

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



Université d'Oran 2
Mohamed Ben Ahmed

Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers

Département des Sciences de la Terre

Mémoire

Présenté pour l'obtention du grade
Master en Géologie

Option : **Hydrogéologie**

Thème

**Contexte hydrogéologique et hydrochimique de la
source thermo-minérale d'Ain Franin "Yepserra"
(Oran)**

Présenté par :

Melle. CHIBANI Bouchra

Soutenu le : 29 Septembre 2019, devant le jury composé de :

Mr. Baiche Abed El Kader	M.A.A	Univ. Oran 2	President
Mr. HASSANI M.I.	Professeur	Univ. Oran 2	Encadreur
Melle. ABLAOUI H.	M.A.A	Univ. Oran 2	Examinatrice

Remerciements

Avant tout, je remercie **DIEU** le Tout Puissant qui m'a donné sagesse et santé afin de réaliser ce modeste travail.

Je tiens à exprimer ma gratitude envers Monsieur **HASSANI M. I.**, Professeur à l'université d'Oran 2, mon promoteur, qui m'a proposé ce sujet et a bien voulu m'encadrer. Je le remercie de m'avoir fait bénéficier de ses connaissances, de ses orientations et de ses critiques qui m'ont beaucoup aidé à la réalisation de ce travail.

Mes sincères remerciements à Monsieur Baiche Abed El Kader., Professeur à l'Université d'Oran, pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury.

Mes remerciements vont également à Melle Ablaoui Halima, Maitre d'Assistance., à l'Université d'Oran, pour avoir accepté de juger ce mémoire et m'a enseigné durant mes études.

J'adresse mes sincères remerciements à l'ensemble des enseignants du Département des Sciences de la Terre, en particulier ceux de la filière hydrogéologie qui m'ont été d'une aide précieuse.

Je voudrais également exprimer ma reconnaissance envers les amis (es) et collègues qui m'ont apporté leur soutien moral intellectuel tout au long de ma démarche.

Dédicaces

Avec tout le respect, l'appréciation, la gratitude et l'amour envers mon cher père et ma mère qui m'ont encouragé et soutenu tout au long de mes parcours scolaire et universitaire.

A ma chère grand-mère et ma chère tante qui ont cru en moi et n'ont pas perdu espoir en moi.

A mon chère grand père, qui est toujours dans mon esprit et dans mon cœur, je dédie aujourd'hui cette réussite, que dieu le miséricordieux, l'accueille dans son éternel paradis.

A mes chères sœurs et toute ma famille.

Bouchra

Résumé :

L'objet de ce travail est de présenter le contexte hydrogéologique et hydrochimique de la région autour de la source thermo-minérale d'Yepserra appelée communément source d'Ain Franin.

La région de notre étude est caractérisée par un climat semi-aride avec une pluviométrie moyenne annuelle de 351 mm et une température moyenne annuelle de 18.17 °C. La source d'Ain Franin est située, au bord de mer, dans la partie occidentale de la baie de Kristel, jouxtant l'agglomération de Douar Belgaid, au pied de la jonction entre le Djebel Khar (Montagne des lions) et le plateau de Bir El Djir.

Du point de vue géologique, la région fait partie de la province du Littoral Oranais. Elle se caractérise par la présence de deux grands ensembles structuraux : le premier est anté à synchro-nappe de l'orogénèse alpine et le deuxième ensemble est post-nappes s'étendant du Miocène au Quaternaire. Ces ensembles sont affectés par une série de directions structurales, qui plus particulièrement, situées au N 10, sous forme d'un linéament (transversal), a permis la surrection d'un diapir de formations évaporitiques (gypsifères) pointant à travers des formations argileuses miocènes. C'est au niveau de cet amas gypsifère qui émerge la source d'Ain Franin.

Sous l'effet de la faille, l'origine de l'eau de la source d'Ain Franin paraît suffisamment profonde pour lui faire acquérir sa thermo-minéralité.

L'étude hydrochimique dénote que la température des eaux de la source d'Ain Franin s'établissent autour de 36,5° C, soit de dans la classe des eaux thermales à chaleur modérée. La minéralisation s'établit autour de 5300 mg/l. Le faciès chimique est de nature sulfatée calcique lié s'expliquant essentiellement par la lithologie locale : lessivage des dépôts géologiques locaux : gypse évaporitiques du triasique et les marnes miocène. Elle est possède des vertus thérapeutiques certaines pour la santé humaine.

Mots clés:

Ain Franin, source, eau thermo-minérale, Littoral Oranais, hydrochimie, effets thérapeutiques.

Abstracts:

The purpose of this work is to present the hydro geological and hydrochemical context of the region around the thermo-mineral source of Yepserra commonly called source of Ain Franin.

The region of our study is characterized by a semi-arid climate with an average annual rainfall of 351 mm and an annual average temperature of 18.17 ° C. The source of Ain Franin is situated, on the seafront, in the western part of Kristal bay, next to the Douar Belgaid agglomeration, at the foot of the junction between Jebel Khar (Mountain of lions) and the plateau of Bir El Djir.

From a geological point of view, the region is part of the province of Oran Coast. It is characterized by the presence of two large sets of structures: the first is ante-synchro- ply of the alpine progeny and the second set is post-nappes extending from the Miocene to the Quaternary. These sets are affected by a series of structural directions. More particularly, a N 10 direction, in the form of a (transverse) lineament, allowed the uplift of a diapir of evaporitic formations (gypsiferous) pointing through Miocene clay formations. It is at the level of this gypsiferous cluster that the source of Ain Franin emerges.

Under the effect of the fault, the origin of the water of the source of Ain Franin seems deep enough to make him acquire its thermo-minerality.

The hydrochemical study indicates that the water temperature of the source of Ain Franin is around 36.5 ° C, that is, in the class of thermal springs with moderate heat. The mineralization is around 5300 mg / l. The chemical facies is of linked calcium sulphate nature, mainly explained by local lithology: leaching of local geological deposits: evaporite gypsum from the Triassic and Miocene marls. It is possesses certain therapeutic virtues for human health.

Keywords:

Ain Franin, source, thermo-mineral water, Oran littoral, hydrochemistry, therapeutic effects.

Acronymes :

ONM : Office Nationale de la Météorologie.

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

Cond : Conductivité.

pH : Potentiel Hydrogène.

μS : Micro-siemens

1 Sommaire

REMERCIEMENTS.....	2
LISTE DES FIGURES :.....	9
LISTE DE TABLEAUX.....	9
INTRODUCTION GÉNÉRALE :.....	12
CHAPITRE I : CADRE PHYSIQUE DE LA RÉGION D'ÉTUDE.....	13
1 CADRE GÉOGRAPHIQUE :.....	14
2 GÉOMORPHOLOGIE :.....	15
2.1 MORPHOLOGIE DUNAIRE DU PLATEAU D'ORAN/BIR EL DJIR :.....	15
2.2 Morphologie des cuvettes endoréiques :.....	15
2.3 Granulométrie et Morphoscopie :.....	16
3 RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE :.....	16
3.1 COURS D'EAU :.....	16
3.2 CUVETTES ENDORÉIQUES :.....	17
4 CLIMATOLOGIE :.....	17
4.1 APERÇU GÉNÉRAL SUR CLIMAT DE LA RÉGION :.....	17
4.2 ÉTUDE DES PRÉCIPITATIONS :.....	18
4.3 ÉTUDE DES TEMPÉRATURES :.....	21
≡ Température maximale :.....	21
≡ Température minimale :.....	21
≡ Température moyenne :.....	21
4.4 Indices climatiques de la région d'étude:.....	22
≡ Indice climatique d'Emberger :.....	23
5 CONCLUSION :.....	24
CHAPITRE 2 : HYDROGÉOLOGIQUE DE LA RÉGION D'ÉTUDE.....	25
1. INTRODUCTION :.....	26
2. CADRE GÉOLOGIQUE DE LA RÉGION :.....	26
2.1.1. Cadre géologique général :.....	26
2.2. Cadre géologique local:.....	33
2.2.3. Couverture :.....	34
2.2.4. Tectonique :.....	37
3. CADRE HYDROGÉOLOGIQUE :.....	38
CHAPITRE 3 : ETUDE DES CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX DE LA SOURCE D'AIN FRANIN (YEPSERRA).....	44
1. INTRODUCTION :.....	45
2. GÉNÉRALITÉS ET MÉTHODES D'ÉTUDE DES EAUX THERMOMINÉRALES.....	45
2.1. Caractérisations des eaux thermo-minérales :.....	45
2.1.2 CLASSIFICATIONS DES EAUX THERMO-MINÉRALES:.....	47
2.1.2.1. Thermalité :.....	47
2.2. Hydrogéochimie d'eau thermo-minérale :.....	49
≡ Représentation graphique :.....	52

≡ Rapports caractéristiques :.....	53
3. APPLICATION D'ÉTUDE SUR LA SOURCE D'AIN FRANINE :.....	54
3.1. CLASSIFICATION DES CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES :.....	56
3.2. Caractéristique chimiques des éléments majeurs :.....	59
4. APPLICATIONS THÉRAPEUTIQUES :.....	60
5. CONCLUSION :.....	61
CONCLUSION GÉNÉRALE :.....	63
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES :.....	64

Liste des figures :

Figure 1: Situation géographique de la région d'étude.....	14
Figure 2: Précipitations moyennes mensuelles (période 1990-2013).....	18
Figure 3: Précipitations saisonnières (période 1990-2013).....	19
Figure 4: Précipitations annuelles (période 1990-2013).....	20
Figure 5: Températures moyennes mensuelles à a station Es-Sénia (période 1990-2013)	22
Figure 6: Diagramme d'indice d'aridité d'Es-Sénia (méthode de De Martonne).....	23
Figure 7: Diagramme d'Inice climatique d'Es-Sénia (méthode d'Emberger).....	24
Figure 8: Log géologique synthétique de la région d'Oran (Hassani M.I., 1987).....	27
Figure 9: Carte géologique de l'Oranie Nord-Occidentale (G. Thomas, 985).....	30
Figure 10: Coupe géologique illustrant les formations anté et post-nappes autour du Djebel Khar (B. Fenet., 1975).....	31
Figure 11: Coupe géologique de la falaise d'Oran (G. Thomas, 1985).....	32
Figure 12: Situation géologique de la source d'Ain Franin (d'après Doumergue, 1908 et Fenet, 1975).....	36
Figure 13: Photo représente les formations géologiques au tour de la source d'Ain Franin.....	37
Figure 14: Coupe géologique d'Ain Franin (A. Demena, 1956).....	38
Figure 15: Log hydrogéologique de la région d'Oran (M.I Hassani, 1987).....	39
Figure 16: Extension géographique de la nappe calabrienne d'Oran/ Bir EL Djir (in A. Joseph, 1985).....	40
Figure 17: Ecoulement des eaux de la source d'Ain Franin en aval de l'établissement thermal.....	43
Figure 18: Gisement d'eau thermo-minérale.....	46
Figure 19: Observation de réservoir de la source d'Ain Franin.....	55
Figure 20: Représentation graphique d'eau d'Ain Franin (Diagramme de Piper).....	57
Figure 21: Représentation graphique d'eau d'Ain Franin (Diagramme de Schoeller)....	58

Liste de tableaux

Tableau 1: Coordonnées géographiques de la station d'Es-Sénia.....	18
Tableau 2: Précipitations moyennes mensuelles pour la région 1990- 2013.....	18
Tableau 3: Précipitations saisonnières (Période 1990-2013).....	19
Tableau 4: Précipitation annuelles (période 1990-2013).....	20
Tableau 5: Températures mensuelles (Période 1990-2013) (O.N.M).....	21
Tableau 6: Estimation du débit de la source à différentes périodes:.....	41
Tableau 7: Classification des eaux thermo-minérales en fonction de la Température c°	51
Tableau 8: Classification de milieu de l'eau en fonction de pH.....	51
Tableau 9: Classification des eaux thermale en fonction de la conductivité CE.....	52

Tableau 10: Résultats des analyses chimiques en mg/l.....	55
Tableau 11: Résultats de la quantité en réaction chimique en méq/l avec le type d'analyse:.....	55
Tableau 12: Formule caractéristique et type du faciès.....	56
Tableau 13: Rapport d'I.D.C.....	59

Introduction générale

Introduction générale :

La richesse de l'Algérie en eaux souterraines minéralisés et thermominérales est connue depuis bien longtemps.

Les traces retrouvées dans les stations thermales remontent à l'époque Romaine. En effet les romains accordaient une importance très particulière aux sources thermales. Ces derniers furent aussi bien exploités par les arabes ainsi que les turcs.

Les premiers travaux scientifique sur le thermalisme en Algérie ne furent effectués qu'en 182, et que furent mises en place la première réglementation en vigueur portant sur des données médicales précises. Avec le temps, de nombreuses études ont été réalisé pou étudier les contextes hydrogéologique et chimique des principales sources recensées.

Ce travail consiste en une étude hydrogéologique et hydrochimique de l'eau thermo-minérale de la source communément appelée Ain Franin, baptisés sous le nom "Yepserra" lors de sa première apparition suite à un tremblement de terre en 1929.

Cette étude est scindée en trois chapitres suivants :

- Présentation des cadres : géographique, géomorphologique et climatologique de la région d'étude.
- Etude géologique et hydrogéologique pour déterminer les différentes formations couvrant la région d'étude et plus particulièrement la zone autour de la source thermale.
- Une étude hydrochimique dans laquelle seront déterminées les caractéristiques physico-chimiques des eaux de la source.

Chapitre I : Cadre physique de la région d'étude

1. Cadre géographique :

La source d'Ain Franin "Yepserra" est située dans le domaine des Massifs littoraux oranais. Cette source appelée communément Ain Franin se trouve à la proximité immédiate nord-est, de la ville d'Oran, sur le territoire de la commune de Bir El Djir, en contrebas du Douar Belgaid. Elle est positionnée à l'Est-Sud-est de la Point de Canastel, en pied de la jonction entre le plateau d'Oran-Bir El Djir et le Djebel Khar (Montagne de Lion). On y parvient à partir d'Oran en empruntant la route côtière de Kristel.

