

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**UNIVERSITE ABOU BAKR BELKAID - TLEMCEM**  
**FACULTE DES SCIENCES**  
**DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE**



**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**

Présenté pour l'obtention du  
**Diplôme d'Ingénieur d'Etat en géologie**

Option

**Hydrogéologie**

Présenté par

**CHIBANI Mosaab**  
**KADDOURI Achwak**

INTITULE

---

**ACTUALISATION D'ETUDE HYDROGEOLOGIQUE ET  
HYDROCHIMIQUE DES EAUX THERMALES –SAIDA-.**

---

Soutenu le 8 juin 2014

Devant les membres du jury :

<b>M. BENCHOUK</b>	Président (Université de Tlemcen)
<b>M. BAGHLI A.</b>	Encadreur (Université de Tlemcen)
<b>M. TABET HELAL M. A.</b>	Co-encadreur (Université de Tlemcen)
<b>Mme Mahi.YEBEDRI .I</b>	Examinatrice (Université de Tlemcen)

**Année Universitaire : 2013-2014.**

## REMERCIEMENTS

Nous remercions Dieu pour qu'Il nous accorde toute sa miséricorde.

Nous tenons à exprimer toutes nos reconnaissances à Monsieur A. BAGHLI, enseignant-chercheur au département des Sciences de la Terre et de l'Univers, qui a accepté de diriger ce travail, nous le remercions également pour avoir bien voulu nous faire profiter de ses connaissances et pour les conseils qu'il nous a donnés.

Nous remercions également Monsieur M.A. TABET, enseignant-chercheur au département des Sciences de la Terre et de l'Univers, d'avoir accepté de co-encadrer ce travail.

Nos vifs remerciements à Monsieur XXX , enseignant-chercheur au département des Sciences de la Terre et de l'Univers, pour avoir accepté de présider le jury.

Nous sommes très sensibles à l'honneur que nous fait Monsieur XXXXX , enseignant-chercheur au département des Sciences de la Terre et de l'Univers, en acceptant de juger ce travail.

Nous sommes très sensibles à l'honneur que m'a fait XXXXX , enseignant-chercheur au département des Sciences de la Terre et de l'Univers, en acceptant de juger ce travail.

Nos remerciements sont adressés aussi à :

- Laboratoire de recherche N°25 de l'Université de Tlemcen
- La direction de l'Hydraulique de la Wilaya de Saïda
- La direction de l'ANRH de wilaya de Saïda
- La direction de l'ADE de la wilaya de Saïda

Nous remercions, enfin, ceux (familles et amis) qui, de près ou de loin, nous ont aidé à la réalisation de ce travail.

## Sommaire

Liste des figures.

Liste de tableaux.

Résumé.

Introduction générale.

	<b>Pages</b>
<b>CHAPITRE I : Situation géographique.</b>	
Présentation de la région d'étude.....	2
1. Situation géographique générale.....	2
2. Situation géographique du secteur d'étude.....	2
2.1 Hammam Rabi.....	2
2.2 Hammam Sīdi Aïssa.....	2
2.3 Aïn Skhouna.....	3
<b>CHAPITRE II : Etude climatique.</b>	
1. Introduction.....	4
2. Etude des précipitations.....	4
2.1 les précipitations mensuelles et annuelles.....	4
2.2 Les précipitations saisonnières.....	4
3. Les températures.....	5
3.1 Les températures moyennes mensuelles.....	5
4. Etude du climat.....	6
4.1 Méthode graphique.....	6
4.2 Les indices climatiques généraux.....	7
4.2.1 Indice d'aridité annuelle (I).....	7
4.2.1.2 Indice d'aridité mensuel (i).....	7
5. Déficit d'écoulement.....	8
6. Bilan hydrologique :.....	9
6.1 Evapotranspiration potentielle (ETP).....	9
6.1.1 Méthode de Thornthwaite.....	9
6.2 Evapotranspiration réelle (ETR).....	9
6.3 Calcul de la réserve en eau du sol.....	10
6.4 Ruissellement.....	10
6.5 L'infiltration.....	10
7. Conclusion.....	11
<b>CHAPITRE III : Etude géologique.</b>	
CADRE GEOLOGIQUE GENERAL.....	12
1. Introduction.....	12
2. Cadre géologique de la région de Hammam Rabi et Sīdi Aïssa.....	12
2.1 Stratigraphie.....	12
2.2 Cadre structural.....	17
3. Cadre géologique de la région d'Aïn Skhouna.....	18
3.1 Stratigraphie.....	21
3.2 Cadre Structural.....	21

4. Conclusion.....	22
--------------------	----

### **CHAPITRE I I I : Etude hydrogéologique.**

❖ Généralités.....	24
1. Origine des eaux thermales de Hammam Rabi et Hammam SidiAïssa.....	27
1.1 Les eaux thermales de Hammam Rabi.....	27
1.2 Les eaux thermales de Hammam Sidi Aïssa.....	31
2. Hydrogéologie de la région d'Aïn Skhouna.....	31
2.1 Origine des eaux thermales d'Aïn Skhouna.....	32
3. Protection des eaux thermales des Hammam Rabi.....	32
3.1 Périmètre de protection immédiat.....	35
4. Conclusion.....	35

### **CHAPITRE I I I: Etude hydrochimiques.**

1. Introduction.....	36
2. Méthodologie.....	36
3. Classification des eaux.....	36
3.1 Classification selon la température de l'eau à l'émergence.....	36
3.2 Classification selon la composition chimique de l'eau.....	37
4. Méthodes de classification des eaux.....	37
4.1 Classification de Stable.....	37
4.2 Classification de palmer.....	37
4.3 Représentation graphique de R. Ferry.....	37
5. interprétation des donnes de mesure et des résultats d'analyse.....	37
5.1 Les caractéristiques organoleptiques des eaux de Hammam Rabi, Sidi Aïssa et Aïn Skhouna.....	37
5.2 Les caractéristique physico-chimique des eaux étudiées.....	38
5.3 Contrôle des analyses par la balance ionique.....	38
a- Paramètres physico-chimiques.....	38
6. Représentations graphiques des eaux.....	42
7. Conclusion .....	46
❖ Conclusion générale.....	52
❖ Référence bibliographique.	
❖ Annexe.	

### Liste des figures :

- **Figure 1** : Localisation des sources thermales de la région de Saïda.
- **Figure 2** : Histogramme des précipitations mensuelles.
- **Figure 3** : Histogramme des précipitations saisonnières.
- **Figure 4**: Courbe des températures mensuelles.
- **Figure 5** : Histogramme des températures mensuelles.
- **Figure 6** : Diagramme pluviothermique.
- **Figure 7** : L'abaque de l'indice d'aridité de DEMARTONE.
- **Figure 8**: Extrait de la carte géologie de Saïda (A. Clair, 1973).
- **Figure 9** : Log lithostratigraphique de L'Oued de vallée de Saïda. (BENAMEUR et MELLAL, 2007).
- **Figure 10** : Log lithostratigraphique du forage Sidi Aïssa (BENAMEUR et MELLAL, 2007).
- **Figure 11**: Carte structurale de la région de Saïda.
- **Figure 12** : Carte géologique de la région d'Aïn Skhouna (C. T. H. Tlemcen, 2003).
- **Figure 13**: Lithostratigraphique de la région d'Aïn Skhouna (BENAMEUR et MELLAL, 2007).
- **Figure 14** : Log lithostratigraphique du forage d'Aïn Skhouna (BENAMEUR et MELLAL, 2007).
- **Figure 15** : Extrait du log hydrogéologique de la région de Hammam Rabi et Sidi Aïssa. (BENAMOUR et MELLAL, 2007)
- **Figure 16** : Coupe litho stratigraphique de la région de Hammam Rabi (PITAUD, 1973).
- **Figure 17**: Carte de situation des points d'eau chauds dans le Périmètre de Hammam Rabi (ANRH, 2008).
- **Figure 18** : Source d'Aïn Skhouna.
- **Figure 19** : Carte Situation en Juin 2008 des points d'Eau dans le Périmètre de Hammam Rabi.
- **Figure 20** : la source de Hammam Rabi.
- **Figure 21** : Diagramme de Piper des eaux étudiées.
- **Figure 22** : Diagramme de Schoeller Berkaloff des eaux étudiées.
- **Figure 23** : Diagramme de Stiff des eaux étudiées.
- **Figure 24** : Diagramme de Piper des eaux.
- **Figure 25**: Diagramme de Schoeller Berkaloff des eaux.
- **Figure 26**: Diagramme de Stiff des eaux étudiées.

### Annexe :

- **Figure A** : Climagramme d'EMBERGER.
- **Figure B** : la méthode de P. Verdeil pour le calcul du déficit d'écoulement.
- **Figure C** : l'abaque de Wundt modifié par Coutagne.

## Liste des tableaux :

- **Tableau 1** : valeurs Moyennes mensuelles des précipitations de BNEDER.
- **Tableau 2** : valeur moyennes saisonnières des précipitations.
- **Tableau 3** : les valeurs moyennes mensuelles des températures.
- **Tableau 4** : température et précipitations et moyennes mensuelles.
- **Tableau 5** : Les valeurs de l'indice mensuel(i).
- **Tableau 6** : Calcul de l'ETR.
- **Tableau 7** : Les valeurs d'ETP.
- **Tableau 8** : le bilan hydrique.
- **Tableau 9** : Principaux puits inventoriés des eaux chaudes dans le périmètre de protection de la source de Hammam Rabi :
- **Tableau 10** : Coordonnées des points du périmètre de protection de Hammam Rabi .
- **Tableau 11** : Résultats du calcul de la Balance ionique.
- **Tableau 12** : La relation entre la conductivité et la minéralisation (Rodier J., 1996).
- **Tableau 13** : Résultats des analyses physico-chimiques.
- **Tableau 14** : Principaux puits inventories dans le périmètre de protection de la source de Hammam Rabi (2008).
- **Tableau 15** : Principaux puits chaudes inventories dans le périmètre de protection de la source de Hammam Rabi (ANRH 2008).
- **Tableau 16** : les analyses chimiques des principaux puits d'eaux chaudes.
- **Tableau 17** : Classification des eaux selon les éléments physico – chimiques.
- **Tableau 18** : Dureté des différentes eaux.

## Annexe :

- **Tableau A**: Calcul de l'indice de Moral mensuel.
- **Tableau B** : Classification en mois Sec et Humide.
- **Tableau C** : calcul de  $\lambda, 1/2\lambda$  et  $1/8 \lambda$  (méthode de Coutagne).
- **Tableau D** : regroupe les valeurs des déficits calculés par les différentes méthodes ainsi que les eaux de l'écoulement et de l'infiltration.
- **Tableau E** : Moyennes mensuelles des paramètres: 1990/2011 Saida.

## ABSTRACT

The aim of this work is to realize an actualization of the Hydrogeology and Hydrochemistry study of the Thermal Waters in Saïda region (Hammam Rabi, Hammam Sïdi Aïssa and Aïn Skhouna).

This area is characterized by a semi-arid climate with a 358 mm mean rain fall and 17 °C.mean annual temperature.

The origin of these thermal waters is very deep.

The rising waters ascent through a fractured zone.

Hydrochemistry showed that these waters are not suitable for drinking purposes.

