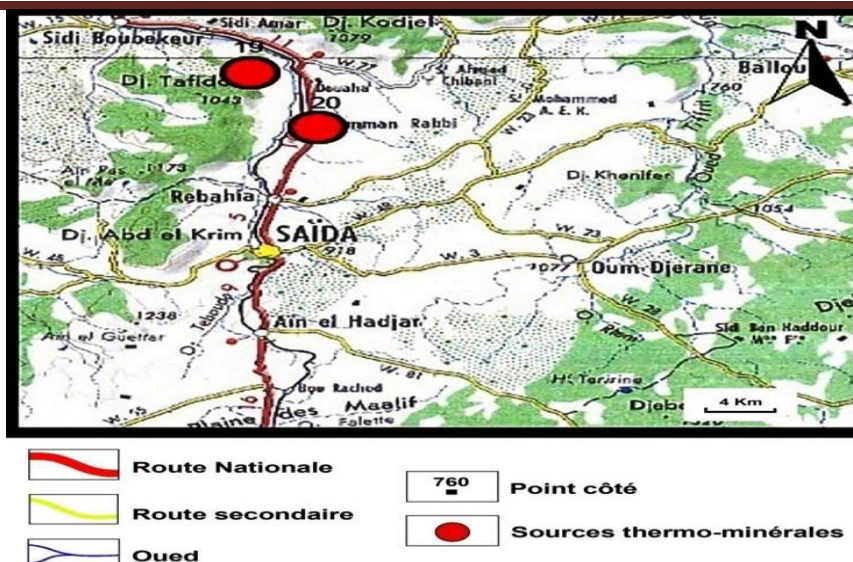


Fig.2.9: Carte de Situation géographique de Hammam Rabi, Source : Extrait de la carte topographique de Mascara au 1/500000, N°31

La source de Hammam Rabi émerge des marnes du Callovo-Oxfordien à la faveur de profondes cassures qui relèvent le paysage probable d'une faille. La source jaillit à une altitude de 700m environ. Il s'agit d'une émergence chargée en minéraux, provenant d'une profondeur de plusieurs centaines de mètres de la nappe du Lias.

Au niveau du secteur des « Eaux chaudes », la nappe du Lias butte contre les formations imperméables du Callovien-Oxfordien de la partie Nord du fossé d'effondrement de Saida, et remonterait en surface grâce à un jeu de faille, donnant ainsi naissance aux sources de Hammam Rabi, Sidi Aissa, Kerkeb.

La source de Hammam Rabi est un apport de la nappe inférieure (aquifère dolomitique) vers la nappe supérieure libre. Ces circulations se font, comme on l'a vu ci-dessus (Fig.2.10), à la faveur de failles, jouant le rôle de drain suivant l'importance de leur rejet. D'autres sources jalonnent ces failles, principalement le long du lit de l'oued Saida et à l'Est de Hammam Rabi.

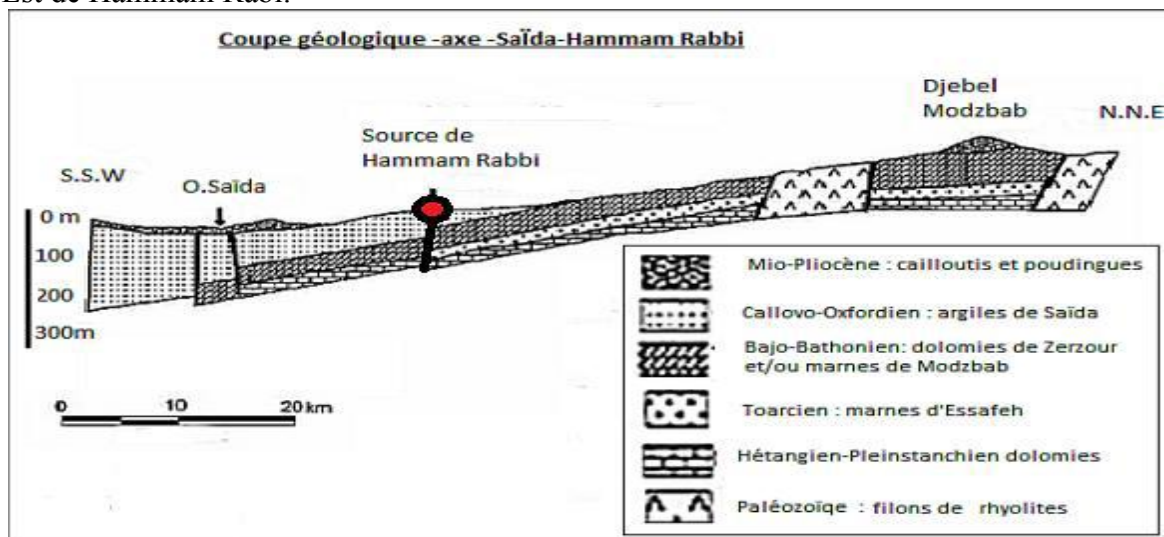


Fig.2.10: Coupe géologique-axe-Saïda-Hammam Rabi [22].

Chapitre (2) : Généralité sur les sources chaudes en Algérie de point de vue Géologie et Hydrogéologie

2.2. Oranie occidentale et les régions voisines

Dans l'Oranie, seul le domaine externe de l'orogénèse Alpine est représenté. Les massifs littoraux constituent un élément de cette orogénèse Alpine Nord Maghrébine (Maghrébides). Ils sont séparés des Monts de Tessala et des Béni Chougrane, domaine des nappes telliennes, par les bassins de la M'léta et de la Habra. Ces derniers forment un sillon qui s'allonge suivant une direction WSW-ESE. Les séries autochtones de la partie septentrionale rigide de la méséta oranaise se prolongent vers le Nord sous les séries telliennes, tertiaires et quaternaires (Fig.2.11).

De nombreux travaux effectués sur ce secteur, en particulier par F. Doumergue (1908), Tinthoin (1948), A. Perrodon (1957), A. Gourinard (1958), B. Fenet (1975), G. Thomas (1985), ont permis de distinguer deux grands ensembles structuraux, dont le premier est anté à synchro-nappe et le second est post-nappe.

A. PERRODON, 1957.		B. FENET, 1975		G. THOMAS, 1985		LOG SYNTHETIQUE		
IV Récent	Couches à strombes	Pliocène moyen et supérieur			Holocène	Lunettes éoliennes Sables éoliens Limons gris		Limons gris
	Pleistocène moyen				Q	IV	Formation d'Oued Oggaz (Soltanien)	Terrasses limoneuses rouges + dalles
III						F. Rochers (Tensifien)		
IV intermédiaire Villafranchien	Formations rouges	Calabrien Villafranchien	4 cycle M4	F. Dunaires et F. rouges continentales	P II	I	F. Yammami (Amirien)	Limons et conglomérats rouges
Pliocène continental	Grès et lumachelles			Pleistocène inférieur		B	Formation de la Mekerra	
	Conglo-limoneux			Lumachelles + dalles calcaires		Calabrien	A	
Pliocène marin	Astien : grès marin Plaisancien : marnes	Astien	3 cycle M3	Formations détritiques	PIA, B			
	Plaisancien	Formations marneuses		Tabianien			Formation du bas-Chelif	
Miocène	Formations terminales	Messinien	2 cycle post-nappe M2	Calcaire Messinien	2 cycle M III	D	Formation évaporitique	Conglomérats et sables Evaporites
Supérieur	Formations médianes			Tortonien		Messinien marneux	Tortonien II	
	Vandobonien	Formations de base	Grès de base	A	Formation des marnes bleues médianes	Marnes bleues		
Miocène inférieur	Continental : conglomérats		1 cycle M1	Formations rouges continentales de Tafraoui	1 cycle M II		F. Grès roux	Grès
	Marin : marnes grises			Tortonien I Serravalien Langhien			F. Bouhanifia-Tafroui F. Debbi	
Miocène inférieur		Miocène anté ou	Synchro-nappe	Miocène anté ou synchro nappe M I				Schistes Marno-schistes

Fig.2.11 : Log géologique synthétique de la région d'Oran [23].

- Le substratum anté à synchro nappe :

Dans les massifs littoraux d'Oran, les formations du substratum forment l'autochtone relatif [25] ou autochtone anté-nappe [28]. Ce substratum affleure dans le Djebel Murdjadjo, le Djebel Khar (Montagne des Lions) et dans les Monts d'Arzew, représentés par des massifs schisteux, autochtones, d'âge permo-triasique, jurassique et crétacé, fortement affectés par l'orogénèse alpine.

Chapitre (2) : Généralité sur les sources chaudes en Algérie de point de vue Géologie et Hydrogéologie

- Le remplissage (couverture) post-nappe :

Tandis que les unités telliennes achèvent de se mettre en place dans le bassin synchrone nappes sud tellien dans lequel la sédimentation marine se poursuit encore un certain temps, plus au Nord s'amorce un nouveau cycle sédimentaire. Il s'installe pendant que naissent et se développent des mouvements épirogéniques qui découpent les régions littorales en zones ascendantes ou subsidences [24] : horsts et fossés du littoral.

Ces phénomènes épirogéniques se poursuivent pendant toute la fin du Néogène puis le Quaternaire et c'est sur une morphologie réglée presque exclusivement par les mouvements ascendants et descendants que vont succéder quatre cycles marins d'importance inégale, entrecoupés de périodes d'érosion. Ce sont :

Le premier cycle miocène post-nappes (M1) :

Il début par des formations continentales non datées qui se déposent immédiatement après la mise en place des nappes sur les massifs littoraux [25]. Les dépôts continentaux sont constitués d'alternance de conglomérats et de marnes parfois gypseuses, bien développés sur les côtes. L'âge de ces formations du M1 est compris entre la transgression messinienne [26] et la mise en place des nappes, il s'agit pour partie du Tortonien.

Le deuxième cycle miocène post-nappes :

Il débute généralement dans le bassin du Chélif par une importante série détritique grésosableuse. Il est constitué aussi par ;

- des formations médianes constituées de marnes bleues.
- des formations terminales, constituées par une série de tripolis et la série des gypses.

Le troisième cycle post-nappes –pliocène- :

Dans le bassin du Bas Chélif, le Pliocène est représenté par la succession classique des marnes bleutées "plaisanciennes" et des grès marins "astiens" puis continentaux.

Le quatrième cycle post nappes (Calabrien) :

Ce cycle, d'abord lumachellique ou conglomératique, passe progressivement à des grès dunaires et représente le dernier épisode marin de quelque importance sur le littoral.

2.2.1. Lithostratigraphie

Du point de vue lithostratigraphique, nous distinguons du Nord au Sud les formations liées aux massifs littoraux, aux plaines et aux domaines telliens.

Au niveau des massifs littoraux, les terrains anté-triasiques sont constitués par les formations permo-carbonifères. Le Djebel Khar est essentiellement formé d'une épaisse série schisteuse très redressé où [25], distingue trois termes:

- à la base, des séquences gréseuses, sombres, séparées par les pélites charbonneuses et des conglomérats.
- des pélites schisteuses en alternance avec des grès grossiers et des bancs lenticulaires de conglomérats à galets, à quartz ou de phtanites.
- une épaisse formation de pélites rouges à rares bancs de grès.

Dans le massif de l'oued Madagh, les schistes graphiteux noirs à lentilles de conglomérats sont attribués aux formations Permo-Carbonatées.

Les plaines sont occupées par d'épaisses séries de schistes Mio-Plio-Quaternaire qui varient entre 2800m sur les aires marginales et 5200m dans les aires centrales des bassins [27].

Les Monts de Tessala et des Béni Chougrane comportent une superposition d'unités jalonnées de Trias gypso-salin. Elles correspondent aux nappes telliennes les plus

Chapitre (2) : Généralité sur les sources chaudes en Algérie de point de vue Géologie et Hydrogéologie

occidentales de l'Algérie. Dans les Tessala, [25] distingue les unités suivantes (de bas en haut) :

- L'unité Albo-Cénomaniennne
- L'unité Chaoula
- L'unité Sénonienne
- L'unité Oligo-Miocène

2.2.2. Aperçu structural

Du point du vue tectonique, on distingue :

- des accidents transverses qui découpent tous ces ensembles, au nombre de quatre:
 - A l'Ouest, la transversale de la Tafna orientée NNE-SSW limite à l'Est les Traras des zones subsidentes de la Tafna. Cet accident majeur est jalonné par une série de pointement volcanique.
 - Un deuxième accident apparait nettement dans la partie centrale de la plaine de la M'léta. Il passe par le diapir triasique d'Arbal et se poursuit vers le Nord en direction de la source thermique d'Ain Franin.
 - Un troisième accident longe la vallée de l'oued el Hammam, se traduit par un système de failles et de cassures qui provoquent la remontée d'ensemble du substratum. Il se poursuit vers le Nord marqué par le tracé rectiligne de la côte.
 - Enfin, un quatrième accident Saida-Relizene limite à l'Ouest le prolongement du massif du Dahra.

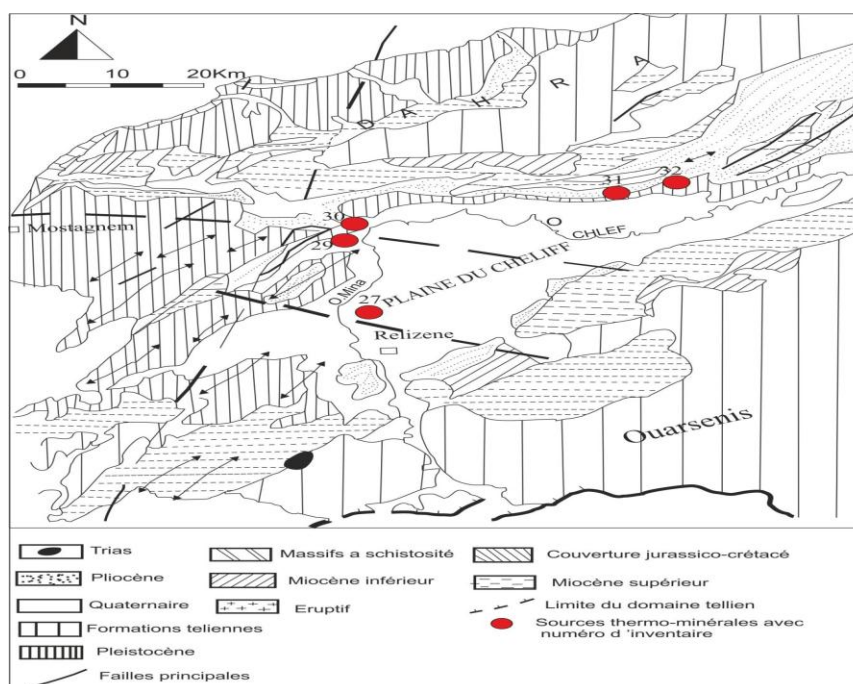


Fig.2.12: Situation géologique des sources thermo-minérales des secteurs orientaux [19]

- un deuxième système d'accidents globalement orientés NE-SW marquent au Nord et au Sud les limites de plaines.
- un troisième système d'accidents mis en évidence par les travaux relativement récents de néotectonique montre une orientation générale W-E.

Chapitre (2) : Généralité sur les sources chaudes en Algérie de point de vue Géologie et Hydrogéologie

Les massifs littoraux sont aussi marqués par la présence d'un substratum rigide engendrant une tectonique cassante caractérisée par des mouvements verticaux. Le plateau de Mostaganem est limité par une flexure méridionale à travers laquelle jaillit le diapir de Nouissy les bains et une trainée de roches basaltiques.

Les sources thermo-minérales de l'Oranie occidentale apparaissent (Fig.2.12) le long de la côte liée aux massifs littoraux, et dans les plaines

2.2.3. Sources liées aux massifs littoraux

2.2.3.1. Ain Madagh (11)

La source chaude d'Ain Madagh se trouve à l'Ouest de la ville d'Oran (Fig.2.13), au Nord de l'oued Madagh qui draine les pentes du Djebel Taroneit. Selon A. Issaadi (1992), les eaux d'Ain Madagh émergent directement au niveau des dolomies, avec une température de 24°C.

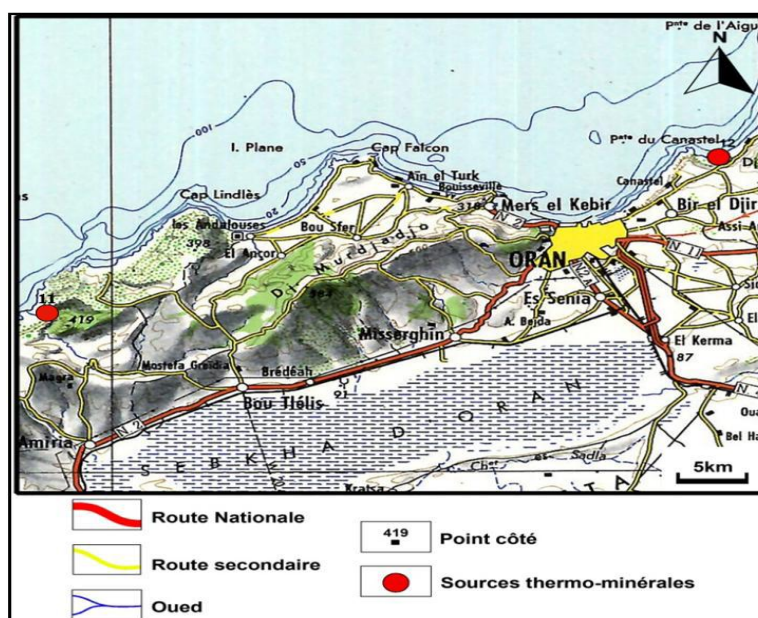


Fig.2.13: Carte de situation géographique des sources thermo-minérales liées aux massifs littoraux, Source : Extrait de la carte topographique Oran au 1/500 000

2.1.3.2. Ain Franin (12)

La source d'Ain Franin connue auparavant sous le nom de Yepserra, émerge au pied d'une falaise affaissée à une vingtaine de mètres au-dessus du littoral (Fig.2.14), à l'E.S.E de la pointe de Canastel, au Nord de la commune de Bir El Djir, sur le revers septentrional du Djebel Khar (Montagne des Lions).

La source sort à la faveur d'une faille Nord-Sud limitant le contact de gypses réputés triasiques avec les marnes du Miocène (Fig.2.15). La température de l'eau est de 35°C. Les eaux d'Ain Franin sont plus spectaculaires à cause des dégagements gazeux abondants et des dépôts rougeâtres qui tapissent le captage [19].

Chapitre (2) : Généralité sur les sources chaudes en Algérie de point de vue Géologie et Hydrogéologie

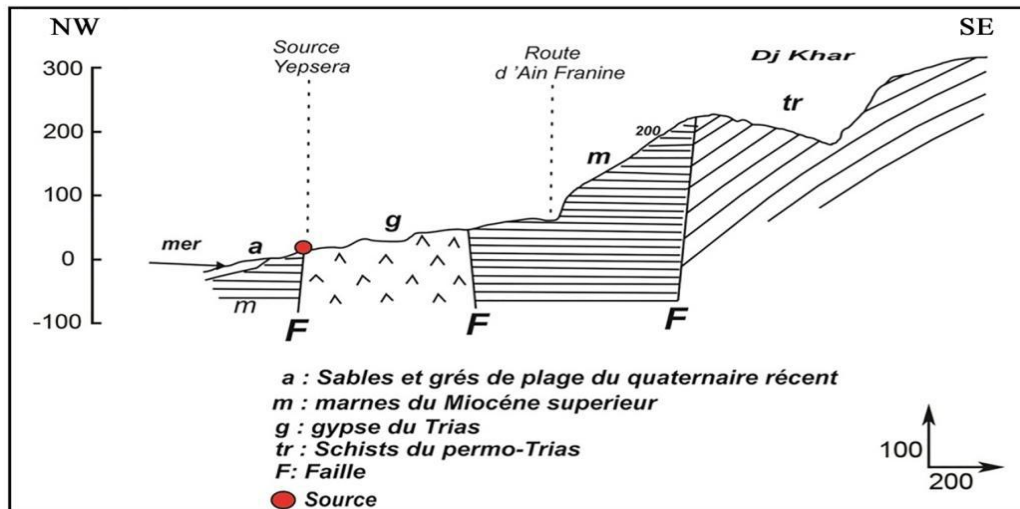


Fig.2.14: Coupe géologique d'Ain Franin [29].

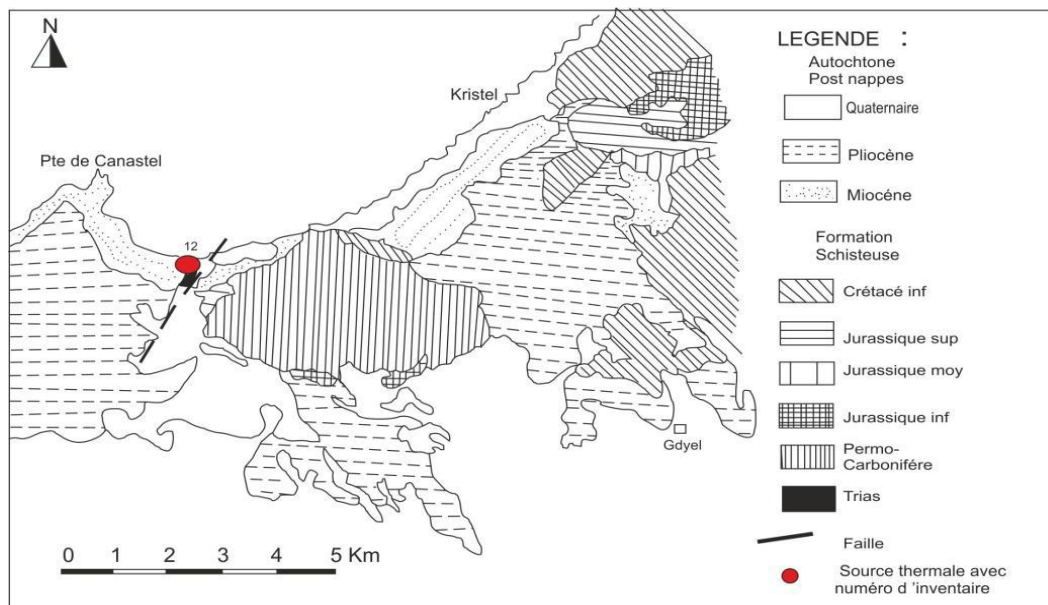


Fig.2.15: Situation géologique de la source d'Ain Franin [30,25]

2.2.3.3. Autres sources

Parmi les autres émergences liées aux massifs littoraux, peu de renseignements sont disponibles, nous citons deux sources thermales :

- Source des Bains de la Reine :

Elle a disparu sous le béton de Mers El Kebir. Les eaux des Bains de la Reine émergeait d'un banc de quartzite intercalé dans les dolomies et se déversait directement en mer avec une température de 55°C [31].

- Source de Dadayoun (ou Dadayoub):

Il existe une série de griffons thermaux au point où la plage de Saint Roch vient buter sur les formations du Djebel Santon.

Chapitre (2) : Généralité sur les sources chaudes en Algérie de point de vue Géologie et Hydrogéologie

L'eau thermique sort des fissures de la roche et rejoint la mer tout près à travers un cordon de sable mélangé à des galets. La source thermique apparait dans les dolomies jurassiques en contact anormal orienté NNE-SSW avec les formations du Crétacé [31].

2.2.4. Sources liées aux plaines

2.2.4.1. Hammam Bouhadjar (8) et Sidi Ayd (9)

Hammam Bouhadjar constitue l'un des plus importants complexes thermaux de l'Ouest algérien. Il se situe à 50km à l'Ouest d'Oran et à 18km au Nord-Est d'Ain Témouchent (Fig.2.16). Les eaux de Hammam Bouhadjar ont une température qui dépasse 65°C. Les sources de Sidi Ayad présentent des débits appréciables, d'une température de 68°C.

Hammam Sidi Ayd fait partie de la zone thermique de Hammam Bouhadjar, qui sont les plus importants réservoirs géothermiques au Nord-Ouest algérien. Le thermalisme de Hammam Bouhadjar se manifeste par des sources localisées actuellement au niveau des fissures (Fig.2.17).

Au sud de Hammam Bouhadjar, d'importants dépôts de travertins affleurent sous forme de murailles, de direction généralement Nord 175. L'axe présente une fissure large de 10cm à partir de laquelle émergent les eaux thermales. Ces travertins ont été déposés par les sources thermo-minérales en liaison avec les fractures et les failles affectant la région [32].

Autour de la station thermique, les murailles de travertins dessinent une sorte de «Fer à cheval», long de 800m sur 6 à 10m d'épaisseur. Au Nord, les deux terminaisons sont surélevées et peuvent atteindre 15m, tandis qu'au sud, le relief diminue pour donner un plateau travertineux occupant une superficie dépassant 1km².

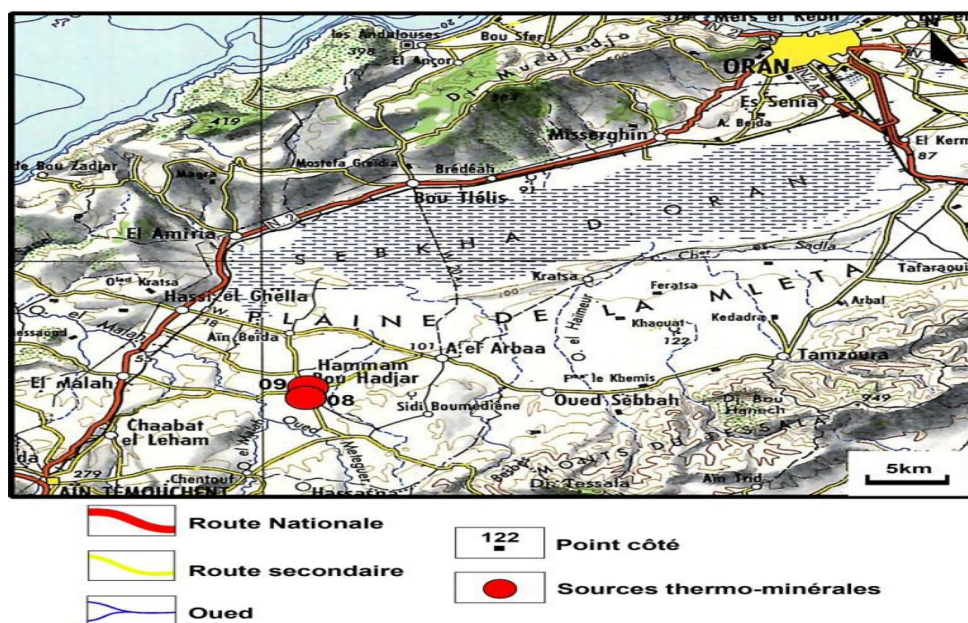


Fig.2.16: Carte de situation des sources thermo-minérales de la région de Hammam Bouhadjar, Source : Extrait de la carte topographique Oran au 1/500 000

Chapitre (2) : Généralité sur les sources chaudes en Algérie de point de vue Géologie et Hydrogéologie

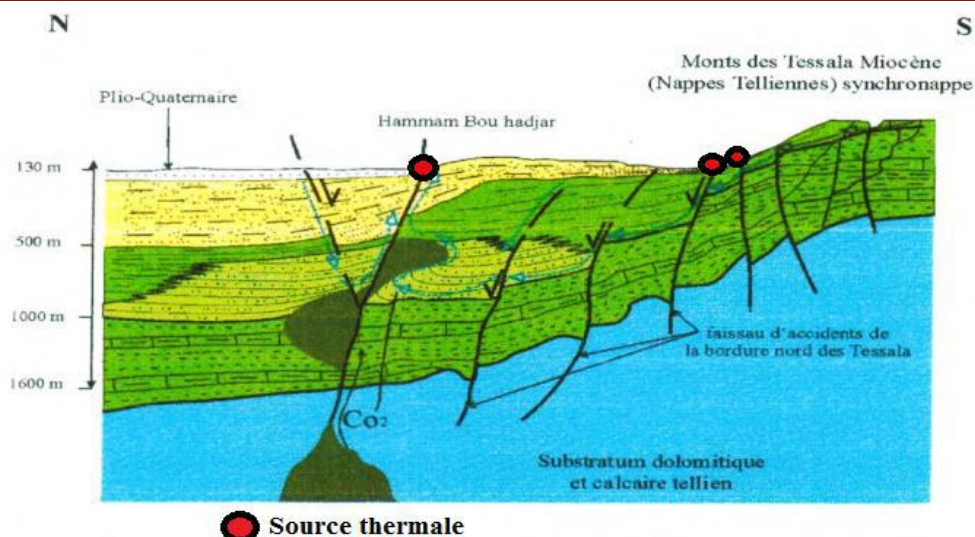


Fig.2.17: Coupe schématisant les conditions d'alimentation des sources thermales de Hammam Bouhadjar [32]

A l'Est du «Fer à cheval», une autre muraille de moindre importance se présente parallèlement à la première. Elle débute à une dizaine de mètres au Nord d'El-Hamda pour se continuer vers le Nord sur une longueur d'une centaine de mètres. L'axe de cette muraille présente une fissure de 8 à 10cm où les émergences sont absentes. Les sources de Sidi Ayad ne font pas partie du «Fer à cheval».

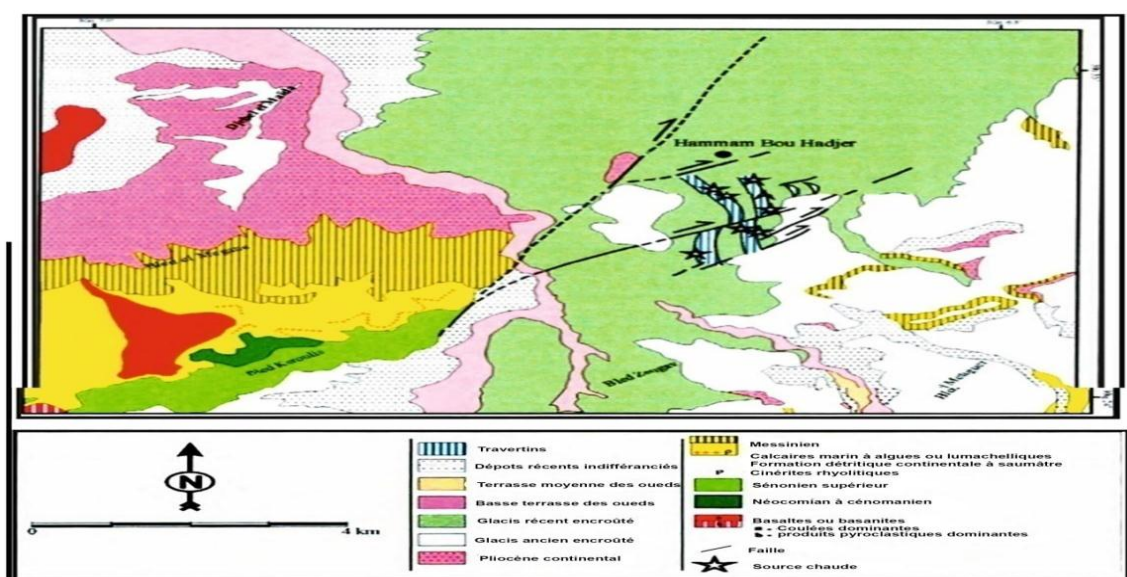


Fig.2.18: Carte géologique de la région de Hammam Bouhadjar (D'après la carte géologique d'Ain Témouchent, 1987, modifiée et complétée par des observations sur le terrain [32]).

Au Sud de la station thermique, et plus précisément au niveau de Sidi-Ayad, une troisième muraille s'allonge vers le Nord sur une longueur de 350m. Elle présente une fissure de 10cm laissant apparaître des émergences d'eau chaude.

Cet ensemble travertineux apparaît au milieu des alluviaux quaternaires et des sables, et grès rouges du Pliocène continentales (Fig.2.18).

Chapitre (2) : Généralité sur les sources chaudes en Algérie de point de vue Géologie et Hydrogéologie

2.2.4.2. Ain Sellama (13)

La source d'Ain Sellama est localisée à 42km à l'Est de la ville d'Oran (Fig.2.19), près de Mers el Hadjaj. Les eaux sortent du Miocène, avec une température de 24°C.



Fig.2.19: Carte de situation géographique de la source thermo-minérale d'Ain Sellama
Source: Extrait de la carte topographique d'Oran au 1/500 000

2.2.4.3. Hammam Bouhnifia (14, 15, 16, 17, 18)

Hammam Bouhnifia constitue l'une des plus anciennes et des plus importantes stations thermales de l'Ouest algérien. Il est situé à 20km au Sud-Ouest de Mascara et à 67km au Sud d'Oran (Fig.2.20). La station thermale de Hammam Bouhnifia est localisée sur la rive droite de l'oued Hammam, au pied du flanc Ouest du Djebel Mamât à 230m d'altitude.

Les eaux thermales sortent sur la bordure sud des formations telliennes à travers les travertins, les marnes et les calcaires à silex de l'Eocène inférieur [19].

Du point de vue géologique, Dalloni (1925) explique la formation des émergences thermales par un affaissement qui a créé la dépression qui sépare la zone bouleversée du Tell des montagnes jurassiques du massif de Saïda. Elle a été occupée par un grand lac vers la fin du Pliocène [33].

Les calcaires déposés dans le fond de cette cuvette ont été redressés jusqu'à la verticale par une accentuation posthume du même effondrement. C'est également une fracture d'âge quaternaire qui donne lieu aux sources de Bouhnifia. Ces sources apparaissent en plusieurs griffons sur la rive droite de l'oued el Hammam. Elles ont formé une masse considérable de travertins qui masquent généralement les marnes bleuâtres et calcaires à silex de l'éocène inférieur à travers lesquels les eaux thermo-minérales montent.

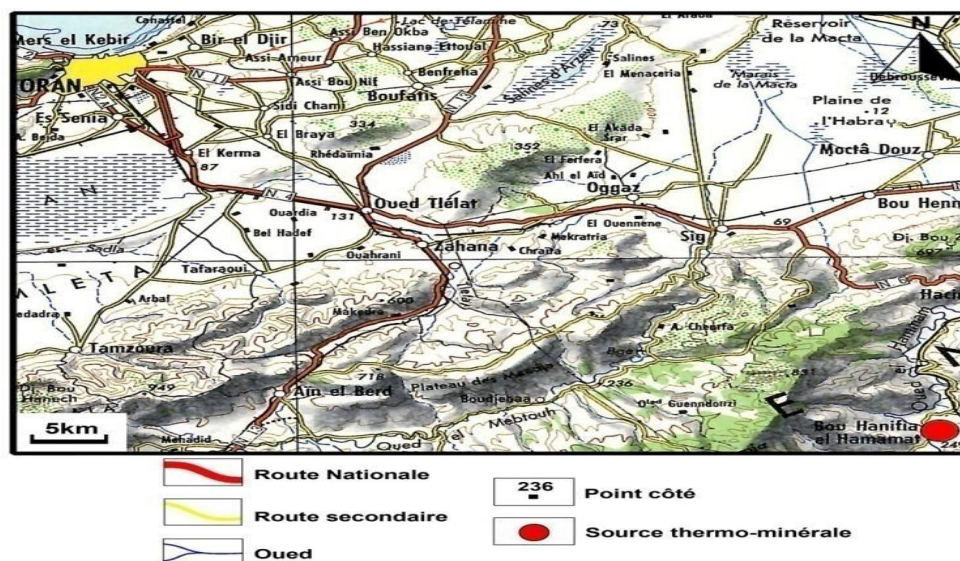


Fig.2.20: Carte de situation géographique des sources thermo-minérales de Hammam Bouhnifia, Source: Extrait de la carte topographique d'Oran au 1/500000

Selon S. Guigue (1940), l'accident géologique qui donne naissance aux sources aurait pour rôle de faire remonter rapidement à la surface du sol, avec une température résiduelle importante, des eaux originellement chargées de CO₂ atmosphérique, qui auraient emprunté leurs éléments minéraux (carbonates terreux et chlorures alcaliques) aux terrains dans lesquels elles circulent [34].