Coordonnées : X : 35° 46' 04.9" N Y : 0° 31' 45.5" W

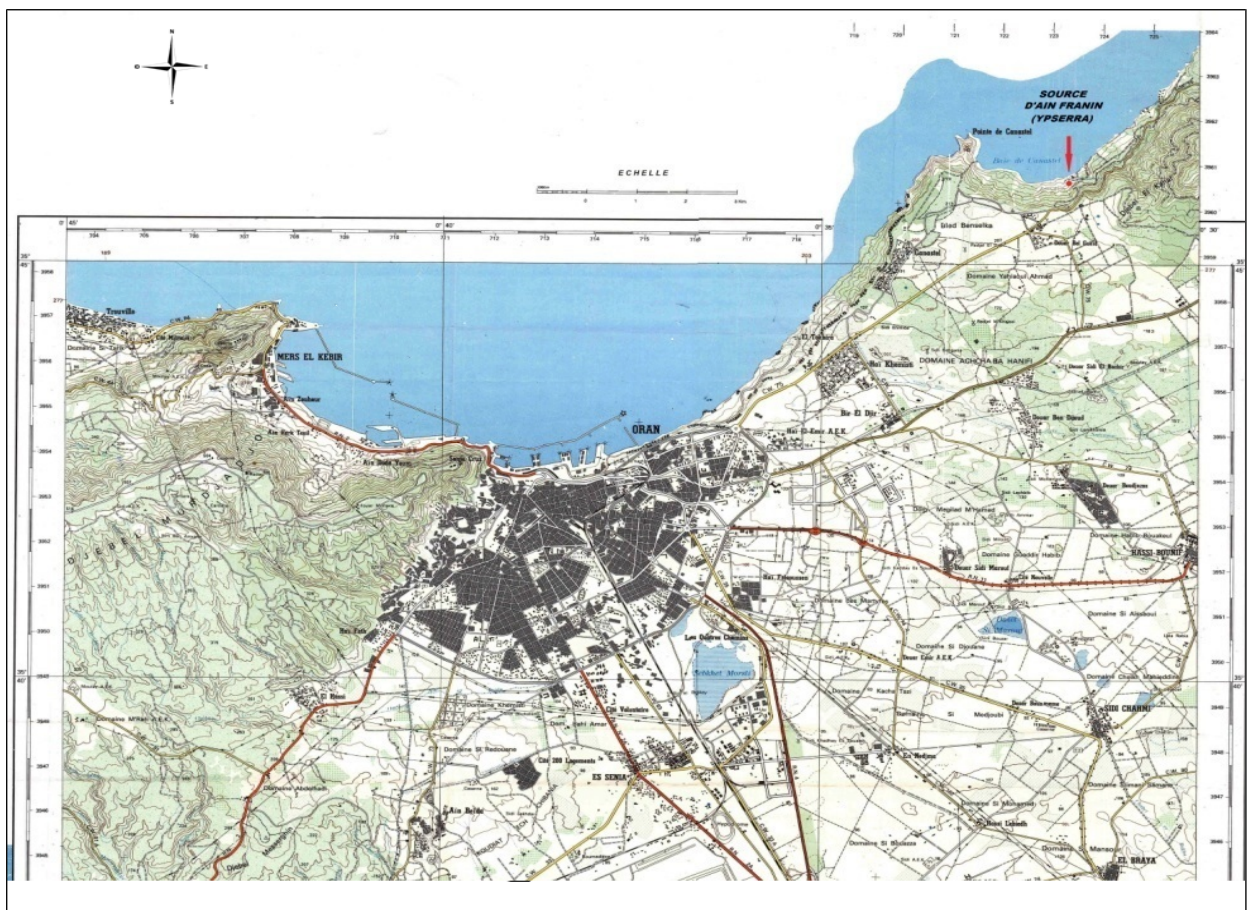


Figure 1: Situation géographique de la région d'étude

L'eau se trouve à environ 25 m d'altitude, au pied d'une falaise, à une cinquantaine de mètre de la mer dont le rivage est une plage de sable.

2 Géomorphologie :

Le Littoral Oranais est un domaine géologique qui s'étend des Monts d'Arzew au Massif de Madagh. Il est essentiellement formé de horsts peu élevés, à l'exemple du Djebel Khar (montagne des lions), de plateaux et de plaines côtières. Les plateaux sont souvent inclinés vers le Sud. C'est le cas du plateau d'Oran - Bir El Djir qui surplombe la source d'Ain Franin. Le côté qui limite la région vers le Nord est formé de falaises abruptes et élevées, à l'exemple des falaises du port d'Oran et de Canestel.

2.1 Morphologie dunaire du Plateau d'Oran/Bir El Djir :

À l'Est de la ville d'Oran, un vaste plateau des grès du Calabrien au Tyrrhénien (Atérien), s'étale du pied du Djebel Khar aux basses plaines de la Sebka, de Tlélat et du Sig. La présence d'une série de mamelons allongées à axe parallèle orienté N.N.E- W.NW interceptant des aires dépressionnaires parallèles à la ligne de crête dunaire correspondant à d'anciens couloirs dunaires.

L'observation des bombements indique de la dissymétrie des deux flancs dont le moins abrupte se situe du côté d'Oran, de direction NNE-SSW, et la superposition des systèmes dunaires et leur mise en place (A. Feghoul, 1977).

2.2 Morphologie des cuvettes endoréiques :

À côté des couloirs dunaires coexistent des formations sub-circulaires peu encaissées de vingt à trente mètres dans la surface du plateau et sont séparées par un seuil de trente mètres environ à l'exemple de la dépression de la ferme minérale, près du nouveau stade olympique. Ces formes peu encaissées pourraient être le résultat d'un soutirage karstique à travers la croûte et les sables grésifiés à ciment calcaire de Ain Franin à Kristel, se sont des marnes jeunes qui dominent avec des marnes du miocène conglomératiques des lentilles de conglomérats jusqu'à Kristel. (A. Feghoul, 1977).

2.3 Granulométrie et Morphoscopie :

Chapitre I : Cadre physique de la région d'étude

Des analyses granulométriques des formations dunaires ont indiqué que les matériaux détritiques sont homogènes d'un coefficient d'uniformité comparés entre 1.5 et 1.7. Par définition un échantillon est uniforme lorsque le coefficient d'uniformité est inférieur à 2.

L'analyse morphoscopique a permis de préciser la présence d'une grand quantité des grains picotés à contours sub-arrondis, de grains à tendance Rond-Mat confirmant que ces formations détritiques siliceuses se sont mises en place en milieu continental sous l'action du vent (A. Feghoul, 1977).

3 Réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique au niveau du plateau montre la coexistence

- d'un drainage vers la mer situé au Nord de la ligne de partage des eaux superficielle. Il est peu développé.
- d'un drainage vers les zones endoréique qui occupent une bonne partie du plateau d'Oran.

a. Les cours d'eau :

L'extrémité orientale de la zone de plateau en amont de la source d'Ain Franin est drainée par l'Oued Sidi El Bachir qui a établi son lit dans les dunes, et draine l'eau de la nappe du plateau en direction de la plaine Hassi Bounif.

L'Oued Sidi El Bachir jouerait un double rôle en fonction aussi bien de la perméabilité des sables dunaire que de la profondeur de son encaissement.

- A l'amont, l'oued est alimenté par l'aquifère libre des formations dunaire.
- En s'encaissant plus profondément, il joue le rôle de drain, le toit de la nappe affleure au niveau de l'Oued.
- Dans la plaine de Hassi Bounif, l'Oued de Sidi El Bachir perd toute individualité, le talweg disparaît laissant place à une zone d'épandage (A. Feghoul, 1977)

b. Les cuvettes endoréiques :

Chapitre I : Cadre physique de la région d'étude

L'écoulement superficiel se fait vers les cuvettes fermées qui constituent de véritables barrages rétenteurs pour les eaux de ruissellement en même que des zones de recharge dans l'aquifère souterrain. On a le cas de la sebkha d'Oran.

4. Climatologie :

La climatologie intervient dans l'étude des eaux thermo-minéraux pour deux facteurs importants :

- **Les précipitations :** Pour l'essentiel l'eau des sources a une origine essentiellement météorologique qui renseigne sur les modalités d'alimentation et de drainage des différents réservoirs aquifères.

- **Les températures :** puisque les eaux thermales se définissent à partir de la température moyenne annuelle locale. Elle permet aussi d'estimer la quantité d'évaporation et par conséquent des conditions d'alimentation des aquifères profonds et les concentrations des sels dissous dans les eaux.

4.1. Aperçu général sur le climat de la région :

L'Algérie est caractérisée par le contraste entre le climat méditerranéen de la bordure littorale et le climat désertique au Sud, en passant par le climat montagnard des hauts plateaux. Il est nécessaire de préciser le type climatique de la zone que l'on étudie.

Les contrastes climatiques d'Oranie ont attiré de puis longtemps des chercheurs et climatologues, nous citons en particulier : Emberger (1930-1972).

La définition des principales caractéristiques climatiques de la zone d'étude se sont basées sur les données relatives à la station d'Es-Sénia (tableau n°1), récoltées auprès de l'ONM pour la période 1990-2013 la station d'Es-Sénia.

Tableau 1: Coordonnées géographiques de la station d'Es-Sénia.

station	Altitude (m)	Longitude (UTM)	Latitude (UTM)
Es-Sénia	90	00°36W	35°38N

4.2. Etude des précipitations :

➤ Précipitations moyennes mensuelles :

Les précipitations moyennes mensuelles de la station d'Es-Sénia sont présentées sur le tableau n° 2 (données O.N.M).

Tableau 2: Précipitations moyennes mensuelles pour la station d'Es-Sénia 1990- 2013.

Es-Sénia	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	An
P Moy (mm)	39	36	35	34	24	4	1	2	14	46	66	47	351

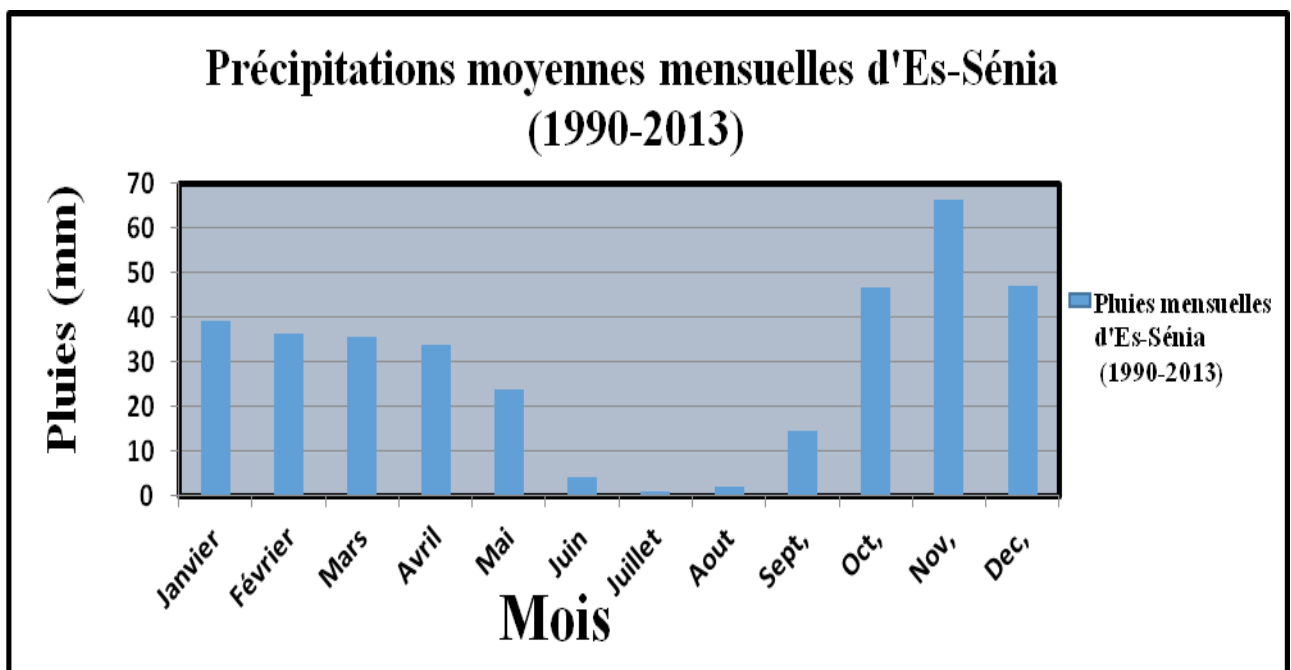


Figure 2: Précipitations moyennes mensuelles (période 1990-2013)

Le graphe des précipitations mensuelles (fig. n°2) montre qu'il y a deux périodes ; L'une est sèche de Mai à Septembre, l'autre pluviale d'Octobre jusqu'à Avril. La quantité maximale est de 66 mm en Novembre et le minimum est de 1 mm en Juillet.

Le module pluviométrique annuel est de 351 mm.

➤ Précipitations saisonnières :

Chapitre I : Cadre physique de la région d'étude

Tableau 3: Précipitations saisonnières (Période 1990-2013).

	Hiver (H)	Printemps (P)	Eté (E)	Automne (A)	Total
Précipitations Saisonnières (mm)	122	93	7,5	127	351
%	34,9	26,6	2,2	36,3	100 %

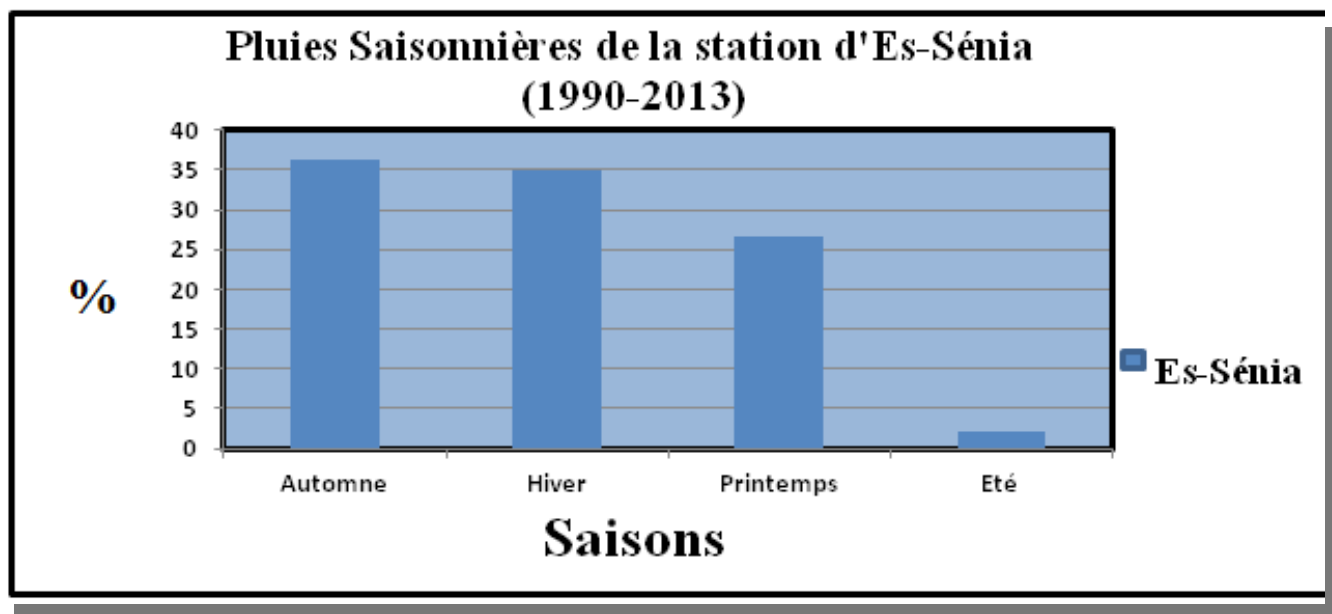


Figure 3: Précipitations saisonnières (période 1990-2013)

Le régime climatique de région est de type AHPE. Les précipitations automnales (fig. n° 3), sont de l'ordre de 127 mm (36%).

➤ Précipitations annuelles :

Tableau 4: Précipitation annuelles (période 1990-2013).