**Key words:** Hammam Rabi, Hammam Sïdi Aïssa, Aïn Skhouna, Saïda, thermal waters, hydrogeology, hydrochemistry, potability.

## RESUME :

L'objectif de ce travail est d'actualiser l'hydrogéologie des eaux chaudes de la région de Saïda (Hammam Rabi, Hammam Sïdi Aïssa et Aïn Skhouna).

Cette région est caractérisée par un climat semi-aride avec une pluviométrie moyenne annuelle de 358 mm et une température moyenne annuelle de 17 °C.

L'origine de ces eaux thermales est profonde.

Leur remontée se fait le long d'une zone fracturée.

L'étude hydrochimique montre que ces eaux sont généralement impropres à la consommation humaine.

**Mots-clé :** Hammam Rabi, Hammam Sïdi Aïssa, Aïn Skhouna, Saïda, thermalisme, Hydrogéologie, Hydrochimie, potabilité.

## ABSTRACT

The aim of this work is to realize an actualization of the Hydrogeology and Hydrochemistry study of the Thermal Waters in Saïda region (Hammam Rabi, Hammam Sïdi Aïssa and Aïn Skhouna).

This area is characterized by a semi-arid climate with a 358 mm mean rain fall and 17 °C mean annual temperature.

The origin of these thermal waters is very deep.

The rising waters ascent through a fractured zone.

Hydrochemistry showed that these waters are not suitable for drinking purposes.

**Key words:** Hammam Rabi, Hammam Sïdi Aïssa, Aïn Skhouna, Saïda, thermal waters, hydrogeology, hydrochemistry, potability.

### **Introduction générale :**

Les eaux chaudes ont toujours intéressé les êtres humains, pour leurs effets thérapeutiques. Le thermalisme en Algérie a un passé lointain, bien avant les romains qui ont construit les bains thermaux.

Les premières études scientifiques ont vu le jour vers les années 1940 avec Simone Gigue. Au court du temps d'autres études ont été élaborées du point de vue chimisme, hydrogéologique et thérapeutique.

Ce travail consiste à l'actualisation des études des eaux de sources thermales du point de vue hydrogéologique et hydrochimique de la région de Saïda (Hammam Rabi, Hammam Sidi Aïssa et Aïn Skhouana), cette étude est scindée en cinq chapitres, à savoir :

- Présentation géographique générale et celles des secteurs d'étude.
- Une étude climatique qui permet de déterminer le type de climat régnant dans la zone concernée et le déficit hydrique à partir des températures et des précipitations.
- Une étude géologique pour déterminer les différentes formations lithologiques.
- Une étude hydrogéologique pour déterminer les formations perméables, leur extension et leur origine.
- Une étude hydrochimique dans laquelle sont déterminés les caractères physicochimiques et les différents faciès des eaux.

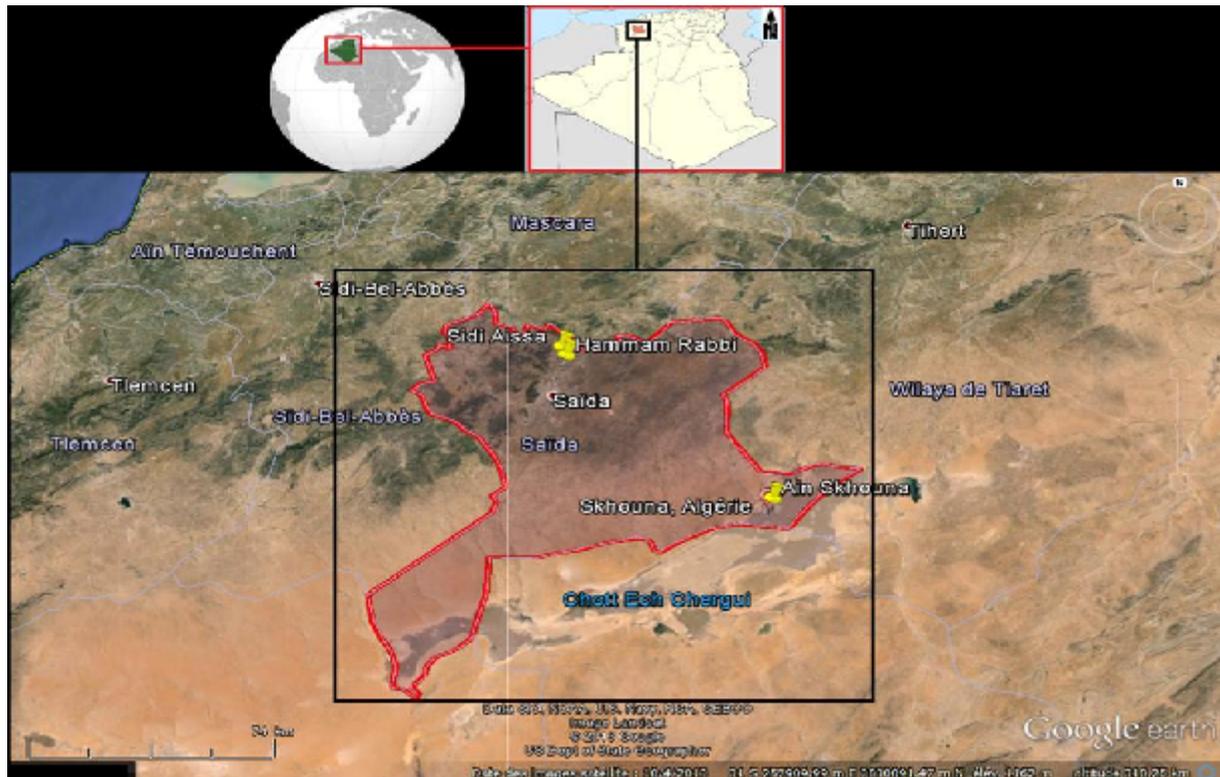
Puis nous terminons avec une conclusion et des recommandations s'il y a lieu.

# Présentation de la région d'étude :

## 1. Situation géographique générale :

Les Monts de Saïda forment, à la limite Nord des hautes plaines oranaises, le prolongement vers l'Est des Monts de Tlemcen et des Mont de Daïa.

Constituant une unité géologique et géographique assez précise, ils sont limités au Nord par les chaînes telliennes (Monts de Beni Chougrane), au Nord-est les Monts de Mina formant l'extrémité occidentale des Monts de l'Ouarsenis et au Sud par la dépression du Chott El Chergui. Et à l'Ouest les Monts de Tlemcen et Monts de Daïa.



 : Source thermale

**Fig1 : localisation des sources thermales de la région de Saïda.**

## 2. Situation géographique du secteur d'étude :

### 2.1 Hammam Rabi :

La source de Hammam Rabi ou Hammam Ouled Khaled est située à 11 Km de la ville de Saïda et à 500m à l'Est de la route nationale N 6 au point de coordonnées UTM : 31 242 404 E et 3869 936 N avec une altitude de 709 m.

Coordonnées géographiques : 34 55'58''N et 00 10'48''E.

C'était une source libre jusqu'en 1970 date à laquelle elle a été captée pour alimenter la station thermale.

### 2.2 Hammam Sidi Aïssa :

Non loin de la source de Hammam Rabi, à quelque 5 km vers le Nord-ouest un forage a été implanté en 1969. Le forage cité précédemment est artésien avec un débit 7.5 L/s.

Leur coordonnées UTM sont : 31 241 074 E et 3872 221 N Altitude 640 m ; et géographiques : 34 57'43'' N et 00 09'51'' E

Ce forage est de 313 m de profondeur.

### **2.3 Hammam Aïn Skhouna:**

La région d'Aïn Skhouna (Wilaya de Saïda) ; située sur les Hautes Plaines Steppiques de la région Ouest, fait partie du bassin versant du Chott Chergui (27000 km<sup>2</sup>) ; a une superficie de 404,4 km<sup>2</sup>. Géographiquement, la source d'Aïn Skhouna est d'altitude 900 m, et de coordonnées 38°33'72'' N et 01°65'45' E.

Source libre au début, elle a été captée par forage après la baisse du niveau (probablement due à la sécheresse). Ce forage est de 98 m de profondeur.

### **CADRE GEOLOGIQUE GENERAL :**

L'étude géologique a été prise en majeure partie des travaux de PITAUD (1973) et OUARDAS (1983).

#### **1. Introduction :**

Les monts de Saïda forment, à la limite Nord des Hautes Plaines Oranaises, le prolongement vers l'Est des monts de Tlemcen et des monts de Daïa.

Constituant une unité géologique et géographique assez précise, ils sont limités au Nord par les chaînes telliennes (monts de Beni Chougrane), au Nord-est par les Monts de la Mina formant l'extrémité occidentale des Monts de l'Ouarsenis et au Sud par la dépression du Chott Chergui et à l'Ouest par les Monts de Tlemcen et les Monts de Daïa.

On subdivise généralement l'Algérie en trois domaines structuraux qui sont du Nord au Sud, le domaine tellien, le domaine atlasique et le domaine de la plateforme saharienne.

Le domaine atlasique comprend la Meseta Oranaise et L'Atlas saharien. La Meseta Oranaise étant subdivisée en domaine tlemcénien et Hautes Plaines. Le domaine tlemcénien c'est l'avant-pays du Tell. C'est une zone d'altitude moyennement élevée. Il débute par le massif de Ghar Rouban. A l'Est de ce massif on peut distinguer les Monts de Tlemcen, des Daïa, de Saïda, de Tiaret avec le Bougheddou, les Monts de Frenda et le djebel Nador.

#### **2. Cadre géologique de la région de Hammam Rabi et Sidi Aïssa :**

- le socle primaire affleure dans le massif de Ghar Rouban, à Saïda (horst de Tiffrit) et par pointement au Nador.

- la couverture est localisée dans les Monts de Tlemcen, les Monts de Daïa et de Saïda. Elle est représentée par toute la série du Secondaire jusqu'au Miocène. La tectonique est souple : plis SW-NE et tectonique cassante correspondant aux failles directionnelles (direction de l'axe des plis) et transversales (décrochement NNE-SSW).