Les sources thermales de Bouhnifia sortent le long d'une faille orientée SE-NW, depuis le village même de Bouhnifia jusqu'au lieu-dit «grotte au pigeon» située à 6km. Cette faille traverse verticalement les assises très épaisses de la marne bleue éocène que l'on considère comme le véritable terrain d'émergence des sources. Elle s'est produite lors de l'effondrement qui donna lieu à la formation de la plaine de Ghris.

1.2.4.3.1. Les principales sources et leur situation

Les eaux de Bouhnifia se répartissent en trois groupes bien distincts (Fig.2.21):

- Groupe des sources supérieures :

Il comprend les sources n°1, 3, 4 (ou du palmier). Ces sources jaillissent sur un plateau situé au Nord-Est du village. Ce sont des eaux hyperthermales (65°C) modérément radioactives (0,2 à 6 millimicrocuries).

- Groupe des sources inférieures :

Les nombreux griffons de ce groupe sont alignés au pied d'une falaise de travertin qui repose sur le lit épais des marnes éocènes. Cette falaise est assez éloignée de l'oued El-Hammam. Les sources situées au sud du pont se trouvent à une certaine distance de l'oued El Hammam et hors d'atteinte des plus fortes crues, tandis qu'en aval du pont, les griffons se trouvent sur la berge qui, parfois sont submergés d'une composition chimique sensiblement identique à celle du groupe supérieur. Ces eaux s'en distinguent par une température moins élevée et par une radioactivité considérable.

Chapitre (2) : Généralité sur les sources chaudes en Algérie de point de vue Géologie et Hydrogéologie

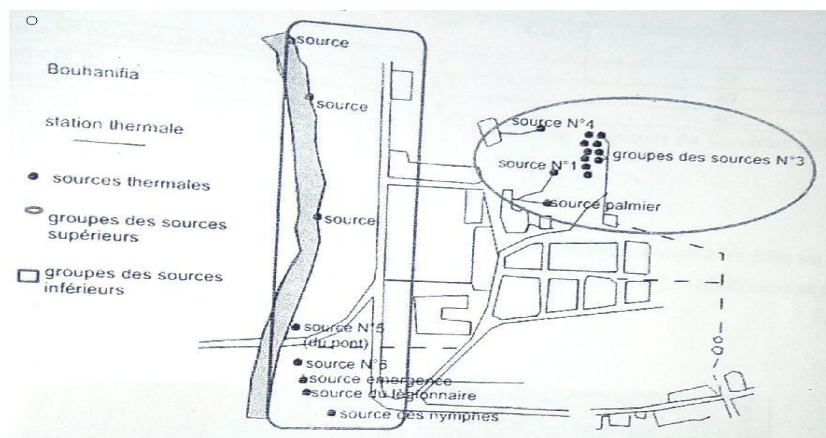


Fig.2.21: Localisation schématique des principales sources (M.T.A, 2010)

- Les sources de Sidi Abdallah: dites sources salées ou purgatives. D'un caractère tout différent, avec un débit peu considérable, une température de 20°C, une radioactivité notable, elles présentent surtout une forte minéralisation. Ses griffons jaillissent sur la rive gauche de l'Oued El-Hammam, à 500m au sud du village.

2.2.4.4. Ain Nouissy (24)

La source thermale est située à 16km au Sud-Ouest du plateau de Mostaganem dans la commune d'Ain Nouissy (Fig.2.22). Cette source est caractérisée par une température relativement élevée 40°C.

L'affleurement de gypses triasiques d'Ain Nouissy qui s'étend sur environ quatre kilomètres, est traversé par les roches volcaniques du djebel Chegga. Ces gypses triasiques renferment des blocs de roches cristallophylliennes, généralement peu volumineux, à côté des roches franchement éruptives. Le diapir est situé sur la transversale Nord 50°W.

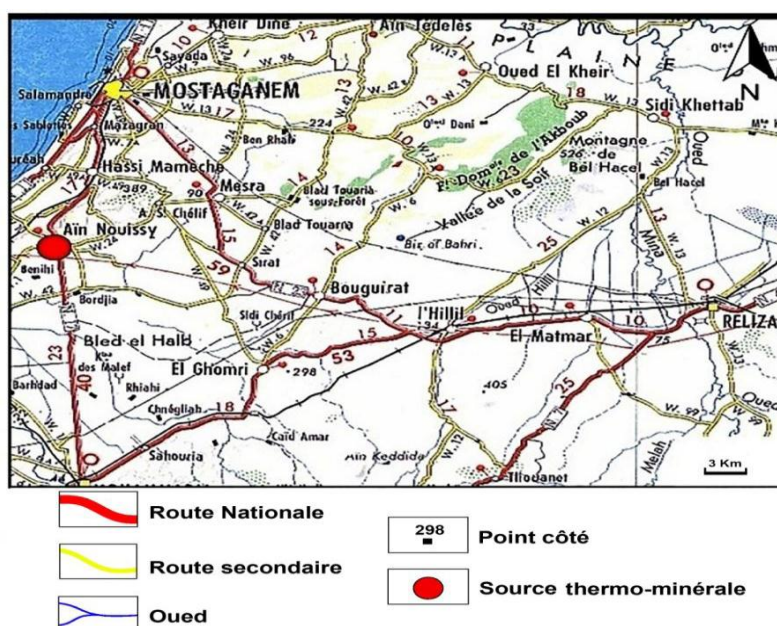


Fig.2.22: Carte de Situation géographique d'Ain Nouissy
Source : Extrait de la carte topographique de Mascara au 1/500000

Chapitre (2) : Généralité sur les sources chaudes en Algérie de point de vue Géologie et Hydrogéologie

2.3. Moyen Chélif

Le bassin du Chélif est un bassin subsident de type intra montagneux fonctionnant en graben le long de grandes flexures bordières [27].

La région du Moyen Chélif est située au Nord-Ouest de l'Algérie. Elle fait partie du bassin du Chélif, formée essentiellement par deux ensembles lithologiques :

- Les formations anténéogènes
- Les formations néogènes et quaternaire.

2.3.1. Aperçu lithostratigraphique :

Du point de vue lithostratigraphique, selon les travaux de Maghraoui (1988) et Perrodon (1957) :

2.3.1.1. Les formations anténéogènes

- Les terrains anciens autochtones :

Ils affleurent au niveau des bordures où ils se présentent le plus souvent en fenêtres tectoniques surmontées de terrains allochtones. De bas en haut, on distingue :

- Le Paléozoïque (Silurien et Permo-Trias) : il constitue l'essentiel du massif du Doui avec quelques apparitions au massif du Temoulga.
- Le Secondaire (Jurassique et Crétacé) : le Jurassique est présent dans les deux massifs précédents mais il est plus dominant au Doui.
- Le Tertiaire (Eocène) : le seul affleurement important se trouve au Sud du massif de Temoulga.

- Les terrains allochtones :

Il s'agit d'un empilement de nappes de charriage. On distingue trois grands ensembles : nappes A, nappes B et nappes C, elles-mêmes subdivisées en sous unités.

- Les nappes A : Elles occupent les zones les plus externes au sud du bassin et constituent une partie des Monts de l'Ouarsenis. Le faciès est représenté par le Crétacé marnogréseux et le Trias gypsifère.
- Les nappes B : Leur position est intermédiaire entre les zones internes et externes. Le faciès est essentiellement flyschoides à marneux, renfermant des blocs de quartzite et de calcaire. Ces terrains couvrent une grande surface de part et d'autre du bassin du Chélif.
- Les nappes C : Elles reposent sur tous les édifices des deux nappes antérieures. On les retrouve dans le Dahra au nord et à l'Ouarsenis occidental. Il s'agit de terrains Oligo-Miocène grés-micacés.

2.3.1.2. Les formations Néogènes et Quaternaires post-nappes (Fig.1.23)

Les terrains néogènes qui correspondent aux dépôts mio-plio-quaternaires post nappes reposent directement en discordance sur le substratum.

Chapitre (2) : Généralité sur les sources chaudes en Algérie de point de vue Géologie et Hydrogéologie

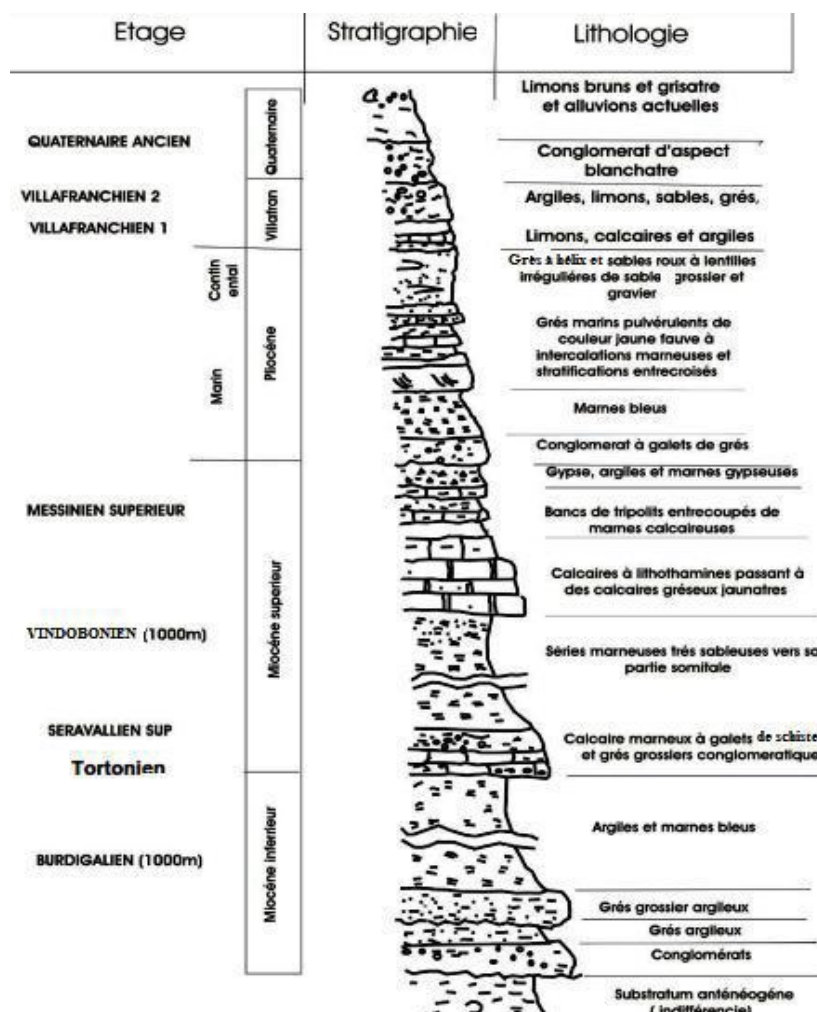


Fig.2.23 : Log stratigraphique synthétique de la plaine du Moyen Chelif Occidental [35] au 1/10000.

Ces dépôts, d'une épaisse série, sont essentiellement marins allant du Miocène inférieur au Pliocène inférieur et ont un caractère marneux dans les zones centrales subsidentes avec quelques dépôts détritiques en bordure.

La sédimentation continentale s'installe et fait suite à ces dépôts marins depuis le Pliocène supérieur au Quaternaire et continue à l'actuel.

2.3.2. Aperçu structural

La structure de la région est liée à la tectonique alpine où les phénomènes tectoniques synsédimentaires d'ampleurs diverses commandent la sédimentation.

Ce secteur d'étude se situe dans un domaine tectonique actif. On distingue :

2.3.2.1. Tectonique souple

Près de trois quarts du bassin du Moyen Chelif sont occupés par des formations plissées [27].

Le bassin a subi une tectonique polyphasée au cours du temps :

Chapitre (2) : Généralité sur les sources chaudes en Algérie de point de vue Géologie et Hydrogéologie

- Au Miocène inférieur : une phase de distension avec une direction d'allongement NNW–SSE qui a permis l'ouverture du bassin du Chélif ainsi que sa mise en place en tant que structure post-nappe [35].
- Au Miocène supérieur : une phase transgressive ayant provoquée le dépôt d'une épaisse formation de marnes qui s'est prolongée jusqu'à la fin du Miocène supérieur (formations terminales). Cet événement a pour effet de combler les bassins préexistants. En même temps que le comblement se faisait, des mouvements compressifs apparaissent et se traduisent par la formation de plis E-W à ESE-WNW.
- Pendant le Pliocène : un événement compressif se produit. Les déformations qui l'accompagnent s'expriment nettement en constituant des structures plissées qui tendent à réduire le bassin à un couloir étroit allongé Est-Ouest. Une importante phase se manifeste à la fin de cette période et met en place des plis de direction ENE-WSW.
- Au Pliocène supérieur : un épisode compressif déforme les niveaux continentaux du Pliocène supérieur suivant des plis de direction Est-Ouest.

2.3.2.2. Tectonique cassante

De nombreuses failles ont affecté la région du bassin du Moyen Chelif Occidental. Deux failles assez importantes ont été mises en évidence par Maghraoui (1988) [35]:

- Le pli-faille de Boukadir :

Cette structure anticlinale a une direction N50E et est située à 40Km du pli-faille de Chelif. Elle est transverse à la direction générale du bassin du Bas Chelif qui a une direction N70E-N80E.

- La faille de Relizane :

La limite Sud du bassin (qui est la limite sud des dépôts plio-quaternaires) est bien marquée par un contact tectonique linéaire entre les dépôts du quaternaire et les calcaires à lithothamnium du Miocène. C'est la faille de Relizane qui a une direction N70E et parcourt une distance d'environ 150 Km de la ville de Chelif à celle de Relizane.

2.3.3. Sources du Moyen Chélif

Nos sources thermo-minérales sont réparties dans deux formations aquifères, aquifère des calcaires à lithothamnium et aquifère du Plio-Quaternaire.

2.3.3.1. Ain Mentilia (37)

La source est localisée au Sud-Est d'Ammi Moussa sur la rive et dans le lit de l'oued Tléta. Les eaux d'Ain Mentilia ont une température qui ne dépasse pas 35°C (Fig.2.24).

Elle émerge d'une formation albo-aptienne, constituée d'une épaisse série rythmique de schistes très durs et de bancs de grès quartzitique, à l'Est de l'accident de Tiaret-Chelif-Tipaza.

Les eaux chaudes apparaissent sur une faille parallèle à l'accident principal et qui fait remonter l'Albien au niveau du Sénonien.

Chapitre (2) : Généralité sur les sources chaudes en Algérie de point de vue Géologie et Hydrogéologie

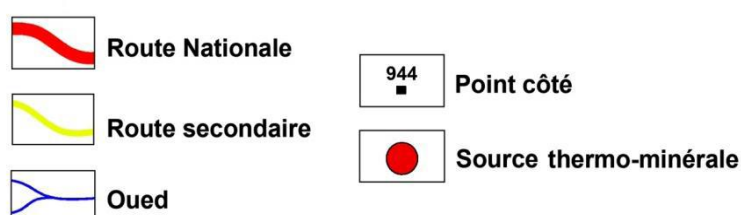
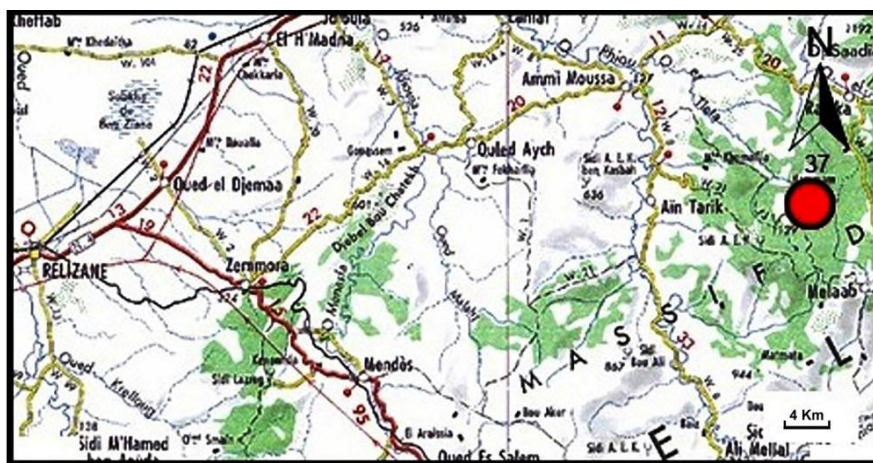


Fig.2.24: Carte de Situation géographique d'Ain Mentilia
Source: extrait de la carte topographique de Mascara au 1/500000.

2.3.3.2. Sidi Hadj (46):

La source thermale se trouve à environ 22km au Nord-Est de Tiaret, à quelques kilomètres de la route reliant la ville de Tiaret et la ville de Tissemsilt (RN14) (Fig.2.25).

Le secteur de la source est constitué par des formations d'âge miocène au Sud et au Nord ayant la même constitution lithologique [36]. Ces eaux ont une température entre 19°C et 23°C.

Les sources thermo-minérales d'Ain Mentilia et de Sidi hadj n'appartiennent pas à la région d'étude en raison de leur éloignement par rapport à la mer.

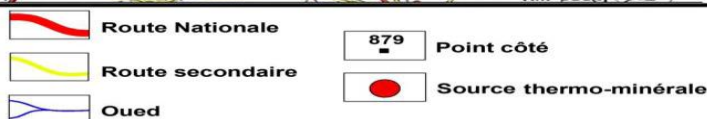
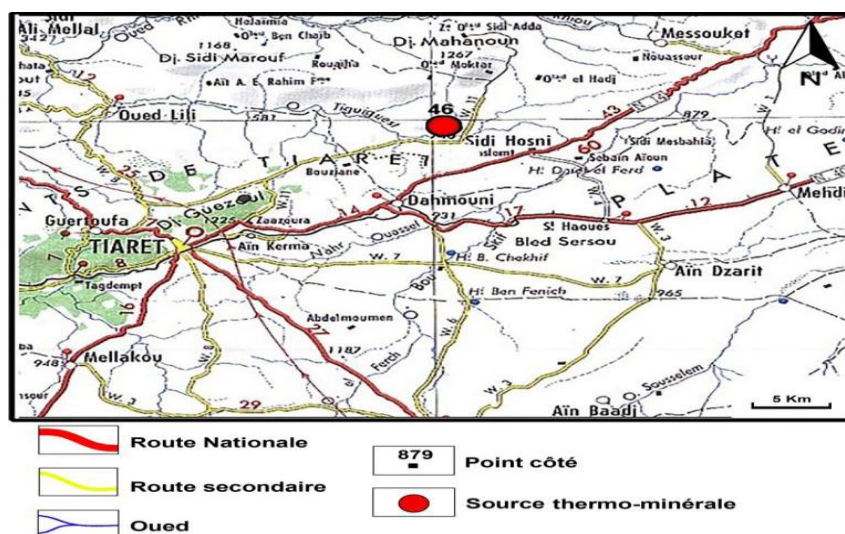


Fig.2.25: Carte de Situation géographique Sidi Hadj
Source: Extrait de la carte topographique de Mascara au 1/500000

2.4. Chott chergui

Bien que cette région ne fasse pas partie du littoral oranais, nous avons considéré une source et deux forages représentatifs du Chott Chergui à titre comparatif.

Le Chott Chergui est une vaste étendue plate de 27000km², situé au coeur des hautes plaines steppiques oranaises. Cette dépression est orientée WSW-ENE, comprise naturellement entre l'Atlas Tellien au Nord et l'Atlas Saharien au Sud. Il est limité, au Nord par les Monts de Saida et de Frenda, au sud par les Monts des Ksour, à l'Est par le djebel Amour et à l'Ouest par Chott el Gharbi. L'émergence la plus importante de cette dépression c'est Ain Skhoua [10].

2.4.1. Lithostratigraphie

Du point de vue lithostratigraphie du forage F34 le substratum secondaire, et les formations du Jurassique sont recouvertes, en discordance par des formations calcaires d'âge Sénonien et le toit est recouvert par le remplissage tertiaire [10].

2.4.2. Aperçu structural

Du point du vue tectonique, la région est affectée par deux systèmes de failles (Fig.2.26) :

- une première famille traduit en surface le passage de deux accidents profonds, le premier limite le chott à l'Est et se poursuit au Nord en direction de Tiaret-Tipaza, le second passe entre les deux dépressions et correspondant à l'accident Ain-Safra- Saida.
- une deuxième famille de faille de direction atlasique délimite les bordures des chotts.

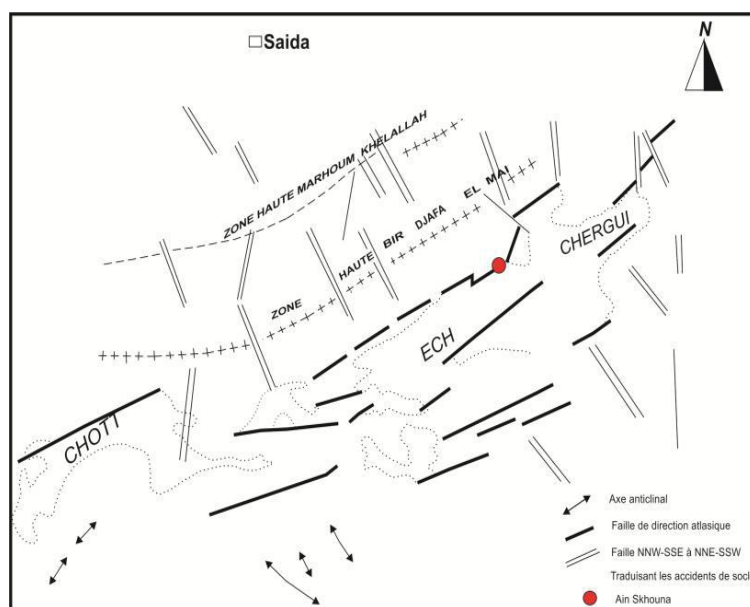


Fig.2.26: Schéma tectonique de la région du Chott Chergui [19]

2.4.3. Eaux thermales du Chott Chergui

2.4.3.1. Ain Skhoua (21, 22, 23)

Deux forages réalisés par l'ANRH (en 2014) et une source, captant les aquifères du Sénonien, sont situés à Skhoua, à 74km au Sud-Est de Saida (Fig.2.27). Le réservoir principal est constitué par les formations calcaires du Sénonien.

Les eaux d'Ain Skhoua émergent au Nord-Est du chott au droit de la faille qui limite celui-ci vers le Nord [19]. Ces eaux s'évaporent à proximité de la source et constituent, par leurs sels dissous et les alluvions, ce que l'on appelle "l'île de Skhoua" qui s'élève à plus de 7m au-dessus du Chott [37].

En profondeur, le Sénonien calcaire se présente en lambeaux, qui ne sont pas toujours en communication facile les uns avec les autres. Un de ces lambeaux joue un rôle essentiel, donnant naissance à la grosse source d'Ain Skhoua (Fig.2.28).

Pour l'essentiel, les eaux s'infiltrent probablement au NW dans la région de Saida où affleure le Jurassique, circulent dans les niveaux calcaires en direction SE vers les chotts. A ce niveau, la série du Jurassique supérieur joue le rôle d'écran imperméable et permet aux eaux de remonter à la surface par l'intermédiaire de la faille orienté SW-NE, responsable de la disposition des assises perméables du Lias-Dogger et imperméable du Malm. Un mélange avec des eaux plus superficielles peut se produire par le biais des eaux qui circulent dans la formation caillouteuse du remplissage tertiaire [19].

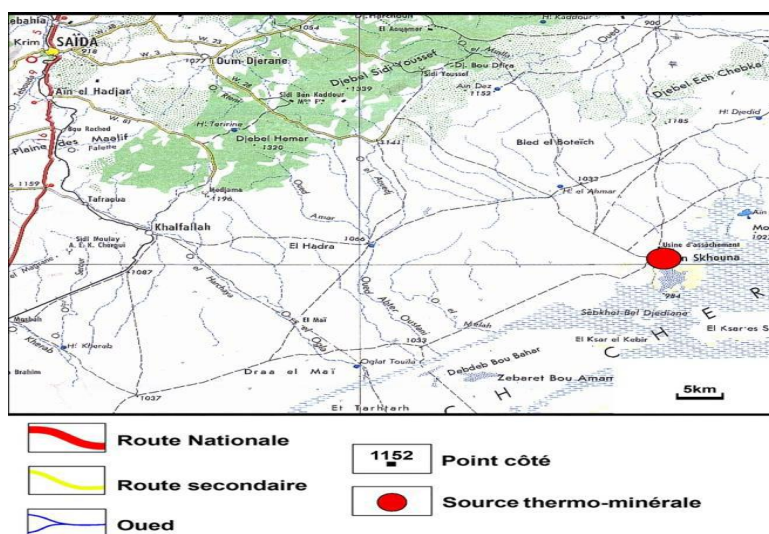


Fig.2.27: Carte de Situation géographique d'Ain Skhoua
Source : Extrait de la carte topographique de Mascara au 1/500000.

Chapitre (2) : Généralité sur les sources chaudes en Algérie de point de vue Géologie et Hydrogéologie

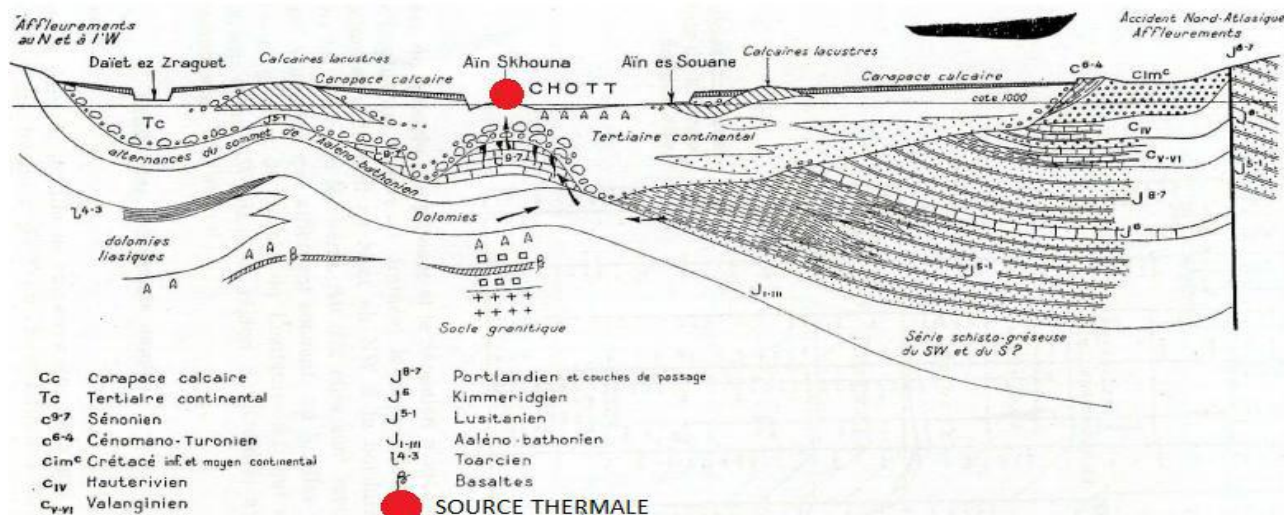


Fig.2.28: Coupe schématique montrant les liaisons hydrologiques possibles entre les divers horizons aquifères [37].

2.5. Atlas saharien occidental

Cette région ne fait également pas partie du littoral mais nous avons considéré un exemple de source représentative de l'Atlas saharien à titre comparatif.

L'Atlas saharien occidental ou l'Atlas saharien sud oranais ou encore les Monts de Ksour, constituent une région bien individualisée du point de vue structural. Ils séparent les hauts plateaux au Nord de la plate-forme saharienne au Sud par l'accident sud-atlasique.

2.5.1. Lithostratigraphie

Au point de vue stratigraphique, les Monts de Ksour sont essentiellement constituées de formations mésozoïques d'une épaisseur totale d'environ 6000m [38] et que l'on peut subdiviser en quatre ensembles principaux :

- un ensemble triasique argilo-gypseux accompagné de basaltes.
- une épaisse série carbonatée à la base, marneuse au sommet datée du Lias-Bajocien moyen.
- une série détritique argilo-gréseuse avec des passées carbonatées, attribuées au Bathonien-Albien.
- une série argilo-gypseuse avec des intercalations de bancs dolomitiques, surmontée de calcaires et de marnes. Cet ensemble est daté du Cénomanien-Turonien.

2.5.2. Aperçu structural

Sur le plan tectonique, le style cassant observé dans les Monts des Ksour est représenté par un système de failles à la faveur duquel remontent les sources thermominérales d'origine triasique, c'est le cas de la source thermo-minérale d'Ain Ouarka.

2.5.3. Source thermique de Monts de Ksour

2.5.3.1. Ain Ouarka (10)

La région d'Ain Ouarka se trouve à 60km au Sud-Est de la ville d'Ain Séfra. Elle est dotée d'une source thermo-minérale avec une température de 46°C (Fig.2.29 et 2.30).

Cette source du Sud Oranais se trouve au Nord Est de Tiout, à l'extrémité Nord de l'axe anticlinal liasique du djebel Chémarikh. Les eaux arrivent en surface par l'intermédiaire d'une zone faillée où apparaît un accident majeur dextre orienté W-E, sub-vertical, déterminant le contact entre les dolomies et les argiles du Trias.

Il existe deux griffons principaux, l'un alimentant le hammam, l'autre peu abondant et non capté en raison de son faible débit se déversant directement dans un lac qui doit son origine aux eaux thermales.

Ain Ouarka est caractérisé par l'énorme masse de calcaires dolomitiques du Djebel Chémarikh qui forme le coeur d'une structure anticlinale d'axe NE-SW.

L'anticlinal d'Ain Ouarka, long de 50 à 60km et large de 20km est une structure composite montrant plusieurs axes d'orientation variée [39].

Du point de vue hydrogéologique, les hauteurs du Djebel Chémarikh peuvent correspondre à l'aire d'alimentation où les eaux des précipitations et de fonte des neiges s'infiltrent profondément dans la masse dolomitique et calcaire liasique qui constitue certainement le réservoir principal des eaux thermales. L'accident sub-vertical orienté W-E constitue la branche ascendante des eaux vers la surface [19].

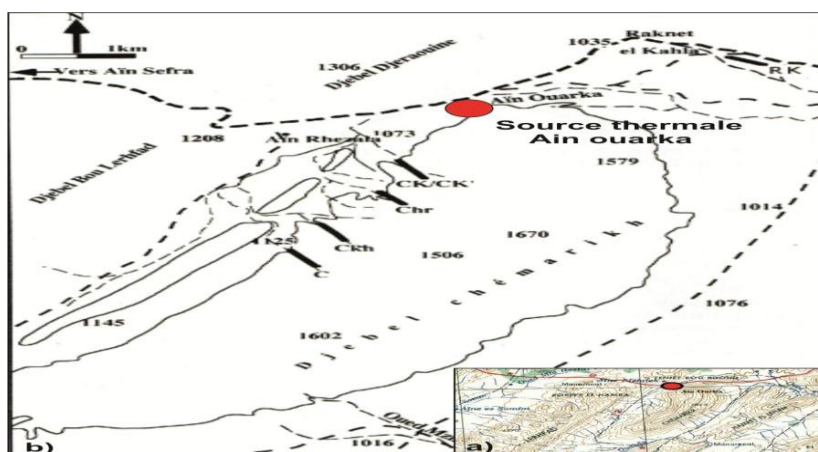


Fig.2.29: Carte de situations géographiques de Hammam Ain Ouarka
Source : a) Extrait de la carte topographique Ain Séfra au 1/125 000
b) Extrait de la carte topographique d'Ain Séfra au 1/100 000 N°13

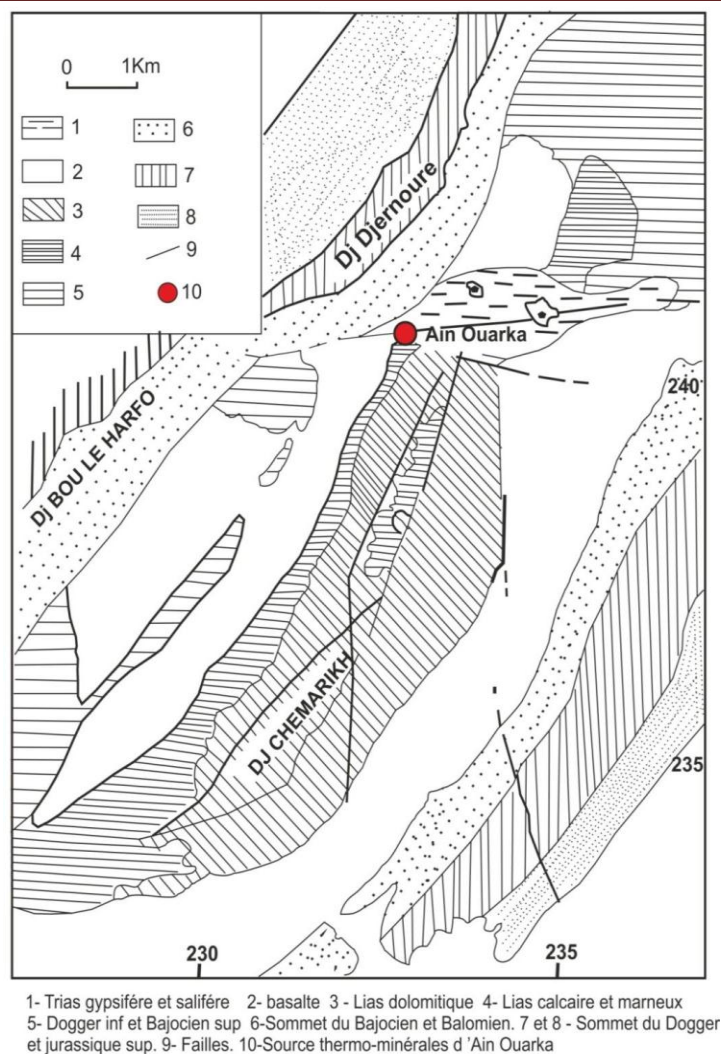


Fig.2.30: Carte géologique du secteur d'Ain Ouarka [38]

2.6. Thermalisme

Le thermalisme est l'utilisation thérapeutique des propriétés de certaines eaux minérales naturelles pour guérir ou soulager des personnes souffrant d'affections diverses. L'ensemble des moyens médicaux, sanitaires, administratifs, sociaux et d'accueil est mobilisé pour l'utilisation des eaux minérales, des gaz thermaux et des boues thermales à des fins thérapeutiques : on parle de thérapeutique thermique ou crénothérapie. La médecine thermique est naturelle par définition [40]. C'est une médecine douce, complémentaire et constitue une alternative aux autres soins médicaux.

Les soins sont dispensés par un personnel qualifié (kinésithérapeutes, infirmières, agents de soins thermaux) les soins proposés sont variés.

- Des traitements complémentaires à base d'eau : bains, douches, massages sous l'eau, rééducation en piscine, cures de boissons.
- Des traitements à base de boue : bains complets ou applications locales.
- La cure comprend : L'eau thermique pour un usage thérapeutique.

Chapitre (2) : Généralité sur les sources chaudes en Algérie de point de vue Géologie et Hydrogéologie

2.6.1 Thermalismes en France

La France est le troisième pays en Europe après l'Allemagne et l'Italie. Elle compte aujourd'hui 108 stations et 112 établissements thermaux habilités par le ministère de la Santé. Elles sont, pour la plupart, situées dans les massifs montagneux. En France, les cures thermales remboursées par la Sécurité sociale sont systématiquement délivrées sur une période de trois semaines. Les pratiques thermales sont variables d'une station à l'autre mais peuvent être regroupées sous différentes catégories. Elles avaient été recensées dans les différents établissements français par le Syndicat des médecins thermaux en 2004 [40].