Année	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
P annuelle (mm)	427	307	270	474	216	400	315	429
Année	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
P annuelle (mm)	214	227	291	472	260	383	356	<u>212</u>
Année	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
P annuelle (mm)	310	<u>478</u>	410	247	422	416	415	472

Chapitre I : Cadre physique de la région d'étude

Le module pluviométrique moyen annuel est égal à 351 mm et un maximum enregistré en 2007, égal à 478 mm, et un minimum estimé de 212 mm en 2005. Les précipitations sont caractérisées par leur irrégularité et par des variations interannuelles et inter saisonnières importantes (fig. n°4).

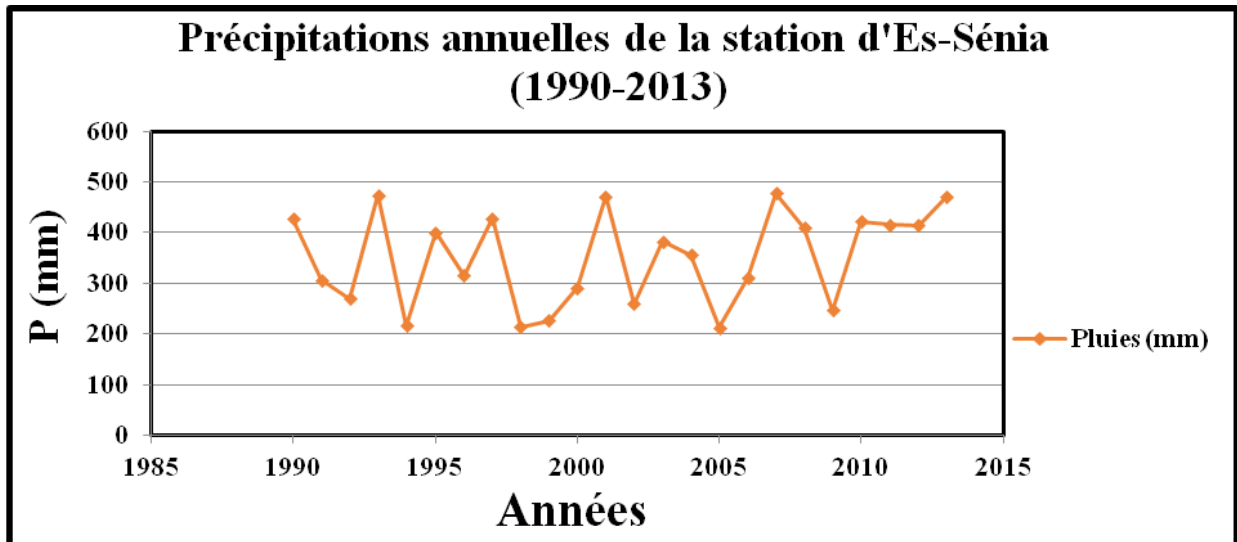


Figure 4: Précipitations annuelles (période 1990-2013)

4.3. Etude des températures :

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

➤ Températures moyennes mensuelles :

Les données des températures moyennes mensuelles, maximales et minimales sont représentées au tableau n°5.

Tableau 5: Températures mensuelles (Période 1990-2013) (O.N.M).

Mois	Jan	Fév.	Mar	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Moy.
Min	5,43	6,23	8,65	10,2	13,7	17,74	20,5	20,7	18,0	14,3	9,79	6,69	12,68

Chapitre I : Cadre physique de la région d'étude

(°C)				9	4		2	3	7				
Max	16,9	17,96	19,2	21,9	24,7	28,19	31,1	31,3	28,11	25,7	21	17,75	23,66
(°C)	1			2			4	1		5			
Moy	11,17	12,09	13,92	16,1	19,2	22,96	25,8	26	23,0	20,0	15,3	12,22	18,17
(°C)				2			3		9	2	9		

➤ **La température maximale :**

Le minimum est enregistré au mois de **Janvier 16,91° C** et le maximum au mois d'**Août** de **31,31 ° C**.

➤ **La température minimale :**

La température minimale varie de **5,43° C** au mois de **Janvier** à **20,73° C** au mois d'**Août**.

➤ **La température moyenne :**

Le mois de **Janvier** reste le plus froid **11,17 °C** de l'année, le mois d'**Août** en est le plus chaud **26 °C**.

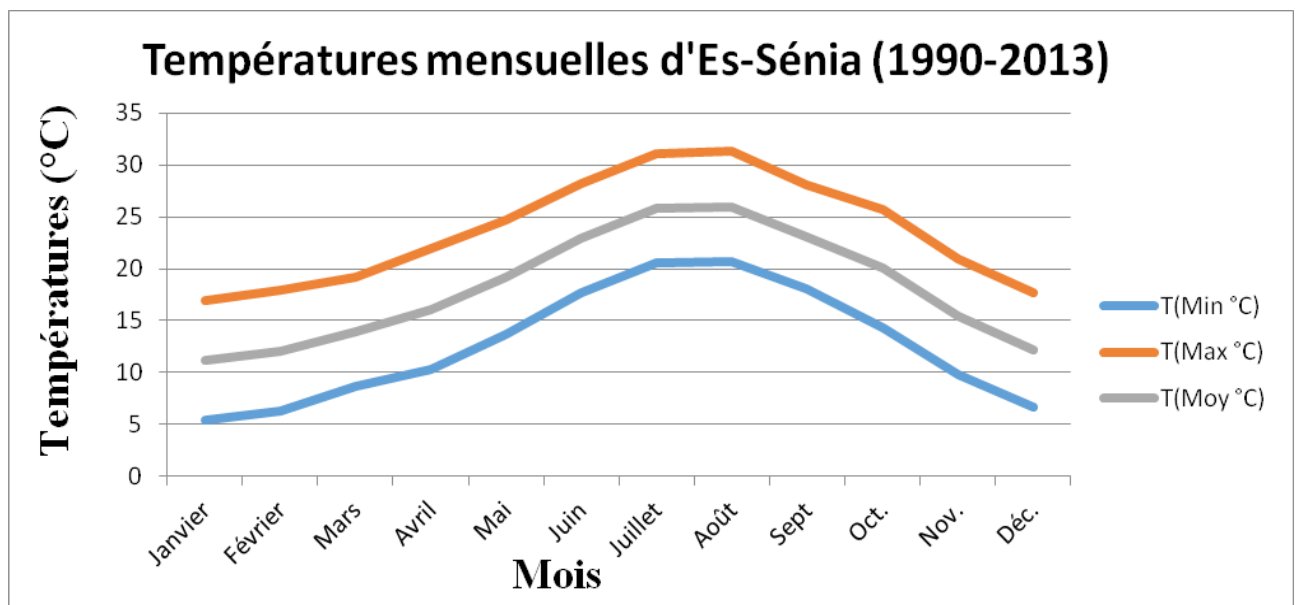


Figure 5: Températures moyennes mensuelles à a station Es-Sénia (période 1990-2013)

Le graphe de la figure n°5 indique que la saison froide ($T < 15^{\circ}\text{C}$) débute en **Novembre** et se termine en **Avril**, alors que la saison la plus chaude commence en **Mai** et finit en **Octobre**. La température moyenne interannuelle est de **18,17 °C**.

4.4. Indices climatiques de la région d'étude:

L'utilisation du diagramme de De Martonne détermine pour notre secteur d'étude un climat semi-aride à la limite d'un régime désertique (fig. n°6). L'indice d'aridité, donné par la formule : $I=P/T+10$, est égal **12, 47** (période 1990-2013).

Les indices climatiques permettent une meilleure connaissance du type du climat qui règne sur la région. À partir de la classification de l'Indice climatique **De Martonne** on déduit que le climat de la région d'étude est également **semi-aride**.

Où :

I: indice d'aridité de De Martonne

P : précipitation moyenne annuelles (mm)

T : température moyenne annuelle (c°)

Pour :

20 < I < 30 : climat tempéré.

10 < I < 20: climat semi-aride.

7.5 < I < 10 : climat steppique.

5 < I < 7.5 : climat désertique.

I < 5 : climat hyperaride.

➤ **Indice climatique d'Emberger :**

Pour préciser le type du climat qui domine sur la région. On utilise l'indice d'Emberger qui se base sur le quotient d'écoulement et les températures minimum et maxima, nous appliquons la formule : $Q_E = 2000 \times P / (M^2 - m^2)$, est égale 46.60 (périodes 1990-2013).

Avec :

Q_E : Quotient pluviométrique d'Emberger.

M : Moyenne du maximum du mois le plus chaude en K°= T (c°) + 273.

m : Moyenne de minimum du mois le plus froid en K°= T(c°) + 273.

Chapitre I : Cadre physique de la région d'étude

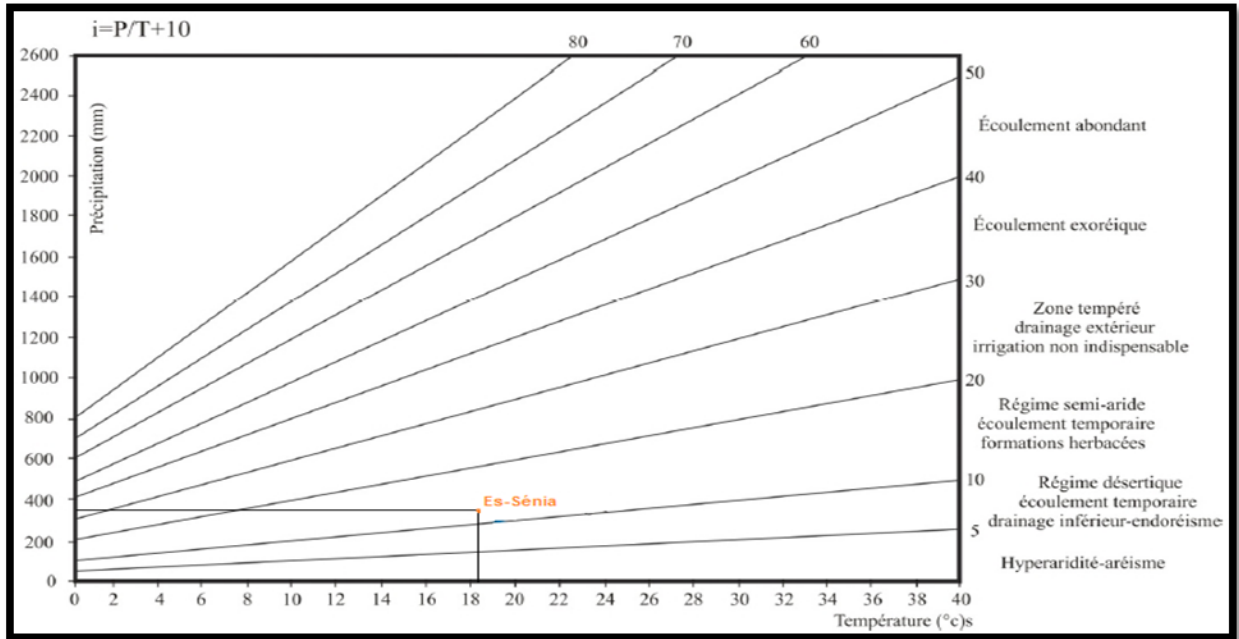


Figure 6: Diagramme d'indice d'aridité d'Es-Sénia (méthode de De Martonne)

Quant au diagramme d'Emberger, il détermine pour notre secteur d'étude un climat semi-aride à hiver tempéré (fig. n°6). L'indice est donné par la formule : $Q_E = 2000 \times P / M^2 - m^2$, est égal $Q_E = 46,60$.

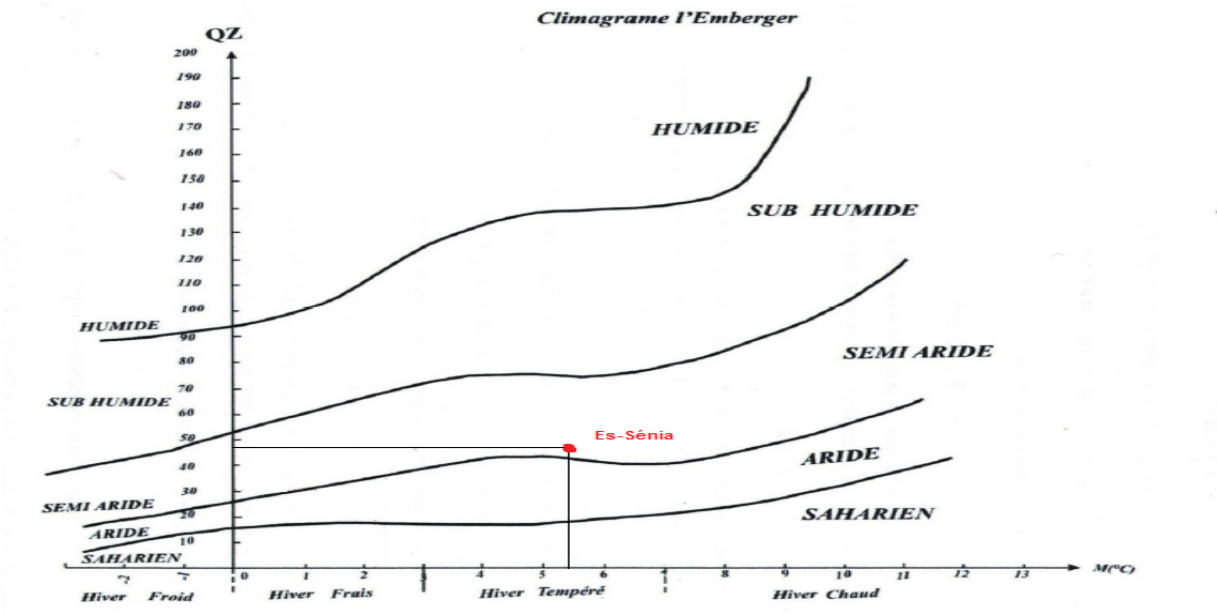


Figure 7: Diagramme d'Indice climatique d'Es-Sénia (méthode d'Emberger)

5. Conclusion :

La zone d'étude est située sur le territoire de la commune de Bir El Djir Sud-est de la Pointe de Canastel, au pied de la jonction entre le djebel Khar et le plateau d'Oran/Bir El Djir.

Le plateau est formé par des grés du Calabrien et est incliné vers le Sud. Il est constitué par des matériaux d'un milieu continental détritique, d'un coefficient d'uniformité compris entre 1.5 et 1.7 résultats d'une érosion mécanique sous l'action du vent. La nappe est drainée par l'Oued Sidi El Bachir.

Le climat de la région est de type Méditerranée, semi-aride malgré la proximité de la mer. Au niveau de la station d'Es-Sénia la moyenne interannuelle des précipitations est de 351 mm/an pour une température moyenne de 18.17° C. L'étude des indices climatiques confirme l'appartenance de la zone d'étude au climat semi-aride influencé par les courants humides de la méditerranée en hiver et chauds en été.

Chapitre II : Hydrogéologique de la région d'étude

Chapitre II : Hydrogéologique de la région d'étude

1. Introduction :

La source d'Ain Franine émerge au pied d'une falaise sur le revers du plateau de Bir El et du Djebel Khar non loin de la Pointe de Canestel.

C'est **en 1929**, à la suite d'un tremblement de terre, qu'apparurent selon la tradition orale, les premiers filets eaux, sans qu'il puisse être établi si l'apparition des eaux est une conséquence directe du séisme ou si celui-ci, en mobilisant un paquet de marnes instables qui s'est effondré, a mis à jour une venue d'eau qui auparavant cheminait en sub surface avant de rejoindre la mer. Intéressé par ces suintements, un médecin de la région, Dr Bugalli, ouvrait une fouille qui devait le mener à un griffon émergeant sur une faille Nord-Sud limitant le contact de gypses réputés triasique avec les marnes du Miocène. (Document anonyme).