#### **2.1 Stratigraphie :**

Les formations rencontrées en affleurement dans la région de Hammam Rabi et Sidi Aïssa sont :

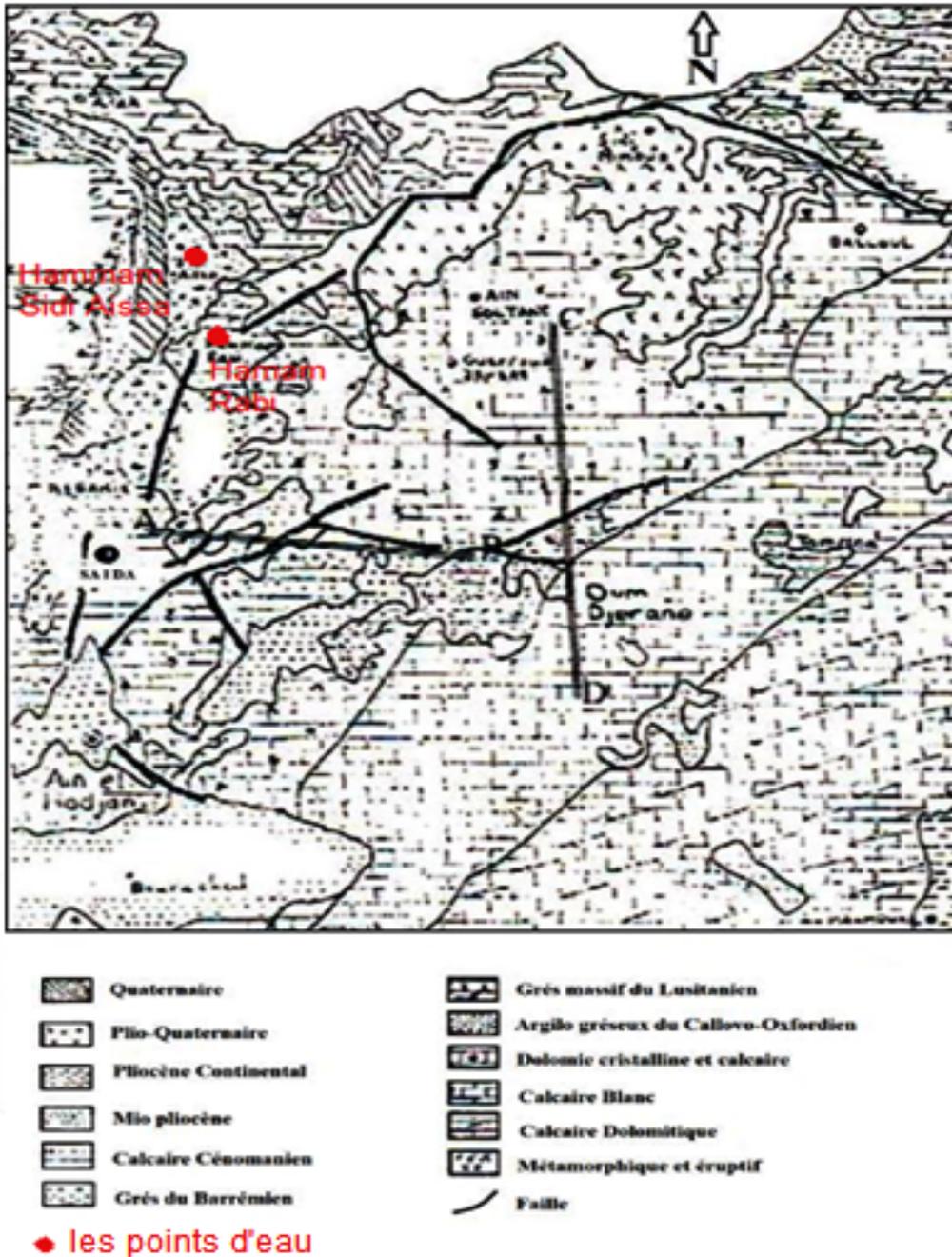


Fig. 8 : Extrait de la carte géologie de Saïda (A. Clair,1973)

ERES	ETAGE	Coupe Géo- logique	DESCRIPTION DES FORMATIONS	EP (m)
Quaternaire	Plio-Quaternaire		Limons de croute calcaire	20
			Argiles	20
			Conglomérats	60
Secondaire " Mésozoïque "	Kimméridgien		Dolomies de tlemcen	10
	Callovo-Oxfordien et Lusitanien		Grès de Franchetti	300
			Argiles de Saïda "bancs gréseux"	
	Jurassique inférieur et moyen		Formation de mame (Bajo-Bathonien)	400
			Formation carbonatée (Bajocien)	
			Formation carbonatée (Aaléno-Bajocien)	
			Formation de marne (Thoarcien)	
			Formation carbonatée (Bajocien)	
			Formation carbonatée (Héttangien-Pliensbachien )	
	Trias		Membre supérieur	100
Membre supérieur basaltique				
Membre inférieur				
Paléozoïque Primaire		Quartzites	100	
		Schistes		
		Laves basaltiques		
		Incursions granitiques		

Fig. 9: Log lithostratigraphique de L'Oued de vallée de Saïda. (BENAMEUR et MELLAL.2007)

- **Le Primaire :**

Il affleure au môle de Tiffrit dans le secteur étudié, on le retrouve au Djebel Modzbab à l'Est de Hammam Rabi. Il est essentiellement constitué de rhyolites.

- **Le Secondaire :**

Il forme l'ossature de toute la région et est principalement représenté par le Jurassique.

• **Les dolomies inférieures :(Hettangien-Pliensbachien)**

Ce sont des dolomies calcaireuses (30m d'épaisseur environ) de teinte foncée à silex rose. La surface est recouverte par des bancs de calcaire jaune épais de 2 à 3m.

formation est attribuée à l'Hettangien et au Pliensbachien. Elle est l'équivalent de la formation de Bouloual. Elle constitue un aquifère important que nous verrons en détail dans la partie hydrogéologie.

- **Les marnes d'Essafah : (Toarcien)**

Cette formation attribuée au Toarcien est constituée soit de marnes et calcaires noduleux blanchâtres à brachiopodes soit de calcaires et dolomies à lits marneux. Son épaisseur ne dépasse pas 25m.

Dans le secteur étudié, on la trouve dans les gorges du « Vieux Saïda » sous les dolomies supérieures. Dans ce secteur, la formation est constituée de marnes riches en brachiopodes et lamellibranches intercalés dans des calcaires et dolomies argileuses. L'épaisseur est de 15m.

- **Les dolomies supérieures : (Aaléno-Bajo-Bathonien)**

Les marno-calcaires du Toarcien sont surmontés en concordance et par l'intermédiaire de niveaux calcaires souvent silicifères intercalés de lits argileux verts par une épaisse série dite dolomies supérieures.

Ces dolomies sont variées par leur teinte qui peut être blanche, grise, jaunâtre ou rosée mais surtout gris plus ou moins foncé que par leur structure.

La série est incomplète et on observe une lacune au niveau du Bajocien supérieur et Bathonien.

Cette formation constitue elle aussi un aquifère important (voir le chapitre hydrogéologie).

- **Les argiles de Saïda : (Callovo-Oxfordien)**

Attribuée au Callovo-Oxfordien, cette formation est la plus importante du point de vue affleurement et épaisseur.

Dans le Sud-ouest du secteur et au niveau de Saïda-ville on observe une puissante série argilo-gréseuse de 250 à 300m. Les argiles y sont gris vert ou jaunâtre parfois rougeâtre et des grès verdâtres souvent en plaquettes tandis que des bancs plus épais sont des ressauts de la topographie.

- Les grès de Franchetti : (Lusitanien)

Le Lusitanien est représentée par une formation de grès massifs azoïques en bancs épais avec de rares passées carbonatées ou argiles sableuses.

Dans le secteur et au Nord-Ouest de celui-ci tout au long de l'axe routier Saïda-Hammam Rabi, il apparaît en corniches dégagées ou en plateformes couronnant des buttes. L'épaisseur y est de 180m.

Cette formation constitue elle aussi un aquifère (voir chapitre hydrogéologie).

- **Le Tertiaire**

• **Les formations plio-quaternaires :**

Le Miocène apparaît au Sud du secteur et au Sud-est de Saïda ville (plaines des Maalifs). Il est formé de marnes argileuses brique clair à cailloutis à la base d'un niveau conglomératique constitué d'éléments remaniant le substratum.

Sur ces formations miocènes, les dépôts quaternaires continentaux apparaissant le long de l'Oued Saïda sont constitués d'éléments grossiers ou limoneux.

L'ensemble de ces formations est argileux.

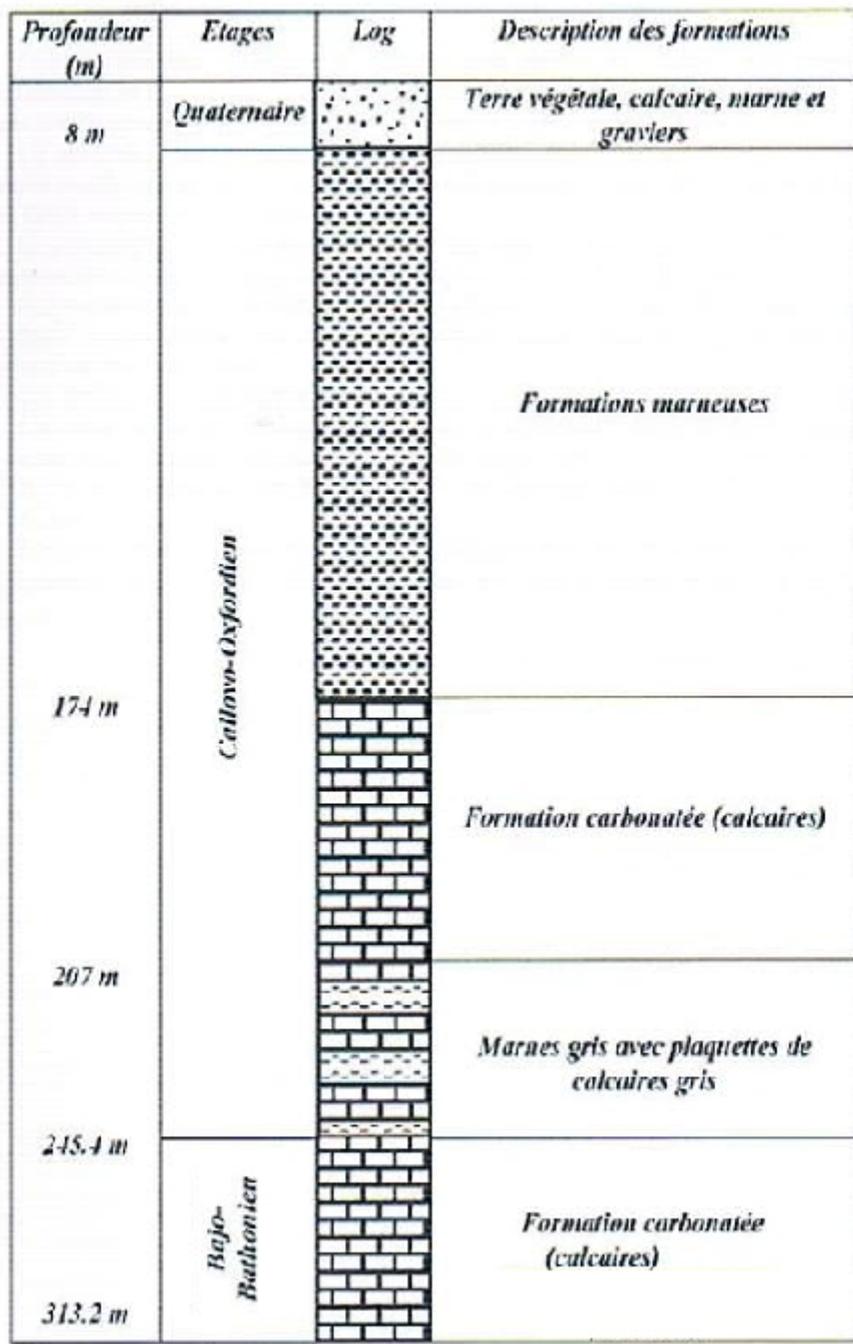


Fig. 10 : Log lithostratigraphique du forage Sidi Aïssa (BENAMEUR et MELLAL .2007).

**Le forage de Sidi Aïssa :**

Les formations rencontrées en affleurement dans la région de Hammam Rabi se retrouvent dans les environs du forage qui est implanté à quelques mètres de l'Oued Sa da sur des alluvions du Quaternaire (calcaires, marnes, et graviers) qu'il traverse sur 8m de profondeur.