2.7. Les stations thermales médicalisées

Parmi les nombreuses stations thermales qui existent en Algérie, huit seulement sont médicalisées, il s'agit des stations thermales : Hammam bouhanifia (mascara), Hammam bouhadjar (Ain temouchenet), Hammam boughrara (Tlemcen), Hammam Rabi (Saïda), Hammam Righa (Ain Defla), Hammam Guergour (Setif), Hammam salhine (Biskra), Hammam Meskoutine (Guelma).

Ces stations thermales sont gérées par la société Algérienne de thermalisme et sont conventionnées avec les différentes caisses de sécurité sociale (CNAS, Casnos, caisse militaire), [41].

Les établissements disposent de structures d'accueil et d'équipements adéquats ainsi qu'un encadrement médical et paramédical qualifié pour prodiguer des soins basés sur des méthodes scientifiques de la crénothérapie aux différents malades et curistes.

Les autres stations thermales éparpillées à travers le territoire national enregistrent par contre un déficit dans les infrastructures d'accueil, elles sont surtout sollicitées par les curistes pour les bains thermaux traditionnels.

2.7.1. Hammam Boughrara

La station thermale de hammam Boughrara est mise en exploitation en 1974, ses eaux sulfatées et bicarbonatées sodiques, émergent à une température de 45°C.

Les indications thérapeutiques sont d'ordre rhumatologique, dermatologique, gynécologique et respiratoire. Les techniques thermales consistent en des bains simples, bains carbo-gazeux, bains locaux, douches au jet, auxquelles s'ajoutent des soins complémentaires : thermothérapie (infrarouges et applications de paraffine), électrothérapie, massage à sec [42].



Fig.2.31 : Hammam Boughrara [9]

Chapitre (2) : Généralité sur les sources chaudes en Algérie de point de vue Géologie et Hydrogéologie

2.7.2. Hammam Bouhadjar

La station thermale est mise en exploitation en 1974, on y dénombre une quarantaine de sources en majorité chaudes, entre 35 et 72°C. Les indications thérapeutiques principales sont les rhumatismes et les séquelles de traumatismes ostéoarticulaires qui regroupent 85% des curistes. Qualité de ses eaux : Eaux Chlorurées Sodiques (70 ° C) [42].



Fig.2.32 : Hammam Bouhadjar [9]

2.7.3. Hammam Bouhanifia

Les eaux thermales jaillissent à des températures entre 20 et 70°C. Les principales maladies traitées sont le rhumatisme dégénératif (arthrose), le rhumatisme inflammatoire chronique, les séquelles de traumatisme et tous les autres cas liés aux problèmes de la sphère (ORL) [42].



Fig.2.33: Hammam Bouhanifia [9]

2.7.4. Hammam Rabbi

La station thermale de Hammam Rabbi est mise en exploitation en 1970, son eau a des origines profondes et arrive en surface sous pression à une température moyenne de 40°C et un débit moyen de 8 l/s. Les eaux thermale de hammam Rabbi traitent les affectations en : Dermatologie, douleurs rhumatismales aiguës, articulaires, fièvres anémiques, affections cutanées et respiratoires [42].



Fig.2.34 : Hammam Rabbi [9]

2.7.5. Hammam Righa

En 1934, la station comprenait un hôpital militaire et plusieurs établissements environnants.

L'hôpital est alimenté par neuf sources dont le débit total est de 15l/s. Les eaux sont sulfatées calciques hyperthermales (54°C).

Les techniques de cure sont classiques : balnéation générale et locale, douches au jet et affusions, massages sous l'eau, mésothérapie à sec, électrothérapie, rééducation et enveloppements de paraffine [42].

2.7.6. Hammam Guergour

Les études physico-chimiques faites à diverses reprises ont toutes conclu à la radioactivité des eaux thermales et minérales, elles sont classées au 1er rang en Algérie et au 3ème rang mondial après les bains de Brembach (Allemagne) et les bains de Jachimov (Tchécoslovaquie), son taux de radioactivité est de 122 milli microcuries/l.

Elles se placent de par leur composition chimique dans le groupe des eaux sulfatées calciques et chlorurée sodiques dont les eaux sont hyperthermales à une température avoisinant 44°C Dans le cadre du développement du tourisme thermal en Algérie, le gouvernement décida la construction d'un complexe thermal au milieu des années soixante-dix au niveau d'un ancien site romain qui surplombe le village de Hammam Guergour sur une superficie de 14 hectares, Il fut inauguré le 20 juin 1987.

Aujourd'hui la station thermale de hammam Guerguour accueille des curistes pendant toute l'année pour des soins rhumatologiques et neurologiques, elle ne cesse de prendre de l'ampleur et de l'estime auprès de toutes les personnes qui s'y rendent [42].

2.7.7. Hammam Meskoutine

Il existe neuf sources hyperthermales dont la température de l'eau varie entre 90et 98°C, le débit total des sources actuelles n'est pas inférieur à 55 l/s. Les eaux sont d'une nature saline, avec une odeur sulfureuse, leurs faciès chimique est bicarbonaté calciques, chloruré sodique, radioactives, avec dégagement d'hydrogène sulfuré. Les indications sont prioritairement rhumatologiques mais aussi respiratoires (ORL et bronches) [42].



Fig.2.35 : Hammam Meskoutine [9]

2.7.8. Hammam Salhine

Hammam Salhine est fréquenté par de nombreux curistes, il enregistre jusqu'à 700 000 visiteurs par an. Il a été aménagé le 20 Septembre 1988 sur la base de l'ancienne source. La température des eaux avoisine 70 °C, elles sont sulfurées et chlorurées sodiques avec un débit de 65l/s. leur composition chimique leur confère des thérapeutiques indiquées pour les maladies rhumatismales, respiratoires et dermatologiques [42].



Fig.2.36 : Hammam Salhine [9]

2.8. Eaux minérales et eaux de sources

Les vertus thérapeutiques se confirment d'année en année et sont aujourd'hui reconnues pour douze orientations thérapeutiques : affection des muqueuses bucco –linguales; affections psychométriques, dermatologie, gynécologie, maladies de l'appareil digestif et maladies métaboliques, maladies de l'appareil urinaire, neurologie, rhumatologie et séquelles des traumatismes ostéo-articulaires, troubles de la croissance et voies respiratoires.

Au cours des dernières années, des études scientifiques ont été menées pour prouver que le thermalisme contribue à réduire les douleurs et les symptômes de certaines maladies, telles que la lombalgie, l'eczéma, la dépression ou affection ORL.

Chapitre (2) : Généralité sur les sources chaudes en Algérie de point de vue Géologie et Hydrogéologie

2.8.1. Les eaux bicarbonatées:

Les eaux bicarbonatées qui contiennent également du sodium sont indiquées pour le traitement des affections gastro-intestinales et hépato-biliaires (foie).

Celles qui contiennent également du calcium ont un effet anti-inflammatoire apaisant et cicatrisant qui agit sur les maladies de la peau .elles sont indiquées pour le traitement de l'acné et des brulures [43].

2.8.2. Les eaux sulfatées

Fortement chargées en soufre, ces eaux sont indiquées pour les affections du rein celles qui contiennent également du calcium et du magnésium sont indiquées pour le traitement de l'acné, et des brulures [43].

2.8.3. Les eaux sulfurées

Elles exercent une action curative sur les muqueuses grâce à leur taux élevé en soufre et sont indiquées pour le traitement des eczémas, des séquelles et cicatrices de brulures [43].

2.8.4. Les eaux chlorurées:

Riches en chlorure de sodium, elles ont effet stimulant sur la croissance et sont indiquées dans le traitement des troubles du développement et de l'énurésie [43].

2.8.5. Les eaux Oligo-métalliques:

Elles peuvent être riches en cuivre, en fer ou en arsenic. Les eaux en cuivre sont indiquées en dermatologie, celles contenant du fer sont utilisées pour le traitement de l'anémie et celles qui contiennent de l'arsenic interviennent dans le traitement des allergies [43].

2.9. Conclusion du chapitre

Les observations que nous pouvons tirer de ce chapitre se résument comme suit : Les sources thermo-minérales étudiées sont intimement liées aux conditions lithostructurales: d'une part, certaines sources sont considérées comme des manifestations tardives du volcanisme, lui-même lié à la tectonique, c'est le cas de Hammam Boughrara et Hammam Bouhadjar, et d'autre part, les circuits empruntés par l'eau sont créés par des failles et des fissures c'est le cas de la majorité des sources aussi bien du littoral oranais possède de nombreuses sources thermo-minérales, répartis sur l'ensemble de son territoire, dont la majorité se trouve au Nord dans le domaine tellien que l'Atlas Saharien (Ain Ouarka). Ces failles sont souvent injectées d'évaporite triasique, leurs directions sont NE-SW, NW-SE et E-W. Par ailleurs, il apparait que les principaux réservoirs de la majorité des sources thermo-minérales étudiées correspondent aux formations carbonatées et gréseuses.

L'Algérie a fait preuve de richesse en eaux sources thermales et minérales depuis longtemps. Ces eaux ont été convoitées depuis des lustres par les déférentes expéditions coloniales, les vandales par la suite, les romains, les turcs et enfin de façon très particulier par les militaires, les médecins, les pharmaciens, les laborantins français qui se sont intéressées de près à cette denrée et à son usage thérapeutique, en fonction de sa qualité les sources

Chapitre (2) : Généralité sur les sources chaudes en Algérie de point de vue Géologie et Hydrogéologie

thermales aménagées en Hammam dans notre région d'étude seront orientées vers des indications thérapeutiques propres pour lutter contre certaines maladies. La classification de ces eaux minérales utiles en thermalisme repose : dans notre région d'étude pourront être utilisés dans les affections gastro-intestinales, dans les affections du rein, du foie et des voies biliaires, leurs indications thérapeutiques intéressent les maladies de l'enfant (hypotrophie, affections respiratoires), les affections du système nerveux central et périphérique et la gynécologie. Elles sont aussi très utilisées pour la rééducation physique.



Chapitre (3)

A travers l'existence de nombreuses sources thermo-minérales réparties sur la presque totalité du Nord-Ouest algérien, nous pouvons déjà affirmer que le potentiel géothermique de cette région est non négligeable.

Les études sur la relation tectonique et thermalisme ont montré qu'il y a un lien étroit entre tectonique cassante polyphasée et hydrothermalisme ([44] ; [45] ; [46]). Dans ce lien, la tectonique actuelle et l'histoire néotectonique influent sur la position des émergences ([47] ; [48]) comme sur certaines caractéristiques hydrogéochimiques telles que la radioactivité ([49] ; [50] ; [51] ; [52]) et le dégagement de CO₂ [46].

Les études géochimiques classiques et isotopiques des eaux thermo-minérales permettent d'expliquer la plupart des circuits hydrothermaux, de définir l'origine des eaux en précisant les zones d'alimentation, de transit et d'émergence, les processus d'acquisition de la température et de la minéralisation ainsi que de déterminer les températures acquises par les eaux au cours de leur enfouissement [19].

L'objet de l'hydrogéochimie est donc de transposer au milieu ce qu'étudie la chimie des solutions au laboratoire, en d'autres termes de définir les processus affectant la répartition et la circulation des composés chimiques dans les eaux naturelles [54]. Ce passage de laboratoire à la nature implique cependant la prise en compte de dimensions géologiques et biologiques, ainsi les temps mis en jeu dans le milieu naturel sont généralement beaucoup plus longs et conduisent plus souvent qu'au laboratoire à des équilibres stables [55].

L'étude du chimisme de l'eau consiste à donner un aperçu sur la qualité des eaux des sources. Le but escompté à travers cette étude est de sortir avec une explication concernant la relation géologique et la chimie des eaux. L'interprétation des résultats d'analyses chimiques a pour but de déterminer les différents faciès chimiques des différentes analyses. Les caractéristiques physico-chimique d'une eau thermo-minérale sont la thermalité et

La composition chimique. Pour étudier la physico-chimie des eaux, il est nécessaire de faire :

- * L'étude de la thermalité : causes, températures observées et essais d'évaluation des températures en profondeur à l'aide des géothermomètres ;

- * L'étude de la chimie : représentations graphiques des faciès chimiques.

1. Quelques définitions :

Eau thermale :

Il s'agit d'une eau dont la température est supérieure à la température moyenne des eaux de nappe de la région. En général, la température des eaux régionales est très proche de la température moyenne annuelle de l'air dans cette même région. La température des eaux du sol et du sous-sol suivent les variations de la température de l'air avec un décalage temporel et un amortissement qui augmente avec la profondeur. Au-delà de 1,50m les températures peuvent être considérées comme constantes (sauf cas particulier comme certains systèmes karstiques). Donc les eaux thermales sont des eaux dont la température est supérieure à cette valeur régionale. On distingue les eaux thermales de basse enthalpie (basse température) et les eaux thermales de haute enthalpie [56].

Eau minérale

Eau dont la composition chimique est recommandée pour une bonne santé, ce caractère, qui peut paraître suggestif, est défini par l'Académie de Médecine à partir de sa composition chimique. En effet, certaines eaux thermales, du fait de la température du réservoir, acquièrent des propriétés chimiques particulières, différentes des caractéristiques habituellement observées pour les eaux froides de surface. Du fait des températures qui peuvent être élevées dans le réservoir (200 ou 300 °C), elles sont capables de dissoudre certains minéraux et s'enrichir "oligo" éléments durant le long temps de contact, parfois plusieurs dizaines de milliers d'années, avec les roches du réservoir profond.

Par ailleurs, le circuit des eaux thermales est généralement assez long, aussi les eaux thermales sont généralement exemptes de contaminants tels que les nitrates et les produits xénobiotiques.

A côté de ses définitions, d'autres termes peuvent apparaître comme "Eau thermo-minérale" ou d'autres dénominations qui ne sont pas reconnues.

Si l'on compare les définitions de l'eau minérale données par différents auteurs, on constate que la phrase suivante se trouve dans toutes les définitions à savoir que "l'eau minérale naturelle est une eau douée de propriétés thérapeutiques". Mais avant de définir une eau minérale, la nécessité de faire la distinction entre eau minérale et eau minéralisée s'impose :

Une **eau minéralisée** est une eau ayant une concentration importante en sels minéraux : Calcium – Magnésium – Sodium – Potassium – Chlorures – Carbonates – Bicarbonates et Sulfates.

Une **eau minérale** naturelle est une eau de source naturelle, douée de propriétés thérapeutiques et ce quel que soit son degré de minéralisation.

Elle provient des grandes profondeurs terrestres (gisement souterrain) se caractérisant par la stabilité de ses caractéristiques physico – chimiques dans le temps, par sa pureté originelle et à l'abri de tout risque de pollution. Elle ne répond pas aux normes de potabilité, ce qui la différencie des eaux de boisson, et ne subit aucun traitement. L'eau minérale peut être froide ou chaude [57].

Eau thermale

C'est une eau dont la température propre est indépendante de celle du lieu de son émergence, elle est supérieure à la température moyenne annuelle de l'air +4°C ou, à la température moyenne du sol +2 °C (les températures moyennes de l'air étant calculées sur une période statistiquement valable et ne peut par conséquent être inférieur à 30 années. On peut également la définir ainsi :

Une eau thermale est une eau d'origine souterraine naturellement chaude à son émergence, dotée de propriétés thérapeutiques et utilisée dans un établissement thermal, (thermes). Son application en médecine thermale fait appel aux éléments chimiques contenus dans les eaux, les gaz et les boues.

Les eaux chaudes ont été recherchées par l'homme pour se soigner dès le tout premier âge de l'humanité.

Eau minérale froide

Une eau minérale est une eau dont la composition chimique diffère de celles des eaux souterraines locales au lieu de son émergence et qui renferme des substances dissoutes en très petites ou en très grandes quantités, assez actives pour modifier profondément ses qualités ordinaires.

On distingue plusieurs types d'eaux minérales :

- eau minérale naturelle non gazeuse ;
- eau minérale naturellement gazeuse ;
- eau minérale renforcée au gaz de la source ;
- eau minérale gazéifiée.

On classe les eaux minérales en fonction de l'anion prédominant et à partir de teneurs en sels bien déterminées :

- eau sulfatée si $SO_4^{-2} > 200 \text{ mg/l}$;
- eau calcique si $Ca^{+2} > 150 \text{ mg/l}$;
- eau sodique si $Na^+ > 200 \text{ mg/l}$;
- eau bicarbonatée si $HCO_3^- > 600 \text{ mg/l}$;
- eau magnésienne si $Mg^{+2} > 50 \text{ mg/l}$;
- eau chlorurée si $Cl^- > 200 \text{ mg/l}$;
- eau fluorée si $F^- > 1 \text{ mg/l}$;
- eau ferrugineuse si $Fe > 5 \text{ mg/l}$;
- eau convenant à un régime pauvre en sels si $Na^+ < 20 \text{ mg/l}$.

Il faut rappeler qu'une eau de source est différente d'une eau minérale.

Eau de source

Les eaux des sources sont des eaux adaptées à la consommation humaine, microbiologiquement saines et protégées contre les risques de pollution. Les eaux de sources comme les eaux minérales proviennent d'une nappe ou d'un gisement souterrain, exploité à partir d'une ou

plusieurs émergences naturelles ou forées, à proximité des quelles l'eau est conditionnée. Elles ne peuvent faire dès l'objet d'un traitement ou adjonction autre que :

- La séparation des éléments instables et la sédimentation des matières en suspension par la décantation ou filtration.
- L'incorporation de gaz carbonique ou la dégazéification.

2. Les deux types d'eaux thermales fréquentes

a- Les eaux carbogazeuses

Les eaux carbogazeuses sont des eaux chargées en CO₂ ; qui peut être produit exemple par la décomposition de la calcite à haute température qui libère le gaz, en effet lorsque des calcaires sont enfouis et portés à haute température, une décomposition de la calcite se produit. Le Calcium et un Oxygène se recombinent par exemple dans une structure silicatée, alors que le CO₂ libéré peut se dissoudre dans l'eau du réservoir.

La quantité de CO₂ dissous est proportionnelle à la pression partielle de ce gaz dans la phase gazeuse en contact avec l'eau. Du fait de la pression liée par exemple à la colonne d'eau surmontant le réservoir, le CO₂ est dissous, parfois en grande quantité. Le pH qui en résulte est bas et la solution peut dissoudre de grandes quantités de calcite.

Lors de la remontée de l'eau carbogazeuses des modifications physico –chimiques importantes se produisent.

Lors de la remontée des eaux vers la surface, la pression diminue car la hauteur de la colonne d'eau située au-dessus diminue. Tant que la pression totale est supérieure à la pression partielle en CO₂, la solution constitue une phase homogène unique. En revanche dès que la pression totale devient inférieure à la pression partielle en CO₂, le CO₂ commence à changer de phase.

Des bulles de gaz apparaissent, c'est le point de bulle. Le mélange qui remonte devient alors multiphasique, il s'agit d'un mélange eau/gaz. Au fur et à mesure de la remontée, le volume gazeux augmente rapidement du fait de la conjonction de plusieurs phénomènes : la pression partielle en CO₂ diminue en s'ajustant sur la pression totale, ce qui provoque un passage d'une quantité croissante en CO₂ de la phase aqueuse vers la phase gazeuse.

De plus, la pression totale diminuant, le volume des bulles subit une expansion selon la loi des gaz parfait : $V = NRT/P$, N augmente, P diminue donc V augmente fortement. Ce processus favorise la remontée du fluide multiphasique et la perte de CO₂ s'accompagne d'une élévation de pH et une augmentation du produit ionique par rapport à la calcite. A partir d'un certain stade, l'index de saturation par rapport à ce minéral devient positif et la solution est sursaturée par rapport à la calcite qui peut alors précipiter, l'eau devient incrustante [56].

b- Les eaux Sulfurées

Il s'agit d'eaux riches en Sulfures et autres composés soufrés ayant différents niveau d'oxydo réduction (Sulfites, Thiosulfates, Soufre organique, Sulfate, Polysulfures, etc...). La présence de

sulfures, notamment d'hydrogène Sulfuré, même à l'état de traces induit une odeur très caractéristique.

De manière générale, ces eaux sont marquées par un caractère réducteur, les espèces réduites étant relativement diverses (non seulement pour l'élément Soufre mais aussi d'autres éléments comme le Fer et de concentration variable, on mesure la quantité totale de composés réducteur par la quantité totale de dioxygène nécessaire à l'oxydation de toutes les formes réduites, sans distinction.

La quantité de dioxygène nécessaire à l'oxydation complète sera bien évidemment d'autant plus importante que les formes seront plus réduites et que la concentration de ces dernières sera plus élevée [56].

3. Généralités et méthode d'étude des eaux thermo-minérales

3.1. Caractérisations des eaux thermo-minérales

Selon la commission des eaux minérales et thermales de l'Association Internationale des Hydrogéologues [19], une eau est dite thermale lorsque la température à l'émergence est supérieure à celle de la partie supérieure de la zone d'homothermie. En d'autres termes, c'est une eau dont la température à l'émergence est supérieure de 4°C à la température interannuelle du lieu considéré.

Une eau minérale étant une eau : « dont la composition chimique diffère de celle des eaux souterraines locales du lieu de son émergence et qui renferme des substances naturelles dissoutes ou en très petite quantité ou en très grandes quantités, ou assez actives pour modifier profondément ses qualités ordinaires » [31].

Une eau thermo-minérale cumule l'ensemble des caractères précédents (cf. annexe 1).

3.1.1. Gisement d'eau thermo-minérale

Un gisement d'eau thermo-minérale est défini comme étant l'ensemble de la structure géologique souterraine située au droit d'une zone géographique délimitée, et de laquelle il est possible d'extraire, moyennant la mise en œuvre de techniques appropriées, de l'eau minérale naturelle [58]. La figure n° 3.1 représente les différentes composantes d'un gisement d'eau thermo-minérale :

3.1.1.1. L'impluvium : secteur d'alimentation du gisement. Les fluides alimentant le réservoir souterrain peuvent être de différentes natures (eau météorique, eau de mer, eau de rivière)

3.1.1.2. La zone de transit : secteur dit de circulation « profonde » de fluide (la notion de profondeur est très relative d'un site à l'autre). La zone de transit permet aux fluides d'acquérir des caractéristiques physico-chimiques spécifiques (thermalité, minéralisation) grâce aux modifications des conditions physiques rencontrées (nature lithologique des roches encaissantes, pression, température, flux de fluide géothermaux).

3.1.1.3. La zone d'émergence : secteur où l'eau thermo-minérale sourd. La connaissance du fonctionnement du gisement est primordiale pour en permettre une exploitation maîtrisée, assurant sa préservation dans le temps.

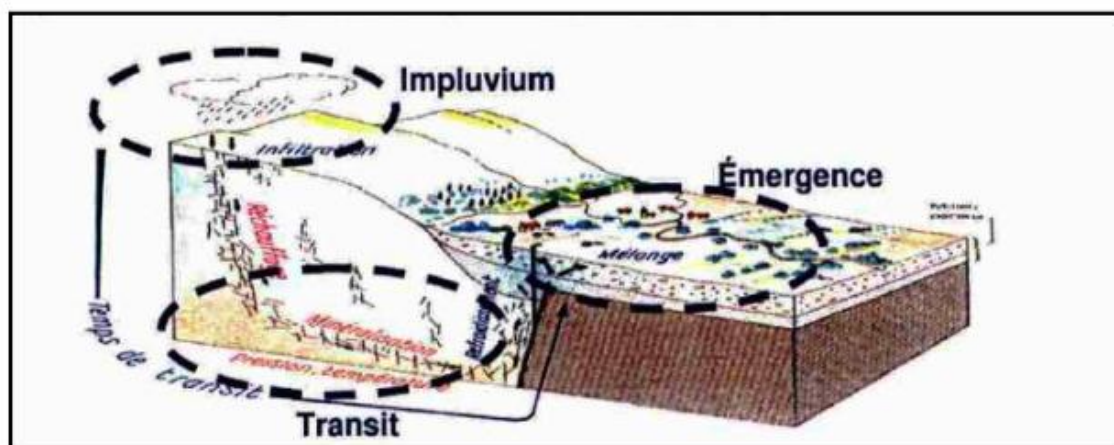


Fig. n°3.1: Gisement d'eau thermo-minérale
(d'après Guide qualité pour la ressource en eau minérale - BRGM édition, 2004)

3.1.2. Classifications des eaux thermo-minérales

Les deux principaux caractères des eaux thermo-minérales sont la température et la minéralisation.

3.1.2.1. Thermalité

Selon P. Verdeil (1987) [59] il y a divers facteurs susceptibles d'intervenir pour assurer la thermalité de l'eau, ce sont :

a- Le gradient géothermique

La structure de la terre, telle que nous la connaissons montre qu'elle conserve en son sein des masses en fusion (asthénosphère), d'ailleurs prouvées par les volcans. Donc la température diminue du centre vers la périphérie. Le flux central de la terre est estimé à 85.10^{11} calories par seconde au total. Il n'y a donc rien d'étonnant à ce que la chaleur augmente quand on s'enfonce dans le sol. Cette chaleur se mesure par le gradient géothermique qui est l'élévation de température pour 100 mètre d'enfoncement dans l'écorce terrestre. Ce gradient est fonction de la conduction calorifique des roches, donc de leur nature lithologique, de la tectonique de la région et est le résultat de toutes les causes de la thermalité, c'est-à-dire les réactions exothermiques, la désintégration des minéraux ou corps, les mouvements de l'écorce terrestre.

Dans les bassins sédimentaires, il vaut en moyenne $3,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ pour 100 m, mais ces valeurs sont très variables. De plus, si ces valeurs sont très connues pour les premiers kilomètres, elles le sont très mal pour les couches plus profondes.

Ces températures des sols deviennent celles des aquifères donc de l'eau. Pour l'Algérie septentrionale P.Verdeil admet pour le flux une valeur moyenne calculée par la formule :

$$F = 55,4428 \pm 0,4187). 10^{-6} \text{ j/cm}^2/\text{s}$$

La présence de phénomènes volcaniques, de sources chaudes et d'autres manifestations naturelles telle que les séismes ont conduit à supposer l'existence de hautes températures. Donc la température augmente rapidement avec la profondeur, cette augmentation de la température en fonction de la profondeur est expliquée par le terme de gradient géothermique.

a. 1. Anomalie géothermique dans l'Algérie du Nord

La carte du gradient géothermique établie par N. Kazi Tani en 1974 à l'aide des diagraphies thermométriques continues et des relevés de températures donne une approche globale du gradient géothermique de l'Algérie du Nord (Fig. n°3.2). Cette carte met en évidence deux secteurs à forte anomalie géothermique:

- le premier concerne la région d'étude du littoral oranais.
- le second concerne tout le secteur compris entre Skikda et Annaba et qui se poursuit vers le Sud-Est jusqu'à Tebessa.

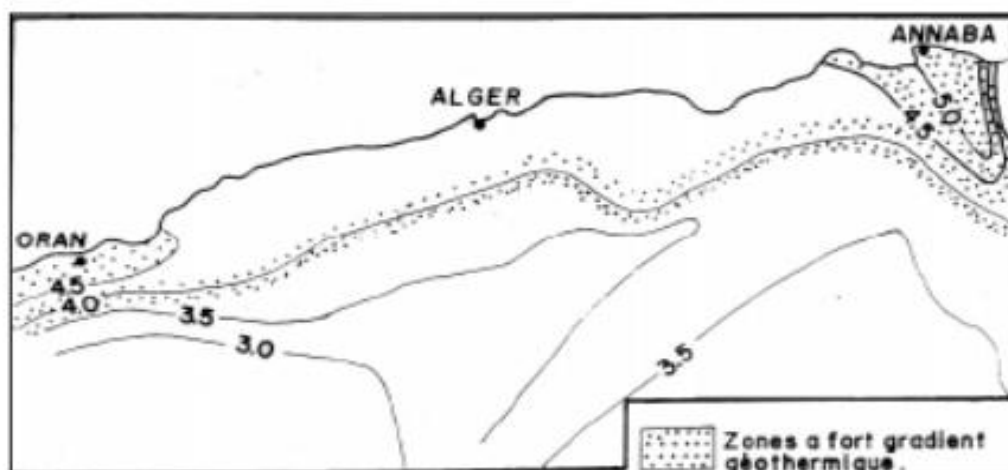


Fig. n°3.2: Carte du gradient géothermique de l'Algérie du Nord [72].

a. 2. Perte de chaleur

Il est important de signaler que la température mesurée à l'émergence n'est pas forcément représentative de la température réelle du griffon, un refroidissement des eaux thermales ayant pu se produire au cours de leur remontée vers la surface par dégazage, échanges thermiques avec les parois du circuit hydrothermal, ou par mélange avec les eaux froides en surface ou en profondeur.

b. Les réactions chimiques exothermiques

Elles ont pu être invoquées pour expliquer la thermalité de quelques sources. Parmi les réactions les plus courantes : la réduction des sulfates, la transformation de l'anhydrite en gypse, l'oxydation des pyrites de fer.

c. La désintégration des minéraux radioactifs

La désintégration des minéraux radioactifs peuvent aussi engendrer une élévation considérable de la température des eaux.

d. Les mouvements de l'écorce terrestre

Dans les zones actives de la marge algérienne, il y aurait production d'énergie calorifique liée :

- à des déformations mécaniques lentes dont l'existence est traduite dans ces secteurs par la microsismicité.
- à la rupture des formations mises sous tension dans les grandes zones de dislocation (séismes).
- à des déplacements lents du réseau de failles sans séismes majeurs.

Cette énergie serait ensuite véhiculée vers la surface par les eaux souterraines circulant dans les zones de dislocation. Il n'est pas possible pour l'instant d'estimer son ordre de grandeur, faute d'un réseau de mesures au niveau de failles actives. Retenons cependant à titre indicatif que, lors du séisme de Chlef du 10 octobre 1980, des fissures ouvertes dans les calcaires du Djebel des Attafs ont laissé échapper des dégagements gazeux qui ont carbonisé la végétation environnante [60].

3.1.2.2. Chimisme de l'eau

Certaines eaux thermo-minérales, du fait de la température du réservoir, acquièrent des propriétés chimiques particulières, différentes des caractéristiques habituellement observées pour les eaux froides de surface. Du fait des températures qui peuvent être élevées dans le réservoir (200 ou 300°C), elles sont capables de dissoudre certains minéraux et s'enrichir en «oligo» éléments.

Le temps joue un rôle principal dans les processus de dissolution ; l'acquisition de la minéralisation d'une eau n'est pas instantanée et le circuit des eaux thermo-minérales est généralement assez long : plus le contact avec la roche est long et plus l'eau a le temps de dissoudre et de se minéraliser pour tendre vers un équilibre fixé par les constantes de dissolution de chaque minéral.

On peut distinguer deux types d'eaux selon la minéralisation :

- a- Sources avec $RS > 1000$ mg/l.
- b- Source avec $RS < 1000$ mg/l.

3.1.3. Exploitation des eaux thermo-minérales

En Algérie, les sources thermo-minérales sont utilisées à l'heure actuelle pour de simples traitements médicaux. Il s'agit de cinq stations médicalisées dans l'Ouest Algérien: Hammam Bouhnifia, Hammam Chiguer, Hammam Boughrara, Hammam Bouhadjar et Hammam Rabi.

Les utilisations de la géothermie dans le monde sont nombreuses (production d'électricité, chauffage de serre, balnéothérapie, etc.). Plus de 60 pays utilisent cette énergie comme les Etats-Unis, le Japon, l'Islande, la Nouvelle-Zélande, la France et la Suisse.

En Islande, plus de 80 % des maisons sont chauffées par les eaux thermales, c'est le cas de Reykjavik.

Le potentiel géothermique étant très important dans notre pays, il est souhaitable que l'Algérie suive ces exemples. La demande de l'exploitation reste malheureusement très limitée et se restreint principalement à la balnéothérapie et aux usages domestiques.

3.2. Hydrogéochimie des eaux thermo-minérales

L'étude de la chimie des eaux est une méthode de prospection hydrogéologique qui permet la caractérisation des aquifères. En effet, la composition chimique des eaux souterraines dépend en grande partie du type de roche encaissante, des évolutions hydrodynamiques des écoulements, de la profondeur des écoulements (température) et la zone climatique [61].

La géochimie est un puissant outil permettant de contribuer à la compréhension des circulations des eaux souterraines en se basant sur le mécanisme d'acquisition des ions et leurs évolutions dans les aquifères [62].

Les changements de la géochimie des eaux souterraines peuvent être fonction des variations des propriétés hydrogéologiques ou de la proportion des minéraux des roches encaissantes [63].

3.2.1. Données hydrochimiques disponibles

Les données utilisées dans cette partie proviennent des campagnes de terrain effectuées par les services de l'A.N.R.H (Agence Nationale des Ressources Hydraulique) en 2014 et 2015.

Les analyses physico-chimiques ont été faites au laboratoire suivant les protocoles suivants :

- L'échantillonnage pour l'analyse des éléments chimiques majeurs (anions et cations) a été effectué dans des flacons en polyéthylène de 150 ml et conservé à 4°C. Les anions (Cl^- , SO_4^{2-} et NO_3^-) ont été analysés par chromatographie ionique en phase liquide et les bicarbonates (HCO_3^-) par Titration d'alcalinité. Les cations (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ et K^+) sont analysés par spectromètre d'absorption atomique(SSA).

- Lors du prélèvement, les paramètres physiques (la température, la conductivité électrique et le pH) ont été mesurés in situ.

3.2.2. Balance ionique

Pour s'assurer de la qualité de chaque échantillon utilisé, un contrôle a été effectué par la méthode de la balance ionique. Nous avons jugé acceptable toutes les analyses dont l'erreur ne dépasse pas 8% (cf. annexe 2).

3.2.3. Méthodes d'interprétation

L'étude hydrochimique des eaux thermo-minérales pour cinq secteurs (Méséta Oranaise, Oranie Occidentale, Moyen Chélif, Chott Chergui et Monts de Ksour) se base sur l'interprétation des données physico-chimiques :

3.2.3.1. Méthodes d'interprétation des données physiques

Les caractères physico-chimiques des eaux permettent de distinguer les différents types d'eaux selon leur température, leur pH, leur conductivité et leur Résidu Sec. Les eaux thermo-minérales présentent d'importantes anomalies physico-chimiques par rapport aux eaux potables et froides.

Les paramètres physico-chimiques se résument comme suit:

3.2.3.1.1. Température

La température d'une eau thermale est fonction de la profondeur du réservoir d'origine, de la longueur du trajet parcouru et de la vitesse de remontée. Elle est influencée par les mélanges avec les eaux superficielles et peut ainsi être variable d'une source à l'autre.

Les eaux thermales, minérales et thermo-minérales sont classées en fonctions de leurs degrés thermiques [59] ; [19]:

- Eaux hypothermales: ce sont des eaux dont la température à l'émergence est inférieure à celle de la partie supérieure de la zone d'homothermie ou à la température moyenne interannuelle du lieu d'émergence plus 4°C.
- Eaux mésothermales : ce sont des eaux dont la température à l'émergence est entre 22 °C et 37 °C.
- Eaux orthothermales: ce sont des eaux dont la température à l'émergence est entre 37 °C et 45 °C.
- Eaux hyperthermales : ce sont des eaux dont la température à l'émergence est supérieure à 45 °C et inférieure à 100 °C.