2. Cadre géologique de la région :

2.1.1. Cadre géologique général :

Le secteur d'étude est inclut dans le domaine géologique dénommé "Littoral Oranais" qui intègre la zone externe ou tellienne de la chaîne alpine. Ce domaine s'allonge sur environ cent (100) kilomètres entre les Monts d'Arzew à l'Est et le Massif de Madagh, à l'Ouest. Il s'étend sur une largeur moyenne d'environ vingt (20) kilomètres. Il comprend dans le sens de la longueur un groupe de horsts (Djebel Murdjadjo, Djebel Khar, Monts d'Arzew, etc.) constitués essentiellement de terrains d'âge secondaire. Ces horsts, très tectonisés, correspondent à un substratum (para-autochtone).

Ils sont bordés au sud par des zones déprimées : plateaux d'Oran, de Bir El Djir, des Hassis, etc., comblées d'une importante sédimentation, constituée de terrains d'âges néogène et quaternaire.

De nombreux travaux effectués sur ce domaine, en particulier par F. Doumergue (1912), Tinthouin (1948), A. Perrodon (1957), A. Gourinard (1958), B. Fenet (1975), G.Thomas (1985), etc.ont permis de distinguer deux grands ensembles structuraux, dont le premier est anté à synchro-nappe et le second est post-nappes. Une synthèse de ces travaux a été effectuée en 1987 par M.I. Hassani. Elle a permis une représentation du log géologique synthétique de la région (Fig. n°8).

Chapitre II : Hydrogéologique de la région d'étude

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

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

Chapitre II : Hydrogéologique de la région d'étude

2.1.1.1 Le substratum anté à synchro nappe :

Dans les massifs littoraux d'Oran, les formations du substratum forment l'autochtone relatif défini par B. Fenet en 1975 ou autochtone anté-nappe défini par G. Thomas en 1985 (M.I. Hassani, 1987). Ce substratum affleure dans le Djebel Murdjadjo, le Djebel Khar (Montagne des lions) et dans les Monts d'Arzew, représenté par des massifs schisteux, autochtones, d'âge permo-triasique, jurassique et crétacé, fortement affectés par l'orogénèse alpine.

2.1.2.1. Le remplissage (couverture) post-nappes :

Tandis que les unités telliennes achèvent de se mettre en place dans le bassin synchro-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 (Y. Gourinard, 1957) : 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 débute par des formations continentales non datées qui se déposent immédiatement après la mise en place des nappes sur les massifs littoraux (B. Fenet, 1975). 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 messénienne (P. Guardia et J. Magné, 1971) et la mise en place des nappes, il s'agit pour partie de Tortonien.

✓ Le deuxième cycle miocène post-nappes (M2) :

Il débute généralement dans le bassin du Chéelif par une importante série détritico-grésosableuse. Il est constitué aussi par :

➤ des formations médianes constituées de marnes bleues.

Chapitre II : Hydrogéologique de la région d'étude

➤ des formations terminales, constituées par une série des tripolis et la série des gypses.

✓ **Le troisième cycle post-nappes –pliocène- (P1) :**

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

✓ **Le quatrième cycle post nappes (Calabrien) :**

Ce cycle est d'abord lumachellique ou conglomératique passe progressivement à des grès dunaires et représentent le dernier épisode marin de quelque importance sur le littoral Oranais (Fig n° 11).

Chapitre II : Hydrogéologique de la région d'étude

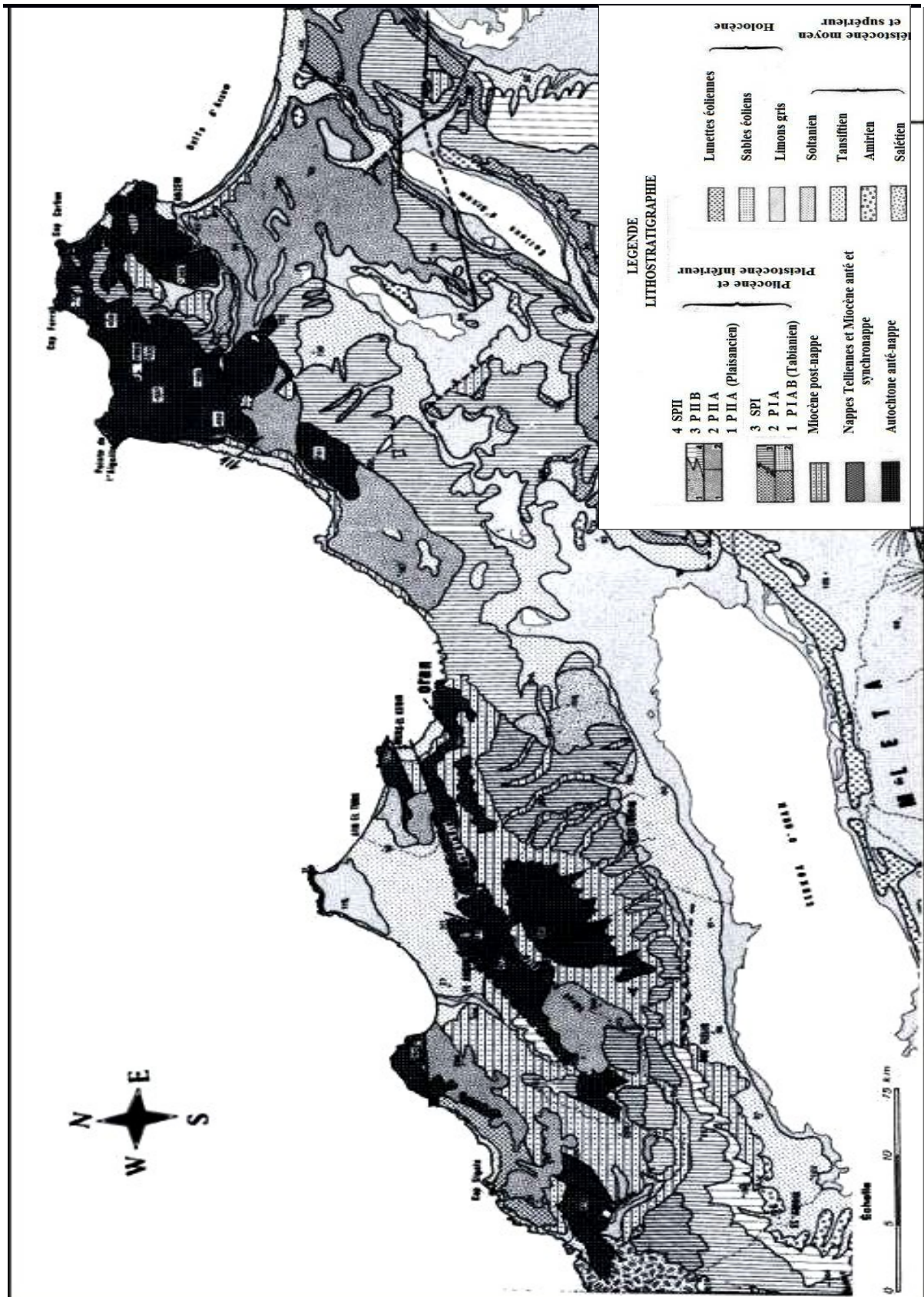


Figure 9: Carte géologique de l'Oranie Nord-Occidentale (G. Thomas, 1985)

Chapitre II : Hydrogéologique de la région d'étude

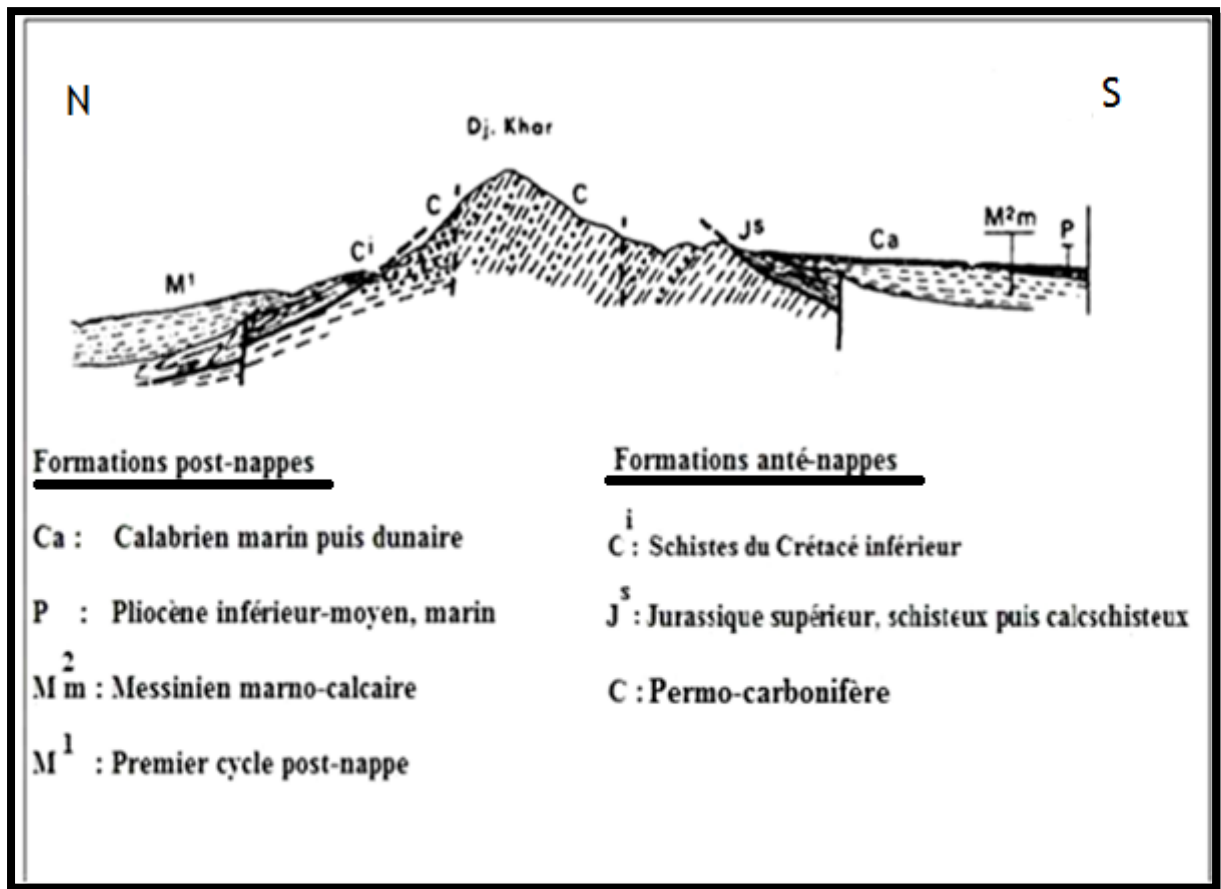


Figure 10: Coupe géologique illustrant les formations anté et post-nappes autour du Djebel Khar (B. Fenet., 1975)

Chapitre II : Hydrogéologique de la région d'étude

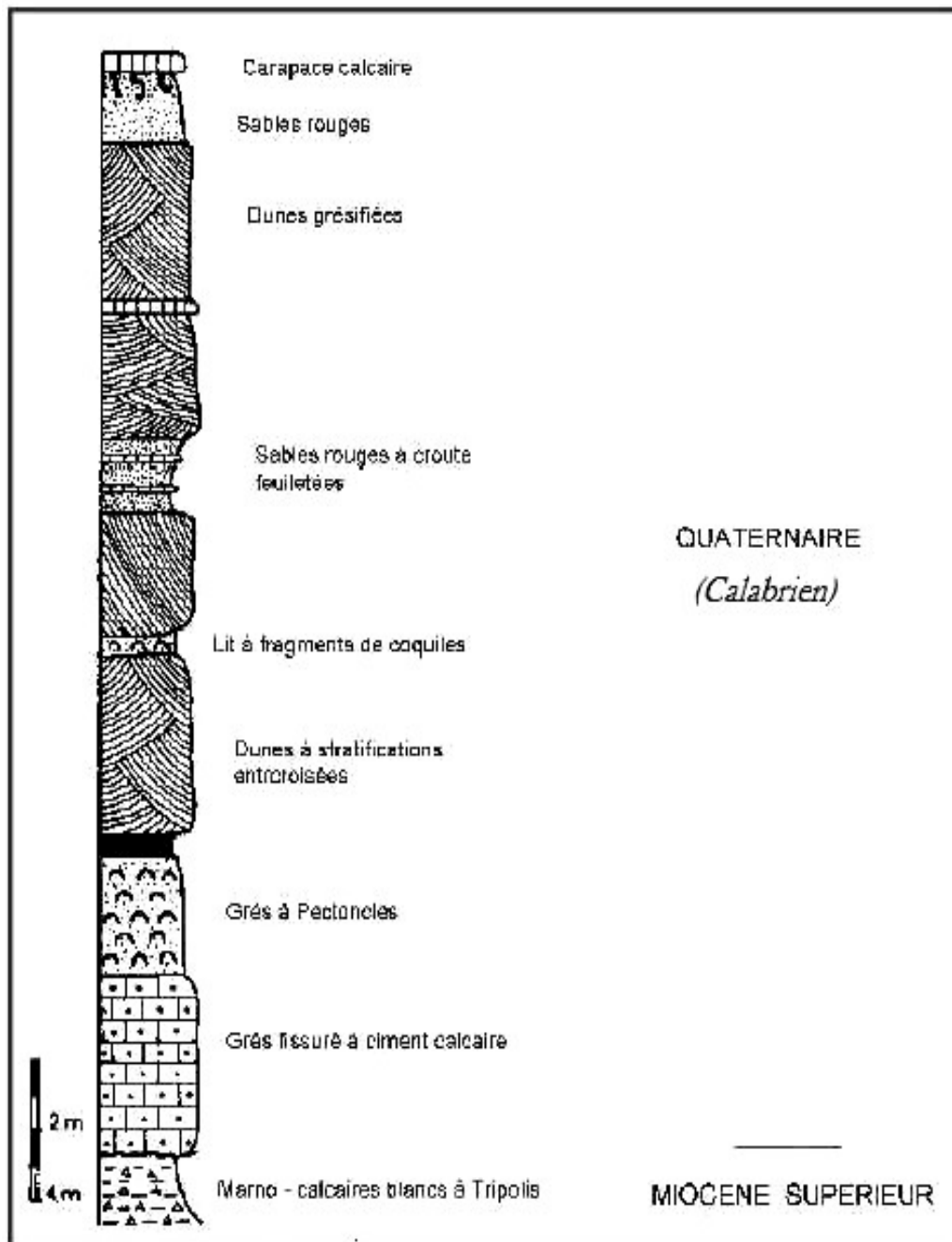


Figure 11: Log géologique de la falaise d'Oran (G. Thomas, 1985)

Chapitre II : Hydrogéologique de la région d'étude

2.2. Cadre géologique local:

La zone où se situe l'émergence d'Ain Franin est essentiellement constituée d'argilites noires, rouge sombre et lie de vin à galeta de calcaire noir. Des boules de gypse sont emballées dans les argilites autour du pointement gypseux. Un système de faille a permis la surrection d'omets gypseux. Fenet attribue au Trias.