L'ouvrage a ensuite rencontré le Callovo-Oxfordien sur une épaisseur de 166m sous forme essentiellement marneuse. A partir de cette profondeur le forage traverse des calcaires (33m), des marnes avec des calcaires gris en plaquâtes (38.4m) et enfin des calcaires (67.8m).

## **2.2 Cadre structural :**

Des mouvements verticaux du socle se sont produits au moment du plissement de la chaîne tellienne et ont provoqué d'importantes fractures aboutissant à la formation de dômes et fossés d'effondrement avec en particulier le môle paléozoïque de Tiffrit.

La surrection de ce môle provoque la déformation de la couverture dolomitique du Jurassique tandis que se développe un fossé d'effondrement d'axe Nord-Sud dans la vallée de l'Oued Saïda.

Ces mouvements ont donné une tectonique cassante à la région.

Les grandes directions sont approximativement Sud-ouest à Nord-Est parfois NNE-SSW.

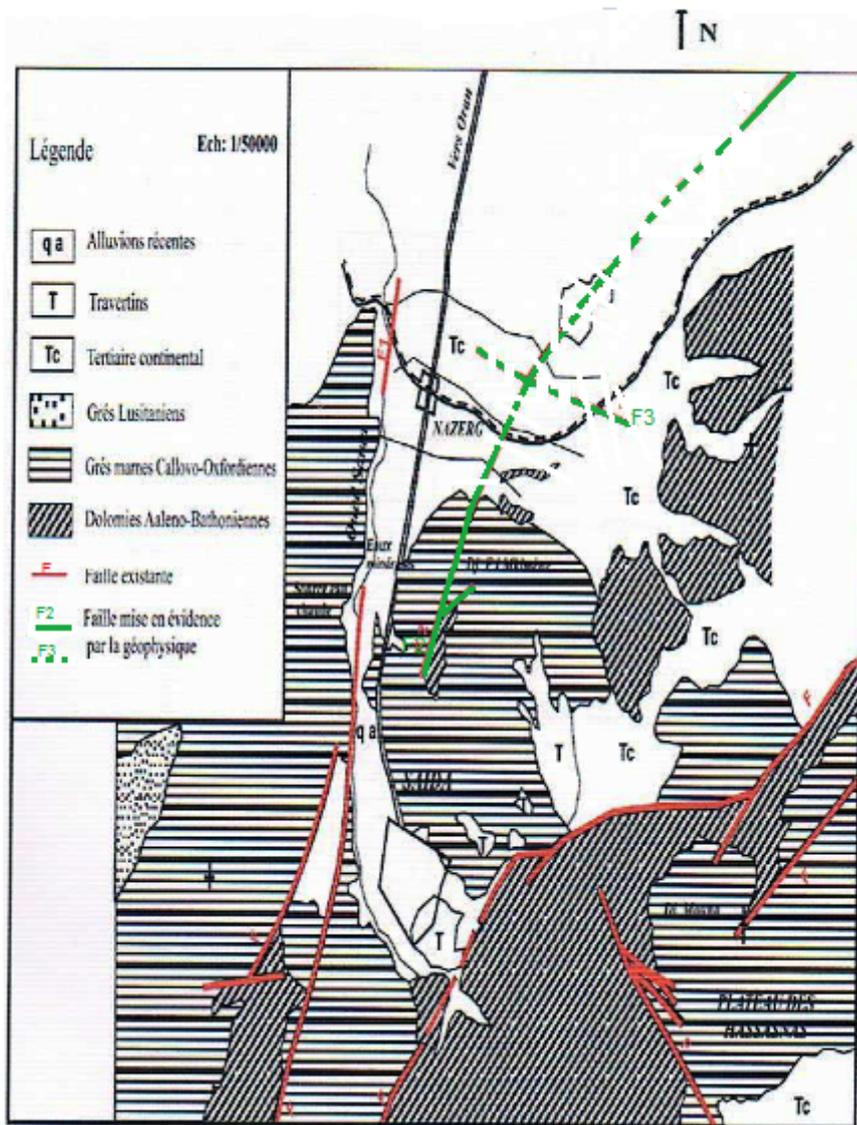
Les accidents sont subverticaux pour la plupart. Le tracé de l'Oued Saïda épouse celui d'une faille longitudinale. La vallée de l'Oued Saïda appartient à un anticlinal faillé s'ennoyant au Nord et au Sud.

Les directions Nord-sud sont conjuguées avec des directions secondaires NW-SE.

Ce réseau de failles découpe la région en de nombreux panneaux parallélépipédiques à la faveur de deux accidents subparallèles orientés NNE-SSW.

Il y a rejet important qui fait apparaître les dolomies bajo-bathoniennes au niveau de L'Oued Saïda.

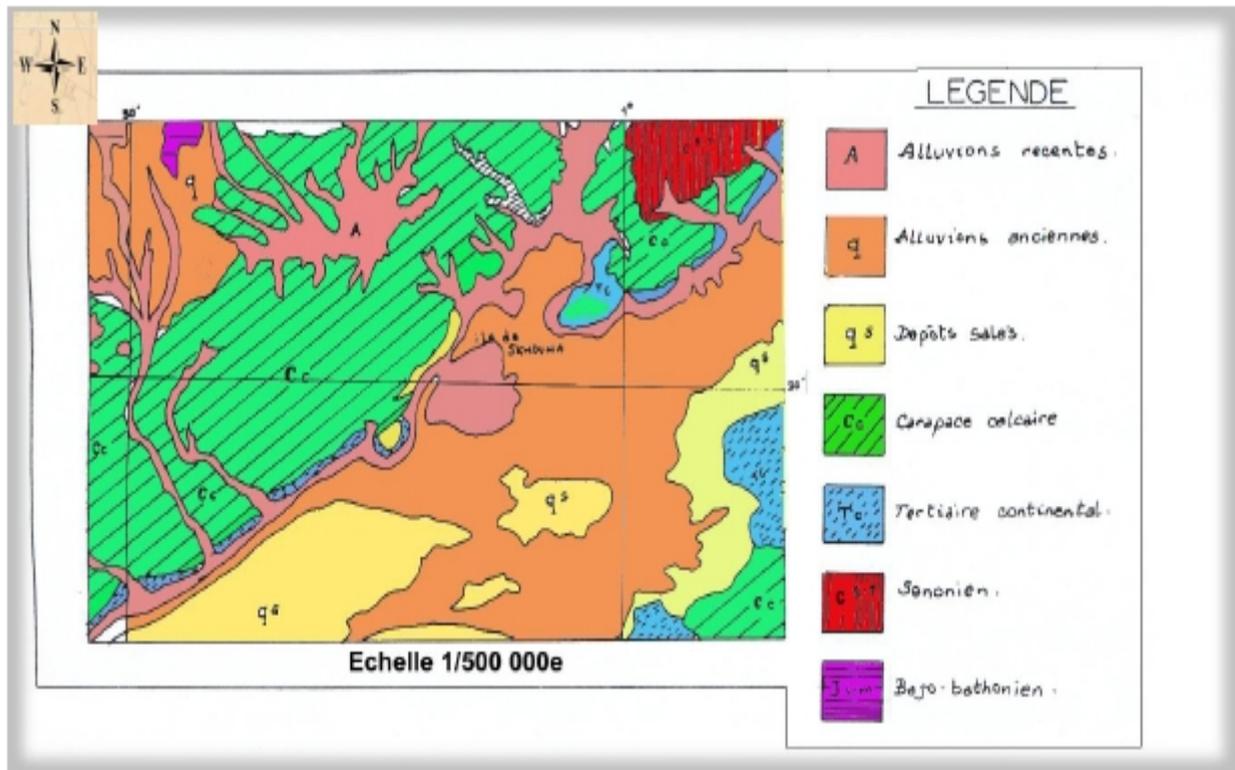
L'une de ces failles - F2 - s'estombe au niveau de Rebahia et se trouve recouverte par le Plio-Quaternaire. L'autre - F3 - s'incurve fortement vers l'Est en direction du môle de Tiffrit.



**Fig. 11** : Carte structurale de la région de Saïda.

### **3. Cadre géologique de la région d'Aïn Skhouna:**

La géologie a été prise des travaux de CORNET (1951), CLAIR (1956) et KARPOFF in SOGREA (2007). Les investigations géologiques ont été menées grâce à l'exécution de nombreux forages de reconnaissance, répartis en 129 puits et sondages sur l'ensemble du bassin du Chott Chergui avec une assez grande densité aux environs d'Aïn Skhouna (**Fig.15**).



**Fig.12** Carte géologique de la région d'Aïn Skhouna (C. T. H. Tlemcen, 2003). La structure géologique paraît commandée par une grande faille, ou cortège d'accidents, principalement longitudinaux et de direction SW-NE, traduisant les déformations d'un socle hercynien.

L'essentiel des grandes dispositions profondes devait être acquis vers la fin du Secondaire, quitte à rejouer peut être par la suite. Cette suite est ici caractérisée à travers le Tertiaire et le Quaternaire par la formation et le remplissage d'une cuvette endoréique. Les terrains de remplissage sont de faciès continentaux (C. T. H. Tlemcen, 2003).

- Les formations rencontrées en affleurement dans la région d'Aïn Skhouna sont (**Fig.13**)

Profondeur (m)	Age	Log	Description géologique	
65m	Quaternaire		Croûte calcaire	
	Tertiaire		Argiles sableuses à gypse	
			Calcaire lacustres	
			Marne à gypse	
	Sénonien		Calcaire	
	Jurassique	Secondaire		Formations carbonatées
				Formations marneuses
				Formation carbonatées
				Membre supérieur
				Membre supérieur basaltique
Trias	Secondaire		Membre inférieur	
			Schistes et Quartzites	
			Laves basaltique	
100 m	Primaire		Laves basaltique	

**Fig. 13** : Log lithostratigraphique de la région d'Aïn Skhouna (BENAMEUR et MELLAL, 2007).

### 3.1 Stratigraphie :

#### \* Le Primaire :

Il est constitué par des schistes et des quartzites dont l'épaisseur peut dépasser le millier de mètres.

\* **Le Secondaire :**

- **L'Infra-Lias :**

Il est constitué par des poudingues noirs ou rouges à éléments de quartzite et de schistes. A la partie supérieure, on passe à des roches feldspathiques qui sont surmontées par des argiles jaunes ou grises, parfois par des calcaires.

- **Le Lias :**

Il est représenté par des dolomies calcaireuses épaisses d'une trentaine de mètres.

- **L'Aalénien-Bajo-Bathonien :**

A Tiffrit, dans la vallée de l'Oued El Abd et au vieux Saïda, les marno-calcaires du Toarcien sont surmontées par une épaisse série de dolomies, elles constituent le causse de Tidernatine. Elles peuvent atteindre une épaisseur de 150 mètres.

Ces dolomies sont surmontées par des calcaires et des marnes.

- **Le Callovo-Oxfordien:**

Il est constitué par une épaisse série argilo-gréseuse pouvant atteindre 250 à 300 mètres d'épaisseur. Il est formé d'argile grise, verte ou jaunâtre et des grisverdâtre souvent en plaquettes ou en bancs plus épais.