3.2.3.1.2. pH

Le pH est par définition, la mesure de l'activité des ions H^+ contenus dans une eau. C'est un paramètre qui détermine l'acidité ou l'alcalinité d'une eau.

$$pH = -\text{Log} (H^+)$$

3.2.3.1.3. Conductivité

La conductivité électrique (CE) joue un rôle très important dans la connaissance de la Minéralisation des eaux souterraines et principalement l'ensemble des cations et des anions dissous dans l'eau.

Issaadi a regroupé les sources minérales et thermales algériennes en quatre classes :

- Classe 1 : où la conductivité est inférieure à 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- Classe 2 : où la conductivité est comprise entre 2000 et 7000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

- Classe 3 : où la conductivité est comprise entre 7500 et 15000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
- Classe 4 : où la conductivité est supérieure à 15000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

3.2.3.1.4. Résidu Sec

La mesure de ce paramètre donne une idée exacte du poids des matières solubles dans l'eau.

3.2.3.1.5. Radioactivité

La radioactivité est l'une des caractéristiques essentielles des eaux thermo-minérales. Elle est due à la désintégration du Radium, du Thorium et à celle de l'Actinium. Elle y est soit temporaire, soit permanente.

3.2.3.1.6. Gaz

Les sources thermo-minérales sont parfois accompagnées de dégagements gazeux qui les font bouillonner : le gaz carbonique, l'hydrogène sulfuré (H_2S), l'oxygène (O_2), l'hydrogène (H_2), l'azote (N_2) et les gaz rares.

3.2.3.2. Méthodes d'interprétation des données chimiques

Les méthodes d'analyses chimiques des eaux et la détermination de leur teneur sont d'une grande importance car elles permettent d'avoir une idée sur la nature des formations géologiques traversées par ces eaux.

3.2.3.2.1. Représentations graphiques

- **Diagramme de Berkloff-Schoeller**

C'est une représentation graphique qui consiste à établir pour l'échantillon analysé, la ligne figurative joignant les points correspondants aux teneurs des éléments chimiques. Le type d'eau est donné par la prédominance d'un anion et d'un cation.

- **Diagramme de Piper**

Cette méthode consiste à représenter sur deux triangles les pourcentages des quantités en réactions (r %) de chaque cation et anion. Les deux points sont reportés sur un losange en un seul point qui représente la famille chimique de l'eau. Ce diagramme présente l'avantage de pouvoir regrouper un grand nombre d'analyses.

3.2.3.2.2. Rapports caractéristiques

L'utilisation de certains rapports entre les éléments chimiques permet de déterminer le milieu d'origine des eaux thermo-minérales, de comparer leur concentration en éléments chimique et de certifier les résultats précédents.

L'étude des rapports caractéristiques a retenu les rapports suivants: SO_4^{2-}/Cl^- ; Na^+/Ca^{+2} ; Na^+/Mg^{+2} et Mg^{+2}/Ca^{+2} :

- Le rapport SO_4^{2-}/Cl^- représente une approche de la connaissance des variations des teneurs en chlorures dans le sous-sol. Ce rapport permet de distinguer les eaux qui ont circulé à travers des roches évaporitiques en dissolvant les sels sulfatés, principalement le gypse; dans ce cas, on obtient des valeurs inférieures à 1, de celles qui ont dissout des sels chlorurés, fondamentalement la halite, avec des valeurs supérieures à 1 [64].
- Le rapport Mg^{+2}/Ca^{+2} permet d'apprécier la part du Magnésium (provenant de roches dolomitiques) par rapport au Calcium. Une valeur élevée serait liée à la présence de dolomies et/ou à un temps de séjour long [65]. Si les valeurs de ce rapport sont faibles, ceci est dû à leur augmentation en ion calcium, qui aurait pour origine le transforme cationique inverse entre l'eau et le substratum marneux.

L'augmentation en magnésium et l'affaiblissement en calcium sont dus essentiellement aux réactions d'échange ionique.

3.2.3.2.3. Indice de déséquilibre Chloro-alkalin I.D.C

La fonction de l'indice de déséquilibre Chloro-alkalin (I.D.C) permet d'installer en principe les modifications du chimisme de l'eau au cours de son trajet souterrain. Par définition, l'i.d.c. est le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature primitivement existants dans l'eau. Il est obtenu par la relation suivante [60] ; [62].

$$I.D.C = [rCl - r(Na + K)] / rCl$$

- Si l'i.d.c. est négatif alors les ions Mg^{+2} et Ca^{+2} de l'eau sont échangés contre les ions K^+ et Na^+ des formations encaissantes.
- Si l'i.d.c. est positif alors les ions K^+ et Na^+ de l'eau sont remplacés par les ions Mg^{+2} et Ca^{+2} des formations encaissantes.
- Si l'i.d.c = 0 alors il y a un équilibre entre les compositions chimiques de l'eau et celle du terrain encaissant.

Chapitre (4)

4. Applications aux secteurs étudiés

L'étude hydrochimique des eaux thermo-minérales pour cinq secteurs étudiés:

4.1. Méséta Oranaise : Elle compose en de deux secteur thermo-minérales :

4.1.1. Aquifère carbonaté (l'aquifère des dolomies et des calcaires du Jurassique)

4.1.1.1. Monts de Tlemcen: H. Chiguer ; H. Boughrara et H. Tahamamite.

4.1.1.2. Monts de Saida : H. Sidi Aissa et H. Rabi.

4.2. Oranie Occidentale : Elle compose en deux secteur thermo-minérales:

4.2.1. Source liées aux massifs littoraux : Ain Madagh et Ain Franin.

4.2.2. Source liées au plio-quatenaire : Sidi Ayd, Bouhdjar, Ain Sellama, Ain Palmier, Source Dupont, Ain El Hammamat, Ain Sidi Ali N°3, Ain El Hamam N°6 et H. Labes.

4.3. Moyen Chélif : H. Sidi Hadj.

4.4. Chott Chergui : Ain Skhoua, Ain Melha et Ain Zaoui.

4.5. Monts de Ksour : Ain Ouarka.

On se basant sur les caractères physico-chimiques des eaux permettent de distinguer les différents types d'eaux selon leur température, leur pH, leur conductivité et leur Résidu Sec. Les eaux thermo-minérales présentent d'importantes anomalies physico-chimiques par rapport aux eaux potables et froides. Et sur la représentation graphiques sur deux diagrammes Berkaloff-Schoeller et de Piper.

4.1. Méséta oranaise

4.1.1. Aquifère carbonaté (l'aquifère des dolomies et des calcaires du Jurassique)

Les caractéristiques physico-chimiques des eaux thermo-minérales de la Méséta oranaise sont reliées aux paramètres lithologiques et structuraux des massifs carbonatés.

Cinq sources thermo-minérales ont été échantillonnées (ANRH, 2014), pour l'étude des principaux lignes hydrochimiques de ce secteur, dont les résultats sont rapportés dans les tableaux suivants (Tableau. n°4.1 et n°4.3)

4.1.1.1. Monts de Tlemcen

4.1.1.1.1. Caractéristiques physico-chimiques

Dans les Monts de Tlemcen, correspond au groupe carbonaté supérieur [19]. Les résultats analytiques des paramètres physico-chimiques des sources thermo-minérales sont donnés dans le tableau n°4.1:

Tab.n°4 .1: Résultats de l'analyse physico-chimique (ANRH, 2014),

N	Nom	pH	T°C	Cond μs/cm	R.S mg/l	Ca ⁺² mg/l	Mg ⁺² mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁻² mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l
1	H. Chiguer	7,34	32	3300	3142	152	43,74	660	16,8	1384,5	23,75	8,2	305
2	H. Boughrara	7,61	42	730	481,8	28	13	103	7	69	21	0	269
5	H. Ain Tahamamite	7,14	32	770	508,2	28,8	85,54	68,75	27	142,5	21,6	18,56	378

La température de hammam Chiguer et hammam Ain Tahamamite sont classé à des eaux mésothermales (entre 22 °C et 37 °C), et pour Hammam Boughrara atteint 42°C est classé à des eaux orthothermales (entre 37 °C et 45 °C).

Le Résidu Sec de ces sources varie entre 481mg/l et 3142mg/l.

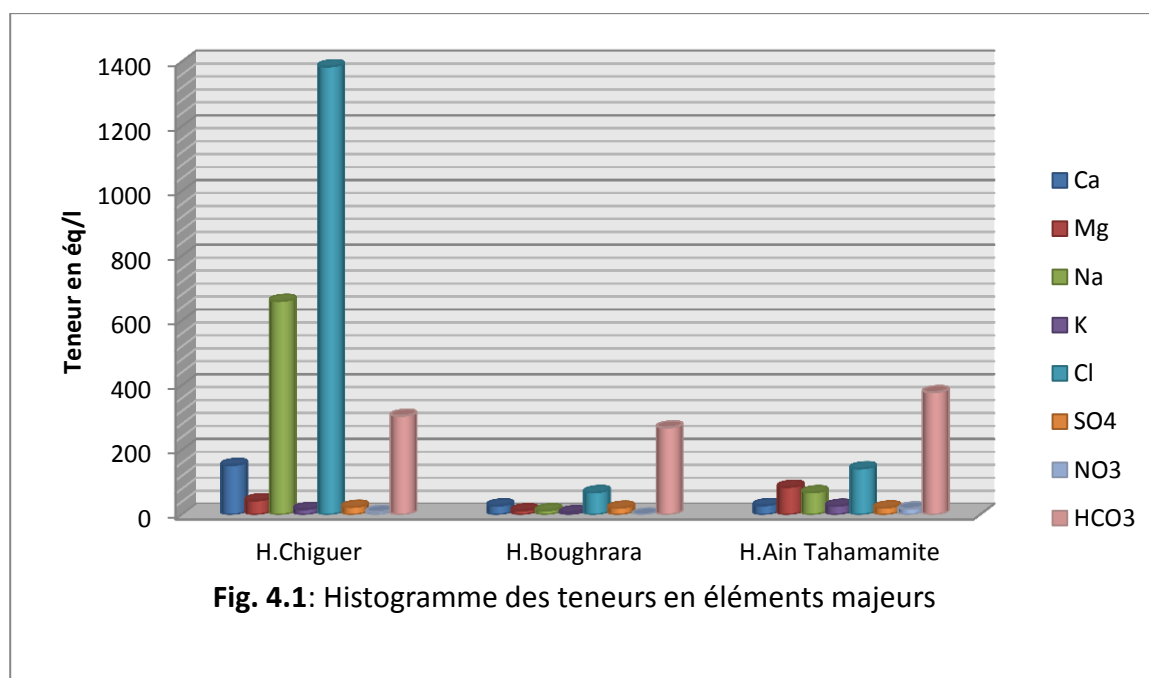
La variation des valeurs de la conductivité électrique entre 730 et 3300μs/cm. On peut différencier deux groupes : un premier groupe pour les sources de Hammam Boughrara et Hammam Ain Tahamamite avec des valeurs moyennement faibles (Cond<800μs/cm inférieur à 2000μs/cm), et un deuxième groupe de la Source de Hammam Chiguer , formé par des eaux relativement minéralisées avec une conductivité de l'ordre de 3300μS/cm (entre 2000 et 7000 μS/cm).

4.1.1.1.2. Caractéristiques chimiques

On observe des valeurs pour les ions analysés (Fig. n° 4.1), particulièrement élevées Pour la source de Hammam Chiguer, surtout pour le sodium et les chlorures et qui conduit une relation avec des roches évaporitiques.

Le sodium est principal sur le calcium et magnésium pour la majorité des sources, le potassium est toujours présent avec des teneurs faibles.

L'ion bicarbonate se présente avec des concentrations moyennement fortes dans la majorité des sources des Monts de Tlemcen.



4.1.1.1.3. Classifications hydrochimiques

Les dolomies du Jurassique supérieur ont été étudiées par Collignon (1988) dans les Monts de Tlemcen, recoupées par 25 forages ayant cumulé une longueur de 5500m. Au éclairage des résultats des analyses physico-chimiques, il montre que les eaux prélevées par ces forages sont de faciès chimique soit chloruré, soit bicarbonaté. Les fortes minéralisations ont été obtenues à des profondeurs importantes par un lessivage des formations carbonatées mises en évidence par les forages et les formations évaporitiques du Trias sus-jacent [66], C'est le cas de la source thermo-minérale de Hammam Chiguer.

Les eaux thermo-minérales ont toutes un faciès bicarbonaté magnésien, ce qui nous permet d'affirmer que les eaux proviendraient de réservoirs dolomitiques [67], c'est le cas de la source de Hammam Ain Tahamamite.

Deux types de faciès hydrochimiques ont été indiqués sur les diagrammes de Schoeller et de Piper (Fig. n°4.2).

- Faciès chloruré sodique indiqué par la source de Hammam Chiguer à minéralisation élevée,
- Faciès bicarbonaté sodique à faible minéralisation indiqué par la source de Hammam Bouhrara et un faciès bicarbonaté magnésien indiqué par la source de Hammam Ain Tahamamite.

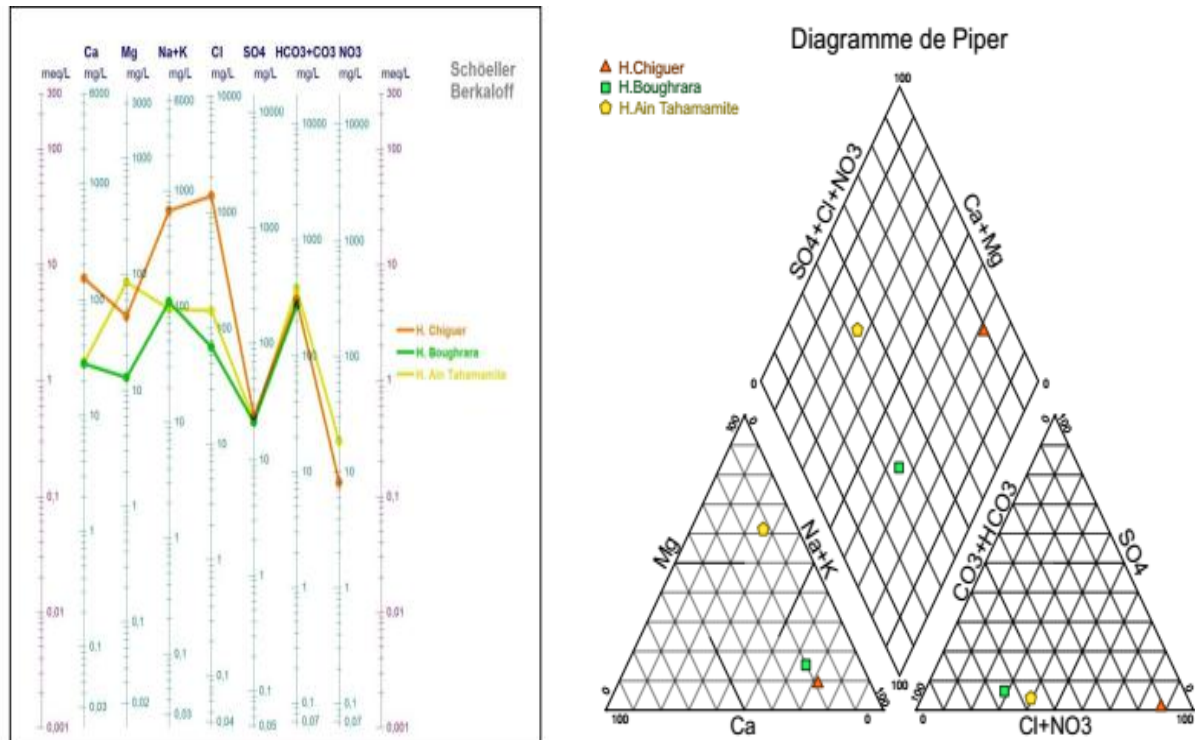


Fig.4.2: Représentation graphique des eaux des Monts de Tlemcen sur les diagrammes de Schoeller-Berkaloff et de Piper

Les résultats suivants ont été donnés par le calcul des rapports caractéristiques (Tab. n°4.2) : Le rapport SO_4^{2-} / Cl^- est très faible. Il est de l'ordre de 0,2 présentant de fortes teneurs en chlorures principales par rapport aux sulfates.

Le rapport Mg^{2+}/Ca^{+2} est inférieur à 1 pour Hammam Chiguer et Hammam Boughrara, ce qui explique la prédominance du calcium et inversement, une augmentation notable du magnésium à Hammam Ain Tahamamite. Les rapports Na^+/Ca^{+2} et Na^+/Mg^{+2} sont très élevés et supérieurs à 1 traduisant ainsi la prédominance des alcalins sur les alcalino-terreux.

Tab. n°4.2: Rapports caractéristiques et indices de Déséquilibre Chloro-alcalin des sources

Nom	I.D.C	$r(SO_4^{2-} / Cl^-)$	$r(Na^+ / Ca^{+2})$	$r(Na^+ / Mg^{+2})$	$r(Mg^{2+} / Ca^{+2})$
H. Chiguer	0,25	0,01	3,77	7,97	0,47
H. Boughrara	-1,39	0,22	3,2	4,19	0,76
H. Tahamamite	0,08	0,11	2,07	0,42	4,9

4.1.1.1.4. Indice de Déséquilibre Chloro-alcalin (I.D.C)

Les valeurs de l'indice de déséquilibre se graduent de -1,39 à 0,25 où les ions Na^+ des eaux seraient transformés contre les ions Mg^{2+} et Ca^{+2} de la roche réservoir pour Hammam Chiguer et la source d'Ain Tahamamite et inversement pour Hammam Boughrara (Tab.n° 4.2).

4.1.2. Monts de Saïda

4.1.2.1. Caractéristiques physico-chimiques

Les Monts de Saïda composent un grand plateau représenté par des affleurements carbonatés sur une surface de 2500 à 3000km². Ces formations sont composées d'épaisses séries de dolomies et calcaires du Bajo-Bathonien qui constituent le réservoir principal de la région. Elles sont très karstifiées [68]. Le tableau ci-dessous donne un résumé des principales analyses effectuées :

Tab. n°4.3: Résultats de l'analyse physico-chimique (ANRH, 2014)

N	Nom	pH	T°C	Cond μs/cm	R.S mg/l	Ca ⁺² mg/l	Mg ⁺² mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁻² mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻² mg/l
19	H.Sidi Aïssa	7,2 8	49	2440	2338	300	29	460	15	540	812	1	304
20	H.Rabi	7	48	2440	2363	318	56	437	15	545	956	6	264

La température élevée des eaux thermo-minérales de Hammam Rabi et de Sidi Aïssa (49°C) est classé à des eaux orthothermales (entre 37 °C et 45 °C), contiennent que le réservoir des eaux thermales se situe au-delà de 800m de profondeur (en considérant un gradient géothermique local de 1°C tous les 30m) [68].

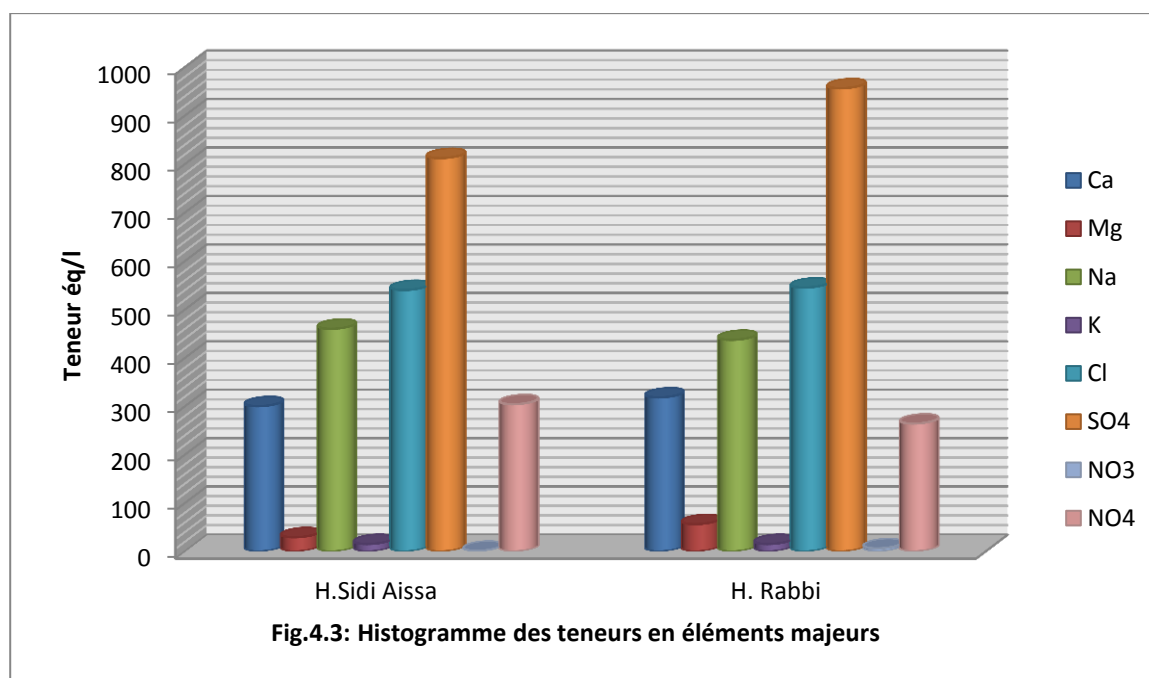
Les valeurs mesurées de la conductivité 2440μs/cm appartiennent à la classe 2 (entre 2000 et 7000 μS/cm). Elles indiquaient une minéralisation relativement importante.

4.1.2.2. Caractéristiques chimiques

Une forte concentration en Na⁺, Cl⁻, SO₄⁻² caractérise les eaux thermo-minérales de Hammam Rabi et de Sidi Aïssa.

Les teneurs en sulfates et en chlorures sont relativement élevées et très rapprochées. Elles prédominent sur celles des bicarbonates (Fig. n°4.3). Les fortes concentrations en Cl⁻ sont des marqueurs d'évaporites dissoutes en profondeur, au même titre que celles en sulfates [68].

La concentration en sodium des eaux est forte, dominant sur l'ensemble des cations, en revanche le potassium est très faiblement concentré. Les concentrations en potassium (K⁺) et en sodium (Na⁺) correspondent également à la mise en solution d'évaporites, gypse et halite, probablement celles du Trias [68].



4.1.2.3. Classifications hydrochimiques

On a montré les résultats des analyses sur les diagrammes de Schoeller (Fig. n°4.4) et Piper (Fig. n°4.5), pour pouvoir estimer les principaux caractères hydrochimiques des eaux analysées. Le faciès chimique des deux eaux (de Hammam rabi et Sidi Aissa) du type sulfaté sodique.

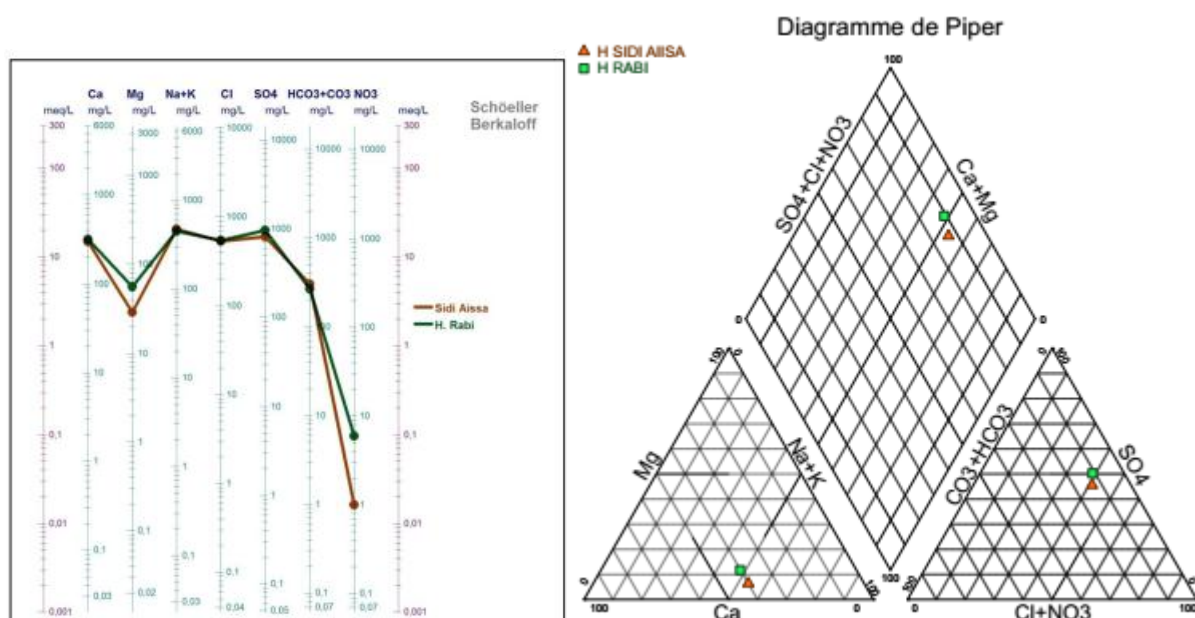


Fig.4.4: Représentation graphique des eaux des Monts de Saïda sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff et diagramme Piper

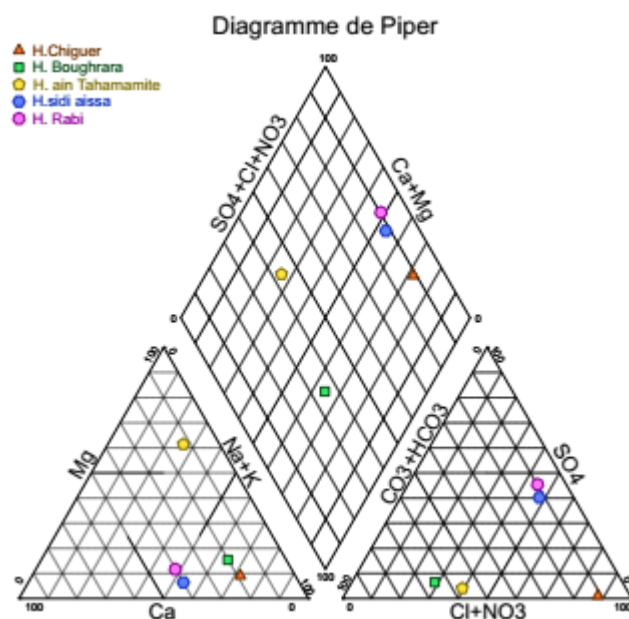


Fig.4.5: Représentation graphique des eaux de la Méséta oranaise sur diagramme de Piper.

4.1.2.4. Rapports caractéristiques

Les différents rapports caractéristiques (Tab.n°4.4), présentent la prédominance des teneurs en chlorures et en sodium sur les ions de leurs familles respective. Le rapport du magnésium sur le calcium est inférieur à 1, ce qui explique la prédominance du calcium.

Tab.n°4.4: Rapports caractéristiques et indices déséquilibre Chloro-alkalin des sources

Nom	I.D.C	$r(SO_4^{2-} / Cl^-)$	$r(Na^+ / Ca^{+2})$	$r(Na^+ / Mg^{+2})$	$r(Mg^{2+} / Ca^{+2})$
H. Sidi Aissa	-0,34	1,11	1,33	8,37	0,16
Hammam Rabi	-0,26	1,3	1,19	4,12	0,29

4.1.2.5. Indice de Déséquilibre Chloro-alkalin (I.D.C)

Les échanges d'éléments entre l'eau et les formations traversées sont relativement faibles. L'Indice de Déséquilibre Chloro-alkalin (I.D.C) calculé est négatif interprétant un remplacement de Ca^{+2} et Mg^{+2} de l'eau par le sodium des formations encaissantes (Tab. n°4.4).

4.2 Conclusion

L'étude des caractéristiques physico-chimiques des eaux thermo-minérales de la méséta oranaise est compliquée. La karstification est très formulée dans les Monts de Tlemcen et aussi dans les Monts de Saida, ce qui favorise d'importants réseaux souterrains et d'importantes résurgences. Dans les Monts de Tlemcen et les Monts de Saida existences des formations carbonatées du Jurassique est très importante où elles forment de véritables réservoirs.

Dans les Monts de Saida, les eaux profondes de la nappe du Lias (profondeur estimée à 800m) sont classées comme mésothermales à hyperthermales. Sa conductivité relativement élevée et son faciès chimique de type sulfaté sodique, affirme l'influence du Trias évaporitique sur la circulation de ces eaux.

Les eaux thermo-minérales prélevées au niveau des Monts de Tlemcen sont classées comme des eaux mésothermales. Le faciès chimique est chloruré sodique, assez minéralisé pour les eaux ayant circulé à travers des formations salifères du Trias, et bicarbonaté-sodique ou magnésien, à faible minéralisation pour les eaux dont la circulation est principalement carbonatée.

4.2. Oranie occidentale

Pour l'étude des principaux traits hydrochimiques de l'Oranie occidentale, 11 sources thermo-minérales ont été échantillonnées dont les résultats sont représentés dans les tableaux n°4.5 et n°4.6.

4.2.1. Sources liées aux massifs littoraux

Au niveau des zones externes, un certain nombre de sources émerge directement ou à proximité des massifs à schistosité. A ce niveau, les réservoirs potentiels correspondent aux formations calcaires ou dolomitiques du Jurassique. Très peu de sources paraissent aux réservoirs gréseux anté-jurassiques (Ain Franin) [19].

4.2.1.1. Caractéristiques physico-chimiques

Les caractéristiques physico-chimiques des sources sont résumées dans le tableau n°4.5:

Tab. n°4.5: Résultats de l'analyse physico-chimique (ANRH, 2014)

N	Nom	pH	T°C	Cond μs/cm	R.S mg/l	Ca ⁺² mg/l	Mg ⁺² mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁻² mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l
11	Ain Madagh	8,23	24	5620	4095	79,2	96,71	773,5	39	1547,8	115,1	2,1	549
12	Ain Franin	7	35	5792	4250	49,2	169,13	542	181	1079,2	152	13,8	920

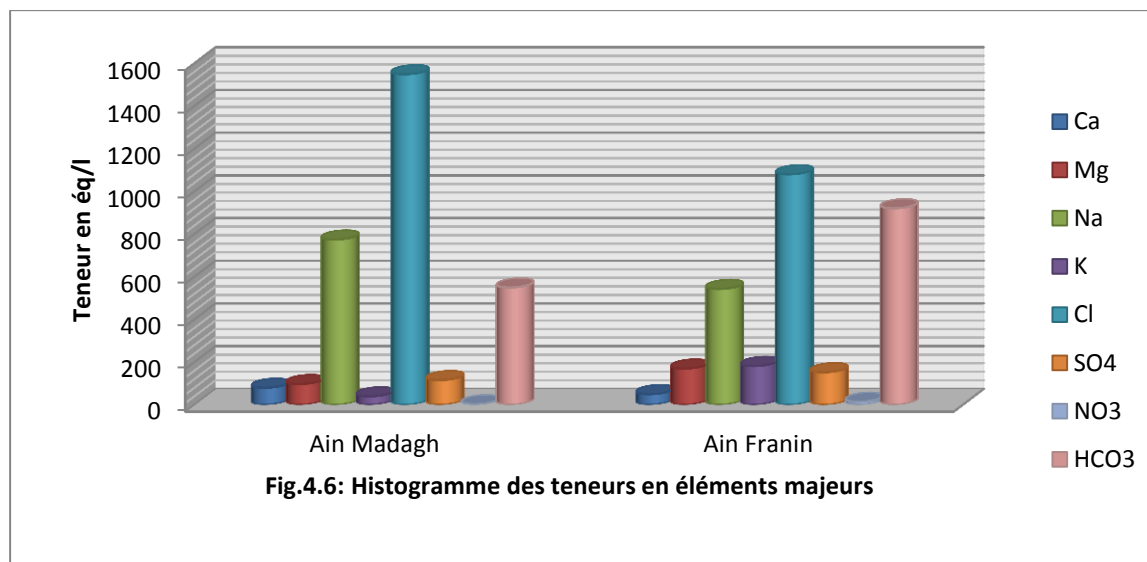
Les températures d'émergence des eaux thermo-minérales des massifs littoraux se situent entre 24 et 35°C sont classé à des eaux mésothermales (entre 22 °C et 37 °C) pour les sources d'Ain Madagh 24°C et d'Ain Franin 35°C.

La variation des valeurs de la conductivité électrique entre 5620 et 5792μs/cm appartient au deuxième groupe (entre 2000 et 7000 μS/cm). En général élevée.

Le Résidu Sec élevé varie entre 4095mg/l et 4250mg/l. ces valeurs correspondent précisément avec la conductivité. On note pour la source d'Ain Franin 0,15 millimicrocuries ou 0,99 millimicrocuries de radon/l (in Foukrache, 2001). La phase gazeuse est indiquée par 53,6% de gaz carbonique, suivi de 34,6% d'azote, de 11,6% d'oxygène et de 0,04% d'hélium [19].

4.2.1.2. Caractéristiques chimiques

Les chlorures sont très forte concentration dans les eaux de hammam Ain Madagh et Hammam Ain Franin. Ils prédominent sur les anions. La forte teneur en chlorures se traduit toujours par une teneur élevée en sodium. Ce dernier est caractérisé par une concentration partiellement élevée supérieure à celle des alcalino-terreux (Fig. n°4.6).



4.2.1.3. Classifications hydrochimiques

On a présenté les résultats des analyses sur les diagrammes de Schoeller-Berkaloff et Piper (Fig. n°4.7), nous montre que les eaux thermo-minérales liées aux massifs littoraux présentant des maximums au niveau des pôles Cl⁻ et Na⁺ sont de faciès chimiques de type chloruré sodique.

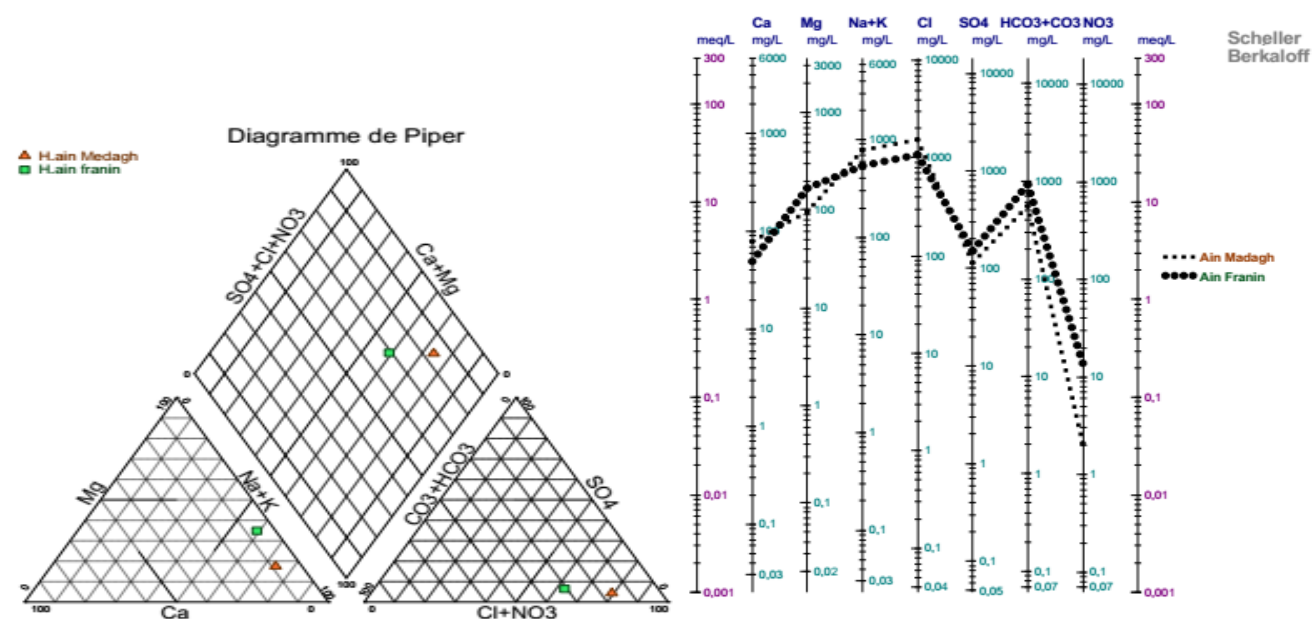


Fig.4.7: Représentation graphique des eaux liées aux massifs littoraux sur les diagrammes de Schoeller-Berkaloff et diagramme de piper

4.2.1.4. Rapports caractéristiques

Les différents rapports caractéristiques (Tab.n°4.6), présentent la prédominance des teneurs en magnésium sur le calcium, ceci certifie en faveur d'une circulation des eaux souterraines dans les calcaires dolomitiques du Lias qui touche largement à hauteur de Kristel. Cette zone forme un front d'alimentation de la nappe Plio-Quaternaire, ce qui témoigne la participation du calcaire liasique à la recharge de cette nappe. Les rapports du sodium sur les alcalino-terreux sont élevés (proche de 10). Cette condition est liée à la présence d'évaporites très répandues sur la région et la prédominance des chlorures sur les sulfates [69].