La plus occidentale des failles à une direction sensiblement N-S, suit le pointement au contact des marnes et argilites miocènes qui viennent butter à l'Est contre les schistes violacés de Djebel Khar.

2.2.2. Le substratum de la région :

Il affleure sous la corniche calabrienne et les dunes consolidées qui sur plusieurs dizaines de km de profondeur forment le couronnement des plateaux situés au Nord de Dahra, du plateau de Mostaganem, des plateaux du Littoral Oranais. Dans notre secteur ces formations affleurent tout le long de la côte entre le port d'Oran et Douar Belgaid. Nous distinguons :

✓ Formation conglomératiques de la Pointe de Canastel :

Autour du pointement de gypse d'Ain Franin attribué au Trias (B. Fenet, 1969) affleurent des formations argileuses noires, et rouges sombres à petits galets dispersés de calcaire noir, des boules de gypses blancs emballées dans les argiles à la périphérie de l'amas gypseux ont un diamètre qui peut atteindre un mètre.

Les argiles passent progressivement vers l'Ouest en direction de la Point de Canastel à des marnes gypseuses à banes rares de grés tendres, jaune, parfois microconglomératique. Les passées rouges sont nombreuses. En s'approchant de la Point de Canastel les banes microconglomératique montrent un enrichissement en éléments grésions.

A la Pointe, la série se termine par des alternances des banes conglomératiques d'épaisseurs variables (jusqu'à 1.5 mètre) aux éléments hétérométriques (quelque cm à 50 cm) et d'argilites rouges bariolées dans les quelque s'intercalent des chenaux de ravinement, l'ensemble plonge au Nord avec un pendage de 70°.

Il est possible de reconnaître dans ces poudingues.

- Des calcaires à nummulite du lutétien (B. Fenet, 1969).
- Des calcaires, graveleux ou pseudo-oolitique
- Des calcaires à globigéninidae, certains à globotruncana.

Chapitre II : Hydrogéologique de la région d'étude

- Des calcaires fins blancs ou rosés.
- Des microbrèches polygéniques.
- Des quartzites fins.
- Des galets de rhyolites.
- Des granodiorites.

✓ Formation des marnes à tripoli, gypse et cinérite :

Sur les dépôts redressés de la Pointe de Canestel reposent en discordance des argiles jaunes verdâtres (on a X= 205.25, Y= 271.00 Oran) avec en intercalation quelque bancs de grés sableux jaunes fins, une série de bancs conglomératiques d'épaisseur décimétriques à galets de quartz microbechers polygéniques calcaire et de schiste violacé qui correspondent à des épandages détritiques provenant du démantèlement du massif schisteux voisin " Djebel Khar " en X= 204.8 et Y= 271.67. Ils passent progressivement de bas en haut à des marnes noires gypseuses au milieu des quelles s'intercale un niveau cinéritique grano-classé riche en feldspath, biotite et quartz automorphe. L'ensemble de ces formations est à attribuer au Miocène (Gourinard, 1956).

Faisant suite à ces dépôts, apparaissent :

- Des bancs des tripolis d'épaisseur métrique.
- Des marnes blanchâtres riches en lamellibranche.

Le contact avec les formations Miocènes sous-jacentes est masqué par des loupes de glissement qui bavent en mer. La faune aurait permis à (R. Laffite, 1950) d'attribuer les tripolis et les marnes en partie qui leur sont associées au Pliocène.

2.2.3. La couverture :

Elle est constituée de bas en haut :

✓ Série marine :

Transgressive et discordante sur le substratum (contact visible en X= 204.8 et Y= 271.67 Oran) et dans les falaises de Canestel. Sur un conglomérat de base à galets de calcaire noirs, quartz, quartzite reposent quelque mètres de grés grossiers à ciment calcaire surmontés par une dalle de calcaire lumachellique qui passe progressivement à des sables fins à stratification horizontale.

Chapitre II : Hydrogéologique de la région d'étude

La découverte des molaires de *Stylohipparion* extraites des argiles lacustres sous-jacentes à la lumachelle et d'une mandibule de *Hybitherium maurisium* dans les grès dunaires a permis d'attribuer cette formation au Villafranchien inférieur (Pomel, Y. Gourinard, 1958).

✓ **Série continentale :**

A ces quelques mètres de dépôts marins succède une série détritique d'épaisseur variable allant de quelques mètres aux falaises du port d'Oran à plusieurs dizaines de mètres aux "Falaises de Canastel" attribuées au Calabrien (C. Pomel., Y. Gourinard, 1958). Cet ensemble se présente sous forme de dunes à stratification entre croisées nette.

Les sables plus ou moins grésifiés contiennent des débris organiques d'origine marine, des troncs d'arbre calcifiés (falaises du port d'Oran) de nombreux moulages d'hélix et de cyclostomes identiques à ceux qui vivaient à la surface du sol. D'après la coupe de la falaise du port permet de distinguer au niveau de la couverture :

- Une série marine intégrant la lumachelle attribuée au Villafranchien inférieur.
- Une série continentale constituée de détritiques siliceux s'échelonnant du Calabrien au Tyrrhénien. Peuvent également être mises en évidence la superposition de quatre systèmes dunaires dont le passage se fait par des horizons crucifiés surmontés ou non de sol rouge rubéfié. La présence des intercalations de sol rougeâtre dans ce complexe dunaire témoigne d'une profonde évolution et que si les formations détritiques de base peuvent être attribuées au Calabrien il n'en est plus de même pour les autres qui sont plus récentes dont la dernière étant rattachée au Tyrrhénien.

L'ensemble est couronné par une croûte calcaire irrégulière renfermant une industrie Atérienne, d'aspect à bréchi que à ciment rosé d'épaisseur variable, localement cette croûte présente un espace graveleux oolitique ou pseudo oolitique.

✓ **Les formations récentes :**

Ce sont essentiellement des dépôts de ruissellement sableux ou limono-sableux avec parfois des intercalations caillouteuses peu développées, ces formations occupent les zones basses où elles constituent d'excellents terrains de culture. Voir la fig. n°12.

Chapitre II : Hydrogéologique de la région d'étude

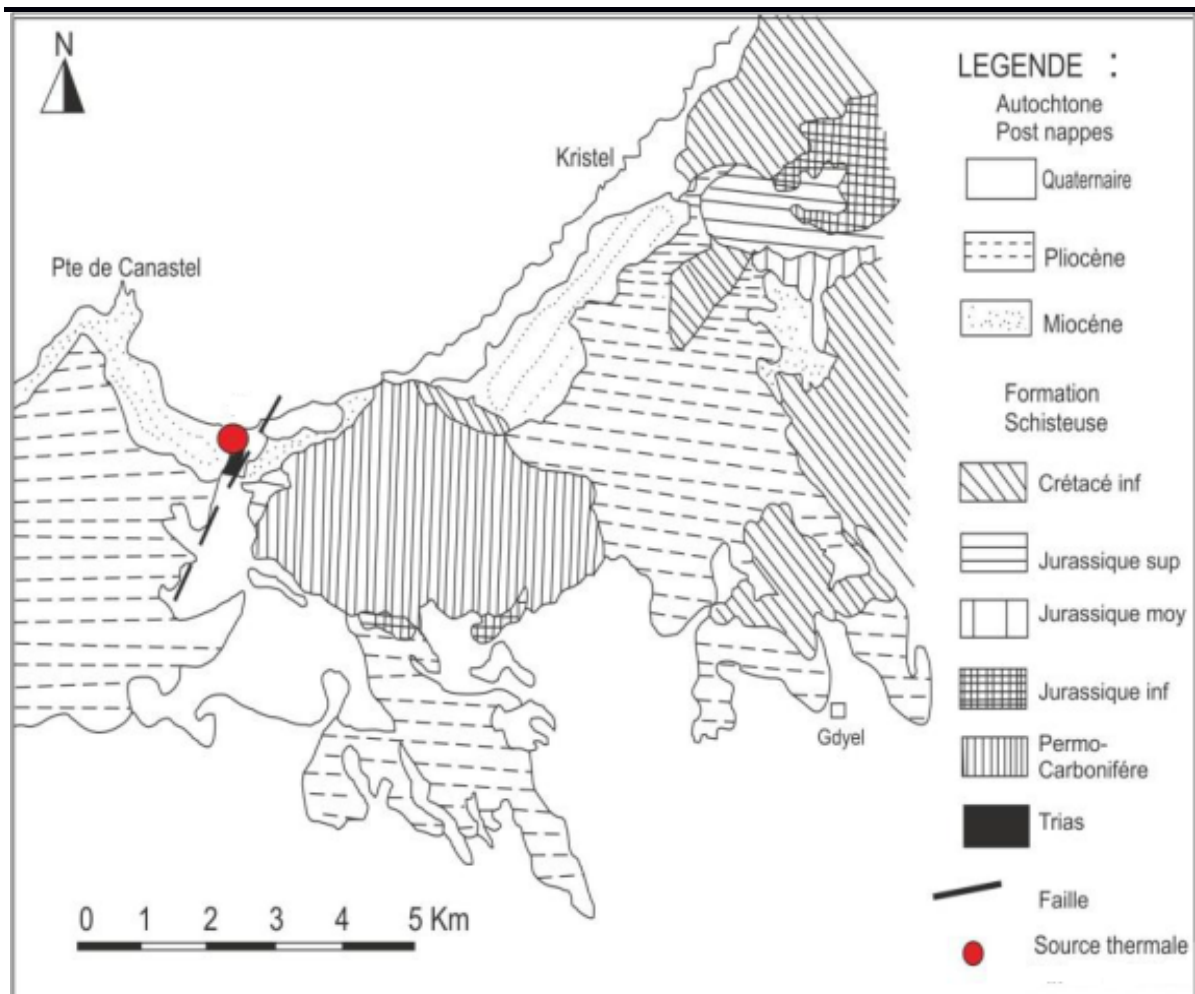


Figure 12: Situation géologique schématique de la source d'Ain Franin (d'après Doumergue, 1908 et Fenet, 1975)



Figure 13: Photo représente les formations géologiques au tour de la source d'Ain Franin

2.2.4. La tectonique :

Le domaine concerné est affecté par une tectonique cassante donnant naissance à des failles (fig. n°13) qui se manifestent selon deux directions principales.

- NNE / SSW (faille d'Ain Franin) mettant en contact les gypses réputés triasiques (B. Fenêt, 1975) et les marnes Miocènes. Cette faille correspond à une portion d'un linéament régional de direction N 10-30 E faisant partie des grandes transversales de Glangeaud (1951) qui correspondent à de grands décrochements transverses à jeu senestre. Ce grand linéament est identifié sur la trajectoire Tamzourah-Arbal-ferme minérale (SW du douar Belgaid)-Ain Franin et se poursuivrait en mer en direction du Cap de l'Aiguille (M.I. Hassani, 1987).

Chapitre II : Hydrogéologique de la région d'étude

- N 50 E affectant à la fois le substratum et la lumachelle calabrienne. Il est également possible que la définition du littoral actuel soit liée à l'effondrement par failles d'un panneau qui avait lié le Djebel Murdjadjo à la Pointe de Canastel et au Djebel Khar.

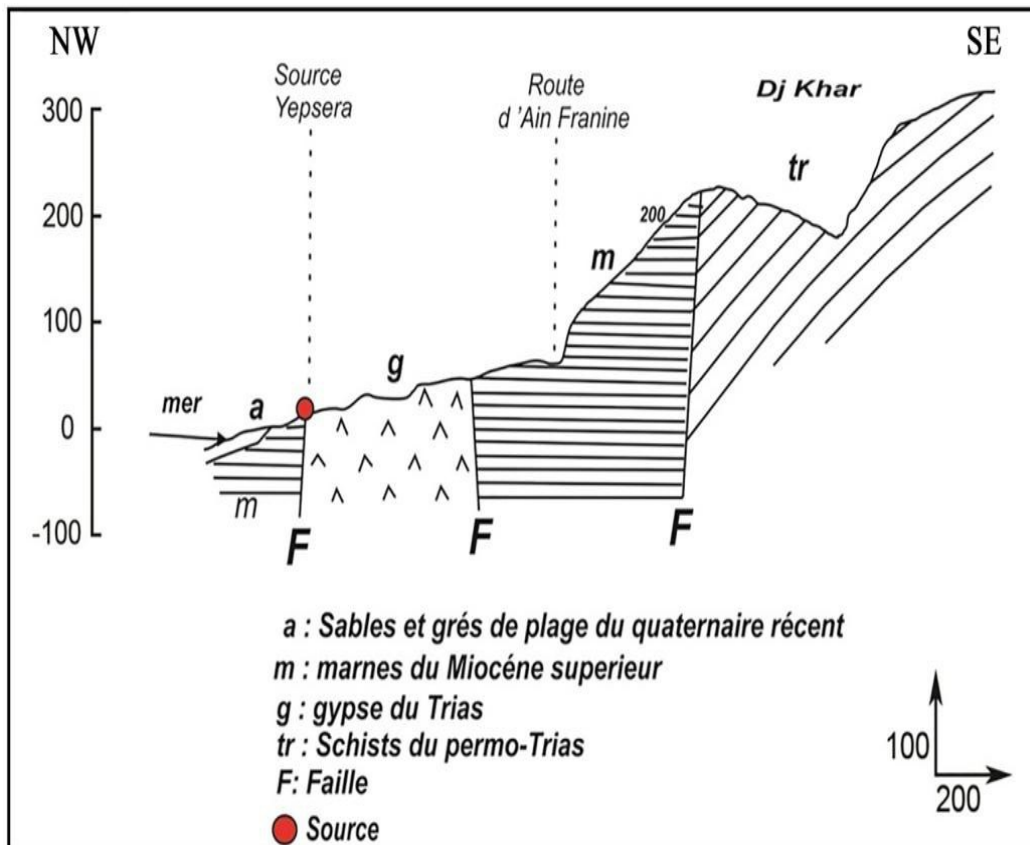


Figure 14: Coupe géologique d'Ain Franin (A. Demena, 1956)

L'émergence de la source se fait à la faveur d'une faille N-S (verticale) limitant le contacte d'un ensemble de gypse associé à des dolomies Triasique avec les marnes du Miocène qui viennent butter à l'est contre les schistes du djebel Khar.

3. Cadre hydrogéologique :

L'alimentation du réservoir alimentant la source d'Ain Franin proviendrait essentiellement de la nappe libre calabrienne du plateau de Bir El Djir à la faveur du lineament/faille, de direction N 10-30, affectant le plateau de Bir El Djir passant sous l'importante dépression de la "ferme minérale".

3.1 Aquifère du complexe dunaire (nappe calabrienne d'Oran-Bir El Djir) :

Le complexe du plateau d'Oran-Bir El Djir constitue un aquifère d'importance parmi les aquifères de la région (figure 16).