- **Le Kimméridgien et le Portlandien:**

Surmontant les assises dolomitiques et gréseuses du Lusitanien, vient une épaisse série de dolomies construites par des grands bancs représentant le Kimméridgien d'une puissance de 80 à 100 mètres. Au-dessus se trouve une série de calcaires à récif correspondant au Portlandien.

Le Lusitanien constitue un aquifère intéressant.

- **Le Crétacé inférieur :**

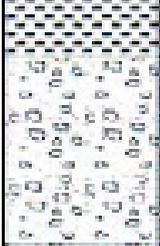
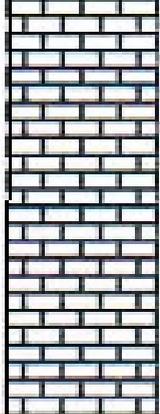
Il correspond à des assises gréseuses épaisses d'une cinquantaine de mètres, mélangées à du calcaire. Le Sénonien est représenté par des calcaires à pâte fine renfermant des foraminifères.

- **Le Tertiaire Continental :**

Il est discordant sur les formations sous-jacentes en comblant la dépression du Chott lui donnant une surface sub-tabulaire, sa base est formée par un niveau grossier à éléments peu roulés, il repose sur le substratum calcaire ou dolomitique.

A sa partie terminale, on rencontre une carapace (calcaire lacustre) qui peut atteindre une épaisseur de 10 à 20m. En bordure du Chott, la puissance du Tertiaire peut dépasser les 350m.

- **Quaternaire :** il forme des terrasses en bordure du Chott et recouvre parfois la carapace calcaire sous forme de limons plus ou moins sableux.

Profondeur (m).	Etage.	Coupe.	Description des formations.
8.6 m.	Terrière continentale.		Argile blanche gypseuse avec niveaux marno-calcaire ou blanchâtre.
18 m.			Marne-calcaire brique clair ou blanchâtre.
29 m.			Marne brique claire survent calcaire.
45.40 m.			Galets calcaires de taille varier plus ou moins enrobés d'argile brique.
65.50 m.			Gros galets calcaires rarement dolomitiques ou siliceux.
	Séquanien.		Calcaire gris clair ou blanc à pâte très fine parfois cristallin ou oolithique altéré sur toutes son épaisseur.

**Fig. 14 :** Log lithostratigraphique du forage d'Aïn Skhouna (BENAMEUR et MELLAL, 2007).

### 3.2 Cadre Structural :

La structure géologique paraît commandée par de grand accidents ou cortège d'accidents principalement longitudinaux et de direction SW-NE traduisant les déformations d'un socle constitué vers la fin des temps primaires d'un socle hercynien.

### 4. Conclusion :

La lithostratigraphie nous a montré que la région est caractérisée par une importante variété de formations géologiques.

Les terrains les plus répandus dans la région sont des terrains jurassiques qui sont les plus intéressants dans les trois points d'eau représentés par les dolomies inférieures de l'Hettangien-Pliensbachien et les dolomies supérieures de l'Aaléno-Bathonien.

## 1. Introduction :

Ce chapitre sera consacré à l'étude du climat, en particulier aux paramètres des températures et des précipitations afin de déterminer les caractéristiques de la zone d'étude.. Car si la température permet de préciser les limites de la thermalité des eaux et de caractériser une eau thermale, l'étude des précipitations permet d'estimer les volumes susceptibles de transiter par les nappes profondes. L'étude des infiltrations permet d'estimer les volumes des apports qui viennent des précipitations.

Cette partie a été prise essentiellement des travaux du BNEDER (2012).

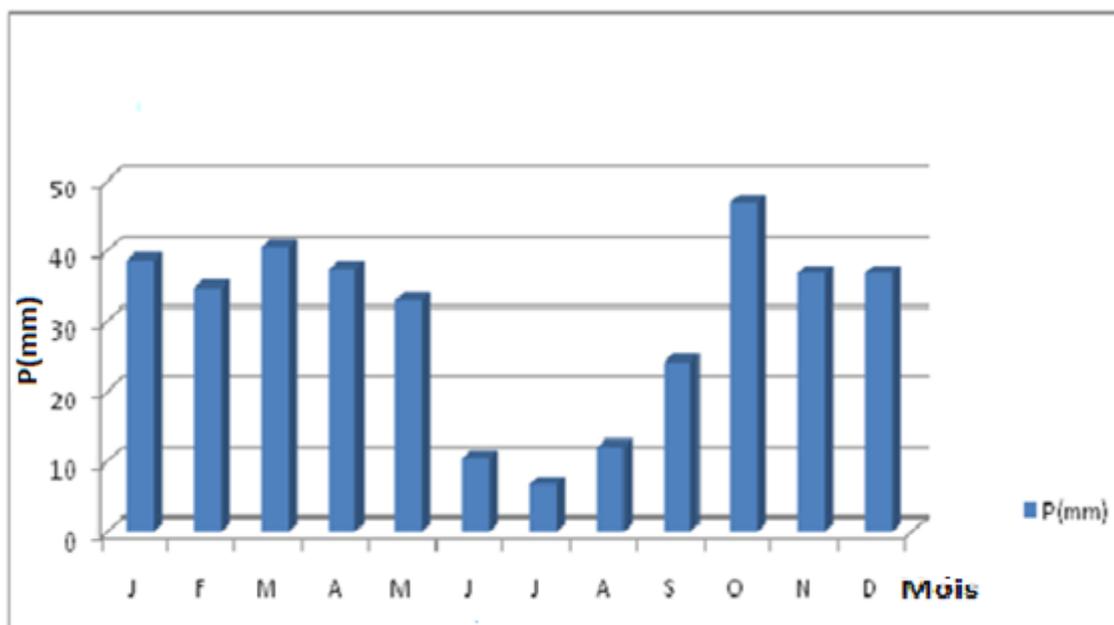
## 2. Etude des précipitations :

### 2.1 les précipitations mensuelles et annuelles :

Les valeurs mensuelles et annuelles des précipitations sont :

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy annuelle
P (mm)	38,6	34,8	40,5	37,4	33	10,4	6,7	12,1	24,2	46,8	36,8	36,8	<b>358.2</b>

**Tableau 1:** Moyennes mensuelles des précipitations (BNEDER, 2012).



**Fig. 2 :** Histogrammes des précipitations mensuelles

L'histogramme des précipitations mensuelles montre que le mois d'Octobre est le plus humide et que le mois juillet est plus sec.

### 2.2 Les précipitations saisonnières :

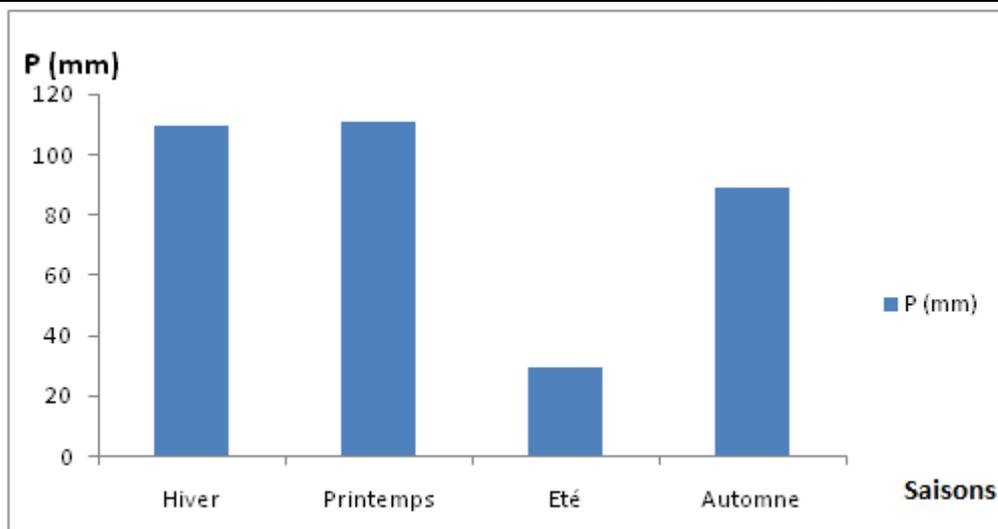
Les quatre saisons de l'année correspondent à :

- ✓ Hiver : Décembre, Janvier, Février (P = 110.2mm).
- ✓ Printemps : Mars, Avril, Mai (P = 110,9 mm).
- ✓ Eté : Juin, Juillet, Aout (P = 29,2 mm).
- ✓ Automne : Septembre, Octobre, Novembre (P = 107.8mm).

La distribution des précipitations saisonnières sur la fig.3 montre que printemps est le mois le plus humide et l'été le plus sec.

**Tableau 2** : valeur moyennes saisonnières des précipitations.

Saisons	Hiver	Printemps	Eté	Automne
P (mm)	110.2	110,9	29,2	107.8



**Fig. 3** : Histogrammes des précipitations saisonnières.

Le tableau 2 et la figure 3 montrent que la saison printemps est plus humide et l'été le plus sec.

### **3. Les températures :**

#### **3.1 Les températures mensuelles moyennes, minimales et maximales :**

Les valeurs des températures mensuelles moyennes, minimales et maximales sont :

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
T max (C°)	13,8	15,5	18,6	21,0	25,9	31,9	36,4	35,8	30,2	24,6	18,5	14,9	23,92
T min (C°)	3,1	3,4	5,6	6,7	10,5	15,0	18,5	18,8	14,5	11,7	7,0	4,3	9,92
T moy (C°)	8,0	9,2	11,9	13,7	18,1	23,5	27,4	27,2	22,3	17,8	12,4	9,0	16,7

**Tableau 3** : les valeurs de la température moyenne, maxima, et minima.(BNEDER, 2012).

Les courbes des températures mensuelles montrent que :

- ✓ Le mois le plus froid est celui de Janvier avec **8,3°C**.
- ✓ Le mois le plus chaud est celui de Juillet avec **27,4°C**.

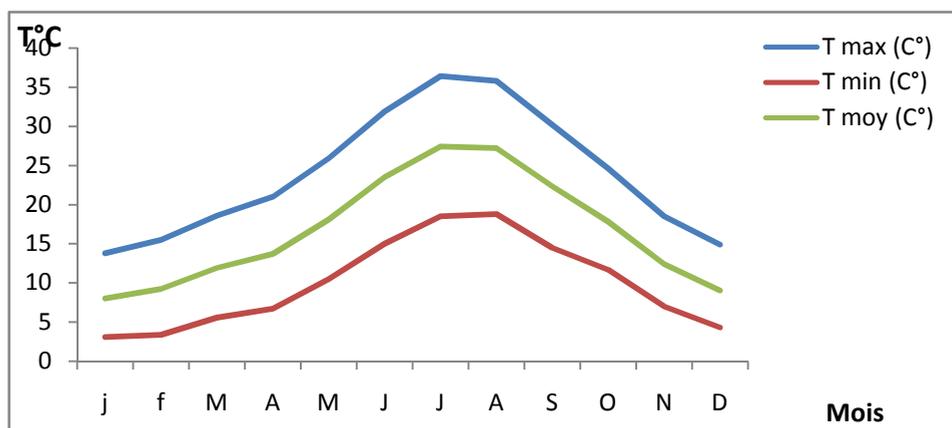


Fig. 4 : Courbe des températures mensuelles.