Tab. n°4.6: Rapports caractéristiques et indices de déséquilibre Chloro-alcalin(I.D.C)

Nom	I.D.C	$r(SO_4^{2-} / Cl^-)$	$r(Na^+ / Ca^{+2})$	$r(Na^+ / Mg^{+2})$	$r(Mg^{2+} / Ca^{+2})$
Ain Madagh	0,20	0,05	8,49	4,22	2,01
Ain Franin	0,07	0,10	9,58	1,62	5,66

4.2.1.5. Indice de Déséquilibre Chloro-alcalin (I.D.C)

La variation de l'indice de déséquilibre Chloro-alcalin entre 0,07 et 0,2. Ceci présente que les eaux échangent les ions Na^+ et K^+ contre les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} de l'encaissant (Tab.n°4.6).

4.2.2 Sources liées au Plio-quaternaire

4.2.2.1. Caractéristiques physico-chimiques

Les analyses chimiques de ces eaux sont données dans le tableau n°4.7:

Tab.n°4.7: Résultats de l'analyse physico-chimique (ANRH, 2015)

N	Nom	pH	T°C	Cond $\mu S/cm$	R.S mg/l	Ca^{+2} mg/l	Mg^{+2} mg/l	Na^+ mg/l	K^+ mg/l	Cl^- mg/l	SO_4^{2-} mg/l	NO_3^- mg/l	HCO_3^- mg/l
8	Sidi Ayd	6,53	68	5110	3840	206	21	1001	47	1441	88	4	745
9	Bouhadjar	6,53	66,5	5010	3680	199	177	955	46	1690	35	3	866
13	Ain Sellama	6,75	24,5	20000	15938	107,2	292,08	2953,5	27,9	5907,2	370	0,89	570
14	Ain Palmier	7,08	53,2	1880	1703	158,4	29,16	319	8	330,72	110	2,3	592
15	Source Dupont	6,69	67	1970	1782	177,6	21,38	327	10	336,54	100	6	643
16	Ain El Hammamat	6,7	53	2850	1861	229	55	296	37	538	139	0	793
17	Ain Sidi Ali N°3	7,35	65,5	1750	1583	123,2	31,104	312	12	313,82	90	12,2	609
18	Ain El Hamam N°6	6,49	44,2	2004	1721	171,2	41,8	329	8	319,4	160	6,3	627
29	H. Labes	7,2	38	980	756,12	90,18	97,2	19	8,5	230,42	101,23	67,23	196

Les eaux des stations thermales de Hammam Bouhnifia et Hammam Bouhadjar sont les plus chaudes du littoral oranais, et sont classé à des eaux hyperthermales ($> 45^{\circ}$). Les sources de Hammam Labes est classé à des eaux orthothermales (entre 37°C et 45°C), tandis que la source d'Ain Sellama est classé à des eaux mésothermales (entre 22°C et 37°C).

Les valeurs du pH varient entre 6.49 et 7.35. Les valeurs les plus faibles et donc, les plus acides, sont enregistrées par les sources à dégagement de CO_2 (Hammam Bouhnifia, Hammam Bouhadjar et Ain sellama).

La conductivité est très variable pour les sources de la Méseta oranaise: ainsi on différencie trois groupes : le premier groupe est formé par des eaux peu minéralisées avec des conductivités entre 980 et 2004 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (classe 1 est inférieure à 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), un deuxième groupe, avec des valeurs moyennement fortes, entre 2850 et 5110 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Ain El Hammamt, Hammam Bouhadjar et hammam sidi Ayd) (2ème classe entre 2000 et 7000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et finalement le quatrième groupe des valeurs très fortes dépassant les 20000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à la source Ain Sellama (4ème classe supérieure à 15000 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Le Résidu Sec de ces sources varie entre 756mg/l et 15938mg/l.

La caractéristique collective pour ces eaux (Hammam Bouhadjar, Bouhnifia, et Ain Sellama) est leur forte teneur en bicarbonates et la présence de gaz (bulle de gaz ou par l'odeur) (Tab.n°4.8).

La radioactivité mesurée à Hammam Bouhnifia, au niveau de la source Palmier est de 0,19 millimicrocuries, de 38,30 millimicrocuries de radon/l à la source Dupont, et entre 0,23 à 22,8 millimicrocuries de radon/l au niveau de Hammam Bouhadjar (Guigue, 1940).

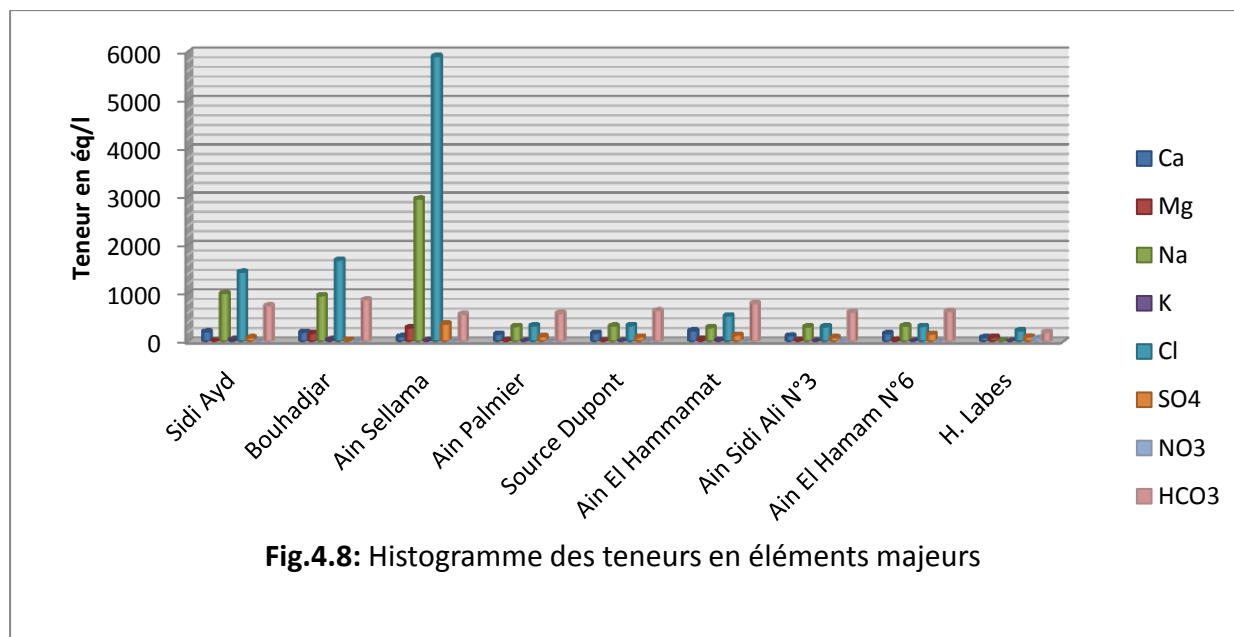
Tab. n°4.8: Caractéristiques des eaux carbogazeuses [19]

Sources carbogazeuses	Caractéristique des Gaz %
Hamam Bouhnifia	Azote, N_2 64,6 Oxygène, O_2 21,7 Gaz carbonique, CO_2 13,7
Hamam Bouhadjar	CO_2 libre, entre 501,6 et 1053,8mg
Ain Sellama	Azote, N_2 48,9 Oxygène, O_2 16,3 Gaz carbonique, CO_2 34,8

4.2.2.2. Caractéristiques chimiques

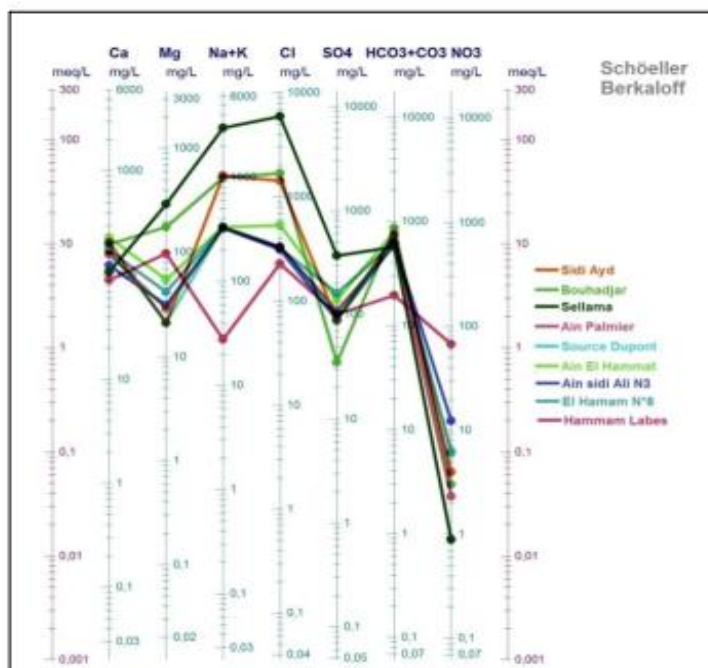
Les fortes teneurs en chlorures et en sodium sont enregistrées à Ain Sellama avec des concentrations de 166méq/l et 128méq/l respectivement.

Les teneurs en bicarbonates et en chlorures sont très élevées, pour les sources de Hammam Bouhnifia (Fig. n°4.8).



4.2.2.3. Classifications hydrochimiques

On a distingué trois types de faciès sur les diagrammes de Schoeller-Berkaloff (Fig. n°4.9) et Piper (Fig. n°4.10) :



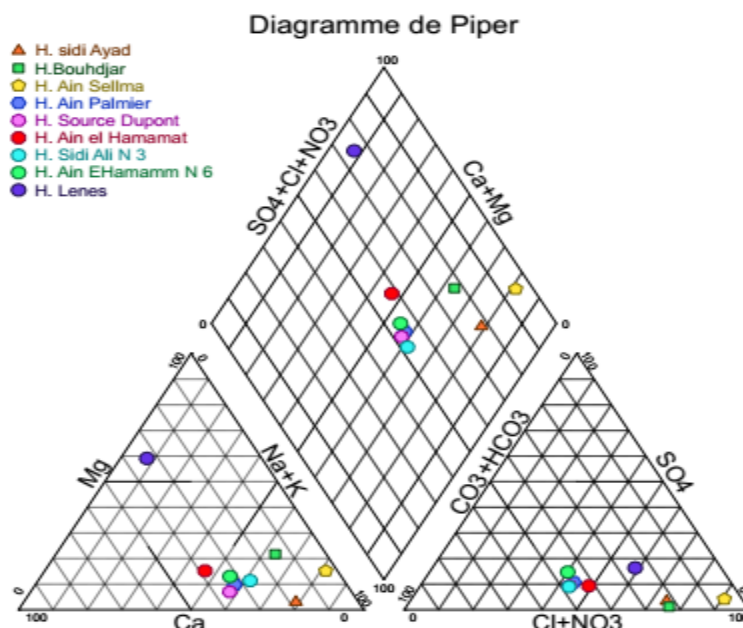


Fig.4.10: Représentation graphique des eaux de l'Oranie occidentale sur diagramme de Piper.

- Faciès chloruré sodique à très forte minéralisation indiqué par la source de Sellama, et à forte minéralisation indiqué par Hammam Bouhadjar et Sidi Ayd.
- Faciès bicarbonaté sodique à minéralisation moyenne montré par les sources Dupont, Ain Sidi Ali N°3 et la source d'Ain Palmier.
- Enfin, le faciès chloruré magnésien à faible minéralisation, représenté par la seule source de Hammam Labes.

4.2.2.4. Rapports caractéristiques

Pour la plupart des sources, les différents rapports caractéristiques exécutés présentent la prédominance du sodium sur l'ensemble des autres cations. Le rapport SO_4^{2-} / Cl^- est inférieur à l'unité. Les différents résultats sont abrégés dans le tableau n°4.9:

Tab. n°4.9: Rapports caractéristiques et indices de déséquilibre Chloro-alkalin(I.D.C)

Nom	I.D.C	$r(SO_4^{2-} / Cl^-)$	$r(Na^+ / Ca^{+2})$	$r(Na^+ / Mg^{+2})$	$r(Mg^{2+} / Ca^{+2})$
Sidi-Ayd	-0,10	0,04	4,22	25,16	0,17
H. Bouhadjar	0,10	0,01	4,17	2,85	1,46
Ain Sellama	0,22	0,05	23,96	5,34	4,48
Ain Palmier	-0,51	0,24	1,75	5,77	0,30
Source Dupont	-0,53	0,22	1,60	8,08	0,2
Ain El Hammamat	0,09	0,19	1,12	2,84	0,4
Ain Sidi Ali N3	-0,57	0,21	2,20	5,3	0,41
Ain El Hamam N°6	-0,61	0,37	1,67	4,16	0,40
Hammam Labes	0,84	0,32	0,18	0,10	1,78

4.2.2.5. Indice de Déséquilibre Chloro-alkalin (I.D.C)

La plupart des valeurs des indices de déséquilibre Chloro-alkalin sont négatifs, expliquant des échanges entre le calcium de l'eau avec le sodium des formations encaissantes.

Les autres d'eau (4), avec un indice proche de l'équilibre à positif indiquent que les eaux échangent les ions Na^+ et K^+ contre les ions Ca^{+2} et Mg^{+2} de l'encaissant (Tab. n°4.9).

4.2.3. Conclusion

De nombreuses sources thermo-minérales ont comporté à l'Oranie occidentale. Très peu présentent au niveau des formations anté-jurassiques qui constituent les principaux réservoirs, et la majorité présentent dans la nappe du plio-quaternaire. Les formations évaporitiques sont localisées dans les dépôts messiniens et triasique.

La variation du faciès hydrogéochimique des sources thermales au sein d'une région est attachée surtout à la nature des terrains traversés. Les émergences thermales de l'Oranie occidentale se distribuent donc sur le plan hydrogéochimique en deux groupes bien distincts :

- Facies chloruré sodique à très forte minéralisation.
- Facies bicarbonaté sodique avec une minéralisation moyenne.

La variation de température de ces eaux entre 24°C et 68°C, certaines présentent une radioactivité et des dégagements gazeux.

4.3. Moyen Chélif

4.3.1. Nappe du calcaire à lithothamnium

La nappe des calcaires à lithothamnium du Moyen Chélif est considérée comme l'un des aquifères les plus importants de la région, particulièrement, en raison de l'importance de la fissuration du calcaire.

4.3.1.1. Caractéristiques physico-chimiques

Les analyses chimiques de ces eaux sont attribuées dans le tableau n° 4.10:

Tab.n°4.10 : Analyse physico-chimique de la source thermo-minérale (ANRH, 2015)

N	Nom	pH	T°C	Cond μs/cm	R.S mg/l	Ca^{+2} mg/l	Mg^{+2} mg/l	Na^+ mg/l	K^+ mg/l	Cl^- mg/l	SO_4^{-2} mg/l	NO_3^- mg/l	HCO_3^- mg/l
45	Sidi Hadj	21,9	7,9	2100	1296	71	34	325	4	485	133	0	372

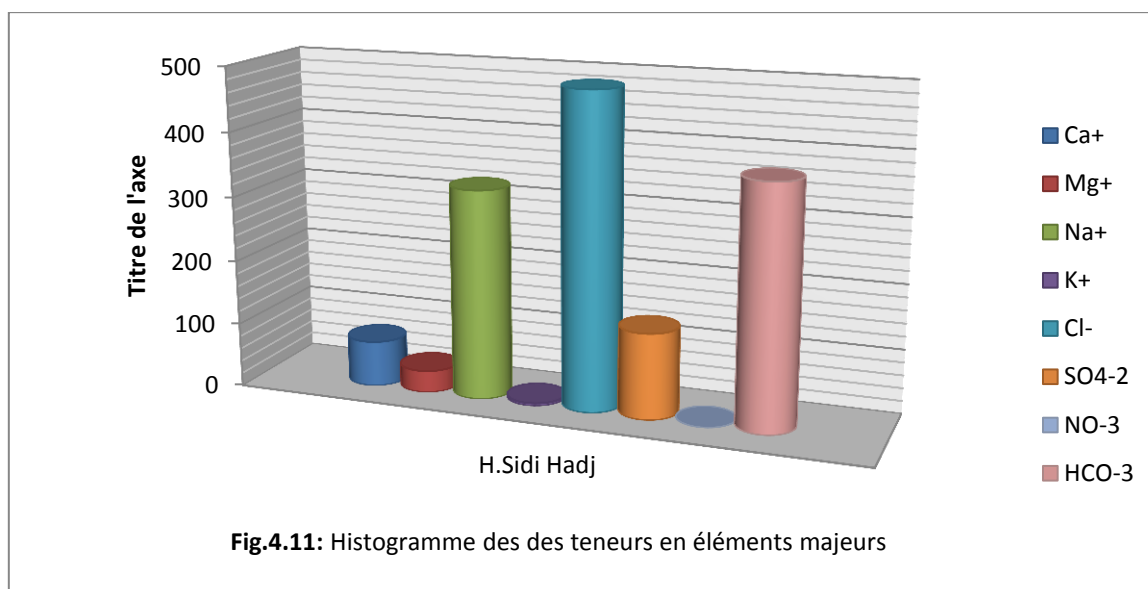
La source de Sidi hadj est classée à des eaux mésothermales (21,9°C), avec un pH à tendance basique.

La conductivité est partiellement moyenne (2100μs/cm). Elle appartient au deuxième groupe des conductivités (2 ème classe entre 2000 et 7000 μS/cm), s'interprétant par une minéralisation moyennement élevée.

Le Résidu Sec est égal à 1296mg/l. La minéralisation est dominée par les chlorures et le sodium.

4.3.1.2. Caractéristiques chimiques

Les chlorures, les bicarbonates et les sulfates sont présents en fortes teneurs. Le sodium prédomine sur les autres cations. Les alcalino-terreux sont partiellement faiblement concentrés dans les eaux et le potassium est présent en quantité très faible (Fig. n°4.11).



4.3.1.3. Classifications hydrochimiques

- Faciès chloruré sodique à très forte minéralisation présenté par la source de Sidi Hadj, comme on peut le distinguer sur les diagrammes de Schoeller-Berkaloff et de Piper (Fig. n°4.12).

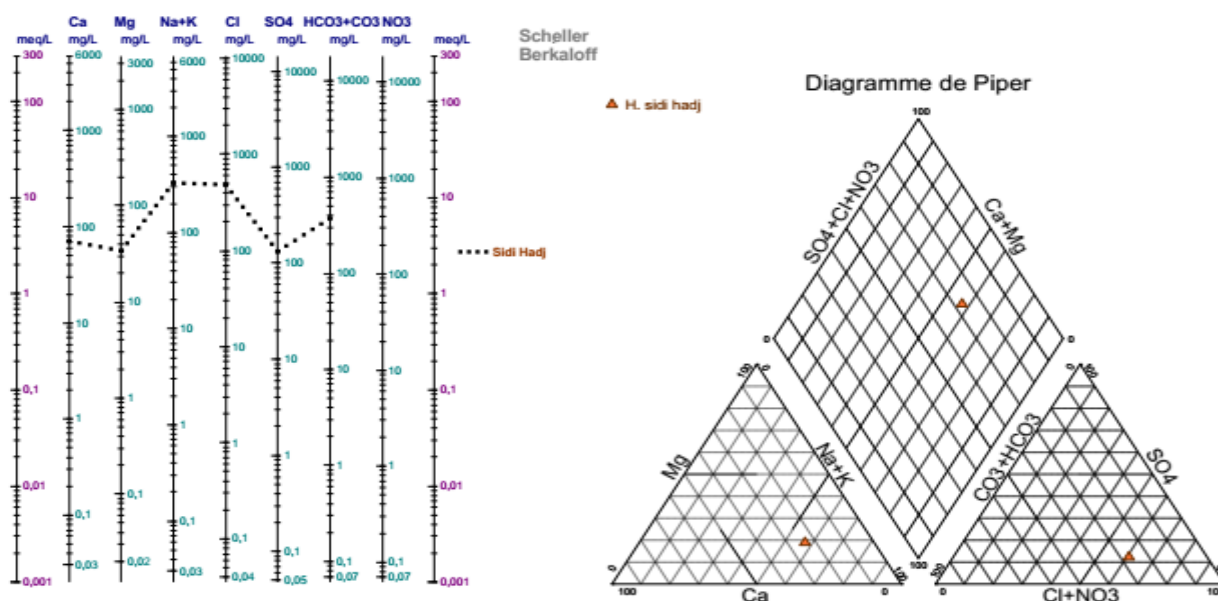


Fig.4.12: Représentation graphique des eaux du Moyen Chélif sur les diagrammes de Schoeller – Berkaloff et Piper

4.3.1.4. Rapports caractéristiques

Les rapports du sodium sur les alcalino-terreux sont dominants traduisant un contact avec des évaporites. Les autres rapports sont faibles interprétant la prédominance du calcium sur le magnésium et des chlorures sur les sulfates (Tab.n°4.11).

Tab. n°4.11: Rapports caractéristiques et indice de déséquilibre Chloro-alcalin (I.D.C)

Source	I.D.C	$r(SO_4^{2-} / Cl^-)$	$r(Na^+ / Ca^{+2})$	$r(Na^+ / Mg^{+2})$	$r(Mg^{2+} / Ca^{+2})$
Sidi Hadj	-0,014	0,56	1,64	4,24	0,39

4.3.1.5. Indice de Déséquilibre Chloro-alcalin (I.D.C)

L'Indice de Déséquilibre Chloro-alcalin (I.D.C) est négatif mais proche de zéro (Tab. n°4.11), il y a une stabilité entre les compositions chimiques de l'eau et celle du terrain encaissant.

4.3.2. Conclusion

Les eaux thermo-minérales de Sidi hadj sont des eaux mésothermales à pH partiellement basique. Elles proviendraient des grès miocènes à ciment carbonaté [70]. Les eaux au cours de leur trajet auraient passé par une formation évaporitique fortement salifère qui aurait donné un faciès chloruré sodique avec une minéralisation moyenne.

4.4. Chott chergui

4.4.1. Nappe du Sénonien

Le Chott Chergui est très riche en ressources en eau thermique chaude, saumâtre et salée. Ce complexe renferme trois nappes aquifères profondément liées, à savoir la nappe du Bajocien-Bathonien, la nappe du Sénonien et celle du Tertiaire continental. Les calcaires du Sénonien, souvent altérés et très pénétrables, affleurent au Nord-Est et participent à son alimentation qui aurait donné naissance à la source d'Ain-Skhouna [71].

4.4.1.1. Caractéristiques physico-chimiques

Les résultats de l'analyse physico-chimique des eaux thermo-minérales d'Ain Skhouna (Tab. n° 4.14).

Tab. n°4.12: Résultats de l'analyse physico-chimique (ANRH, 2015)

N	Nom	pH	T°C	Cond μs/cm	R.S mg/l	Ca^{+2} mg/l	Mg^{+2} mg/l	Na^+ mg/l	K^+ mg/l	Cl^- mg/l	SO_4^{2-} mg/l	NO_3^- mg/l	HCO_3^- mg/l
21	Ain Skhouna	7,2	48	2300	1520	199	62	176	6	381	410	0,1	214
22	Ain Melha	7,3	28	2300	1569	189	69	190	7	414	386	0,1	168
23	Ain Zeoui	7	35	2200	1360	186	55	149	5	450	310	7,9	201

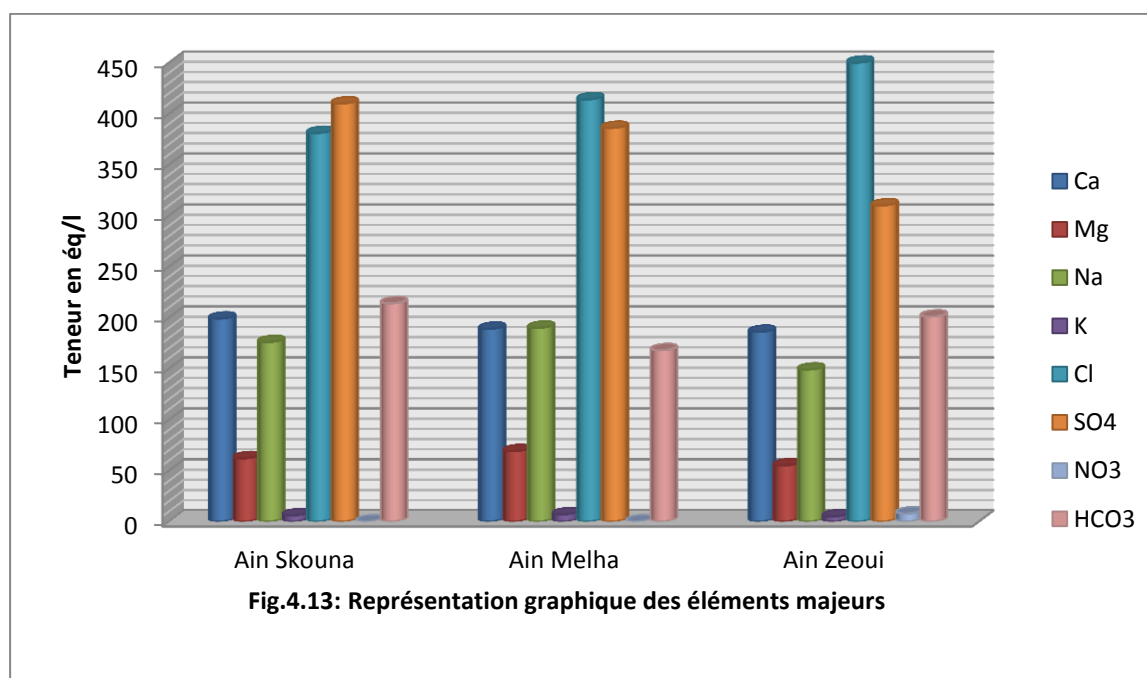
Les températures des eaux thermo-minérales d'Ain Skhoua sont variées entre 28°C et 48°C, Les sources de Hammam Ain skhoua est classé à des eaux orthothermales (entre 37 °C et 45 °C), tandis que les sources d'Ain Melha (28°C) et Ain Zaoui (35°C) sont classés à des eaux mésothermales (entre 22 °C et 37 °C). Le pH de ces eaux est entre 7 et 7,3 expliquant des valeurs proches de la neutralité.

La conductivité des eaux est égale à 2300 $\mu\text{S}/\text{cm}$, et appartiendrait au deuxième groupe (2ème classe entre 2000 et 7000 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Ce sont des eaux relativement minéralisées avec des Résidus Secs de l'ordre de 1569 mg/l.

4.4.1.2. Caractéristiques chimiques

Les teneurs en chlorures et en sulfates sont relativement élevées et très rapprochées. Elles prédominent sur celles des bicarbonates (Fig. n°4.13).

Le calcium est prédominant sur le sodium et magnésium. Le potassium est toujours présent en teneurs faibles 0,13 méq/l à Ain Zeoui et 0,18 à Ain Melha.



4.4.1.3. Classifications hydrochimiques

Un seul faciès de chloruré calcique caractérise les eaux de la nappe du Sénonien. Les valeurs des analyses ont été reportées sur les diagrammes de Schoeller-Berkaloff et Piper (Fig. n°4.14). L'interprétation affirme le faciès de la nappe du Sénonien.

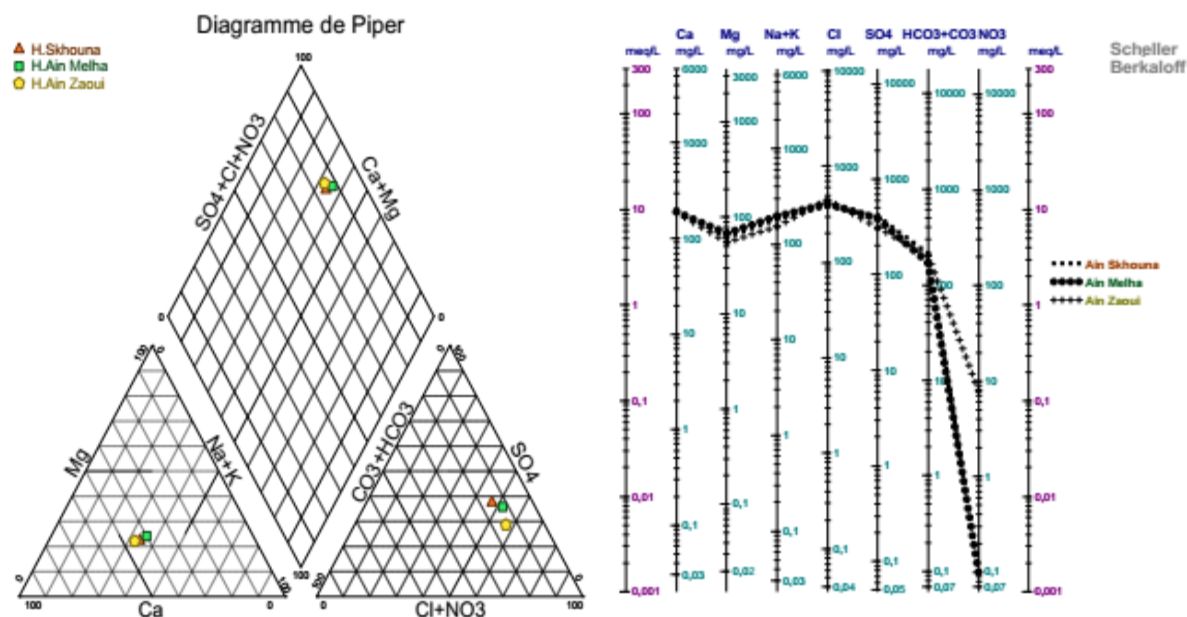


Fig.4.14: Représentation graphique des eaux du Chott Chergui sur les diagrammes de Schoeller-Berkaloff et Piper

4.4.1.4. Rapports caractéristiques

Les rapports caractéristiques sont faibles et inférieurs à 1, expliquant la forte concentration du chlorure et du calcium, la prédominance des teneurs en calcium procédant des calcaires du Sénonien (Tab. n°4.15).

Tab. n°4.13: Rapports caractéristiques et indices de déséquilibre Chloro-alcalin des sources

Source	I.D.C	$r(\text{SO}_4^{2-} / \text{Cl}^-)$	$r(\text{Na}^+ / \text{Ca}^{+2})$	$r(\text{Na}^+ / \text{Mg}^{+2})$	$r(\text{Mg}^{2+} / \text{Ca}^{+2})$
Ain Skouna	0,27	0,79	0,01	0,03	0,51
Ain Melha	0,28	0,69	0,02	0,03	0,60
Ain Zeoui	0,48	0,51	0,01	0,03	0,49

4.4.1.5. Indice de Déséquilibre Chloro-alcalin (I.D.C)

Dans cette nappe, l'Indice de Déséquilibre Chloro-alcalin (I.D.C) est positif, traduisant la libération du sodium contre les alcalino-terreux de la roche (Tab. n°4.15).

4.4.2. Conclusion

L'étude des caractéristiques physico-chimiques des eaux thermo-minérales de la nappe du Sénonien présente un faciès chloruré calcique avec une minéralisation moyenne. Cette minéralisation augmente au fur et à mesure que l'on s'approche de la presque d'Ile d'Ain Skhouna.

4.5. Monts de ksour

4.5.1. Aquifère du Jurassique inférieur (calcaire du Lias)

Les dolomies et les calcaires liasiques forment le réservoir principal des eaux thermales d'Ain Ouarka.

4.5.1.1. Caractéristiques physico-chimiques

Les résultats de l'analyse physico-chimique des eaux thermo-minérales de cette source sont montrés sur le tableau ci-dessous (Tab.n° 4.16).

Tab.n°4.14: Résultats de l'analyse physico-chimique (ANRH, 2015)

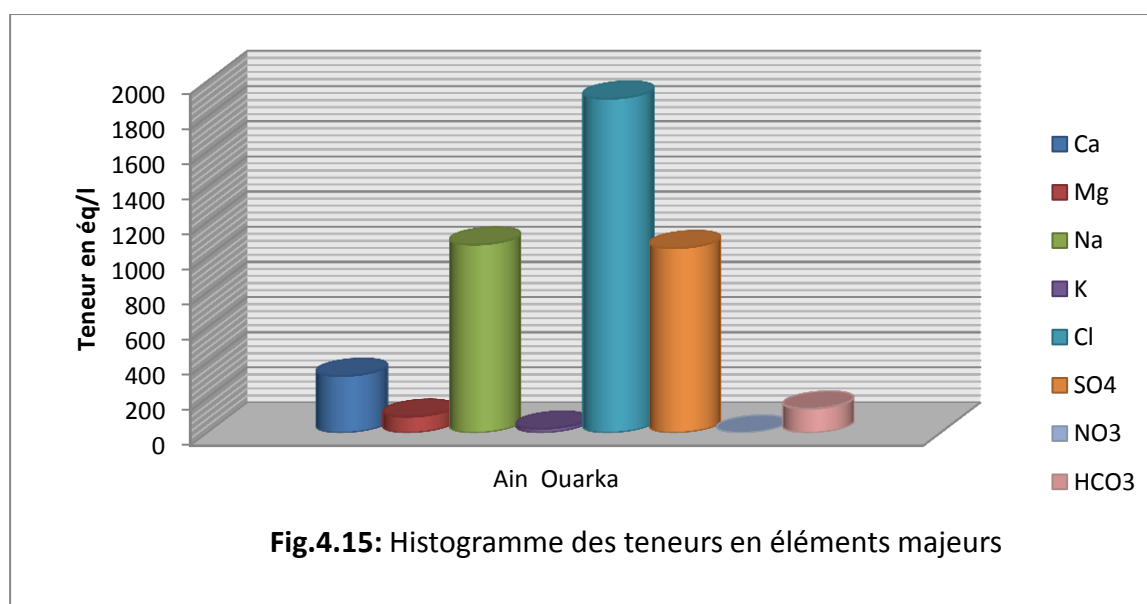
N	Nom	pH	T°C	Cond μs/cm	R.S mg/l	Ca ⁺² mg/l	Mg ⁺² mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁻² mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l
10	Ain Ouarka	7	45	8000	5823	323	91	1070	23	1900	1050	0,3	137

Les eaux thermo-minérales d'Ain Ouarka sont clairement Orthothermales (entre 37 °C et 45 °C), atteignant une température de 45°C, avec un pH neutre.

La minéralisation des eaux est très forte. Les eaux ont une conductivité très élevée (8000 μs/cm). Elles appartiennent au troisième groupe (entre 7500 et 15000 μS/cm). Cette forte minéralisation est confirmée aussi par un fort Résidu Sec : 5823 mg/l.