Chapitre II : Hydrogéologique de la région d'étude

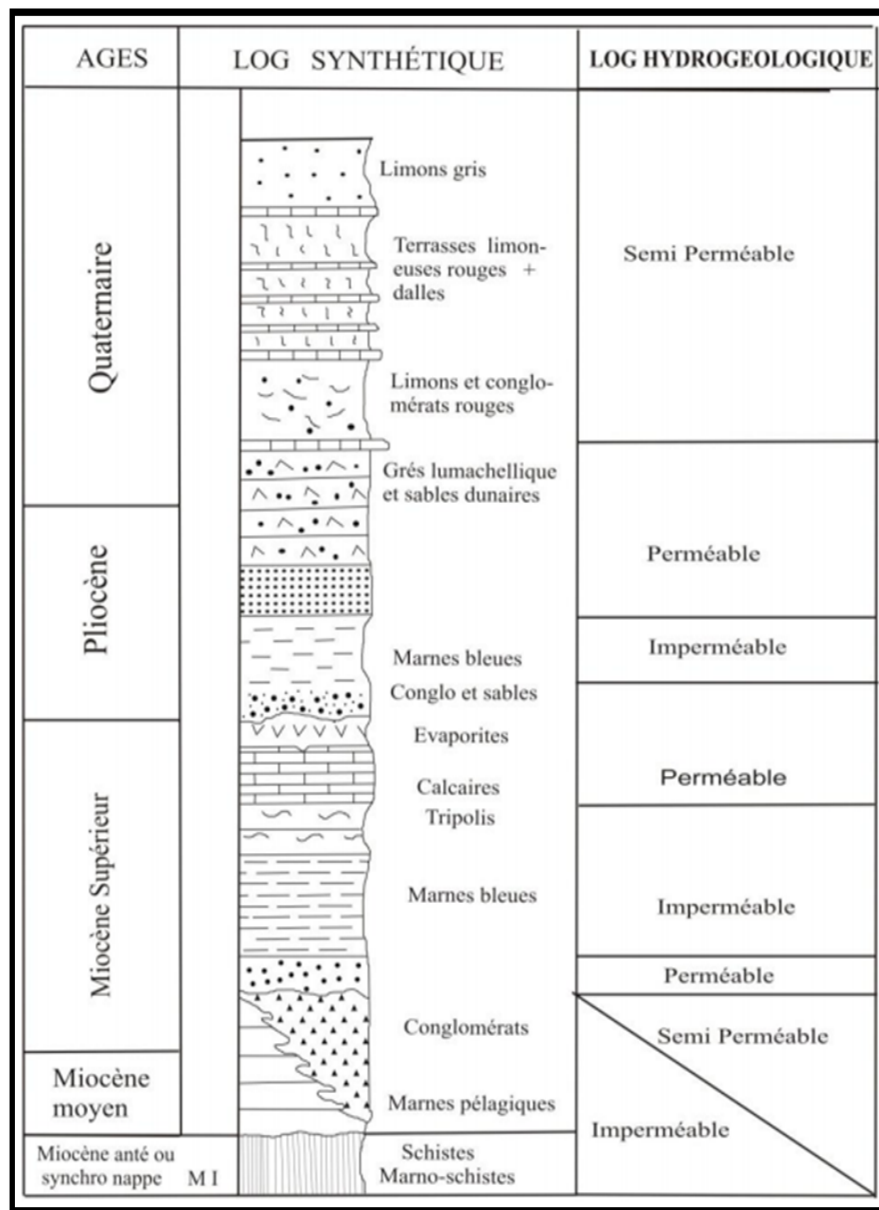


Figure 15: Log hydrogéologique de la région d'Oran (M.I Hassani, 1987)

Le complexe dunaire s'étale sous l'agglomération oranaise entre le Djebel Murdjadjo et le Djebel Khar.

Chapitre II : Hydrogéologique de la région d'étude

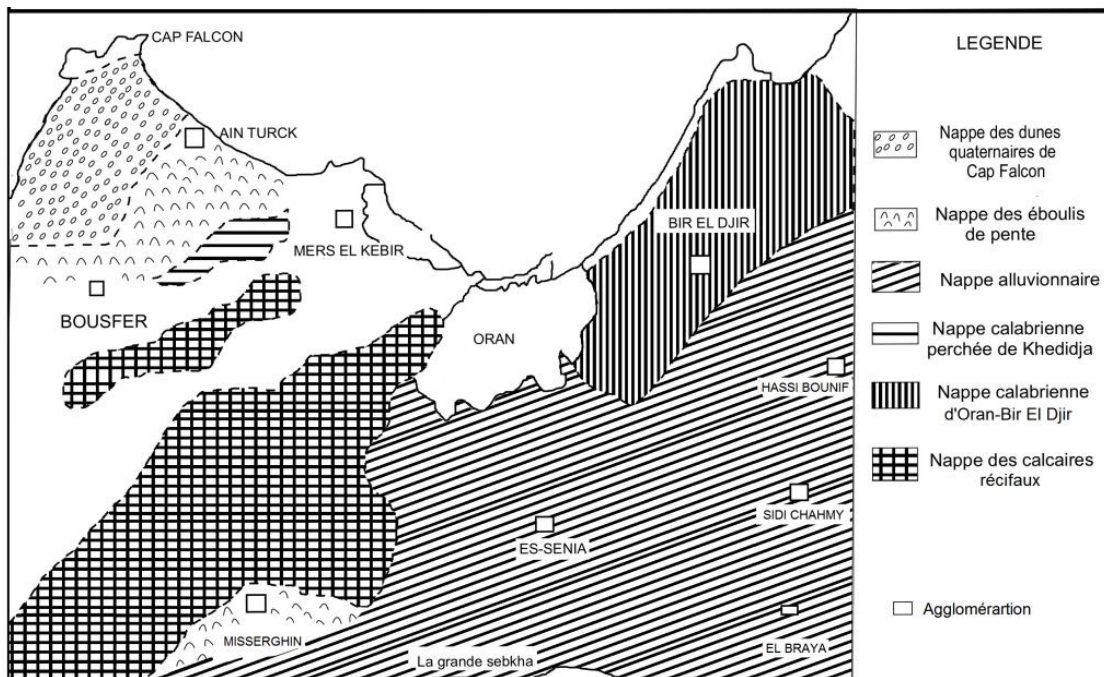


Figure 16: Extension géographique de la nappe calabrienne d'Oran/ Bir EL Djir (in A. Joseph, 1985)

Ce complexe repose en discordance directement sur les formations à Tripoli du Miocène supérieur. Le contact est visible dans les affleurements des falaises du port d'Oran. Ce contact est souligné par une ligne de sources entre le port d'Oran et la pointe de Canestel, principalement la source de Cueva d'El Agua (*covalawa*) (X = 193.3, Y = 262.8).

L'épaisseur de ce complexe varie entre 15 et 25 m et atteint 45 m au niveau des falaises côtières. Cet ensemble débute par une formation lumachellique ou conglomératique, il passe progressivement à des grès dunaires à stratification oblique et entrecroisée, souvent entrecoupés d'argile continentale. Les sables sont plus ou moins grésifiés et contiennent des débris organiques d'origine marine. La dissolution des éléments carbonatés a entraîné la formation d'argile rouge brique sableuse qu'on rencontre dans la partie supérieure du Calabrien. Le tout est clôturé par une croûte calcaire à ciment rosé pouvant atteindre deux mètres d'épaisseur

Des estimations se basant sur la formule de Hazen ont permis d'estimer les valeurs du coefficient de perméabilité entre $3,1 \cdot 10^2$ et $8,1 \cdot 10^3$ cm/s (A. Feghoul, 1977). Les pompages d'essai réalisés par cet auteur n'ont pas été fructueux.

Chapitre II : Hydrogéologique de la région d'étude

Le niveau piézométrique de la nappe se stabilise à une profondeur de 45 mètre au Nord et à 20 mètre au Sud.

La nappe est alimentée essentiellement par son impluvium et très localement par l'infiltration du ruissellement de surface dévalant, en période de crue, du flanc WSW du Djebel Khar, à l'exemple de l'Oued Sid El Bachir. La morphologie du complexe dunaire indique qu'une partie importante de ces eaux de ruissellement ont pour exutoire les dépressions endoréiques à l'exemple de celle de la ferme minérale. Ces eaux finissent par percoler dans le sous sol participant ainsi à une recharge appréciable des niveaux souterrains. Au niveau du secteur de Bir El Djir/Belgaïd, l'infiltration directe mobilise également une bonne partie des précipitations. Ceci permet l'existence sous le plateau d'une nappe libre de type radiale à écoulement divergent vers le sud-ouest, en direction de la dépression de la Dayet Morcelly, ainsi que vers le SSW en direction du plateau des Hassis (secteur de Hassi Bounif - Hassi Aneur).

La nappe du complexe Calabrien est exploitée, par forages et puits, pour des usages essentiellement agricoles et industriels.

3.2 Hydrométrie et conditions d'émergence de la source d'Ain Franin :

Depuis l'apparition de la source, plusieurs mesures de son débit ont été effectuées. Ces mesures et estimations sont consignées dans le tableau n° 6.

Tableau 6: Estimation du débit de la source à différentes périodes:

Années	1929 (Dr. Bergalli)	1940 (Service des Mines)	1956 A. Demena	1969 IST-Univ. Oran	11/07/2019 Lab. Georen UO2
Débit en m ³ / j et (l/s)	388 m ³ / j (4.5 l/s)	500 m ³ / j (5.78 l/s)	860 m ³ / j (5.78 l/s)	430 m ³ / j (5.78 l/s)	155 m ³ / j (1.8 l/s)

Ces débits sont variables et n'ont qu'une valeur relative car s'agissant d'eau artésienne remontant le long d'une faille dont le jeu peut faire varier la charge ascensionnelle de l'eau. Il peut également être admis que le fluide hydrothermal joue un rôle passif et que la force ascensionnelle de l'eau résulte de son émulsion avec le CO₂ remontant le long de la faille. Par ailleurs, un affleurement occulte des eaux ne transitant pas par la bache de captage est également possible.

Chapitre II : Hydrogéologique de la région d'étude

Le facteur climatique et l'accroissement dans l'exploitation des eaux pourrait également être pris en compte dans le sens d'une diminution de la recharge du réservoir thermo-minérale à partir des eaux de l'aquifère du complexe dunaire.

Il peut être retenu que la source d'Ain Franin doit son origine à la faille qui met le pointement de gypse au contact des marnes et qui a permis aux eaux de profondeur de remonter pour venir à la surface du sel, la température de l'eau à l'émergence étant de 33 °C alors que celle des puits du complexe dunaire est de 20 °C en moyenne. On peut retenir que pour un gradient géothermique moyenne de 1 °C/33, le réservoir thermo-minérale alimentant la source se situera à une profondeur de près de 400m de profondeur. (Feghoul, 1977)

A l'aide du gradient moyen régional et la température estimée de l'eau de la source, nous avons calculé de la profondeur du réservoir par l'équation suivante : $T_{es} = G \cdot P + T_s$

G : Gradient moyen régional de la région (0.0305).

T_{es} : Température mesurée de l'eau (36.5° C).

T_s : Température moyen régional de la surface (18.5°C).

P : Profondeur.

La profondeur calculée est de l'ordre de 623 mètre. (Foukrache, 2001).

A nos dernières visites à la source, nous avons observé que le captage de la source se fait dans une bache de béton. L'eau émerge d'une fissure unique. Cette eau est pompée vers un réservoir situé à l'aplomb de la bache de béton à une hauteur de 2,50 m. De ce réservoir, les eaux gravitent vers deux bassins des petits établissements thermaux. A la sortie des bassins, les eaux circulent sous forme d'un ruisseau vers la mer. Au niveau du griffon, l'eau se dégage violemment sous forme de bouillonnement au niveau de la bache de béton. Ce dégazage est accompagné d'un refroidissement. Il en résulte une précipitation de carbonate de calcium contenu dans l'eau et formation de travertin au niveau de la bache et tout le long du cheminement de l'eau jusqu'à la mer. En bordure de mer sous l'effet de l'érosion mécanique des vagues, il forme une petite falaise.

Des mouvements de glissement tangentiel affectent également la formation des marnes rouges à galets de calcaire noir sur lesquelles a été construit le petit établissement thermal. Cette instabilité est à l'origine de la fissuration continue de ces bâtiments à structure légère. Cette instabilité du terrain et le jeu de la faille empêche toute construction de bâtiments à structure lourde.



Figure 17: Ecoulement des eaux de la source d'Ain Franin en aval de l'établissement thermal

Conclusion :

L'étude géologique de la région est formée essentiellement par deux ensembles : le substratum anti à synchro-nappe et la couverture post-nappes.

Les dépôts marneux et conglomératiques affleurent tous au long de la côte Oranaise et constituent le substratum du secteur succèdent en quelques mètres de calcaires marine Lumachellique attribuée au calcaires. Le contact entre les deux est irrégulier jalonné suit d'un dépôt dunaire surmonté d'un sol rouge.

Nous notons que la quantité de débit augmentant avec le temps, nous constatons en 2019 une diminution significative de débit de la source d'Ain Franin de 1.8 l/s. par contre au des années 1929 jusqu'à 1959 le débit marqué entre 5 et 10 l/s.

Ceci est dû à des conditions climatiques, notamment la rareté des précipitations qui alimentent les aquifères profonde de la commune de Bir El-Djir considérées comme le principal élément nutritif de la source d'Ain Franin.

**Chapitre III: Etude des caractéristiques
physico-chimiques des eaux de la source
d'Ain Franin (Yepserra)**

Chapitre III : Etude des caractéristiques physico-chimiques des eaux de la source d'Ain Franin (Yepserra)

1. Introduction :

La variation du chimisme dans les eaux souterraines dans un milieu naturel est due essentiellement à la l'interaction entre les eaux des sources et la composition minérale des matériaux aquifère où elles circulent.

Pour l'étude hydrochimique des eaux souterraines, on utilise des paramètres physico-chimiques, soit mesuré surplace comme : la température, le pH, la conductivité électrique, et d'autre mesuré au laboratoire.

Cette étude hydrochimique donne un aperçu sur la qualité des eaux de la source étudiée et la relation entre les formations géologiques et la chimie des eaux. L'interprétation des analyses chimiques a pour le but de déterminer les différents faciès chimiques.

2. Généralités et méthode d'étude des eaux thermominérales

2.1. Caractérisations des eaux thermo-minérales :

Selon la commission des eaux minérales et thermales de l'Association Internationale des Hydrogéologues, 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 33°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 " (*In* Laissoub, 1974). Une eau thermo-minérale cumule l'ensemble des caractères précédents.