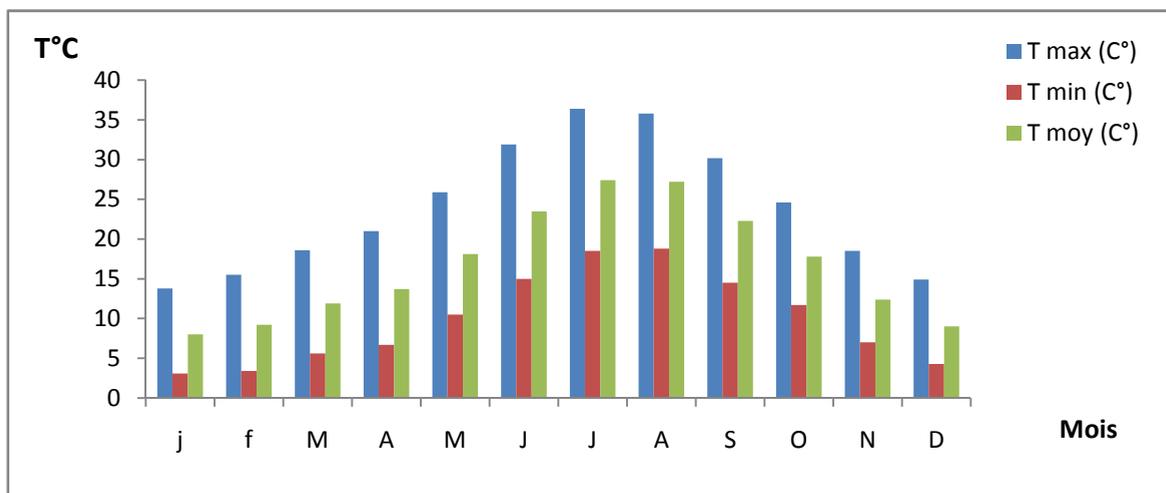


Fig. 5 : Histogrammes des températures mensuelles.

#### 4. Etude du climat :

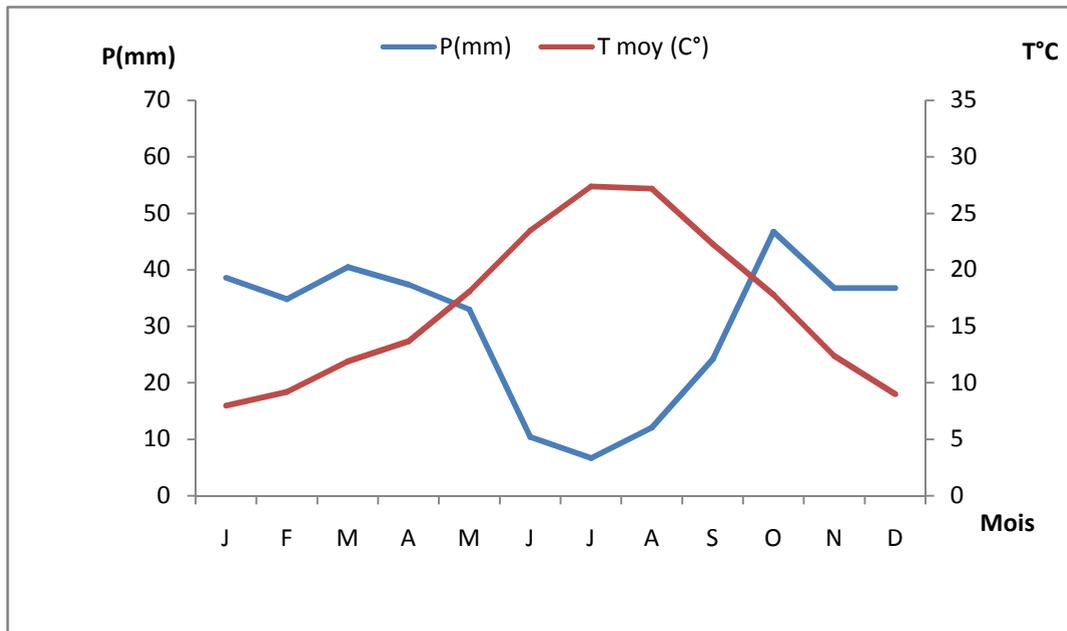
##### 4.1. Méthode graphique :

Courbe pluviothermique : Diagramme ombrothermiques de **BAGNOULS** et **GAUSSEN** (Fig. 6)

- La période humide est entre le mois d'Octobre et le mois de Mars.
- La période sèche est entre le mois d'Avril et Septembre.

Tableau 4 : moyennes mensuelles de la température et des précipitations

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P(mm)	38,6	34,8	40,5	37,4	33,0	10,4	6,7	12,1	24,2	46,8	36,8	36,8
T moy (°C)	8,0	9,2	11,9	13,7	18,1	23,5	27,4	27,2	22,3	17,8	12,4	9,0



**Fig. 6 :** Diagramme pluviothermique.

#### **4.2 Les indices climatiques généraux :**

Les indices climatiques permettent de mieux cerner le type du climat de la région.

##### **4.2.1 Indice d'aridité annuelle (I) :**

En 1923, de Martonne a défini un indice d'aridité donné par la relation :

$$I = \frac{P}{T + 10}$$

Où P : précipitations moyennes mensuelles (mm).

T : températures moyennes annuelles (°C).

$$I = 13,40$$

D'après l'abaque de De Martonne, on peut dire que la région de Sa da est située dans une zone semi-aride avec un écoulement temporaire. **Fig. 7.**

##### **4.2.1.2. Indice d'aridité mensuel (i) :**

L'indice de De Martonne ne permet de représenter qu'une tendance globale de la station, il est intéressant d'étudier ces variations mensuelles en utilisant la relation mise au point par les élèves de De Martonne.

$$i = \frac{12P}{t + 10}$$

Où P : précipitations moyennes mensuelles (mm).

i : températures moyennes mensuelles (°C).

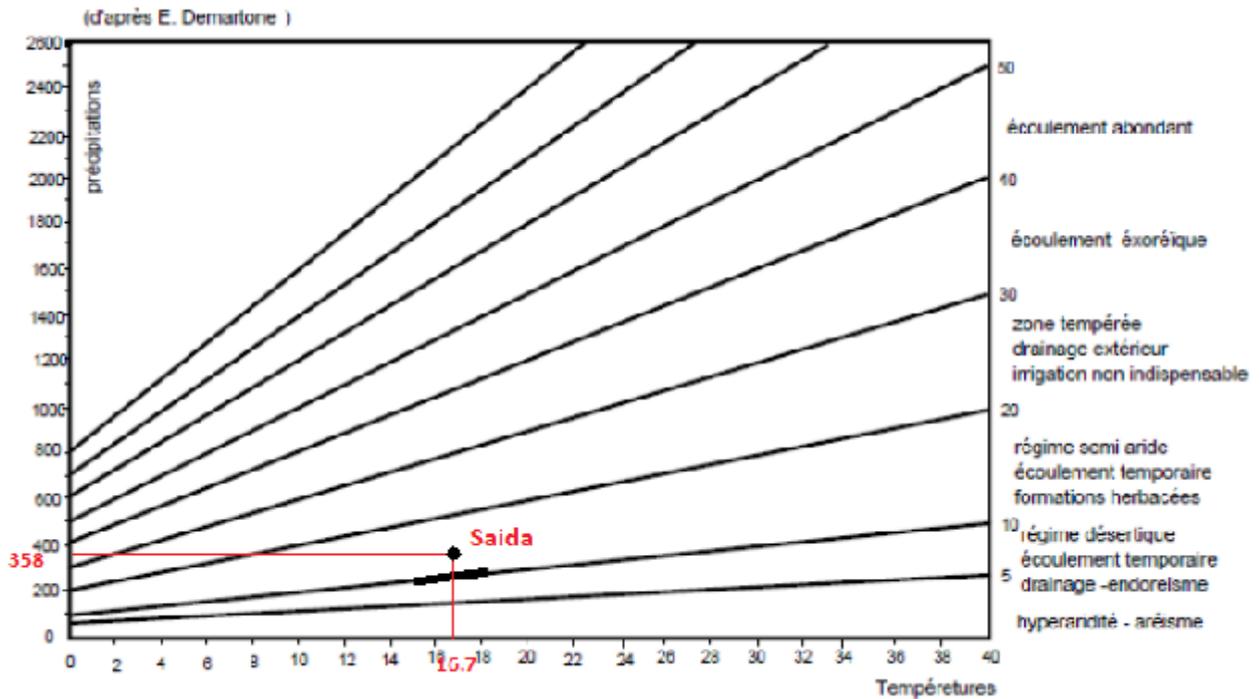


Fig. 7 : Abaque de l'indice d'aridité de DEMARTONE (BNEDER).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
I	25,73	21,75	22,19	18,93	14,09	3,58	2,14	3,90	8,99	20,20	19,71	23,24

Tableau 5 : Les valeurs de l'indice mensuel(i).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
i	Tempéré			Semi aride		Hyper aride			steppique	Semi aride		Tempéré

Les données des autres méthodes (Emberger,Moral) sont mentionnées dans l'annexe.

### 5. Déficit d'écoulement :

L'évapotranspiration est une combinaison de deux processus : la transpiration des végétaux et l'évaporation.

C'est une perte en eau qui retourne au cycle naturel. Plusieurs formules permettent d'estimer la valeur de ce paramètre en fonction de la température de l'air T et du module pluviométrique P appliquant la formule de Turc (calcul de l'ETR).

$$ETR = P / \sqrt{0.9 + (P^2 + L^2)}$$

Avec :

- ETR : évapotranspiration réelle annuelle (mm).
- P : Précipitations moyennes annuelles (mm).
- L :  $300 + 25T + 0.05T^2$
- T : température moyenne annuelle (°C).

Le résultat de l'application de la formule de Turc est donné dans le tableau n°6

Tableau 6 : Calcul de l'ETR.

Précipitations (mm)	Températures (°C)	L	ETR	Écoulement infiltration (mm)
358	16.7	950.37	340.12	48

Les indices climatiques (voir en annexes).

- Climagramme d'Emberger :  $Q_2 = 31.2$ .

- L'indice de Moral :  $I_A = 0.76$ .

- Les méthodes de (Wundt, Coutagne et Verdeil).

## 6. Bilan hydrologique :

### 6.1 Evapotranspiration potentielle (ETR) :

#### 6.1.1 Méthode de Thornthwaite :

On calcule pour chaque mois l'évapotranspiration potentielle non corrigée en utilisant la relation suivante :  $ETR = 1.6 (10 \times T_m / I)^a$

Avec:  $a : (1,6 I / 100) + 0,5$

I : Somme des 12 indices mensuels (i) avec  $i = (T_m/5)^{1.5}$

$T_m$  : Températures moyennes mensuelles.

Facteurs de correction : les valeurs mensuelles de l'ETP obtenues, on doit les multiplier par les factures de correction (Tableau 7) qui sont fonction de la latitude.

On reporte toutes les valeurs obtenues dans le tableau.