4.5.1.2. Caractéristiques chimiques

Pour les analyses chimiques (Fig. n°4.15), l'examen des teneurs en éléments majeurs montre que la source d'Ain Ouarka est fortement chargée en chlorures (53 méq/l), en sodium (46 méq/l) et en sulfates (21 méq/l).



4.5.1.3. Classifications hydrochimiques

Pour le faciès hydrochimique de la source thermo-minérales d'Ain Ouarka, on découvre un seul type de faciès : Hyperchlorurée sodique (Fig. n°4.16).

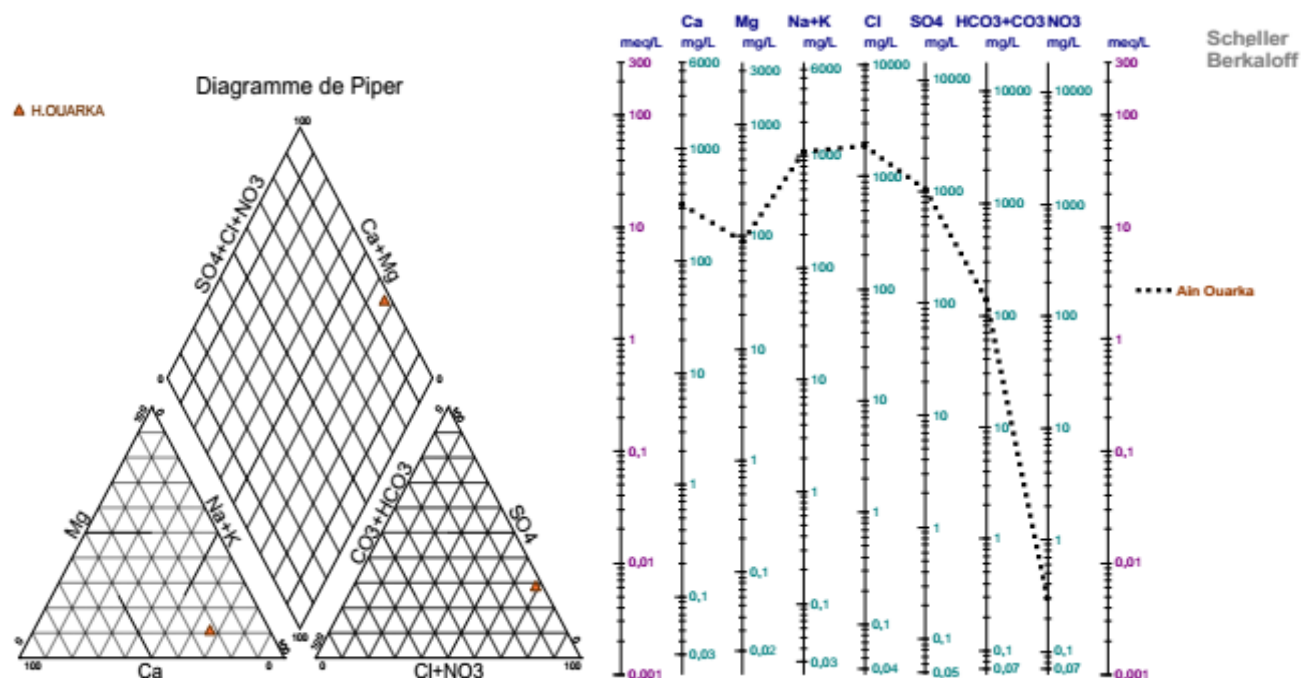


Fig.4.16: Représentation graphique des eaux de Monts de Ksour sur les diagrammes de Schoeller-Berkaloff et Piper

4.5.1.4. Rapports caractéristiques

Les rapports SO_4^{2-}/Cl^- et Mg^{2+}/Ca^{2+} sont inférieurs à 1 montrant la prédominance des chlorures sur les sulfates et du calcium sur le magnésium (Tab. n°4.17).

Les rapports Na^+/Mg^{2+} et Na^+/Ca^{2+} sont très élevés et supérieurs à 1, indiquant la prédominance du sodium sur les alcalino-terreux (Tab. n°3.17).

Tab. n°4.15: Rapports caractéristiques et indice de déséquilibre chloro-alcalin des eaux

Source	I.D.C	$r(SO_4^{2-} / Cl^-)$	$r(Na^+ / Ca^{2+})$	$r(Na^+ / Mg^{2+})$	$r(Mg^{2+} / Ca^{2+})$
H. Ain Ouarka	0,12	0,41	2,88	6,21	0,46

4.5.1.5. Indice de Déséquilibre Chloro-alcalin (I.D.C)

Les eaux au cours de leur trajet souterrain ont subi des échanges d'éléments. L'Indice de Déséquilibre Chloro-alcalin (I.D.C) est positif traduisant un échange des ions Na^+ et K^+ de l'eau contre les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} de l'encaissant (Tab. n°4.17).

4.5.2. Conclusion

L'étude hydrochimique montre que les eaux thermo-minérales qui émergent au niveau de Monts de Ksour sont des eaux mésothermales. Ces eaux circulent dans les formations carbonatées (calcaires du Lias). Le contact relativement important avec les formations triasiques traduit une modification quasi-totale de la minéralisation originelle des eaux, aboutissant à un faciès hyperchlorurée sodique. La minéralisation formelle de ces eaux serait acquise après lessivage des formations gypso-salifère triasique.

4.6. Etude synthétique

Nous résumons la description des caractéristiques physico-chimiques des eaux thermo-minérales des principaux aquifères du littoral oranais et des deux autres secteurs considérés à titres comparatif dans cette partie. Les résultats obtenus sont reproduits dans le tableau (cf. Annexe 3).

4.6.1. Paramètres physiques

4.6.1.1. Températures mesurées

Dans les secteurs étudiés, les températures observées varient de 21,9°C à 68°C. La majorité des sources appartiennent à la catégorie des eaux mésothermales (Tab. n°3.18 et Fig. n°3.19) :

Tab. n°4.16 : Classification des eaux selon la température mesurée

Température	Noms des eaux thermo-minérales
Eaux mésothermales 22°C < T°C < 37°C	H.Chiguer, H. Ain Tahamamite, Ain Franin, Ain Zeoui, Ain Madagh, Ain Sellama, Hammam Sidi Hadj et Ain Melha
Eaux Orthothermales 37°C < T°C < 45°C	H. Bougherara, H. Sidi Aissa, Hammam Rabi, Ain El Hamam N°6, H. Labes et H. Ain Ouarka
Eaux hyperthermales T°C supérieur à 45°C	H. Bouhadjar, Sidi Ayd, Ain Palmier, Ain sidi Ali N°3, Ain El Hammamat, Source Dupont et Ain Skhouna

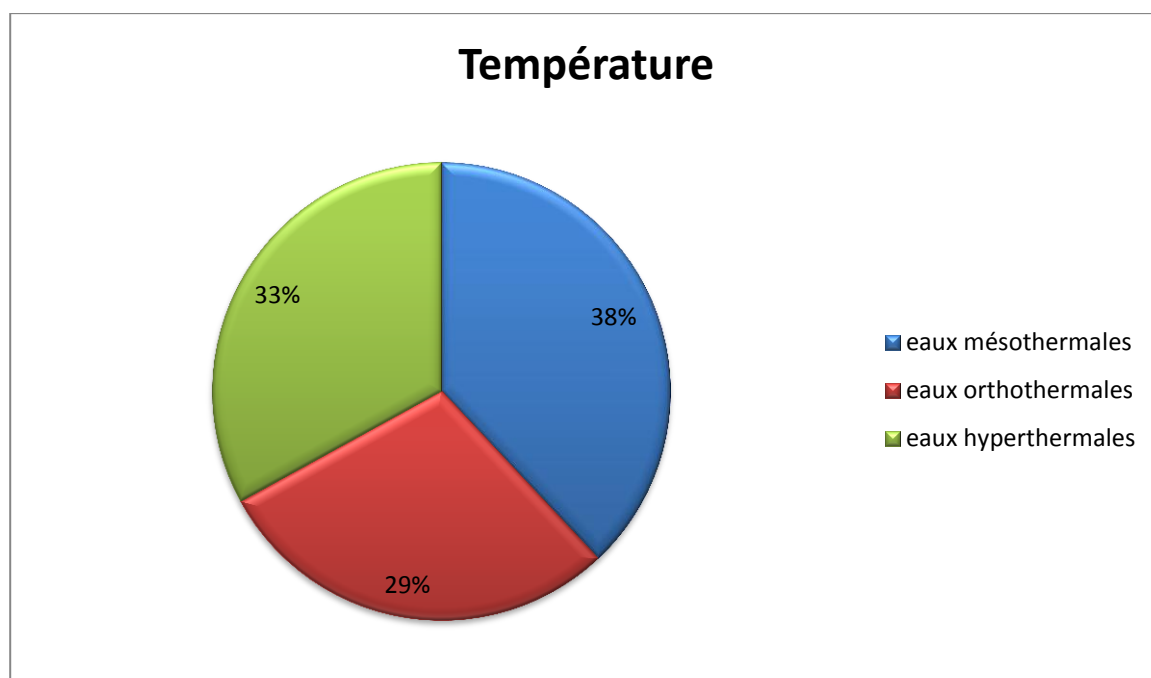


Fig.4.17: Pourcentage des températures mesurées

4.6.1.2. Conductivités

Les conductivités observées aux émergences varient entre 730 μ S/cm pour la source de Hammam Boughrara (2) et 20000 μ S/cm pour la source d'Ain Sellama (13). Ceci montre une grande variation de la minéralisation d'une source à une autre.

La classification des eaux des secteurs étudiés selon leurs conductivités est portée dans le tableau suivant (Tab.4.19):

Tab.n°4.17: Classification des eaux selon la conductivité électrique

Conductivité	Noms des eaux thermo-minérales
Classe 1(Cond < 2000 μ S/cm-)	H. Boughrara, H. Ain Tahamamite, Ain palmier, Source Dupont, Ain Sidi Ali N°3, et Hammam Labes
Classe 2 (2000 μ S/cm <Cond<7000 μ S/cm)	H.Chiguer, Hammam Rabi, Hammam Sidi Aissa, H.Bouhadjar, Sidi Ayd, Ain Madagh, Ain Franin, Ain El Hammamat, Ain El Hammam N°6, Ain Skhouana, Ain Melha, Ain Zeoui et Sidi Hadj.
Classe 3 (7500 μ S/cm< Cond<15000 μ S/cm)	H. Ain Ouarka
Classe 4 (Cond> 15000 μ S/cm)	Ain Sellama

La première classe est caractérisée par des eaux ayant des conductivités inférieures à 2000 μ S/cm, ce sont des eaux de type bicarbonaté calcique ou sodique liées aux réservoirs carbonatés, la minéralisation de certaines sources peut être améliorée par suite d'un lessivage limité des évaporites ou par condensation des eaux dans les cavités karstiques (Monts de Tlemcen et Monts de Saïda).

Pour la deuxième classe, les eaux ont un faciès chloruré ou sulfaté, résultant du lessivage des formations évaporitiques.

Pour la 3ème classe, une seule source possède un faciès hyperchloruré sodique caractéristique des eaux ayant circulé à travers les formations évaporitiques.

Les eaux de la 4ème classe sont les plus chargées. La source d'Ain Sellama est de type hyperchlorurée sodique.

4.6.1.3. Relation conductivité, Résidu Sec et minéralisation

Ce sont des paramètres importants pour caractériser les teneurs en sels dissouts des eaux thermo-minérales.

Les coefficients de corrélations calculés à partir des droites de régression des figures (4.18 ; 4.19 ; 4.20) montrent les trois relations reliant de ces trois paramètres [10].

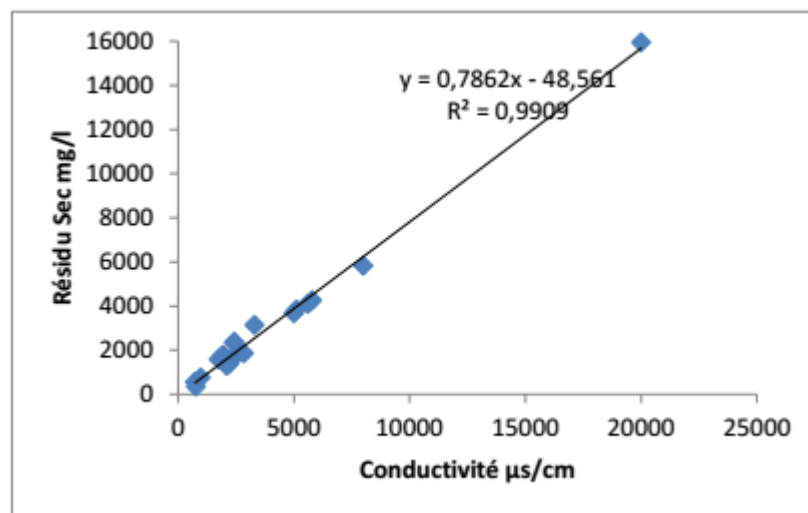


Fig. 4.18 : Droite de corrélation entre le Résidu Sec et la conductivité [10].

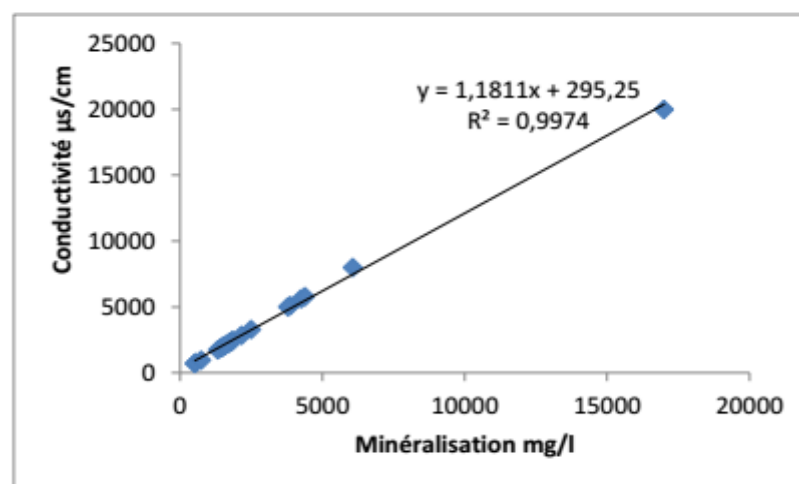


Fig.4.19: Droite de corrélation entre la conductivité et la minéralisation [10].

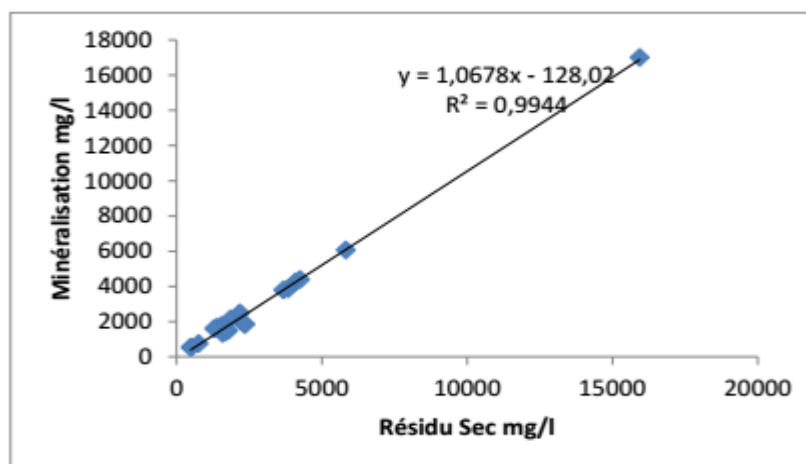


Fig.4.20: Droite de corrélation entre la minéralisation et le Résidu Sec [10].

4.6.1.4. pH

Les valeurs du pH mesurées aux différentes forages thermo-minéraux et sources sont généralement supérieures à 7 ou autour de la neutralité, à l'exception des sources de Hammam Bouhadjar, Sidi Ayd, Ain Sellama et quelques sources de Hammam Bouhnifia qui présentent un pH acide. Leurs valeurs du pH variant entre 6,5 et 7 sont enregistrées par des sources à dégagement gazeux. Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous (Tab. n°4.20 et Fig. n°4.21) :

Tab.n°4.18: Classification des sources thermo-minérale étudiées suivant leur Ph

Eaux légèrement acide $6,5 < \text{pH} < 7$	Hammam Bouhadjar, Sidi Ayd, Ain Sellama, Ain El Hammamat, Source Dupont 3, Ain El Hamam N°6
Eaux proche de la neutralité $7 \leq \text{pH} < 7,5$	H. Chiguer, Tahamamite, Hammam Rabi, H. Sidi Aissa, Ain Franin, Ain palmier, Ain sidi Ali N°, H. Labes, Ain Skhouna, Ain Melha, Ain Zeoui, Ain Ouarka,
Eaux à tendance basique $\text{pH} > 7,5$	H. Boughrara, Ain Madagh, Sidi Hadj

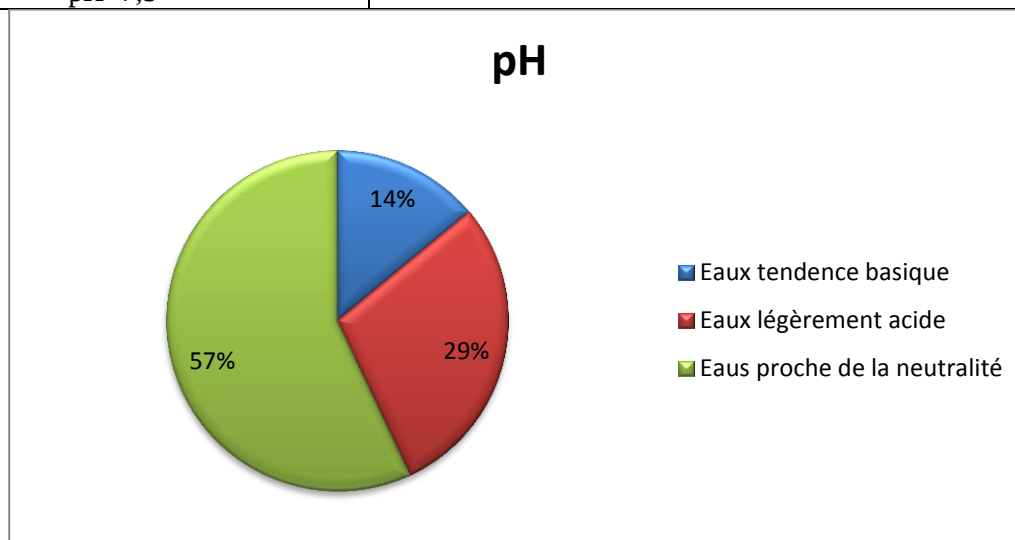
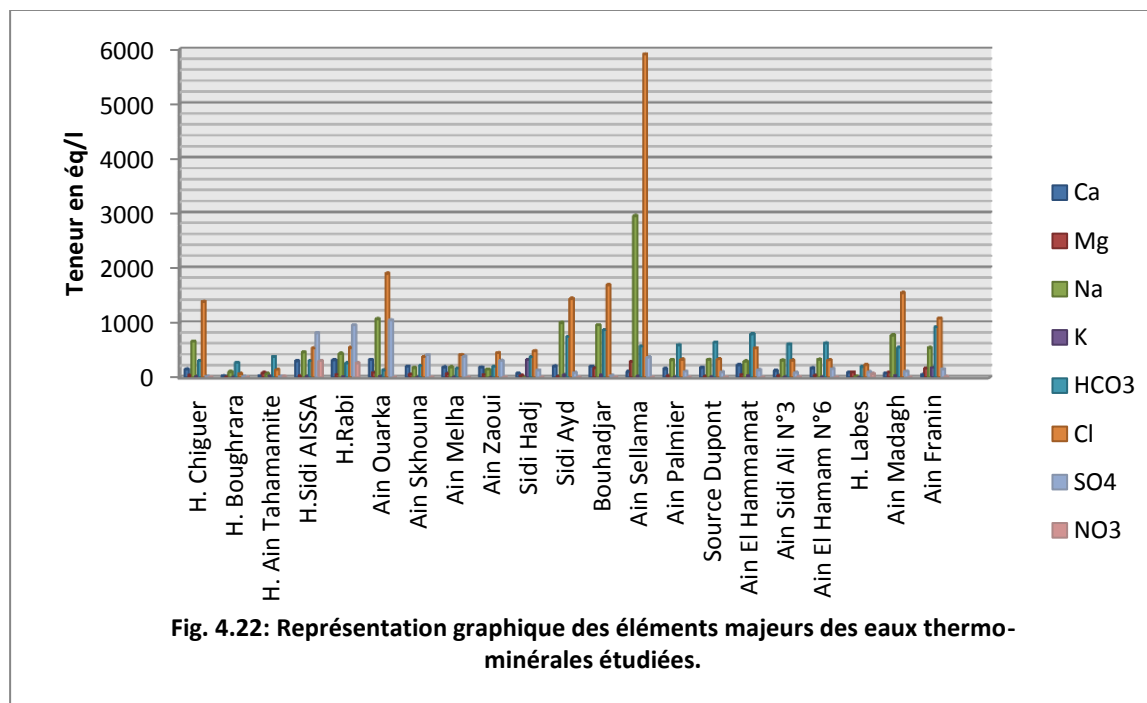


Fig.4.21: Pourcentage de pH

4.6.2. Paramètres chimiques

L'examen des résultats des analyses chimiques montre que pour la majorité des sources, l'ion chlorure est prédominant sur les ions HCO_3^- et SO_4^{2-} , il en est de même pour le Na^+ qui prédomine sur les cations Mg^{2+} et Ca^{2+} (Fig. n°4.22).



4.6.2.1. Calcium

La présence des ions Ca^{+2} dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles soit :

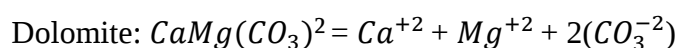
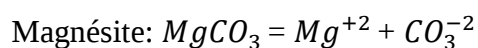
La dissolution des formations carbonatées : $CaCO_3 \rightleftharpoons Ca^{+2} + CO_3^{-2}$
 La dissolution des formations gypseuses : $(CaSO_4, 2(H_2O)) \rightleftharpoons Ca^{+2} + SO_4^{-2} + 2(H_2O)$

Une teneur faible en calcium fait penser à un échange de base contre le sodium ou à l'absence de minéraux riches en calcium faiblement altérables. Par contre, une teneur élevée en calcium pourrait provenir de la mise en solution du gypse ou de l'anhydrite.

Les teneurs en calcium dans les secteurs étudiés varient entre 28 mg/l comme valeur minimum dans les eaux thermo-minérales de Hammam Boughrara et 323mg/l comme valeur maximum dans les eaux de Hammam d'Ain Ouarka.

4.6.2.2. Magnésium

Ses origines sont comparables à celle du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium,



Pour les eaux étudiées, la variation des teneurs en magnésium entre 13mg/l comme valeur minimale dans les eaux de Hammam Boughrara et 292mg/l comme valeur maximale dans les eaux de la source d'Ain Sallema.

4.6.2.3. Sodium

L'origine de cet élément est liée essentiellement à la dissolution des formations salifères et à la proximité de la côte. Les évaporites seraient la principale origine de la teneur en Na^+ .

La proximité des Sebkhas et des Chotts peut être aussi à l'origine de l'augmentation en cet élément. Les valeurs les plus élevées sont atteintes à Ain Sellama avec 2953mg/l et à Ain Ouarka 1070mg/l.

4.6.2.4. Potassium

Les teneurs en potassium sont très faibles par rapport à celles des autres cations. La concentration est comprise entre 4mg/l à Hammam Sidi Hadj et 181mg/l à Hammam Farnin.

4.6.2.5. Chlorure

L'origine de cet élément est liée spécialement à la dissolution des formations salifères comme le cas du sodium. Les évaporites constituent la source principale de cet enrichissement. L'influence marine, la proximité des bassins endoréiques (Chotts, Sebkhas), les eaux fossiles ou connées, peuvent aussi être à l'origine de cet élément.

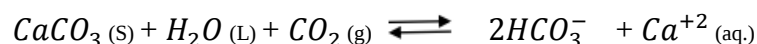
Pour les eaux étudiées, la variation des teneurs en chlorures entre 69mg/l comme valeur minimale dans les eaux de Hammam Boughrara et 5907mg/l comme valeur maximale dans les eaux de la source Ain Sellama.

4.6.2.6. Sulfate

Les sulfates peuvent avoir une origine météorique, comme ils peuvent également procéder de l'activité biologique naturelle ou agricole, ou de la présence d'évaporites (gypse), ou de l'utilisation domestique (détergents). Les concentrations des eaux analysées variant entre 21 à H. Boughrara et 1050mg/l à Hammam Ain Ouarka.

4.6.2.7. Bicarbonates

Bicarbonates proviennent de la dissolution des formations carbonatées (calcaire, dolomie) par des eaux chargées en gaz carbonique (CO_2) selon l'équation suivante:



Pour les eaux étudiées, les teneurs en bicarbonates varient entre 137mg/l comme valeur minimale dans les eaux de Hammam d'Ain Ouarka et 920mg/l comme valeur maximale dans les eaux de la source d'Ain Franin.

4.6.2.8. Nitrates

C'est une forme très soluble, et représentent la forme la plus oxydée de l'azote. L'apport atmosphérique en nitrates est faible, la teneur naturelle des eaux souterraines en cet élément Nitrats est également faible; elle dépend des types de sols, de la végétation qui les recouvrent ainsi que du taux d'oxygénation dans la zone noyée. On peut dire aussi que l'origine des nitrates dans les eaux est essentiellement externe (apports anthropiques). Les nitrates sont utilisés comme indice de pollution. Les teneurs élevées ont été observées dans les eaux de Hammam Labes 67mg/l.

4.6.3. Classifications hydrochimiques

Nous avons regroupé l'ensemble des eaux étudiées, en fonction de leurs formules caractéristiques et de leurs faciès, pour comparer les eaux entre elles, (Tab. n° 4.21).

Tab. n°4.19: Formules caractéristiques et faciès des sources thermo-minérales étudiées

Noms	Formules Caractéristiques		Faciès chimiques
Ain Ouarka, Bouhdjar, Sidi Aïd	$rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rNO_3^-$	$rNa^+ > rCa^{2+} > rMg^{2+} > rK^+$	Chlorurée sodique
Ain Skhoua, Ain Zeoui, Ain Melha	$rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rNO_3^-$	$rCa^{2+} > rNa^+ > rMg^{2+} > rK^+$	Chlorurée calcique
Chiguer, Ain El Hammat Sidi hadj	$rCl^- > rHCO_3^- > rSO_4^{2-} > rNO_3^-$	$rNa^+ > rCa^{2+} > rMg^{2+} > rK^+$	Chlorurée sodique
Bouharara, Ain Palmier, El Hamam N°6, Source Dupont, Ain sidi Ali N3	$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-} > rNO_3^-$	$rNa^+ > rCa^{2+} > rMg^{2+} > rK^+$	Bicarbonatée sodique
Tahamamite	$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-} > rNO_3^-$	$rMg^{2+} > rNa^+ > rCa^{2+} > rK^+$	Bicarbonaté magnésien
Sidi Aïssa, Hammam Rabi	$rSO_4^{2-} > rCl^- > rHCO_3^- > rNO_3^-$	$rNa^+ > rCa^{2+} > rMg^{2+} > rK^+$	Sulfatée sodique
Ain Franin, Ain Madagh Ain Sellama	$rCl^- > rHCO_3^- > rSO_4^{2-} > rNO_3^-$	$rNa^+ > rMg^{2+} > rCa^{2+} > rK^+$	Chlorurée sodique
H. Labes	$rCl^- > rHCO_3^- > rSO_4^{2-} > rNO_3^-$	$rMg^{2+} > rCa^{2+} > rNa^+ > rK^+$	Chlorurée Magnésien

La classification des eaux montre que le faciès le plus prédominant est de type chloruré.

4.6.4. Représentations graphiques

Les eaux des différentes sources thermo-minérales assignées ont été indiquées sur trois diagrammes:

4.6.4.1. Diagramme de Schoeller-Berkaloff

Les résultats des analyses chimiques des eaux analysées reproduites sur le diagramme de Schoeller- Berkaloff (Fig. n°4.23) nous ont permis distinguer trois faciès :

- Chloruré sodique, calcique et magnésien.
- Bicarbonaté sodique et magnésien.

- Sulfaté sodique.

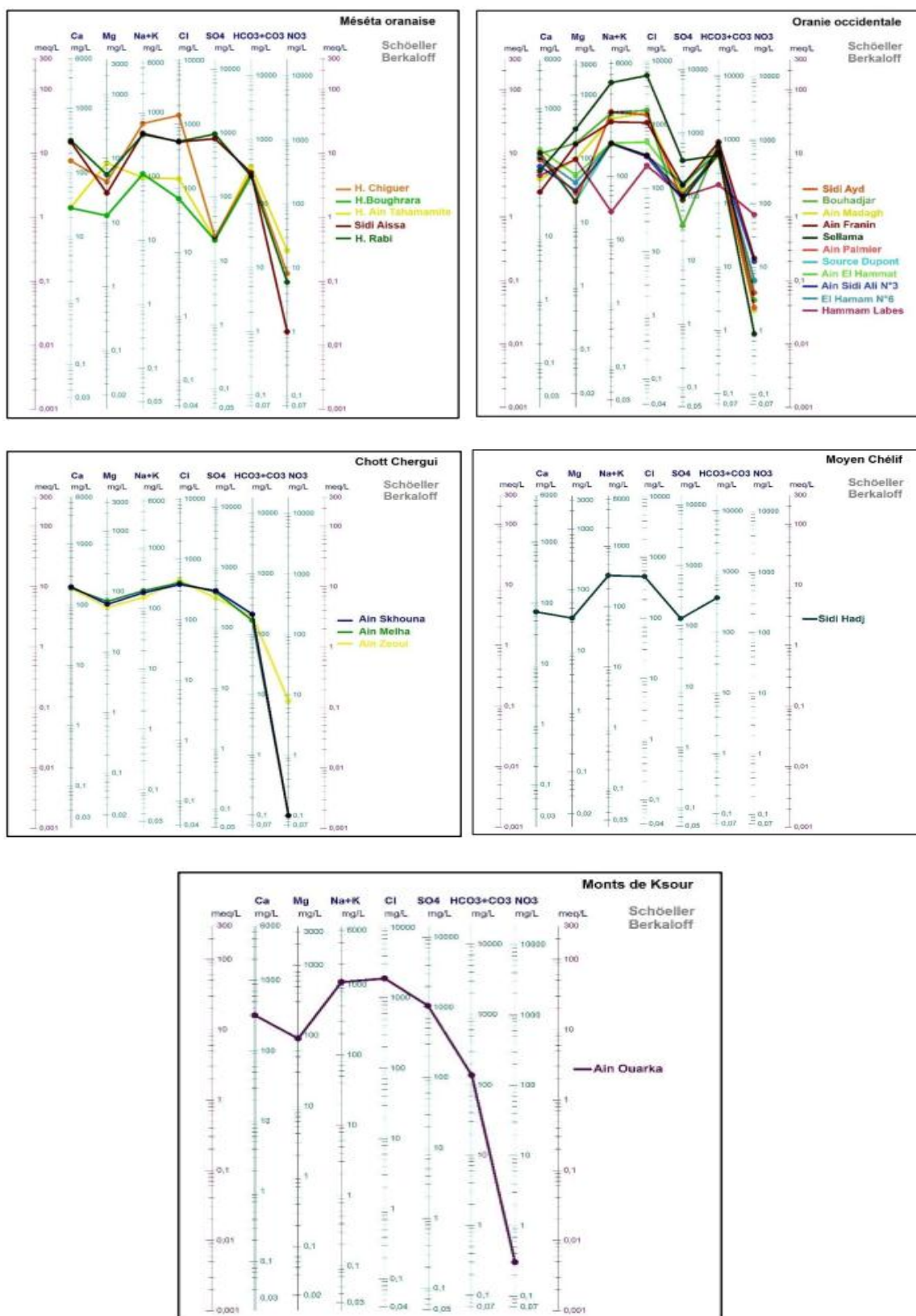


Fig. 4.23 : Représentation graphique des eaux thermo-minérales de cinq secteurs sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff.

4.6.4.2. Diagramme de Piper

Les résultats des analyses chimiques des eaux étudiées reportées sur le diagramme de Piper (Fig. n°4.24) nous ont permis de distinguer quatre faciès :

- Chlorurée calcique.
- Chlorurée Sodique ou sulfatée sodique.
- Bicarbonatée sodique.
- Bicarbonatée magnésienne.

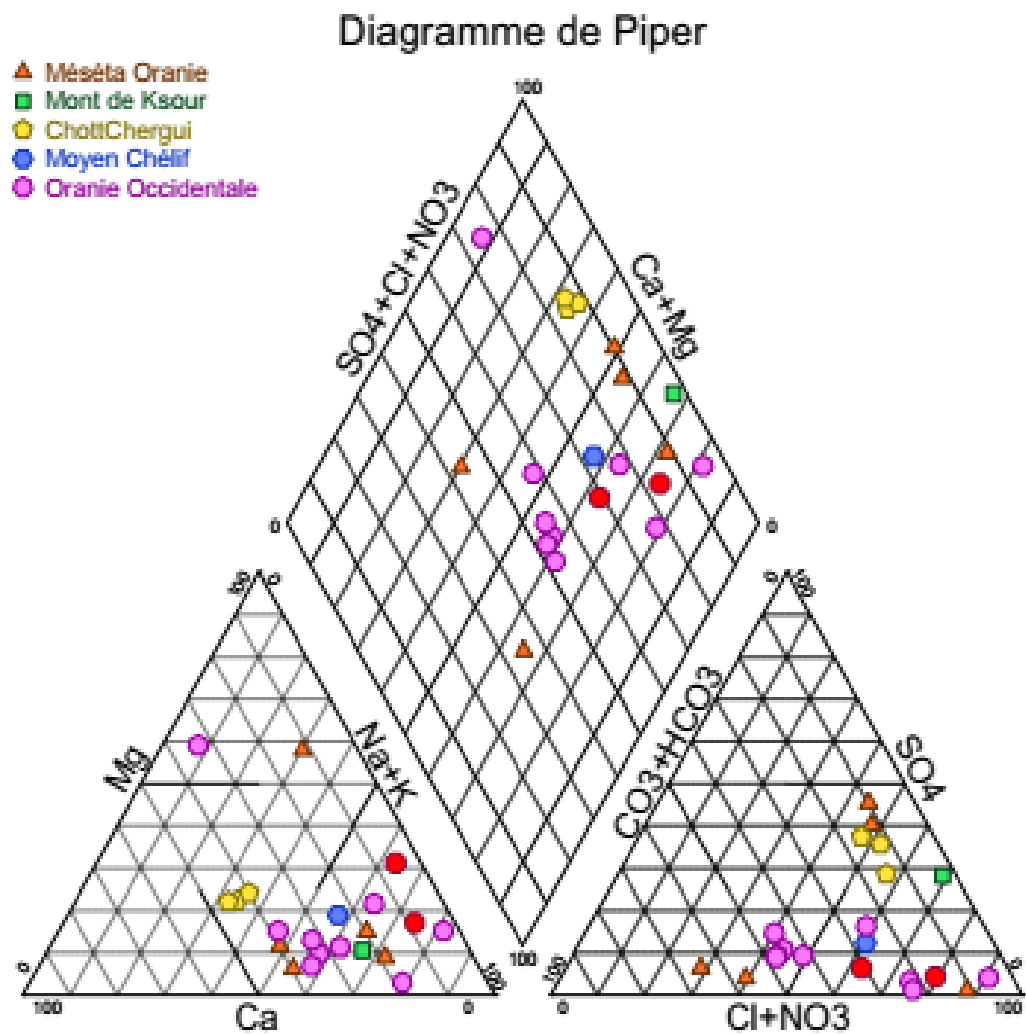


Fig.4.24: Représentation graphique des eaux sur le diagramme de Piper.