2.1.1. 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

Chapitre III : Etude des caractéristiques physico-chimiques des eaux de la source d'Ain Franin (Yepserra)

est possible d'extraire, moyennant la mise en œuvre de techniques appropriées, de l'eau minérale naturelle (BRGM, 2004). Représente les différentes composantes d'un gisement d'eau thermo-minérale :

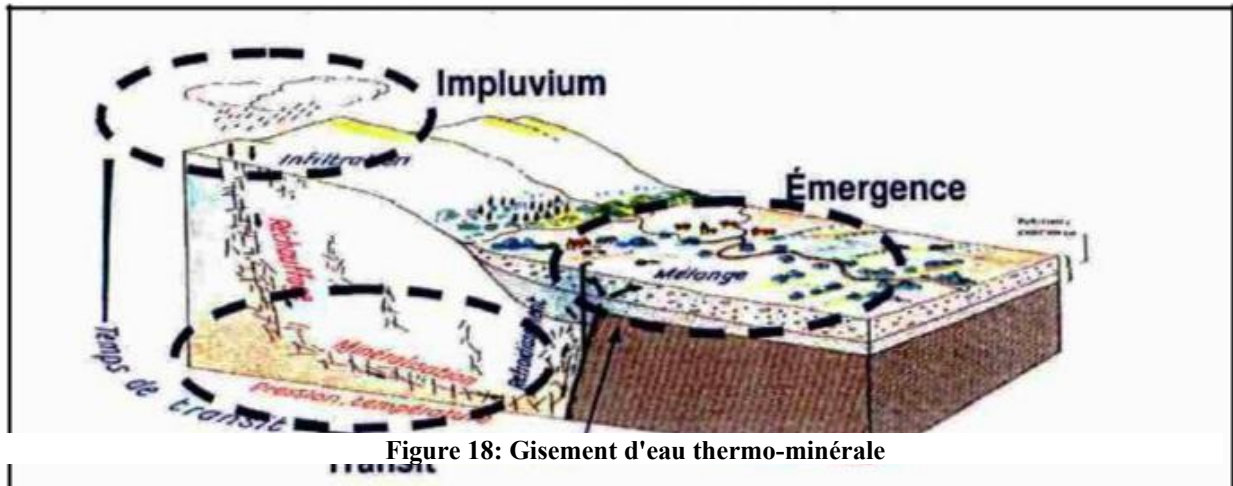


Fig. n°18: Gisement d'eau thermo-minérale

(D'après Guide qualité pour la ressource en eau minérale - BRGM édition, 2004)

➤ 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).

➤ La zone de transit :

Secteur dit de circulation " profonde " de fluide (la notions 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

Chapitre III : Etude des caractéristiques physico-chimiques des eaux de la source d'Ain Franin (Yepserra)

conditions physiques rencontrées (nature lithologique des roches encaissantes, pression, température, flux de fluide géothermaux).

➤ La zone d'émergence :

Secteur où l'eau thermo-minérale soit. La connaissance du fonctionnement du gisement est primordiale pour en permettre une exploitation maîtrisée, assurant sa préservation dans le temps.

2.1.2 Classifications des eaux thermo-minérales:

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

2.1.2.1. Thermalité :

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

A. Le gradient géothermique :

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.

- **Anomalie géothermique dans l'Algérie du Nord :**

Chapitre III : Etude des caractéristiques physico-chimiques des eaux de la source d'Ain Franin (Yepserra)

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.

- **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. 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. Désintégration des minéraux radioactifs :

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

D. 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.

Chapitre III : Etude des caractéristiques physico-chimiques des eaux de la source d'Ain Franin (Yepserra)

- 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.

2.1.2.2. Chimisme de l'eau :

Certaines eaux thermominérales, 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- Sources avec RS<1000 mg/l

2.1.2.3. Exploitation des eaux thermominérales :

En Algérie, les sources thermominérales sont utilisées à l'heure actuelle pour de simples traitements médicaux.

Chapitre III : Etude des caractéristiques physico-chimiques des eaux de la source d'Ain Franin (Yepserra)

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 Reykvik.

À Huergerdi, les eaux chaudes permettent de faire pousser différents végétaux sous de vastes serres. Ces grandes serres sont chauffées grâce à la géothermie. Un autre bon exemple est donné par les Philippines qui produisent 21,5% de leur énergie électrique.

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.

2.2. Hydrogéochimie d'eau thermo-minérale :

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 (Dakoure, 2003).

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 (Schoeller, 1962). 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 (Glynn & Plummer, 2005 in Aboubakar, 2012).

Chapitre III : Etude des caractéristiques physico-chimiques des eaux de la source d'Ain Franin (Yepserra)

2.2.1. Balance ionique:

Le contrôle de la qualité des analyses chimique 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 :

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

Selon cette formule, on peut considérer une analyse comme :

- $e\% < 2\%$: très bonne.
- $2 < e\% < 5$: acceptable.
- $e\% > 5$: mauvaise analyse.

2.2.2. Méthodes d'interprétation :

L'étude hydrochimique des eaux thermominérales se base sur l'interprétation des données physico-chimiques :

Chapitre III : Etude des caractéristiques physico-chimiques des eaux de la source d'Ain Franin (Yepserra)

2.2.2.1. Méthodes d'interprétation des données physiques :

Les caractères physiques des eaux permettent de distinguer les différents types d'eaux selon leur température, pH, conductivité et leur Résidu Sec.

Les eaux thermominérales présentent d'importantes anomalies physico-chimiques par rapport aux eaux potables et froides. Les paramètres physiques se résument comme suit :

a) 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. Selon P. Verdeil (1986) et A. Issaadi (1992), les eaux thermales, minérales et thermominérales sont classées en fonctions de leurs degrés thermiques. (Tableau n°7).

Tableau 7: Classification des eaux thermo-minérales en fonction de la Température c°:

La température en C°	Type de l'eau en fonction de la Tc°
Tc° > 4c°	Eaux hypothermales
Tc° < 30c°	Eaux métriothermales
30 < Tc° < 50 c°	Eaux mésothermales
Tc° > 50 c°	Eaux hyperthermales

b) 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. (Tableau n°8.)

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

Chapitre III : Etude des caractéristiques physico-chimiques des eaux de la source d'Ain Franin (Yepserra)

Tableau 8: La classification de milieu de l'eau en fonction de pH:

Le pH	Le milieu de l'eau
Ph = 7	Milieu neutre (H^+) = (OH^-)
pH > 7	Milieu basique (H^+) < (OH^-)
pH < 7	Milieu acide (H^+) > (OH^-)

c) 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(1992) a regroupé les sources minérales et thermales algériennes en quatre classes :

Tableau 9: La classification des eaux thermale en fonction de la conductivité CE:

La classe	La teneur de CE en $\mu s/cm$
Classe 1	CE < 2000 $\mu s/cm$
Classe 2	2000 < CE < 7000 $\mu s/cm$
Classe 3	7500 < CE < 1500 $\mu s/cm$
Classe 4	CE > 1500 $\mu s/cm$

d) Résidu Sec :

Chapitre III : Etude des caractéristiques physico-chimiques des eaux de la source d'Ain Franin (Yepserra)

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

e) Radioactivité :

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

f) Gaz :

Les sources thermominérales 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.

2.2.2.2. Méthodes d'interprétation des données chimiques :

➤ Représentation graphique :

Les chlorures sont très fortement concentrés dans les eaux. 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 relativement élevée supérieure à celle des alcalino-terreux.

- **Diagramme de Piper :**

Chapitre III : Etude des caractéristiques physico-chimiques des eaux de la source d'Ain Franin (Yepserra)

Cette méthode consiste à représenter sur deux triangles les pourcentages des quantités en réactions 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.

- **Diagramme de Berkaloff-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.

- **Rapports caractéristiques :**

L'utilisation de certains rapports entre les éléments chimiques permet de préciser le milieu de provenance des eaux thermominérales, de comparer leur concentration en éléments chimique et de confirmer les résultats précédents.

L'étude des rapports caractéristiques a concerné les rapports suivants: $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$; $\text{Na}^+/\text{Ca}^{+2}$, $\text{Na}^+/\text{Mg}^{+2}$ et $\text{Mg}^{+2}/\text{Ca}^{+2}$:

- **Le rapport $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$:** 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 (El Morabiti et al, 2008).
- **Le rapport $\text{Mg}^{+2}/\text{Ca}^{+2}$:** permet d'apprécier la part du Magnésium (provenant des roches dolomitiques) par rapport au Calcium. Une valeur élevée serait liée à la présence de dolomies et/ou à un temps de séjour long (Barbieri et al., 2005). Si les valeurs de ce rapport sont faibles, ceci est dû à leur enrichissement en ion calcium, qui aurait pour origine l'échange cationique inverse entre l'eau et le substratum marneux.

Chapitre III : Etude des caractéristiques physico-chimiques des eaux de la source d'Ain Franin (Yepserra)

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

➤ Indice de déséquilibre Chloro-alkalin I.D.C :

L'utilisation de l'indice de déséquilibre Chloro-alkalin (**I.D.C**) permet de mettre en évidence 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 (Dib, 2010; Schoeller, 1956) : $I.D.C = [rCl - r(Na + K)] / rCl$

- Si l'**I.D.C** est négatif alors les ions Ca^{+2} et Mg^{+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 Na^+ et K^+ 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.

3. Cas de la source d'Ain Franine :

Pour l'étude de principales caractéristiques hydro-chimiques de la source thermo-minérale d'Ain Franine, nous avons pris en considération les résultats d'analyse faites par A. Feghoul l'année 1977 (auprès de l'A.N.R.H, les résultats d'analyses sont présentés dans le tableau n°10.

Chapitre III : Etude des caractéristiques physico-chimiques des eaux de la source d'Ain Franin (Yepserra)



Figure 19: L'observation de réservoir de la source d'Ain Franin

Chapitre III : Etude des caractéristiques physico-chimiques des eaux de la source d'Ain Franin (Yepserra)

Tableau 10: Résultats des analyses chimiques de la source d'AIN Franin (in Feghoul 1977) en mg/l:

N°	Nom	pH	T° C	CE μs/c m	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	HCO ₃ ⁻ mg/l
source	Ain Franin	7,12	34	7870	530 8	809	149	286	26	905	1850	849

Tableau 11: Les résultats de la balance ionique avec le type d'analyse pour la source d'Ain Franin :

Nom	Cations (még)	Anions (még)	Balance ionique	Analyse
Source d'Ain Franine	83.34	92.33	5.11 %	Acceptable

Tableau 12: Formule caractéristique et le type du faciès.

Site	Anions	Cations	Type de faciès
Source d'Ain Franine	rSO ₄ ^{>} rHCO ₃ ^{>} rCl ⁻	rCa ²⁺ ^{>} rNa ⁺ ^{>} rMg ²⁺	Sulfatée calcique

3.1. La classification des caractéristiques physico-chimiques :

Les caractéristiques physico-chimiques des sources sont résumées dans les tableaux n°10, 11 et 12 :

Les températures d'émergence mesuré au niveau de la station thermo-minérale d'Ain Franin est de 34 c°, et selon la classification des eaux thermales Tbl .n°7, on en déduit que le type de l'eau thermo-minérale de la source d'Ain Franin est mésothermales.

Chapitre III : Etude des caractéristiques physico-chimiques des eaux de la source d'Ain Franin (Yepserra)

La valeur de la conductivité électrique CE est de 7870 $\mu\text{s}/\text{cm}$, elle a été un peu élevée et appartiendra au second groupe selon leur classification (Tableau .n°9). Avec un Résidu Sec RS forte égale a 5308 mg/l.

La source d'Ain Franin est de 0,15 millimicrocuries ou 0,99 millimicrocuries de radon/l . La phase gazeuse est représentée par 53,6% de gaz carbonique, accompagné de 34,6% d'azote, de 11,6% d'oxygène et de 0,04% d'hélium (Issaadi, 1992).

Chapitre III : Etude des caractéristiques physico-chimiques des eaux de la source d'Ain Franin (Yepserra)

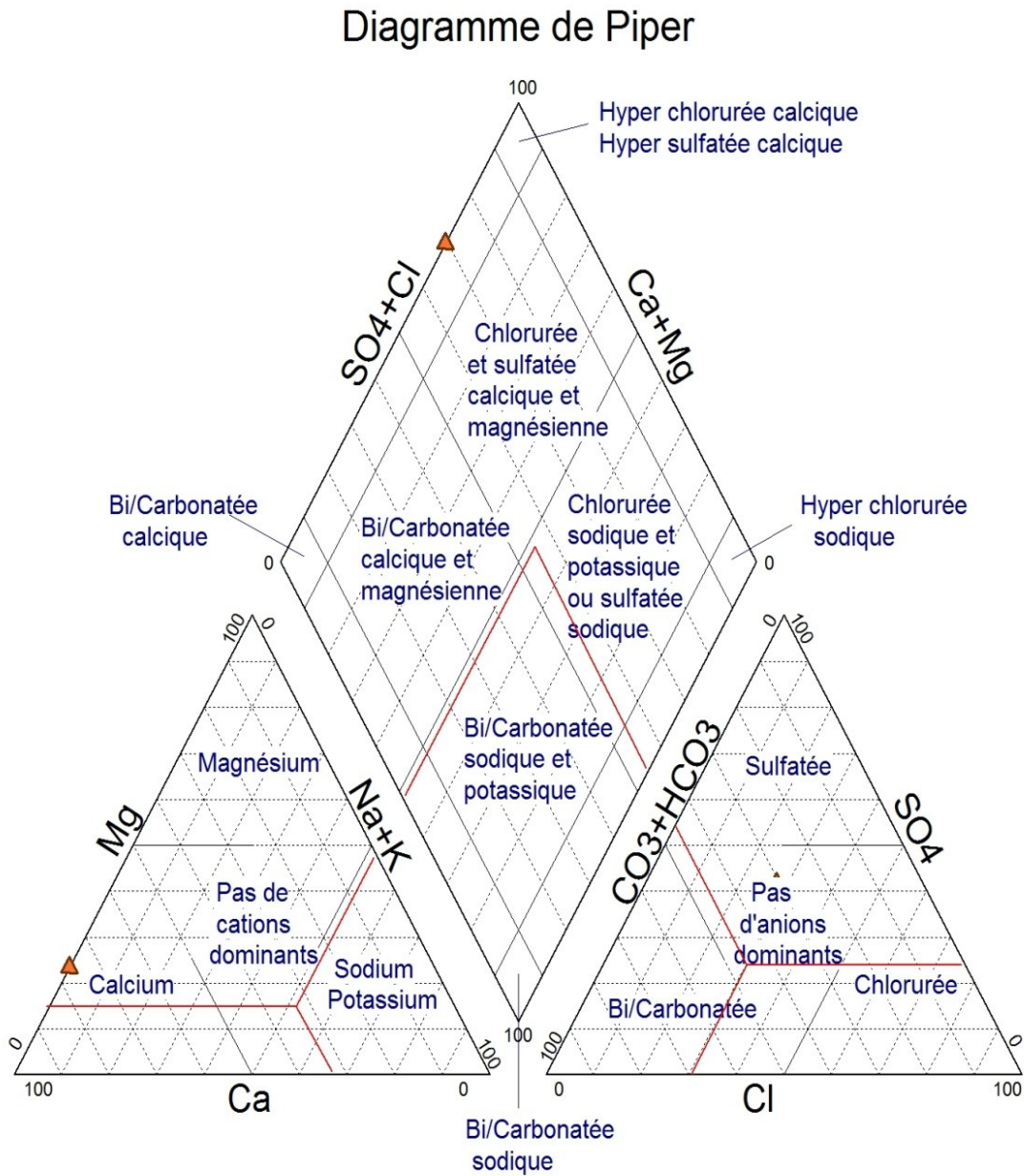


Figure 20: Représentation graphique l'eau d'Ain Franin (Diagramme de Piper)

Chapitre III : Etude des caractéristiques physico-chimiques des eaux de la source d'Ain Franin (Yepserra)