**Tableau 7 : Les valeurs de l'ETP.**

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
T (°C)	8.0	9.2	11.9	13.7	18.1	23.5	27.4	27.2	22.3	17.8	12.4	9.0	16.7
I	2.03	2.51	3.71	4.59	7.01	10.41	13.13	13.08	9.61	6.80	3.95	2.43	79.62
ETP	1.62	2.06	3.27	4.19	6.84	10.83	14.19	14.09	9.88	6.64	3.51	2	79.12
Facteur	0.88	0.85	1.03	1.09	1.2	1.2	1.22	1.16	1.03	0.670	0.87	0.86	--
ETP Corrigé	14.25	17.51	33.6	45.65	82.08	129.96	173.11	162.51	101.76	64,4	30.53	17.2	872.56

### 6.2 Evapotranspiration réelle (ETR) :

L'évapotranspiration réelle étant liée aux réserves en eau disponible, nous pouvons considérer deux cas :

- Si les précipitations du mois sont supérieures à l'ETP alors  $ETR = ETP$ .
- Si les précipitations mensuelles sont inférieures à l'ETP, alors l'ETR sera égale à l'ETP aussi longtemps que les réserves en eau du sol seront capables d'équilibrer la balance ; au-delà, il y a déficit.

### 6.3 Calcul de la réserve en eau du sol :

Selon Halaire, la réserve du sol (R) est calculée à partir de la formule suivante :

$$R = ((C \square F/100).h.D) + 30$$

Dans laquelle :

**R** : réserve en eau.

**C** : capacité au champ.

**F** : points de flétrissement.

**D** : densité apparente.

h:profondeur du sol.

On a :  $C \square F$  pour un sol limoneux : 10% - 15% ; pour un sol sableux : 5% et un sol argilo-limoneux : 20%.

Le secteur d'étude est constitué de sol argilo-limoneux avec une profondeur moyenne de 80cm.

Donc la réserve en eau du sol est : 31.69mm.

#### **6.4 Ruissellement :**

Calcul du ruissellement par la méthode de Tixeront et Berkaloff.

La formule qui permet d'estimer le ruissellement moyen annuel est :

$$r = P^3/3(ETP)^2$$

Avec : P : précipitation moyennes annuelles.

ETP : évapotranspiration potentielle.

r: ruissellement.

Pour notre station, P =0.358 m/an. ETP = 0.872 m/an.

Donc r = 0.011 soit 3.07% des précipitations.

#### **6.5 L'infiltration :**

$$I = P - (ETR+r).$$

P : précipitations moyennes annuelles en m/an.

ETP : évapotranspiration réelle en m/an.

R: ruissellement.

$$I = 0.358 - 0.330 - 0.011 \quad I = 0.197 \text{ m/an.}$$

#### **Bilan hydrologique :**

R : variation de réserve.

RU : réserve utile, en proposant que RU = 50mm.

**Tableau 8 : le bilan hydrique.**

Mois	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	A
(mm)	40.5	37.4	33.0	10.4	6.7	12.1	24.2	46.8	36.8	36.8	38.6	34.8	35.0
ETP	3.27	4.19	6.84	10.83	14.19	14.01	9.88	6.64	3.51	2	1.62	2.06	79.0
$\Delta R$	+6.9	-8.25	-49.08	-119.56	-166.41	-150.31	-77.56	-17.6	+6.27	+19.6	+24.35	+17.25	
(50mm)	74.34	66.05	17.01	0	0	0	0	0	6.2	25.8	50.15	67.44	
ETR	33.6	45.65	82.08	10.4	6.7	12.1	24.2	46.8	30.53	17.2	14.25	17.51	34.0
écédent	/	/	/	119.56	166.41	150.31	-77.56	-17.6	/	/	/	/	
écédent	24.34	16.05	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	40.0
ruissellement	12.17	8.02	4.01	2.005	1.0025	0.5	0.25	0.12	0.06	0.03	0.01	0.007	29.0

#### **7. Conclusion :**

D'après l'étude climatique effectuée, nous pouvons conclure que la région de Sa da est caractérisée par un climat semi-aride à hiver tempéré et un été chaud et sec.

Les précipitations moyennes annuelles sont de 358mm et la température moyenne est de 16.7°C.

Le mois de de Janvier est le plus froid avec 8°C tandis que le mois Juillet est le plus chaud avec une moyenne de 27°C.

La période déficitaire s'étend d'Avril à Octobre.

Le mois le plus humide est Mars (45mm) et le plus sec est Juillet (6. 7mm).

L'évapotranspiration est de 872.56 mm /an.

### ❖ Généralités :

Une eau thermale est, par définition, une eau minérale chaude.

Dans le langage courant, on appelle « eau thermale » toute eau minérale dotée de propriétés thérapeutiques et utilisée au sein d'un établissement thermal. (SANDERS L., 2006)

Une eau thermale est une eau souterraine dont la température est de 5°C supérieure à la température moyenne des sources ordinaires, c'est à dire à la température moyenne du lieu, ou à la température de la zone à température constante du sol à altitude égale. (GOSSELIN SCHOELLER, 1939)

### **Les modes de fonctionnement des systèmes thermaux :**

Les eaux de pluies et les fontes des neiges sont les principaux alimentateurs des eaux souterraines ; qui s'infiltrent dans le sol, c'est-à-dire que les eaux thermales sont d'origine météorologique. (PHILIPPE S.R., 1989)

Le fonctionnement de tous les systèmes thermaux est marqué par trois (3) étapes :

- un transfert des eaux météoriques vers la profondeur ;
- un réchauffement des eaux ;
- une remontée rapide à la surface.

BLAVOUX (1995) considère que les eaux thermales sont majoritairement alimentées par les eaux météoriques et l'origine juvénile proposée par MORET (1946) peut donc être rejetée.

Les sources thermales se différencient alors en fonction de deux critères : le mode de réchauffement des eaux et le moteur de la remontée des eaux vers la surface.

Dans notre zone figurent les formations aquifères suivantes :

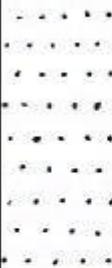
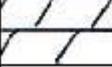
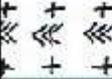
Etages	Epais (m)	Logs	Formations lithostratigraphiques	Caractéristiques
Tunisien	180		Grès	Perméable
Callovo - Oxfordien	350		Argile de Saida intercalées de bancs de grès	Imperméable
Aaléno-Bajo-Bathonien	150		Dolomies supérieures	Perméable
Toarcien	25		Marnes d'Essfah	Imperméable
Hettagien-Pliensbachien	15		Dolomies inférieures	Perméable
Paléozoïque	-		Terrains métamorphiques	Imperméable

Fig.15: Extrait du log hydrogéologique de la région de Hamma

(BENAMOUR et MELLAL, 2007)

## Interprétation du log hydrogéologique :

- **Le Paléozoïque** : les terrains du paléozoïque sont métamorphiques peu altérés. Ils forment un ensemble imperméable.
- Le Jurassique inférieur et moyen : Nous pourrions distinguer :
  - ✓ Un membre inférieur dit Dolomies supérieures à perméabilité de fissures.
  - ✓ Un membre intermédiaire formé par les marnes d'Essafah qui constituent un niveau imperméable.
  - ✓ Un membre supérieur dit Dolomies supérieures à perméabilité de fissures.
    - **Le Callovo-Oxfordien** : C'est un ensemble peu perméable formé par les Argiles de Saïda intercalés de bancs gréseux.
    - **Le Lusitanien** : Ce sont les grès de Franchetti. Formation perméable.
    - **Le Plio-Quaternaire** : Il comporte des niveaux à conglomérats qui sont perméables.

La lithostratigraphie a permis de préciser les possibilités d'existence de plusieurs niveaux aquifères ; mis à part le socle Primaire constitué par les schistes et quartzites affleurant à Tiffrit. Les principaux aquifères sont :

- les grès de Franchetti du Lusitanien.
- les Dolomies supérieures et inférieures du Jurassique moyen et inférieur.

Deux niveaux imperméables :

- Les Argiles de Sa da du Callovo-Oxfordien.
- les marnes d'Essafah du Toarcien.

Dans ce chapitre, nous allons définir l'origine des eaux thermales de les deux secteurs d'étude Hammam Rabi et Sidi A ssa d'une part et A n Skhouna d'autre part.

### 2.1 Les principales formations aquifères d'Aïn Skhouna :

Dans la région d'A n Skhouna, l'étude géologique a montré l'existence de trois grandes formations pouvant jouer un grand rôle hydrogéologique.

- ✓ Les dolomies supérieures de l'Aaléno-Bathonien.
- ✓ Les formations calcaires du Sénonien.
- ✓ Les différents niveaux du Tertiaire Continental.

#### ➤ **L'Aaléno-Bathonien :**

Cet aquifère, se situe dans les dolomies et calcaires du Jurassique moyen souvent très altérés et qui constituent une assise d'une perméabilité importante. Il constitue le réservoir principal de la région.

Le toit est constitué soit par la série saline du Tertiaire soit par les calcaires du Sénonien.

Le substratum est constitué par les marnes d'Essafah attribuées au Toarcien. Elles affleurent sur une large surface au Nord-Ouest d'An Skhouna sur le flanc Nord des Monts de Sa da. Lorsque formation est recouvert par le remplissage Tertiaire et parfois directement par les calcaires du Sénonien.

#### ➤ **Le Sénonien :**

Les calcaires du Sénonien constituent une assise d'une perméabilité importante. Ils constituent un drain important de cette formation.

#### ➤ **Le Tertiaire Continental :**

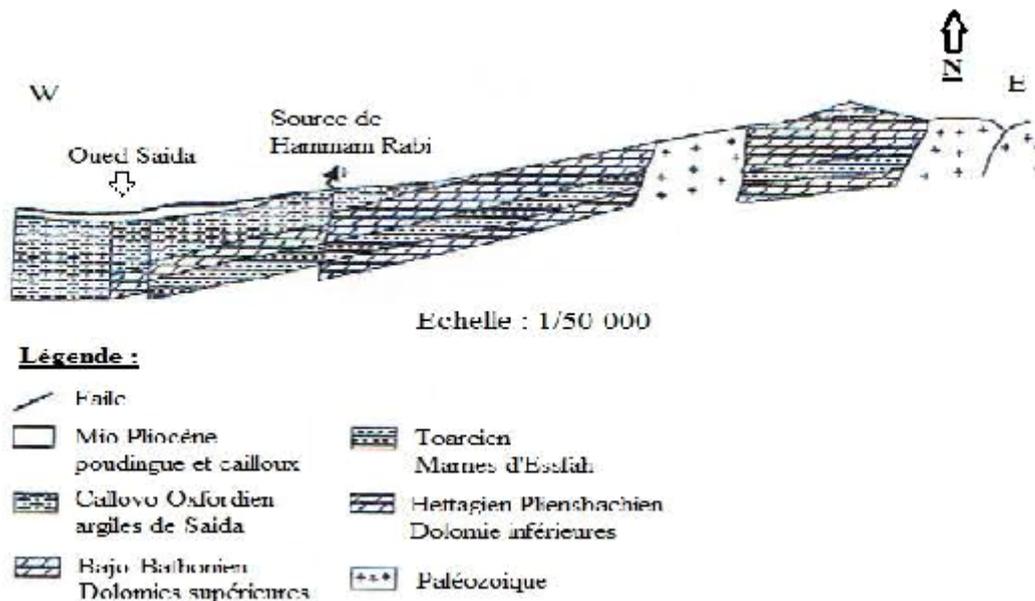
Il couvre la majeure partie du bassin géographique du Chott El Chergui son épaisseur varie de 0.50 à 3.80m, différents niveaux aquifères peuvent y être décelés : le niveau grossier de base : son importance est d'autre plus grande qu'il se trouve directement, en contact des dolomies de base de l'Alaléno-Bathonien ou des calcaires du Sénoniens au dépend desquels il s'est formé, il s'est constitué un aquifère important dans la zone de An Skhouna ou sa base se confond avec les calcaires du Sénonien.