4.6.4.3. Indice de Déséquilibre Chloro-alkalin I.D.C

Les données relatives aux indices et aux caractéristiques physico-chimiques des stations vont permettre de réaliser des cartes thématiques liées aux rapports et aux indices. Créer une grille numérique à partir d'un fichier vectoriel contenant des points (stations) de données discrets, qui sont associée à des valeurs de coordonnées qui représentent les emplacements (localisation). En appliquant la technique TIN (réseau d'interpolation triangulaire) à des points de données discrets, on crée une grille contenant des données qui varient continuellement sur l'espace géographique. La méthode TIN utilise un réseau de triangles approximativement équilatéraux, qui connectent des points dans un ensemble de données, pour estimer la valeur à chaque nœud de la grille. La technique d'interpolation TIN sur l'ensemble de données à montrer une distribution spatiale de l'**Indice de Déséquilibre Chloro-alkalin (I.D.C)**. en ce qui concerne les indices de déséquilibre Chloro-alkalin des sources et les Caractéristiques physico-chimiques pourront faire l'objet d'études ultérieures.

Tab. n°4.20: Rapports caractéristiques et indice de déséquilibre chloro-alkalin des eaux des secteurs étudiées

	Nom	I.D.C	$r(SO_4^{2-} / Cl^-)$	$r(Na^+ / Ca^{+2})$	$r(Na^+ / Mg^{+2})$	$r(Mg^{2+} / Ca^{+2})$
Méséta Oranie	H. Chiguer	0,25	0,01	3,77	7,97	0,47
	H. Boughrara	-1,39	0,22	3,2	4,19	0,76
	H. Tahamamite	0,08	0,11	2,07	0,42	4,9
	H. Sidi Aissa	-0,34	1,11	1,33	8,37	0,16
	Hammam Rabi	-0,26	1,3	1,19	4,12	0,29
Oranie Occidentale	Ain Madagh	0,20	0,05	8,49	4,22	2,01
	Ain Franin	0,07	0,10	9,58	1,62	5,66
	Sidi-Ayd	-0,10	0,04	4,22	25,16	0,17
	H. Bouhadjar	0,10	0,01	4,17	2,85	1,46
	Ain Sellama	0,22	0,05	23,96	5,34	4,48
	Ain Palmier	-0,51	0,24	1,75	5,77	0,30
	Source Dupont	-0,53	0,22	1,60	8,08	0,2
	Ain El Hammamat	0,09	0,19	1,12	2,84	0,4
	Ain Sidi Ali N3	-0,57	0,21	2,20	5,3	0,41
	Ain El Hamam N°6	-0,61	0,37	1,67	4,16	0,40
	Hammam Labes	0,84	0,32	0,18	0,10	1,78
Moyen Chélif	Sidi Hadj	0,014	0,56	1,64	4,24	0,39
Chott chérgui	Ain Skouna	0,27	0,79	0,01	0,03	0,51
	Ain Melha	0,28	0,69	0,02	0,03	0,60
	Ain Zeoui	0,48	0,51	0,01	0,03	0,49
Monts de Ksour	H. Ain Ouarka	0,12	0,41	2,88	6,21	0,46

1. C'est une approche SIG développée en cartographie numérique.
2. ISO pour isovaleurs (exemple courbes de niveau).
3. Normalement elles représentent les sources thermales (stations).

Le logiciel utilisé: SIG Mapinfo utilisant le gradient vertical.

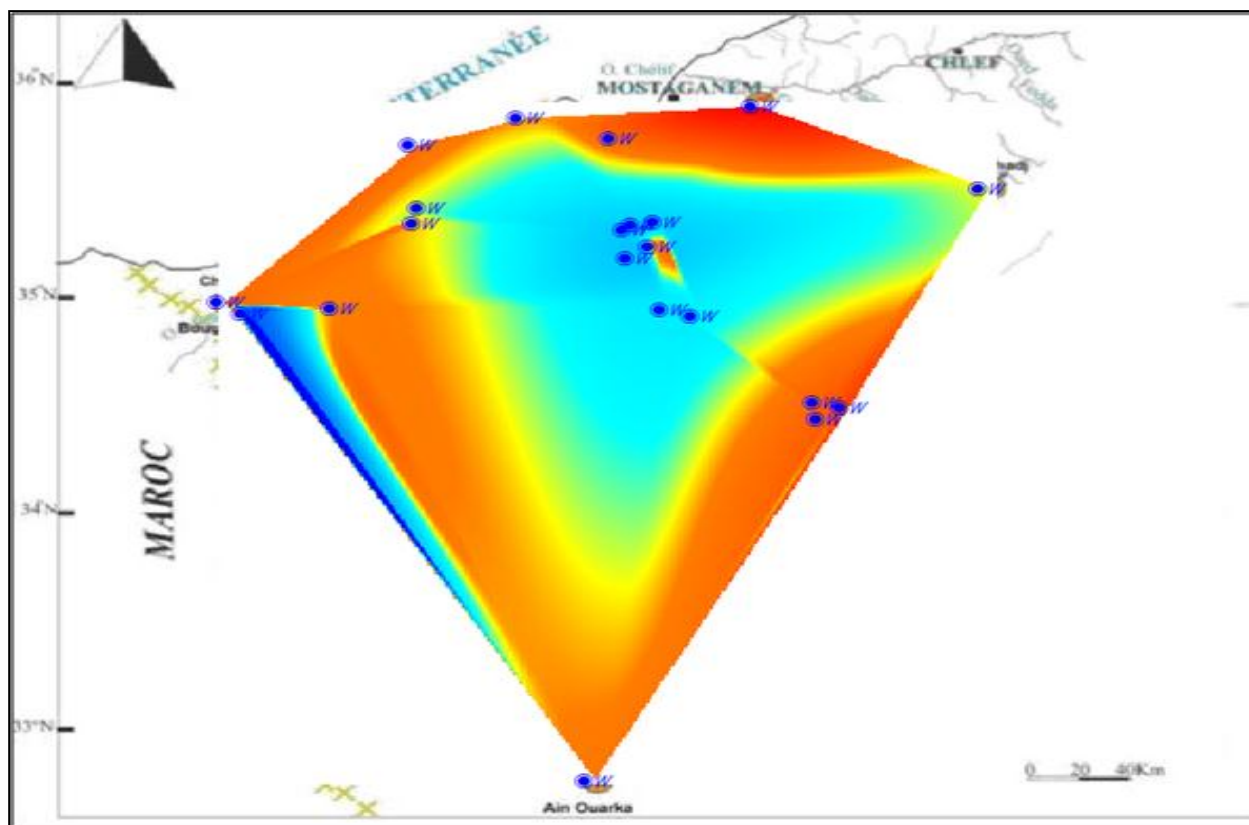


Fig.4.25: Interpolation et définition des zones de L'IDC

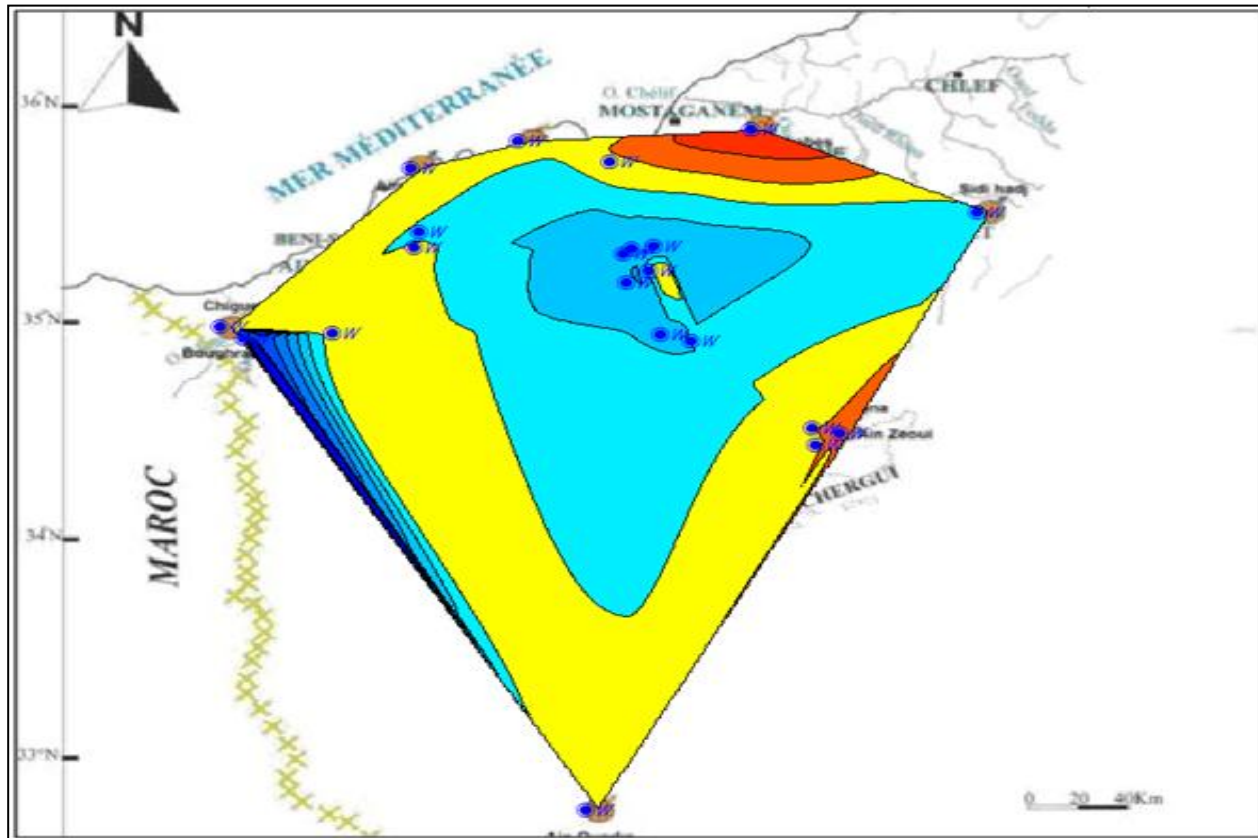


Fig.4.26: Définitions des contours en fonction des stations

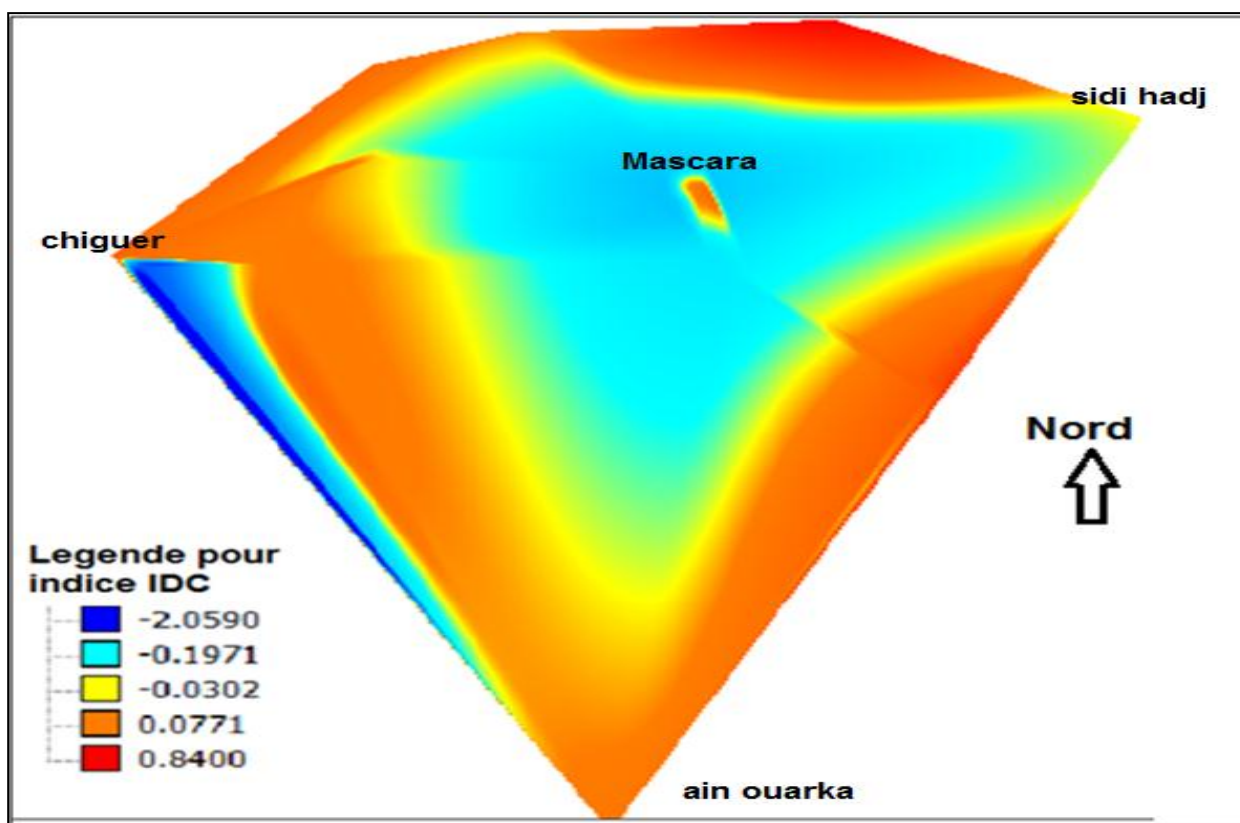


Fig.4.27: Distribution spatiale des indices

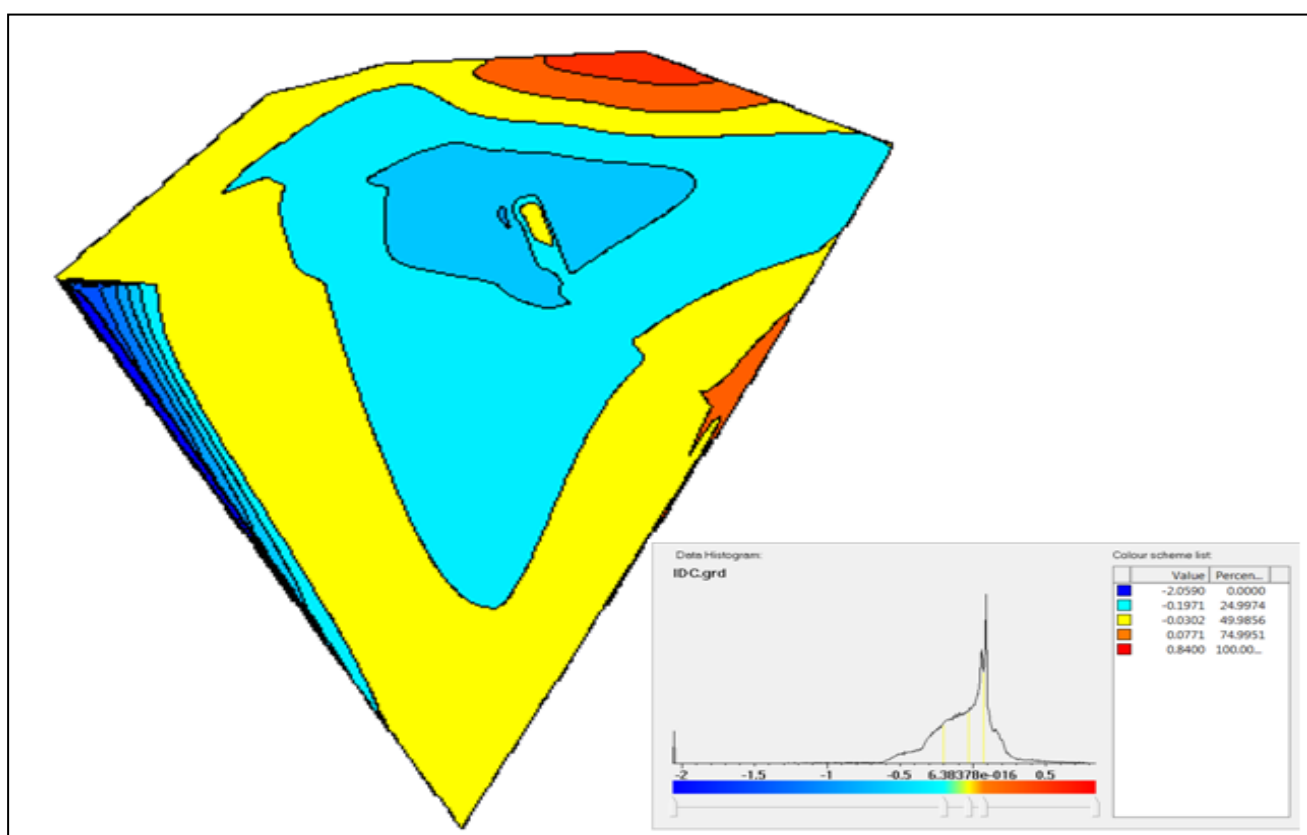


Fig.4.28: Définition des contours et histogramme des indices

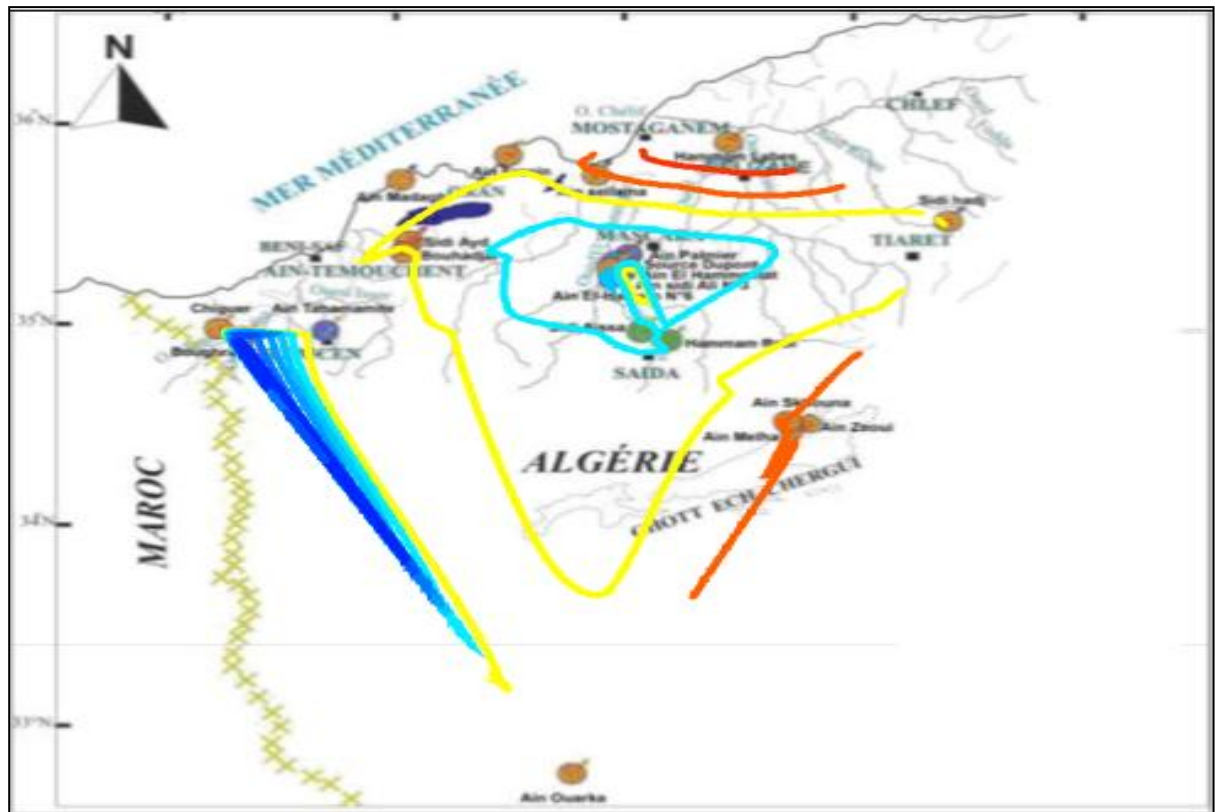


Fig.4.29: Représentation des iso valeurs sur la carte des stations

4.6.4.4. Diagramme de l'I.I.R.G (Institut International de Recherche en Géothermie)

Six nouveaux paramètres (A, B, C, D, E, et F) permettant d'établir un diagramme rectangulaire ont été définis par Amore et al. (1983), le diagramme IIRG (Institut international des recherches géothermique). Ces paramètres sont déterminés par des rapports de concentration entre les éléments majeurs (Na, K, Ca, Mg, HCO₃, SO₄ et Cl en méq/l) [10].

4.6.4.4.1. Principe du diagramme I.I.R.G

En utilisant la somme de leurs cations et leurs anions et les rapports de concentrations de ces éléments exprimés en milliéquivalents par litre, six nouveaux paramètres (A, B, C, D, E et F) ont été définis et normalisé à 100.

a) Paramètre : $A = 100 \times ((\text{HCO}_3 - \text{SO}_4) / \Sigma(-))$

Ce paramètre aide à différencier entre les eaux circulant à travers les terrains calcaires et celles qui traversent des couches évaporitiques.

b) Paramètre: $B = 100 \times ((\text{SO}_4 / \Sigma(-)) - (\text{Na} / \Sigma(+)))$

B permet de différencier les eaux riches en sulfates circulant dans les terrains évaporitiques, des eaux riches en Na⁺ circulant dans les formations sédimentaires argilo-marneuses.

c) Paramètre : $C = 100 \times (\text{Na} / \Sigma(+)) - \text{Cl} / \Sigma(+))$

C distingue les eaux dérivant des flyschs de celles provenant, soit des séries carbonatées évaporitiques, soit du socle schisto-quartzitique. Ces deux types d'eaux ont des teneurs élevées en Na^+ mais le premier présente une faible teneur en Cl^- et le second un rapport Na/Cl voisin de 1.

d) Paramètre: $D = 100 \times ((\text{Na}-\text{Mg}) / \sum(+))$

D indique les eaux circulant dans les calcaires dolomitisés.

e) Paramètre: $E = 100 \times ((\text{Ca}+\text{Mg}) / \sum(+)-\text{HCO}_3 / \sum(-))$

E tend surtout à distinguer les circulations d'eau dans les réservoirs carbonatés et celles se présentant dans les réservoirs sulfatés.

f) Paramètre: $F = 100 \times (\text{Ca}-\text{Na}-\text{K} / \sum(+))$

F révèle l'augmentation de la teneur en K dans les échantillons d'eau. Les valeurs calculées de ces paramètres permettent d'établir des diagrammes rectangulaires (Fig. n°4.25). Les lignes figurantes obtenues sur diagrammes permettent, de définir les faciès chimiques des groupes d'eau :

- Eaux sulfatées calciques représentées par α
- Eaux bicarbonatées calciques représentées par β
- Eaux chlorurées sodiques représentées par γ
- Eaux bicarbonatées sodiques représentées par δ

(α , β , γ , δ sont les diagrammes rectangulaires standards)

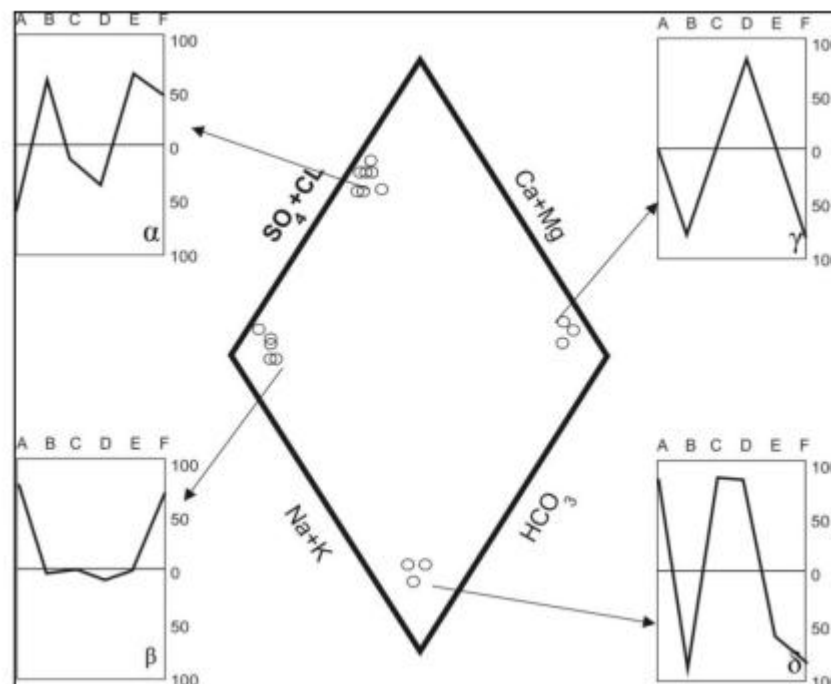


Fig. n°4.30: Diagramme rectangulaire I.I.R.G (α : série évaporitique ; β : circulation dans les calcaires; γ : circulation profonde à travers un socle cristallin; δ : formation argileuse). [10]

Les résultats obtenus dans le diagramme I.I.R.G (Fig. n°4.25), sont identiques à ceux obtenus par le diagramme de Piper.

La majorité des eaux thermo-minérales étudiées sont chlorurées sodiques et calciques, ayant circulé à de grandes profondeurs comme le montrent les diagrammes γ de la figure n°4.26.

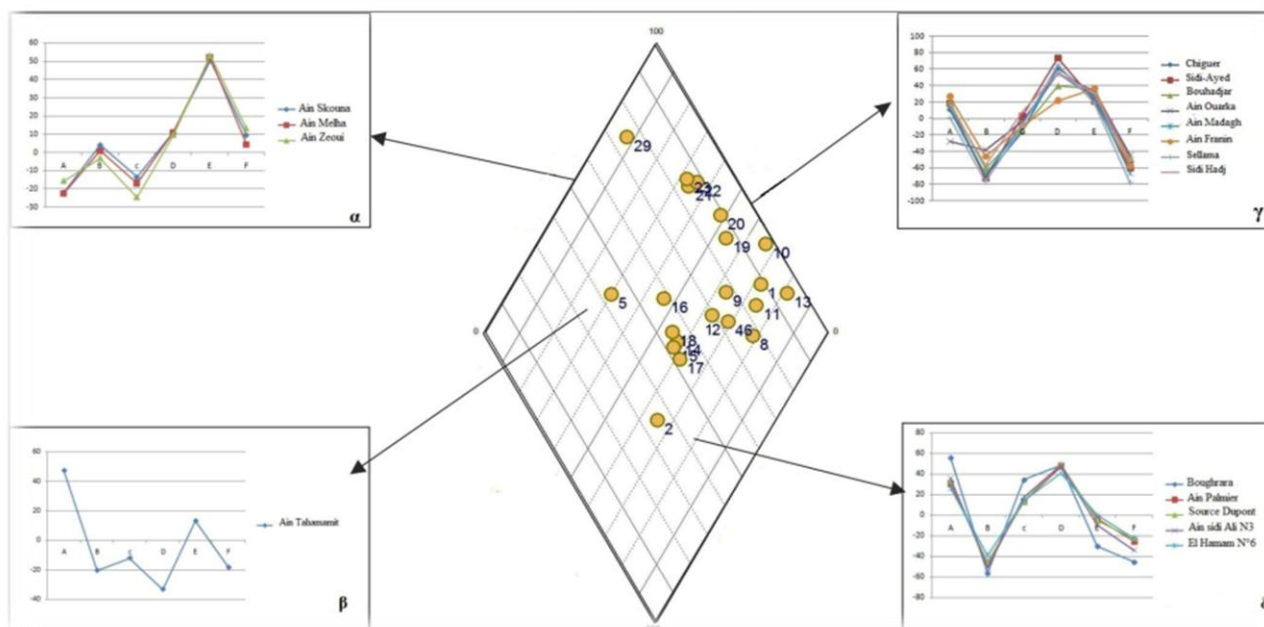


Fig. n°3.31: Représentation graphique des eaux thermo-minérales étudiées sur Diagramme I.I.R.G [10]

4.7. Conclusion

Les eaux thermo-minérales étudiées sont attachées à un système très compliqué interprétant la circulation des eaux en profondeur. La minéralisation initiale a été totalement remplacée soit au cours de la circulation dans les réservoirs soit au cours de la remontée. Les évaporites du Trias ou de Messinien influencé le chimisme de la majorité des eaux thermo-minérales étudiées donnant ainsi création à des sources thermales très minéralisées.

Le contact des eaux de ces sources avec des terrains, des formations évaporitiques ou carbonatées, argileux ou marneux, conduit souvent aux échanges qui influencent le chimisme et la minéralisation originelle de l'eau obtenue dans le réservoir.

La plupart des sources étudiées appartiennent à la classe des eaux mésothermales et présentent des caractéristiques particulières de dégagement gazeux et de radioactivité.

La distribution spatiale des éléments chimiques a confirmé que l'origine de ces faciès est fortement liée à la nature lithologique des formations traversées. Trois grands faciès chimiques se dégagent (Fig. n°4.27) :

1- Eaux chlorurées sodiques et calciques: cette famille regroupe 12 sources parmi lesquelles trois sont hyperchlorurées sodiques ayant des teneurs élevées en Na^+ et Cl^- . Ces

fortes teneurs seraient le résultat que ces eaux ont circulé longtemps à travers des formations évaporitiques.

2- Eaux sulfatées sodiques : dans ce groupe, deux se classent sous le faciès sulfaté sodique H. Sidi Aissa et H. Rabi. Ces eaux acquièrent cette minéralisation dans les formations évaporitiques principalement triasiques.

3- Eaux bicarbonatées calciques et magnésien : les sources au nombre de six (cinq Bicarbonaté calciques et un Bicarbonaté magnésien Tahamamite), sont caractérisées par des eaux ayant circulé dans des réservoirs carbonatés.

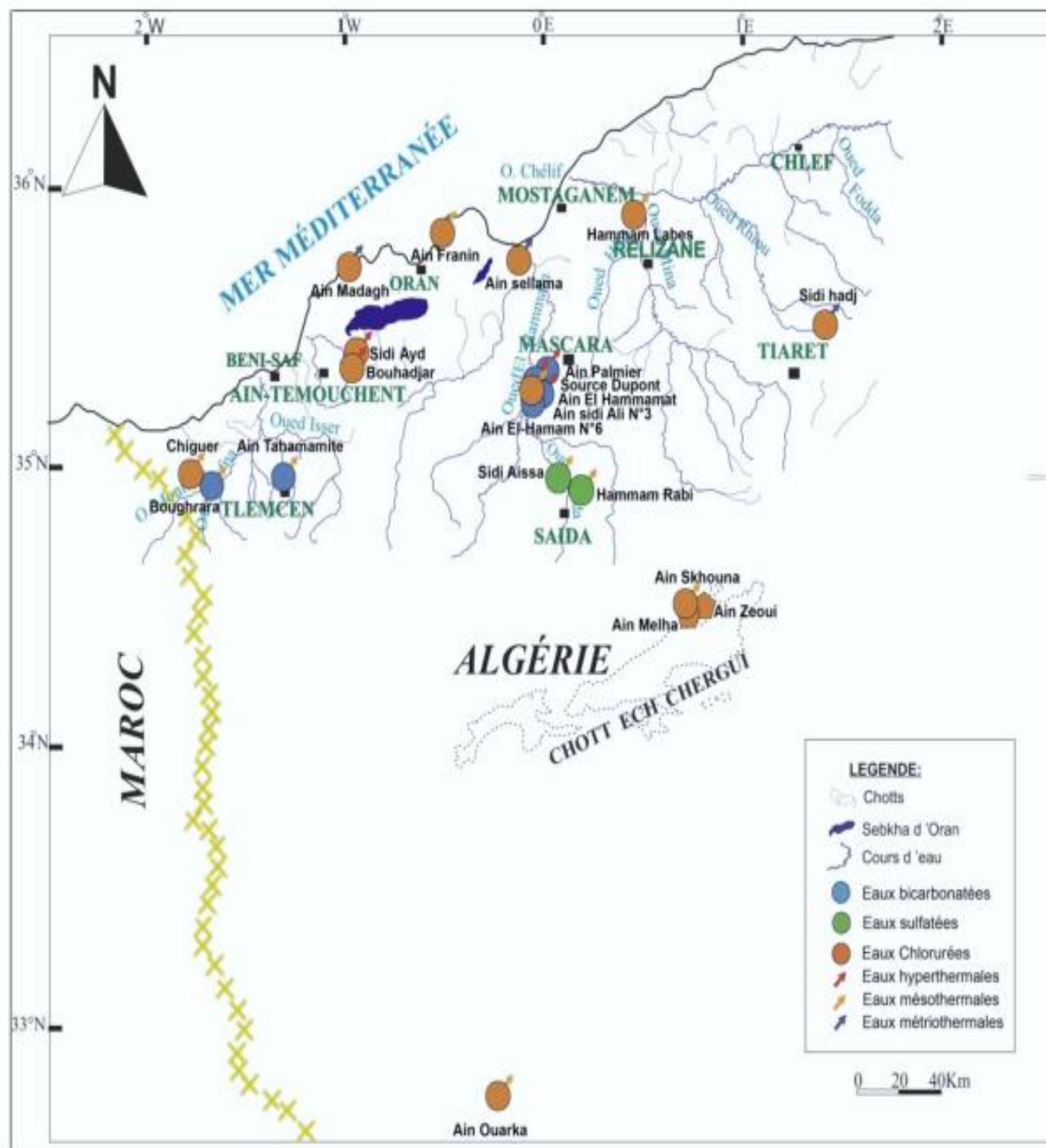


Fig. 4.32: Carte de chimie des eaux thermo-minérales de l'Ouest Algérien [10]



Conclusion générale

Conclusion générale

Au terme de cette étude expérimentale, a mis en évidence des résultats basés sur les différentes études structurales, géologiques, hydrogéologiques, sismotectoniques et hydrogéochimiques pour la compréhension des processus souterrains à Les conclusions obtenues peuvent se résumer en plusieurs points:

- ❖ Les températures mesurées à l'émergence varient entre 22°C et 68,5 °C.
- ❖ Les sources thermo-minérales sont profondément liées aux différents réservoirs aquifères rencontrés dans la région. Les principaux réservoirs sont généralement de nature carbonatée ou parfois gréseuse. Ils correspondent :
 - ✚ Aux formations de calcaire à lithothamnium et aux formations du Plio-quaternaire. (Quelques sources apparaissent dans le bassin néogène).
 - ✚ aux formations calcaires et dolomitiques du Jurassique (massifs littoraux). La source thermo-minérale d'Ain Franin est liée au réservoir gréseux anté-jurassique.
 - ✚ aux formations du Mio-plio-Quaternaire (dans les plaines de l'Oranie occidentale).
 - ✚ aux formations carbonatées et karstifiées du Jurassique supérieur et du Crétacé inférieur, au niveau des Monts de Tlemcen (Méséta Oranaise)

- L'étude du contexte tectonique des sources thermo-minérales du littoral oranais a permis de connaître la nature et la direction des failles à l'origine des émergences thermo-minérales de cette région. Ceci est conforté par la présence de certaines sources au voisinage de manifestations volcaniques, à titre d'exemple : Hammam Bouhadjar et Hammam Boughrara.