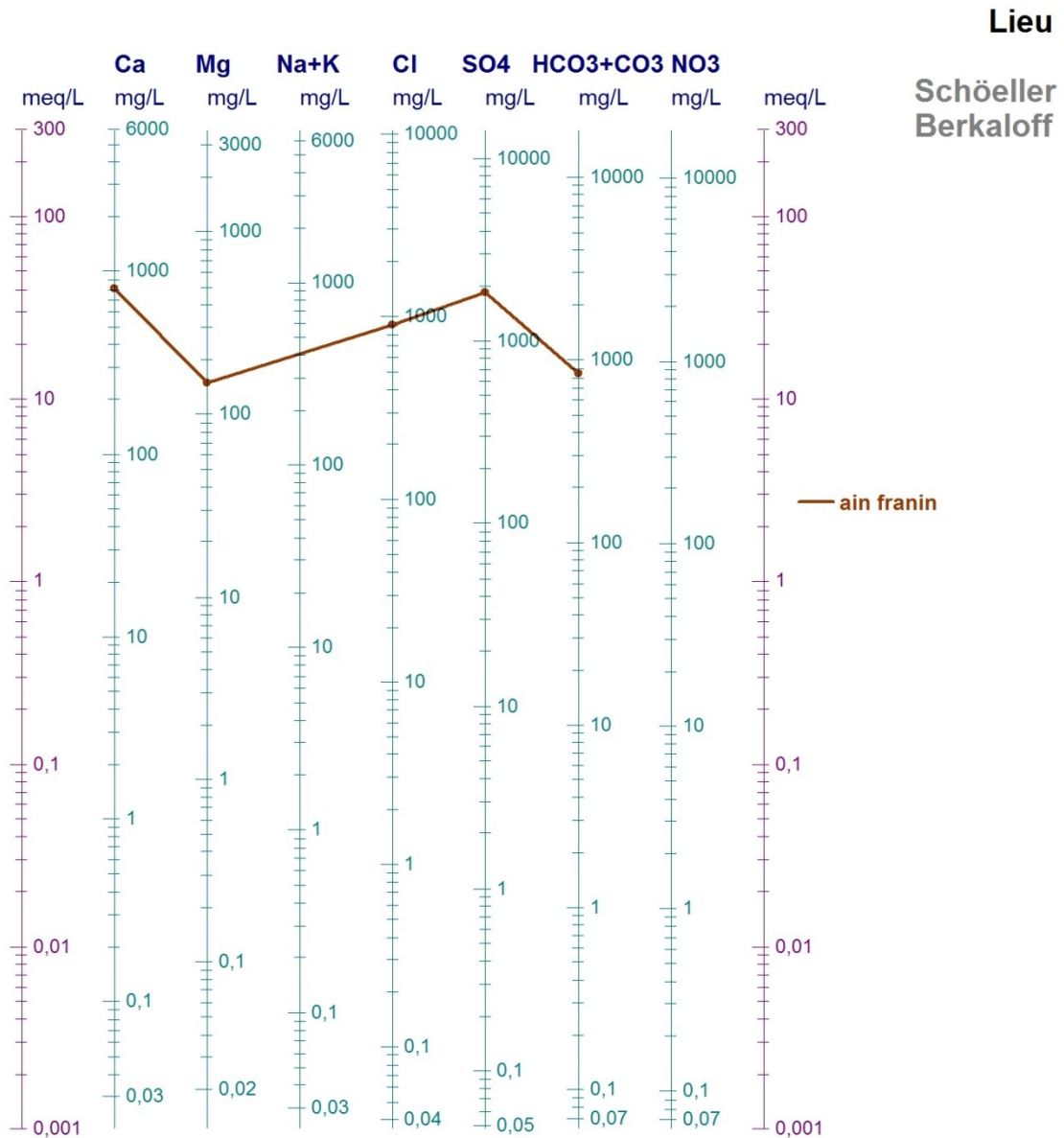


Figure 21: Représentation graphique l'eau d'Ain Franin (Diagramme de Schoeller)

La représentation graphique des analyses chimique de l'eau d'Ain Franin " Yepserra " Tableau .n°10, d'après les diagrammes de Piper et Schoeller Fig. n° 20 et 21 ; on déduire que le type de faciès chimique de notre station thermale est de type sulfatée calcique.

Chapitre III : Etude des caractéristiques physico-chimiques des eaux de la source d'Ain Franin (Yepserra)

Les différents rapports caractéristiques (Tableau. n°13), montrent la prédominance des teneurs en calcium sur le magnésium d'un rapport inférieur à 1, ceci témoigne en faveur d'une circulation des eaux souterraines dans les calcaires dolomitiques du Lias qui affleure largement à l' hauteur de Kristel. Cette zone forme un front d'alimentation de la nappe Plio-Quaternaire, ce qui confirme la contribution du calcaire liasique à la recharge de cette nappe.

Le rapport du sulfate sur les chlorures montre la prédominance des sulfates due aux formations des gypses; le rapport est égal à 1.51. On suit le rapport du $r(\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+})$ égala à 0.73 montrent la prédominance des calciums représente les formations carbonaté. Et concernent le rapport $r(\text{Na}^+/\text{Mg}^{2+})$ indiquent la présentation des élément du sodiums sur les magnésiums égala de 2.4, lié à la présence des minéraux évaporitiques.

L'indice de déséquilibre Chloro-alkalin est de 2.19. Ceci indique que les eaux échangent les ions Na^+ et K^+ contre les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} de l'encaissant. Tableau n°13.

Tableau n°13 : Rapport d'I.D.C :

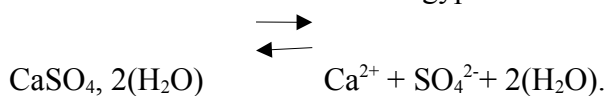
Nom	I.D.C	$r(\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl})$	$r(\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+})$	$r(\text{Na}^+/\text{Mg}^{2+})$	$r(\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+})$
Ain Franine	2.19	1.51	0.73	2.4	0.3

3.2. Caractéristique chimiques des éléments majeurs :

➤ **Calcium :**

La présence des ions Ca^{2+} dans l'eau est liée à l'origine de la dissolution des formations carbonatées : $\text{CaCO}_3 \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$.

Et la dissolution des formations gypseuses :



Chapitre III : Etude des caractéristiques physico-chimiques des eaux de la source d'Ain Franin (Yepserra)

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. La teneur en calcium dans le secteur de la source d'Ain Franin égale à 809 mg/l.

➤ **Magnésium :**

Ses origines sont comparables à celle du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium, d'une teneur égale de 149 mg/l.

✓ Dolomite: $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + 2(\text{CO}_3^{2-})$

➤ **Sodium :**

L'origine de cet élément est liée principalement à la dissolution des formations salifères et à la proximité de la côte. Les évaporites seraient la principale origine de la teneur en Na^+ égale à 286

➤ **Potassium :**

Les teneurs en potassium sont très faibles par rapport à celles des autres cations, pour notre secteur la concentration en K^+ est de 26 mg/l.

➤ **Chlorure**

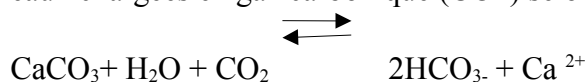
L'origine de cet élément est comme pour le cas du sodium, liée principalement à l'évaporite constituent la source principale de cet enrichissement. D'une teneur de 905 mg/l.

➤ **Sulfate :**

Les sulfates sont liés à l'origine de la présence d'évaporites (gypse). L'oxydation d' O_2 . La teneur en sulfates de secteur étudié égale de 1850 mg/l.

➤ **Bicarbonate :**

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



Chapitre III : Etude des caractéristiques physico-chimiques des eaux de la source d'Ain Franin (Yepserra)

Les teneurs en bicarbonates estimé en 849 mg/l.

4. Applications Thérapeutiques :

En se basant sur les analyses qui leur ont été soumises, plusieurs sommités médicales françaises et étrangères comparent Yepserra à diverses sources minérales réputées. Nous consignons ici quelque unes de ces opinions collectées par A. Demena (1956) :

Le Docteur J.-Forge, chef de clinique à la faculté de médecine de Paris : " les eaux sulfatées calciques sont parmi les plus importantes et les plus utiles au point de vue hydrominéral. Je note la richesse en SO_4Ca de l'eau...plus riche que l'eau de Vittel ".

Le Professeur A.Puech, de Montpellier : " Son eau doit fournir un bain carbo-gazeux naturel analogue à ceux de Royat, Nauheim, Spa ".

Le Professeur I.Grober, de l'université d'Iéna : " Tout désigne donc les mêmes indications que Kissingen, Marienbad, peut-être même aussi Nauheim... Il me semble que la source se prêterait très bien à la fonction d'une installation balnéaire ".

Le Docteur Cigax de l'université de Berne : " Il s'agit d'une eau minéral très forte et très bonne qui ressemble étonnamment à celle de Montecatini ".

Le Docteur Jose de San Ramon y Rouyer, en Madrid : " Par sa composition, elle ressemble à l'eau de Carlsbad, à quelque sels près ".

Les eaux de source sont des eaux d'origine souterraine microbiologiquement saines et protégées contre les risques de pollution. Aptes à la consommation humaine sans traitement ni adjonctions autres que la décantation ou la filtration ou l'adjonction du gaz carbonique (**GULIAN et al., 1990**). Les eaux de source sont soumises à la recherche des coliformes thermo-tolérants, des streptocoques fécaux et des *Pseudomonas* arrogions ainsi que des bactéries anaérobies sulfito-réductrices (**DELLARAS, 2000**).

Chapitre III : Etude des caractéristiques physico-chimiques des eaux de la source d'Ain Franin (Yepserra)

L'action thérapeutique de l'eau de Yepserra " Ain Franine " n'a encore été que très peu étudiée, M. Marégiano, procédant par analogie avec de sources qui ont donné lieu à de suite les applications thérapeutiques auxquelles pourrait se prêter Yepserra.

Donc cette dernière possède des eaux sulfatées et calciques utilisées pour certaines maladies comme : Affections dermatologiques, Affections rhumatismales diverses, Névralgies...etc.

5. Conclusion :

L'eau thermo-minérale d'Ain Franine étudiée est liée à un système très complexe traduisant la circulation des eaux en profondeur. Le contact des eaux de ces sources avec des terrains argileux ou marneux, des formations évaporitiques du Trias ou de Messénienne et carbonatées, conduit souvent aux échanges qui influencent le chimisme et la minéralisation originelle de l'eau acquise dans le réservoir.

La source étudiée appartient à la catégorie des eaux mésothermales et présente des caractéristiques particulières de dégagement gazeux et de radioactivité.

La répartition spatiale des éléments chimiques a confirmé que l'origine de ces faciès est fortement liée à la nature lithologique des formations traversées, le faciès chimique de la source d'Ain Franine est de type Sulfatée Calcique.

La source d'Ain Franine " Yepserra " caractérisée par l'eau chaude et minéralisée, qui lui permet d'être l'eau utile pour la peau et guérit de plusieurs autres maladies.

Conclusion générale :

Ce travail a mis en évidence l'importance de la convergence des résultats basés sur les différentes études géologiques, structurales, hydro-climatologiques, hydrogéologiques et hydrogéochimiques pour la compréhension des processus souterrains à l'origine de l'eau thermale et sa minéralisation. Les conclusions obtenues peuvent se résumer en plusieurs points:

1. L'eau de la source d'Ain Franine réparties sur l'ensemble de son territoire, les températures mesurées à l'émergence variant entre 32.1 et 34c°.
 2. Sur le plan climatique, cette étude, nous a permis de déterminer les principales caractéristiques climatiques de la région d'étude. Elle est soumise 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.
- ❖ La source thermo-minérale est étroitement liée au réservoir aquifère rencontré dans la région d'étude. ce sont des formations calcaires et dolomitiques du Jurassique (massifs littoraux). La source thermo-minérale d'Ain Franin est liée au réservoir gréseux anté-jurassique.
3. L'étude du contexte tectonique de la source thermo-minérales d'Ain Franin, nous a permis de connaître la nature et la direction de la faille à l'origine des émergences thermo-minérales de cette région. La tectonique cassante est marquée par une failles directionnelle plus ou moins profonde orientée **NNE et SSW** à la faveur de émergence de la source thermo-minérale Yepserra. est souvent injectés d'évaporites d'âge triasique. Elle est le siège d'une forte activité sismique.
 4. La source d'Ain Franine appartient au groupe mésothermales et présente des caractéristiques particulières de dégagement carbo-gazeux et de radioactivité.

Référence Bibliographique :

ANRH. (2009) : Réalisation de la Carte des Ressources en Eau Souterraines du Nord de l'Algérie.

Boubker. M, 2013 : Vulnérabilité à la pollution des eaux souterrains en contexte industriel, cas de la zone de Hassi Ameur (région d'Oran- Algérie) (Thèse, 2013).

BRGM. (2009). Caractéristique hydrogéochemiques et isotopiques d'eaux thermo-minérales du Massif central. Inventaire du potentiel géothermique de la Limagne (projet COPGEN).

Demena. A, 1956 : Une importante source thermale près d'Ain Franin (Routed'Oran à Ain Franin).

El Morabiti K., Benmakhelou M., Pulido Bosch A. et Cèron J.C. (2008). Hydrogéochemie des sources thermales du couloir sud-rifain(Maroc). Bulletin. d'Hydrogéologie n° 22. Centre d'Hydrogéologie, Université de Neuchâtel.

Feghoul. A, 1977 : Hydrogéologie de la bordure septentrionale et occidentale du Djebel Kher entre Oran à Ain Franin.

Fenet B. (1975). Recherche sur l'alpinisation de la bordure septentrionale du Bouclier africain à partir d'un élément de l'Orogène nord-maghrébine: les Monts du Djebel Tessala et les Massifs du littoral oranais. *Thèse de Doctorat, Université de Nice, 301 p.*

Foukrache M. (2001). Hydrogéologie des massifs côtiers oranais (Arzew-Béni Saf).

Hassani M.I. (1987) : Hydrogéologie d'un bassin endoréique semi-aride. Le Bassin Versant de la grande Sebkhha d'Oran (Algérie). Doctorat 3ème cycle. Université de Grenoble. 304 p.

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.*

Gourinard Y. (1952) : Le littoral oranais (mouvements verticaux et anomalies gravimétriques). Congrès. Géol. Inter. Alger, Monographie régionales (1), 22, 63 p. Gourinard Y. (1958) : Recherches sur la géologie du littoral Oranais II.

Gourinard. Y : Recherche sur la géologie du littoral Oranais service de la carte de l'Algérie Alger 1958- Bull n°6.

Gourinard. Y, Nicod A., Bouillon M., Perrodon A. (1957) : Notice explicative de la carte géologique de l'Algérie 1/50.000. 154. Saint Cloud. Edition. Service de la carte

géologique de l'Algérie

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

Gourinard Y. (1958) : Recherches sur la géologie du littoral Oranais II. Epeirogenesis et nivellements. Publication du service de la carte géologique de l'Algérie.

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

Laissoub. B, Etude des eaux minérales thermales et thermo-minérales en Oranie (Thèse 1974).

Medani. K, 2015 : Caractérisation et évolution de la qualité des eaux souterraines de la partie occidentale de l'agglomération Oranaise.

Schoeller H. (1962). Les eaux souterraines. Hydrologie dynamique et chimique. Exploitation et évaluation des ressources. *Edition Masson. Paris.*

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

Thomas G. (1985). Géodynamique d'un Bassin intra-Montagneux. Le Bassin du Bas Chéelif Occidental durant le Mio – Plio – Quaternaire. *Thèse de Doctorat, Université de pau, 594 p.*