- D'après les résultats des analyses effectuées sur les eaux thermales de la région d'étude et d'après les trois méthodes de représentation graphique, on peut dire que les eaux thermales représentent les faciès suivants :

- Faciès Chlorurée sodique : Ain Ouarka, Bouhdjar, Sidi Ayd, Chiguer, Ain El Hammat, Sidi hadj, Ain Franin, Ain Madagh, Ain Sellama.
- Faciès Chlorurée calcique : Ain Skhouana, Ain Zeoui, Ain Melha
- Faciès Chlorurée magnésien : H. Labes.
- Faciès Bicarbonatée sodique : Bougharara, Ain Palmier, El Hamam N°6, Source, Dupont, Ain sidi Ali N3.
- Faciès Bicarbonaté magnésien : Tahamamite.
- Faciès Sulfatée sodique : Sidi Aissa, Hammam Rabi.



Références bibliographiques

Références Bibliographique

- [1] **Ouali Salima. (2006).** Etude Géothermique Du Sud De L'Algérie. Thèse de Magister. Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene.
- [2] **Hakim Saibi., Mohamed Amrouche., Joseph Batir., Carlos Pocasangre., Saber Hussein., Amir Gabr., Ala Aldahan., Haydar Baker., Jun Nishijima., Joachim Gottsmann. (2020):** 3D Geologic Model and Energy Potential Estimation of UAE Geothermal Systems Mubazzarah-Ain Faidha and Ain-Khatt. *Proceedings World Geothermal Congress 2020. Reykjavik, Iceland, April 26 – May 2, 2020.*
- [3] **Ait Ouali., Issaadi, S. Ouali, MM Hadjiat. Ayadi. K. Imessad. (2019):** The Role of Geothermal Waters in Sustainable Development Application of Main North Center Algerian Hot Springs (Righa, Biban, Ksena). *European Journal of Sustainable Development.*
- [4] **Dan, Constantinescu. (2019):** Thermal Conductivity And Stresses In Steels. *University Politehnica of Bucharest National Society for Science and Environmental Engineering.*
- [5] **Hadj kouider Mohamed.** Les potentialités géothermiques du sud de l'Algérie Article. Université Kasdi Merbah Ouargla. *Nezli Imed Eddine Université Kasdi Merbah-Ouargla. Algérie.*
- [6] **Ait Ouali A. (1,2). Ayadi A (2). Maizi D (3). Issaadi A (3). Ouali S (1). Bouzidi K (1). Imessaad K (1).** Mise à jour des principales provinces géothermiques algériennes. 1 *Centre de Développement des Energies Renouvelables, BP. 62 Route de l'Observatoire Bou.*
- [7] **Bekkouche Mohamed Faouzi. (2016). Caractéristiques Hydro chimiques des Sources Thermales de L'extreme Nord-Est Algerien.** Thèse de Doctorat, Annaba.
- [8] **Bekkouche Mohamed Faouzi.(2009).** Caractéristiques des sources thermales de la région D'azzaba. Thèse de Magister, Annaba.
- [9] **Mlle. Lakhdari F & Mlle. Bouaicha K. (2016).** Diagnostic de la qualité des eaux de source et thermales De la Wilaya de Saida-Algérie- Effets thérapeutiques. *Thèse de Master, Mostaganam.*
- [10] **Mekebret I. (2017).** Synthèse hydrogéologique et origine de la salinité des eaux thermo-minérales du littoral oranais par les méthodes géochimiques et isotopiques. *Mémoire de Magister, Université d'Oran.*
- [11] **S. Ouali, A.Khellaf et K Baddari. (2006).** Etude géothermique du sud de l'Algérie. *Revue des Energies renouvelables Vol.9 N° 4 (2006) 297-306.*
- [12] **Nechem D. (2009).** Qualités des eaux des sources thermales. Cas des sources de djebel Safia (Hadjar Soud), Nord Est Algérien. *Mémoire de Magister, Université, Annaba.*
- [13] **Ouali S. (2015).** Contribution à l'étude de quelques réservoirs géothermiques en Algérien. *Thèse de Doctorat, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene.*
- [14] **Abderrahmane Boudoukha et Malika Athamena. (2012).** Caractérisation des eaux thermales de l'ensemble Sud sétifien. Est algérien ». *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science , vol. 25, n° 2, 2012, p. 103-118.*
- [15] **S. Ouali, A.Khellaf et K Baddari. (2007).** Etude des ressources géothermiques du sud Algérien. *Revue des Energies Renouvelables Vol. 10 N°3 (2007) 407 – 414.*
- [16] **Benchamsa Issam. (2017).** L'Utilisation de l'énergie thermique pour le chauffage domestique. *Thèse de Master, Université de Annaba.*
- [17] **Djiridi Moufida, Niboua Nadia. (2010).** Conversion de l'énergie géothermique en énergie électrique par un cycle binaire dans le sud Algérien. *Thèse d'Ingénieur d'Etat. Université d'Ouargla.*

Références Bibliographique

- [18] **Lucas G. (1942).** Description géologique et pétrographique des Monts du Rhar Rouban et de Sidi El Abed. *Thèse de doctorat, Université de Paris*, 540 p.
- [19] **Issaadi A. (1992).** Le thermalisme dans son cadre géostructural, apports à la connaissance de la structure profonde de l'Algérie et de ses ressources géothermales. *Thèse de Doctorat, USTHB (Alger)*, 267 p.
- [20] **Boukhdimi M.A. (2003).** Etude pétrographique et volcanologique des dômes rhyolitiques de Hammam Boughrara (région de Maghnia-Oranie). *Mémoire d'Ingéniorat, USTHB (Alger)*.
- [21] **Boukhdimi M.A. (2009).** Origine de processus de bentonisation des terrains volcanogènes rhyolitique de Hammam Boughrara (Maghnia ; Algérie Nord occidentale). *Mémoire de Magister, Université d'Oran*.
- [22] **Pitaud G. (1973).** Etude hydrogéologique pour la mise en valeur de la vallée de l'oued Saida (Rapport de synthèse).
- [23] **Hassani M. I. (1987).** Hydrogéologie d'un bassin endoréique semi-aride. Le bassin versant de la grande Sebkhia d'Oran (Algérie). *Thèse de Doctorat 3ème cycle, Université de Grenoble*, 304p.
- [24] **Gourinard Y. (1952).** Le littoral oranais (mouvements verticaux et anomalies gravimétriques). *Congr. Géol. Inter. Alger, Monographie régionales (1)*, p 22, 63.
- [25] **Fenet B. (1975).** Recherche sur l'alpinisation de la bordure septentrionale du Bouclier africain à partir d'un élément de l'Orogène nord-maghrébin: les Monts du Djebel Tessala et les Massifs du littoral oranais. *Thèse de Doctorat, Université de Nice*, 301 p.
- [26] **Guardia P. et Magne J (1971).** Aperçu sur le Néogène autochtone de l'Ouest oranais in Vème Congrès du Néogène Méditerranéen-Lyon 1971. *Mémoire B.R.G.M. 78(III)* : 691-703.
- [27] **Perrodon A. (1957).** Etude géologique des bassins néogènes sublittoraux de l'Algérie Occidentale. *Publ. Serv. Carte Géol. Algérie*, pp 12, 328.
- [28] **Thomas G. (1985).** Géodynamique d'un Bassin intra-Montagneux. Le Bassin du Bas Chélif Occidental durant le Mio – Plio – Quaternaire. *Thèse de Doctorat, Université de pau*, 594 p.
- [29] **Demena A. (1956).** Une importante source thermale près d'Ain Franin (Route d'Oran à Ain Franin), La source "YEPSERRA". Extrait du bulletin de la société de géographie et d'Archéologie d'Oran.
- [30] **Doumergue F. et Ficheur E. (1908).** Carte de géologie de l'Algérie 1/50 000, Feuille Oran.
- [31] **Laissoub B. (1974).** Etude des eaux minérales, thermales et thermominérales en Oranie. *Thèse de Doctorat, institut des science médicales d'Oran*.
- [32] **CRAAG. (2005).** Etude hydrogéologique de la zone thermale de Hammam Bouhadjar, dans le cadre de la convention N° 16/2004 commune de Hammam Bouhdjar. O.D.S. n°01.
- [33] **Dalloni M. (1925).** Note préliminaire sur les terrains crétacés des Monts de la Mina et du massif de Beni chograne (Tell oranais). *Bull. Ser. Carte géol. Algérie. Travaux récents des collaborateurs. FascI, Alger*.
- [34] **Guigue S. (1940).** Les sources Thermo-minérales de l'Algérie. Etude géochimique. Tome (I). *Bull. serv. Carte géol. de l'Algérie. 3ème série. 5ème fasc.* 140 p.
- [35] **Meghraoui M. (1988).** Géologie des zones sismiques du nord de l'Algérie : Paléosismologie, tectonique active et synthèse sismo-tectonique. *Thèse de Doctorat, Université de paris VIII*.
- [36] **Nedjaï R. (1987).** Étude hydrogéologique et hydrochimique des eaux thermales du centre algérien. *Thèse de Doctorat, Université Scientifique et Médicale de Grenoble*.
- [37] **Clair A. (1952).** Etude hydrogéologique des monts de Saida. Rapport de synthèse. *Agence Nationale des Ressources en Eau, Alger*.
- [38] **Bassoulet J.P. (1973).** Contribution à l'étude stratigraphique du mésozoïque de l'Atlas saharien occidentale (Algérie). *Thèse de Doctorat, Université de Paris VI Tome I*. 324 p.

Références Bibliographique

- [39] **Douilhasni M. (1974).** Etude structurale de la terminaison Nord Oriental de l'anticlinal d'Ain Ouarka (Monts de Ksour, Atlas Saharien, Algérie). *Mémoire DEA, Université d'Oran*.
- [40] Rapport présenté par **Pierre delomenie** Inspecteur général des affaires sociales
Rapport n°2000119 Octobre 2000.
- [41] **S.Ouali, 2008,** les sources thermales en Algérie.
- [42] **A. Djafri, A. L., Amar Fedjkhi , C. Berriah , K. O., Karim Dadci , M. Boumelih, M. Kali, M. S.(2009)**
- [43] **Roger Castell,** La Bioélectronique Vincent, Editions Dangles, 2011, p.72-73
- [44] **Gibert J.P., Sorel D. et Vergely P. (1975).** Tectonique cassante polyphasée et émergences d'eaux thermales Bull. Soc. géol. Fr., (7), XVII, 4, pp.622-636.
- [45] **Dazy J. et Grillot J.C. (1981-1982).** Le tectonominéralisme péri-alpin : exemple de la région savoyarde (France). *Rev. géol. dyn. géogr. phys., Paris, XXIII, 4, pp. 319-328*
- [46] **Grillot J.C. et Dazy J. (1983).** Photo-interprétation, tectonique cassante et thermalisme : exemple du domaine alpin (France). *Géologie alpine, t.59, pp.45-60.*
- [47] **Gastil G. and Bertine K. (1986).** Correlation between seismicity and the distribution of thermal and carbonate water in southern and Baja California, United States and Mexico. *Geology, 14, p.287-290.*
- [48] **Grillot J.C. et Drogue C. (1986).** Hydrothermalisme et tectonique cassante dans les granites hercyniens du NW du Portugal. *Bull. Soc. Géol., Fr., 4, p.127-134.*
- [49] **Remy M.L. et Pellerin P. (1982).** Quelques données récentes sur la radioactivité naturelle des sources thermales françaises. *Press thermale et climatique, 119, 3, p 150-155.*
- [50] **Sadovsky M.A., Nersyov I.L. et Nigmatullaev S.K. (1972).** The processus proceeding strong earthquakes in some regions of Middle Asia. *Tectonophysics, 14, 295-307 p.*
- [51] **Ulomov V.I. (1968).** On the way to prognosis of earthquakes. *Zemlya i Vsedennaya Acad. Sci. U.S.S.R., 3, 2330 p.*
- [52] **Oddou A., Nault L., Campredon R. et Bernat M. (1983).** Mesure continue des variations des émanations souterraines du radon sur trois sites des alpes maritimes (France). Résultats préliminaires. *C.R. Acad. Sci. Paris, 296, p.1081-1086.*
- [53] **Duriez A. (2006).** Origine et processus de minéralisation d'eaux thermales en milieu continental méditerranéen : cas du système géothermal des Thermopyles (Grèce). *Thèse de Doctorat, Université de Paris Sud, 267 p.*
- [54] **Stumm W, Morgan JJ . 1981.** Aquatic Chemistry: an Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Waters, Wiley-Interscience, Toronto.
- [55] **Michaud.1989.** *The Markowitz Optimization Enigma: is 'Optimized' Optimal? Financial Analysts Journal, 1989.*
- [56] **Vincent Valles.** *Cours sur les eaux thermales.*
- [57] **Dib. H, 2008.** Guide pratique des sources thermales de l'Est Algérien. *Publication du service Géologique National.*
- [58] **BRGM. (2009).** Caractéristique hydrogéochimiques et isotopiques d'eaux thermo-minérales du Massif central. Inventaire du potentiel géothermique de la Limagne (projet COPGEN).

Références Bibliographique

- [59] **Verdeil P. (1987).** Données nouvelles sur le cadre structural du thermalisme et ses implications géochimiques. *CR XXXIII Congrès international SITH Karlovy Vary*.
- [60] **Dib H. (1985).** Le thermalisme de l'Est Algérien. *Thèse de Doctorat, USTHB (Alger)*, 281 p.
- [61] **Dakoure D. (2003).** Etude hydrogéologique et géochimique de la bordure sud-est du bassin sédimentaire de Taoudeni (Burkina-Faso Mali) - Essai de modélisation. *Thèse de Doctorat, Université de Paris*.
- [62] **Schoeller H. (1962).** Les eaux souterraines. Hydrologie dynamique et chimique. Exploitation et évaluation des ressources. *Edition Masson. Paris*.
- [63] **Glynn P.D. and Plummer L.N. (2005).** Geochemistry and the understanding of groundwater systems. *Hydrogeology Journal* 13, pp, 263-287.
- [64] **El Morabiti K., Benmakhelou M., Pulido Bosch A. et Cèron J.C. (2008).** Hydrogéochimique des sources thermales du couloir sud-rifain(Maroc). *Bulletin. d'Hydrogéologie no 22. Centre d'Hydrogéologie, Université de Neuchâtel*.
- [65] **Barbieri M., Boschetti T., Petitta M. and Tallini M. (2005).** Stable isotope (^2H , ^{18}O and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) and hydrochemistry monitoring for groundwater hydrodynamics analysis in a karst aquifer (Gran Sasso, central Italy). *Appl Geochem* 20: p. 2063–2081.
- [66] **Bensaoula F., Bensalah M., Adjim M. et Lachachi A. (2003).** L'apport des forages récents à la connaissance des aquifères karstiques des monts de Tlemcen. *Séminaire national sur l'eau. Saïda. Octobre 2003*.
- [67] **Hayene S. M. (1983).** Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique du bassin versant de l'Oued Sikkak (région de Tlemcen). *Thèse de Doctorat 3ème cycle, Université d'Oran*.
- [68] **Djidi K. (2015).** Contribution à l'étude de l'aquifère karstique de Saida. *Thèse de Doctorat, Université d'Oran*, 226 p.
- [69] **Foukrache M. (2001).** Hydrogéologie des massifs côtiers oranais (Arzew-Béni Saf). *Mémoire de Magister, Université d'Oran*, 321 p.
- [70] **Nadji A. (2010).** Etude sismotectonique du littoral oranais. Contribution à l'aléa sismique. *Thèse de Doctorat, Université d'Oran*, 275 p.
- [71] **Medjber A. et Berkane F. (2016).** Quantification et évolution du bilan de la nappe karstique de Saida (NordOuest de l'Algérie). *European Scientific*, vol12, n°9, 296 p.
- [72] **Kazi-Tani N. (1986).** Evolutions géodynamique de la bordure Nord-Africains. Le domaine intraplaque NordAlgérien. Approche mégaséquentielle. *Thèse de Doctorat, Université de Pau*, 2 tomes, 871 p.



Annexes

Annexes

Annexe 1: Classification des eaux thermo-minérales de l'Ouest algérien.

N	Nom	T<30°C	30°C<T<50°C	T>50°C	Eaux avec R.S>1000mg/l	Eaux avec R.S<1000mg/l	Débit l/s
1	H. Chiguer		X		X		
2	H. Boughrara		X			X	1,5 l/s
3	H. Sidi-Rahou	X				X	
4	Ain el Hammam	X				X	10 l/s.
5	Ain Tahamamite		X	X			2 l/s.
6	Ain Sidi-Abdelli		X			X	
7	Sidi-Berkabi	X				X	
8	Sidi Ayd			X	X		
9	H. Bouhadjar			X	X		
10	Ain Ouarka		X		X		3 l/s
11	Ain Madagh	X			X		
12	Ain Franin		X		X		
13	Ain Sellama	X			X		
14	Ain Palmier				X		
15	Source Dupont				X		
16	Ain El Hammamat				X		
17	Ain sidi Ali N°3				X		
18	Ain El Hamam N°6		X		X		
19	H. Sidi Aissa		X		X		7 l/s
20	Hammam Rabi		X		X		8 l/s
21	Ain Skouna		X		X		
22	Ain Melha	X			X		
23	Ain Zeoui		X		X		
24	Ain Nouissy		X		X		
25	Keberta		X		X		
26	Ain sidi Ali	X	X		X		
27	Ain Derkaoua	X	X		X		
28	Ain Brahim	X	X		X		
29	Hammam Labes					X	
30	Hammam Yakhas					X	
31	Ain El Gesra	X			X		
32	Mekeberta		X		X		
33	H. Beni yassed		X		X		
34	H. Merberta	X			X		
35	Ain Bahri		X		X		
36	Charchar	X			X		
37	Ain Mentillia		X		X		
38	Metahra		X			X	
39	Ain Erramka	X			X		
40	H. Erroudjet		X		X		
41	Mehisser	X			X		
42	Sidi Said	X			X		
43	Hemouna	X			X		
44	Ain Zabour	X				X	
45	Ain Kadhi	X				X	
46	Sidi Hadj	X			X		

Annexe 2 : Balance ionique

Annexes

Le contrôle de la qualité des analyses chimiques est assuré par la balance ionique qui permet de comparer la somme des cations et la somme des anions. Le calcul de la balance ionique est donné par la formule suivante :

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

e% étant le pourcentage d'erreur.

On peut considérer une analyse comme :

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

N	Nom	Cations[meq]	Anions[meq]	Balance
1	H. Chiguer	40,32	44,62	-5%
2	H. Boughrara	7,13	6,79	2%
3	H. Sidi-Rahou	8,98	12,365	-16%
4	Ain el Hammam	10,157	14,389	-17%
5	Ain Tahamamite	12,16	10,96	5%
6	Ain Sidi-Abdelli	10,37	7,37	17%
7	Sidi-Berkabi	13,95	8,48	24%
8	Sidi Ayd	56,75	54,69	2%
9	H. Bouhadjar	67,22	62,58	4%
10	Ain Ouarka	70,75	77,63	-5%
11	Ain Madagh	46,55	55,03	-8%
12	Ain Franin	44,57	48,87	-5%
13	Ain Sellama	158,52	183,46	-7%
14	Ain Palmier	24,38	21,35	7%
15	Source Dupont	25,11	22,20	6%
16	Ain El Hammamat	29,8	31,04	-2%
17	Ain sidi Ali N°3	22,59	20,89	4%
18	Ain El Hamam N°6	26,5	22,71	8%
19	H. Sidi Aissa	37,77	37,13	1%
20	Hammam Rabi	39,89	39,7	0%
21	Ain Skouna	22,85	22,77	0%
22	Ain Melha	23,57	22,45	2%
23	Ain Zeoui	20,44	22,56	-5%
24	Ain Nouissy	102,31	82,697	11%
25	Keberta	/	/	/
26	Ain sidi Ali	19,893	28,621	-18%
27	Ain Derkaoua	14,76	33,086	-38%
28	Ain Brahim	16,101	29,231	-29%
29	Hammam Labes	13,55	12,90	2%
30	Hammam Yakhas	6,6055	14,155	-36%
31	Ain El Gesra	50,786	66,305	-13%
32	Mekeberta	19,39	23,935	-10%
33	H. Beni yassed	10,406	43,429	-61%
34	H. Mekerberta	19,893	28,621	-18%
35	Ain Bahri	44,297	27,433	24%

Annexes

36	Charchar	19,39	23,935	-10%
37	Ain Mentillia	7,5035	5,3967	16%
38	Metahra	16,182	11,949	15%
39	Ain Erramka	17,391	21,634	-11%
40	H. Erroudjet	15,703	40,051	-44%
41	Mehisser	58,039	21,384	46%
42	Sidi Said	58,823	39,615	20%
43	Hemouna	68,287	84,538	-11%
44	Ain Zabour	10,192	8,1694	11%
45	Ain Kadhi	13,843	10,62	13%
46	Sidi Hadj	20,58	22,53	-5%

On a pris en considération 50% des sources dont leurs balances ioniques sont acceptables, à l'exception de trois sources ne dépassant pas 8%.

Annexes

Annexe 3: Paramètres physico-chimiques et résultat d'analyses des principaux aquifères (ANRH, 2014 et 2015)

Secteur	Type d'aquifère	Sources Thermo-minérales	pH	T°C	CE µs/cm	Rs mg/l	Ca ⁺² mg/l	Mg ⁺² mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁻² mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l
Méséta Oranaise	Jurassique (calcaire et dolomie)*	1 H. Chiguer	7,34	32	3300	3142	152	43,74	660	16,8	1384,5	23,75	8,2	305
		2 H. Boughrara	7,61	42	730	481,8	28	13	103	7	69	21	0	269
		5 Tahamamite	7,14	32	770	508,2	28,8	85,54	68,75	27	142,5	21,6	18,56	378
		19 Sidi Aissa	7,28	49	2440	2338	300	29	460	15	540	812	1	304
		20 H. Rabi	7	48	2440	2363	318	56	437	15	545	956	6	264
Oranie occidentale	Jurassique (dolomie)*	11 Ain Madagh	8,23	24	5620	4095	79,2	96,71	773,5	39	1547,8	115,1	2,1	549
	Anté-jurassique*	12 Ain Franin	7	35	5792	4250	49,2	169,13	542	181	1079,2	152	13,8	920
	Plio-quaternaire*	8 Sidi Ayd	6,53	68	5110	3840	206	21	1001	47	1441	88	4	745
		9 Bouhadjar	6,53	66,5	5010	3680	199	177	955	46	1690	35	3	866
		13 Ain Sellama	6,75	24,5	20000	15938	107,2	292,08	2953,5	27,9	5907,2	370	0,89	570
		14 Ain Palmier	7,08	53,2	1880	1703	158,4	29,16	319	8	330,72	110	2,3	592
		15 Source Dupont	6,69	67	1970	1782	177,6	21,38	327	10	336,54	100	6	643
		16 Ain El Hammamat	6,7	53	2850	1861	229	55	296	37	538	139	0	793
		17 Ain Sidi Ali N°3	7,35	65,5	1750	1583	123,2	31,104	312	12	313,82	90	12,2	609
		18 Ain El Hamam N°6	6,49	44,2	2004	1721	171,2	41,8	329	8	319,4	160	6,3	627
		29 H. Labes	7,2	38	980	756,12	90,18	97,2	19	8,5	230,42	101,23	67,23	196
Moyen de Chelif	Calcaires à lithothamnium	46 H. Sidi Hadj	7,9	21,9	2100	1296	71	34	325	4	485	133	0	372
Chott Chergui	Sénonien	21 Ain Skouna	7,2	48	2300	1520	199	62	176	6	381	410	0,1	214
		22 Ain Melha	7,3	28	2300	1569	189	69	190	7	414	386	0,1	168
		23 Ain Zeoui	7	35	2200	1360	186	55	149	5	450	310	7,9	201
Monts de Ksour	Lias	10 H. Ain Ouarka	7	45	8000	5823	323	91	1070	23	1900	1050	0,3	137

*Principaux aquifères du littoral oranais

Annexe 4: Calculs des six paramètres du diagramme I.I.R.G

Nom	A	B	C	D	E	F
H. Chiguer	11,18	-70,05	-16,24	62,22	16,57	-53,37
H. Boughrara	55,75	-56,45	34,24	47,89	-30,16	-45,64
H. Ain Tahamamite	47,28	-20,48	-11,99	-33,30	13,16	-18,42
Sidi Ayd	18,29	-73,34	2,46	73,63	-1,12	-60,65
H. Bouhadjar	20,03	-60,60	-14,29	40,09	13,78	-48,72
Ain Ouarka	-27,74	-37,58	-3,18	55,16	30,52	-43,75
Ain Madagh	14,17	-67,88	-6,98	55,14	9,25	-65,88
Ain Franin	26,72	-46,37	-9,34	21,62	5,89	-57,72
Ain Sellama	1,02	-76,80	-9,69	65,84	13,45	-78,07
Ain Palmier	30,38	-46,14	13,21	47,02	-3,12	-25,21
Source Dupont	33,67	-47,27	13,92	49,64	-5,14	-22,29
Ain El Hammamat	33,89	-33,84	-5,60	27,98	11,75	-7,95
Ain sidi Ali N°3	35,90	-51,07	17,70	48,69	-9,17	-34,131
Ain El Hamam N°6	26,22	-39,29	14,33	40,98	0,01	-22,41
Sidi Aissa	-31,61	-7,38	11,98	46,62	32,62	-14,24
H. Rabi	-39,08	2,54	8,96	36,07	40,50	-8,72
Ain Skouna	-22,01	4,01	-13,62	11,15	50,45	9,40
Ain Melha	-22,44	0,76	-16,89	10,94	51,94	4,28
Ain Zeoui	-15,50	-3,06	-24,50	9,54	53,07	13,16
Hammam Labes	8,11	10,24	-44,22	-52,88	67,35	25,51
Sidi Hadj	16,18	-56,36	8,02	55,05	3,78	-51,89

Annexe 5 : Formules caractéristiques et faciès des sources thermo-minérales étudiées

	Nom	Formule caractéristique		Faciès chimique
Méséta oranaise	H. Chiguer	$r\text{Cl}^- > r\text{HCO}_3^- > r\text{SO}_4^{2-} > r\text{NO}_3^-$	$r\text{Na}^+ > r\text{Ca}^{+2} > r\text{Mg}^{+2} > r\text{K}^+$	Chloruré sodique
	H. Boughrara	$r\text{HCO}_3^- > r\text{Cl}^- > r\text{SO}_4^{2-} > r\text{NO}_3^-$	$r\text{Na}^+ > r\text{Ca}^{+2} > r\text{Mg}^{+2} > r\text{K}^+$	Bicarbonaté sodique
	Ain Tahamamite	$r\text{HCO}_3^- > r\text{Cl}^- > r\text{SO}_4^{2-} > r\text{NO}_3^-$	$r\text{Mg}^{+2} > r\text{Na}^+ > r\text{Ca}^{+2} > r\text{K}^+$	Bicarbonaté magnésien
	Sidi Aissa	$r\text{SO}_4^{2-} > r\text{Cl}^- > r\text{HCO}_3^- > r\text{NO}_3^-$	$r\text{Na}^+ > r\text{Ca}^{+2} > r\text{Mg}^{+2} > r\text{K}^+$	Sulfaté sodique
	H.Rabi	$r\text{SO}_4^{2-} > r\text{Cl}^- > r\text{HCO}_3^- > r\text{NO}_3^-$	$r\text{Na}^+ > r\text{Ca}^{+2} > r\text{Mg}^{+2} > r\text{K}^+$	Sulfaté sodique
Oranie occidentale	Ain Madagh	$r\text{Cl}^- > r\text{HCO}_3^- > r\text{SO}_4^{2-} > r\text{NO}_3^-$	$r\text{Na}^+ > r\text{Mg}^{+2} > r\text{Ca}^{+2} > r\text{K}^+$	Chlorurée sodique
	Ain Franin	$r\text{Cl}^- > r\text{HCO}_3^- > r\text{SO}_4^{2-} > r\text{NO}_3^-$	$r\text{Na}^+ > r\text{Mg}^{+2} > r\text{K}^+ > r\text{Ca}^{+2}$	Chlorurée sodique
	Sidi Ayd	$r\text{Cl}^- > r\text{HCO}_3^- > r\text{SO}_4^{2-} > r\text{NO}_3^-$	$r\text{Na}^+ > r\text{Ca}^{+2} > r\text{Mg}^{+2} > r\text{K}^+$	Chlorurée sodique
	H. Bouhadjar	$r\text{Cl}^- > r\text{HCO}_3^- > r\text{SO}_4^{2-} > r\text{NO}_3^-$	$r\text{Na}^+ > r\text{Mg}^{+2} > r\text{Ca}^{+2} > r\text{K}^+$	Chlorurée sodique
	Ain Sellama	$r\text{Cl}^- > r\text{HCO}_3^- > r\text{SO}_4^{2-} > r\text{NO}_3^-$	$r\text{Na}^+ > r\text{Mg}^{+2} > r\text{Ca}^{+2} > r\text{K}^+$	Chlorurée sodique
	Ain Palmier	$r\text{HCO}_3^- > r\text{Cl}^- > r\text{SO}_4^{2-} > r\text{NO}_3^-$	$r\text{Na}^+ > r\text{Ca}^{+2} > r\text{Mg}^{+2} > r\text{K}^+$	Bicarbonatée sodique
	Source Dupont	$r\text{HCO}_3^- > r\text{Cl}^- > r\text{SO}_4^{2-} > r\text{NO}_3^-$	$r\text{Na}^+ > r\text{Ca}^{+2} > r\text{Mg}^{+2} > r\text{K}^+$	Bicarbonatée sodique
	Ain El Hammat	$r\text{Cl}^- > r\text{HCO}_3^- > r\text{SO}_4^{2-} > r\text{NO}_3^-$	$r\text{Na}^+ > r\text{Ca}^{+2} > r\text{Mg}^{+2} > r\text{K}^+$	Chlorurée sodique
	Ain Sidi Ali N3	$r\text{HCO}_3^- > r\text{Cl}^- > r\text{SO}_4^{2-} > r\text{NO}_3^-$	$r\text{Na}^+ > r\text{Ca}^{+2} > r\text{Mg}^{+2} > r\text{K}^+$	Bicarbonatée sodique
	El Hamam N°6	$r\text{HCO}_3^- > r\text{Cl}^- > r\text{SO}_4^{2-} > r\text{NO}_3^-$	$r\text{Na}^+ > r\text{Ca}^{+2} > r\text{Mg}^{+2} > r\text{K}^+$	Bicarbonatée sodique
	H. Labes	$r\text{Cl}^- > r\text{HCO}_3^- > r\text{SO}_4^{2-} > r\text{NO}_3^-$	$r\text{Mg}^{+2} > r\text{Ca}^{+2} > r\text{Na}^+ > r\text{K}^+$	Chlorurée magnésienne
Moyen Chélif	Sidi Hadj	$\text{Cl}^- > r\text{HCO}_3^- > r\text{SO}_4^{2-} > r\text{NO}_3^-$	$r\text{Na}^+ > r\text{Ca}^{+2} > r\text{Mg}^{+2} > r\text{K}^+$	Chloruré sodique
Chott Chergui	Ain Skou	$\text{Cl}^- > r\text{SO}_4^{2-} > r\text{HCO}_3^- > r\text{NO}_3^-$	$r\text{Ca}^{+2} > r\text{Na}^+ > r\text{Mg}^{+2} > r\text{K}^+$	Chloruré calcique
	Ain Melha	$\text{Cl}^- > r\text{SO}_4^{2-} > r\text{HCO}_3^- > r\text{NO}_3^-$	$r\text{Ca}^{+2} > r\text{Na}^+ > r\text{Mg}^{+2} > r\text{K}^+$	Chloruré calcique
	Ain Zeoui	$\text{Cl}^- > r\text{SO}_4^{2-} > r\text{HCO}_3^- > r\text{NO}_3^-$	$r\text{Ca}^{+2} > r\text{Na}^+ > r\text{Mg}^{+2} > r\text{K}^+$	Chloruré calcique
Monts de Ksour	Ain Ouarka	$r\text{Cl}^- > r\text{SO}_4^{2-} > r\text{HCO}_3^- > r\text{NO}_3^-$	$r\text{Na}^+ > r\text{Ca}^{+2} > r\text{Mg}^{+2} > r\text{K}^+$	Chloruré sodique

Annexes

Annexe 6 : Fiche des résultats des analyses physico-chimique de hammam et commune hammam Rabi

Paramètre	Commune De Hammam Rabi			Hammam Rabi		
pH (unité de ph)	8,04	7 ,72	7 ,95	7,13	7,35	7,37
Température(T°)	17,5	17,2	17,3	17,30	17,8	17
Conductivité (MS/UNà200C)	841	836	839	2440	2440	2440
Salinité(%)	0,3	0,3	0,3	1,2	1,2	1,2
O ₂ Dessous	8,72	9,55	9,77	3,46	3,59	3,92
Turbidité(NTU)	0,775	0,765	0,601	0,668	0,390	0,448
TH (F°)	42	42	41	66	63	64
Tca+2(F°)	19	19,2	19	50	49	50
TAC (F°)	27	27	27	21	22	21
TA (F°)	00	00	00	00	00	00
Cl-(mg /l)	56,8	56,8	56,8	390,5	390,5	390,5
Calcium Ca+ (mg /l)	76,15	76,95	76,15	200,4	196,3 9	200,4
Mg (mg /l)	55,89	55,40	53,46	38,88	34,02	34,02
TDS (mg /l)	454,14	451,14	453,06	2937,6	2937, 6	2937,6
HCO ₃ (mg /l)	329,4	329,4	329,4	256,2	268,4	256,2
CO ₃ (mg /l)	00	00	00	00	00	00
Sulfate (mg /l)	27, 2	27, 1	27	112,6	112,4	112,2
phosphate	00	00	00	00	00	00
Nitrate (mg /l)	9, 30	9, 28	9, 29	0,398	0,400	0,399
nitrite (mg /l)	00	00	00	00	00	00
Fer (mg /l)	O, O1	O, O1	O, O1	O, O1	O, O1	O, O1
Ammonium (mg /l)	0,0231	0,0230	0,0231	0,0234	0,023 5	0,0235

Annexe 7 : Fiche des résultats des analyses physico-chimique de hammam et commune Sidi Aissa.

Paramètre	Commune SIDI AISSA			Hammam SIDI AISSA		
pH (unité de ph)	8,22	8 ,02	8 ,08	7,15	7,14	7,13
Température(T°)	17,4	17,4	17,3	17,9	17,9	17,9
Conductivité (MS/UNà200C)	954	932	932	3500	3510	3500
Salinité(%)	0,4	0,4	0,4	1,8	1,8	1,8
O ₂ Dessous	7,65	7,53	8,02	3,13	3,40	3,32
Turbidité(NTU)	0,424	0,655	0,695	1,66	1,64	1,63
TH (F°)	44	44	44	102	99	99
Tca+2(F°)	20	19,8	20	79	78	79
TAC (F°)	26	26,2	26,2	21,8	21,2	21,5
TA (F°)	00	00	00	00	00	00
cl-(mg /l)	73,84	71	72,42	569,72	576,52	576,52
Ca+(mg /l)	80,16	79,36	80,16	316,63	312,62	316,63
Mg (mg /l)	58,32	58,81	58,32	55,89	51,03	51,03
TDS (mg /l)	515,16	503,28	503,28	1890	1895,4	1890
HCO ₃ (mg /l)	317,2	319,64	329,4	265,96	258,64	262,3
CO ₃ (mg /l)	00	00	00	00	00	00
Sulfate (mg /l)	59,8	59,8	59,7	112, 4	112, 2	112, 3
phosphate	00	00	00	00	00	00
Nitrate (mg /l)	0,354	0,350	0,352	5,54	3,50	3,52
nitrite (mg /l)	00	00	00	00	00	00
Fer (mg /l)	O, O1	O, O1	O, O1	O, O1	O, O1	O, O1
Ammonium (mg /l)	0,0541	0,0540	0,0541	0,0200	0,0200	0,0201