Dans ce chapitre, nous allons définir l'origine des eaux thermales de les deux secteurs d'étude Hammam Rabi et Sidi A ssa d'une part et An Skhouna d'autre part.

## **4. Origine des eaux thermales de Hammam Rabi et Hammam SidiAïssa :**

### **4.1 Les eaux thermales de Hammam Rabi :**

- La température des eaux thermales de Hammam Rabi est en général élevée, toujours supérieure à 42°C (nous avons enregistré 47°C en Février 2014) ce qui traduit une origine très profonde.
- Cette profondeur, si on l'estime en fonction du gradient géothermique (1°C tous les 30m) avec une température moyenne de l'air du lieu de 15°C serait :
- A partir de l'émergence principale de Hammam Rabi et avec température moyenne des eaux thermales de 45°C cette profondeur serait de 960m.
- Dans tous les cas la température des eaux thermales de Hammam Rabi ne tombe pas au dessous de 42°C durant toute l'année et la profondeur de la circulation des eaux thermales serait donc toujours supérieure à 810m.
- La remontée rapide vers la surface se fera par l'intermédiaire de zones de forte perméabilité telles que des failles, diaclases, filons ou contacts sédimentaires.



**Fig.16:** Coupe litho stratigraphique de la région de Hammam Rabi(PITAUD,1973).

- Les eaux de pluies et les fontes des neiges sont les principaux alimentateurs des eaux souterraines ; qui s'infiltrent dans le sol, c'est-à-dire que les eaux thermales sont d'origine météorologique et d'origine juvénile.
- Les épaisseurs maxima des formations reconnues dans la région sont de 350m pour les argiles de Sa da, 150m pour les dolomies supérieures, 35m pour les marnes d'Essafah (Toarcien) et de 25m pour les dolomies inférieures .L'épaisseur totale de l'ensemble (Jurassique moyen et inférieur) ne dépasse pas les 400m.

Le rapport, dont nous nous sommes inspirés, a été élaboré suite aux sorties sur le terrain (missions de terrain à travers le territoire de Hammam Rabi - Commune d'Ouled Khaled - wilaya de Sa da) effectuées par les membres de la commission créée par la Wilaya de Sa da et constituée par les représentants des Directions de :

- Hydraulique Sa da.
- Service Agricole Sa da.
- ANRH Sa da

dont l'objectif essentiel était de faire une évaluation de la situation hydrique de cette zone.

L'ANRH a pour sa part fait les travaux suivants :

- Recensement et situation des puits existant dans le périmètre de la Source de Hammam Rabi

- Mesure des caractéristiques hydrogéologiques et des valeurs de températures de chaque point d'eau recensé
- Echantillonnage de l'eau en vue d'analyses physico-chimiques.

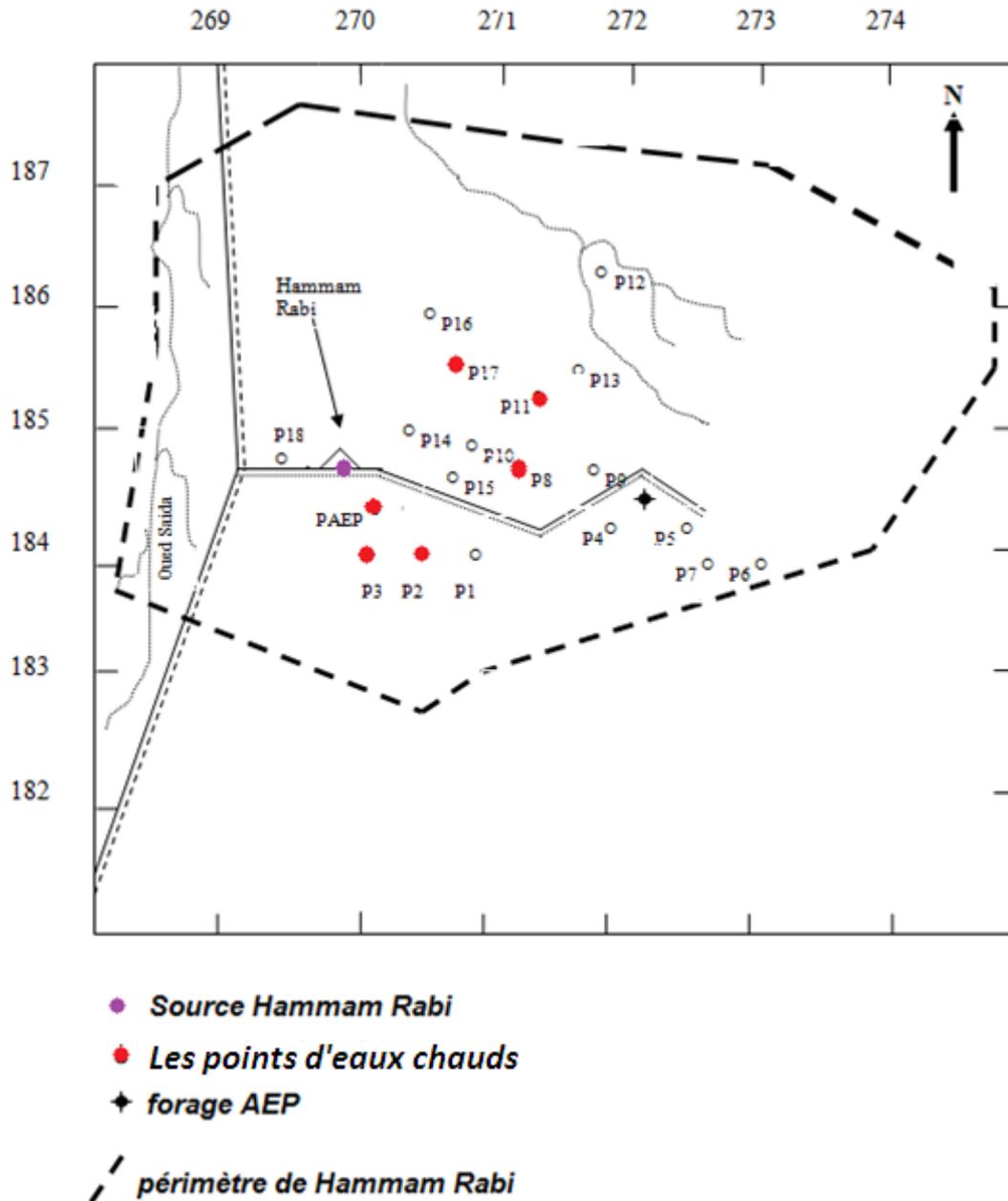
**Tableau 9 :** Principaux puits inventoriés des eaux chaudes dans le périmètre de protection de la source de Hammam Rabi :

N°	Nom de Puits	Coordonnées			Profondeur (m)	Niveau Statistique (m)	T°C de l'eau
		X (km)	Y (km)	Z (m)			
01	Source Hammam Rabi	270.00	184.700	-	-	-	46 - 47°
02	Puit de Hammam Rabi	270.300	184.300	-	> 30	-	38 - 39°
P2	Seddiki Mohamed	270.500	184.200	722	25.4	-	39 - 40°
P3	Rahmani El Arbi	270.200	184.800	715	> 30m	15 - 16	39°
P17	Morseli Belahoul	270.600	185.800	700	20	05 - 06	30 - 32°
P11	Abdellah Mohamed	271.000	185.600	706	14.50	12 - 14	28°
P8	Abdellah Djelloul	271.000	184.600	720	> 28	19 - 20	25 - 25.5°

A partir de ce tableau nous devons définir par la carte suivante :

**Fig.17** : Carte de situation des points d'eau chauds dans le Périmètre de Hammam Rabi(ANRH, 2008).

Ech. 1/50 000



**INTERPRETATION :**

Aux termes de l'interprétation des caractéristiques hydrogéologiques et physico-chimiques, il apparaît que :

- 1- les eaux des Puits P2-3-17-11-8-01-14-18 et celui de l'AEP sont sensiblement identiques par leur faciès et des températures supérieures à 25°C. Il s'agit probablement de la même origine souterraine.
- 2- les eaux des autres Puits sont d'origine bicarbonatée avec des températures de 19 à 20°C. Ces eaux se réfèrent probablement à une autre origine souterraine.

### **1.2 Les eaux thermales de Hammam Sidi Aïssa :**

Température en général toujours supérieure à 42°C (nous avons enregistré 47°C en Février 2014).

- La température moyenne de l'air du lieu (16°C) et avec une température des eaux thermales de 47°C impliqueraient une profondeur de 930m.

A partir du travail réalisé par Habib Khelifa (1991), les formations rencontrées en affleurement dans la région de Hammam Rabi se retrouvent dans les environs du forage qui est implanté à quelques mètres de l'Oued Sa da dans des alluvions du Quaternaire (calcaires, marnes, et graviers) qu'il traverse sur 8m de profondeur.

L'ouvrage a ensuite rencontré le Callovo-Oxfordien sur une épaisseur de 166m sous forme essentiellement marneuse. A partir de cette profondeur le forage traverse des calcaires (33m), des marnes avec des calcaires gris en plaquettes (38.4m) et enfin des calcaires (67.8m).

### **5. Hydrogéologie de la région d'Aïn Skhouna :**

Source d'Aïn Skhouna : C'est la source la plus importante, caractérisée par des calcaires sénoniens et des éboulis qui les surmontent, mais drainant la nappe des dolomies aaléno-bathoniennes. Ces eaux s'évaporent à proximité de la source et constituent, par leurs sels dissous et les alluvions, ce que l'on appelle " l'Ile de SKHOUNA " qui s'élève à plus de 7m au-dessus du Chott (A. CLAIR, 1956).



**Fig.28 :** Source d'A n Skhouna.

### **2.1 Origine des eaux thermales d'Aïn Skhouna :**

La température des eaux thermales d'A n Skhouna (plus de 32°C) traduit une origine assez profonde.

Cette profondeur, si on l'estime en fonction du gradient géothermique (1°C tous les 30m) et une température moyenne de l'air de 15°C serait :

- ✓ A partir du forage d'A n Skhouna et avec une température des eaux thermales de 32°C cette profondeur serait 510m environ.
- ✓ La température et la constitution chimique de ces eaux nous conduisent à penser qu'elles devraient être en liaison avec des formations de dolomies supérieures de l'Aaléno-Bathonien.
- ✓ La circulation de ces eaux thermales suit le même mécanisme que celui de la source de Hammam Rabi.

Les eaux d'A n Skhouna seraient des eaux thermo-minérales.

### **6. Protection des eaux thermales des Hammam Rabi :**

Pour les travaux réalisés par l'ANRH pour le périmètre de protection de Hammam Rabi à partir/lors des visites à travers les points d'eau, ils ont pu prendre les niveaux statiques de certains puits lorsque les propriétaires étaient présents sur les lieux, Ces niveaux statiques varient comme le montre le tableau suivant (ANRH, 2008).

**Tableau 10 :** Coordonnées des points du périmètre de protection de Hammam Rabi (carte ci-dessous)

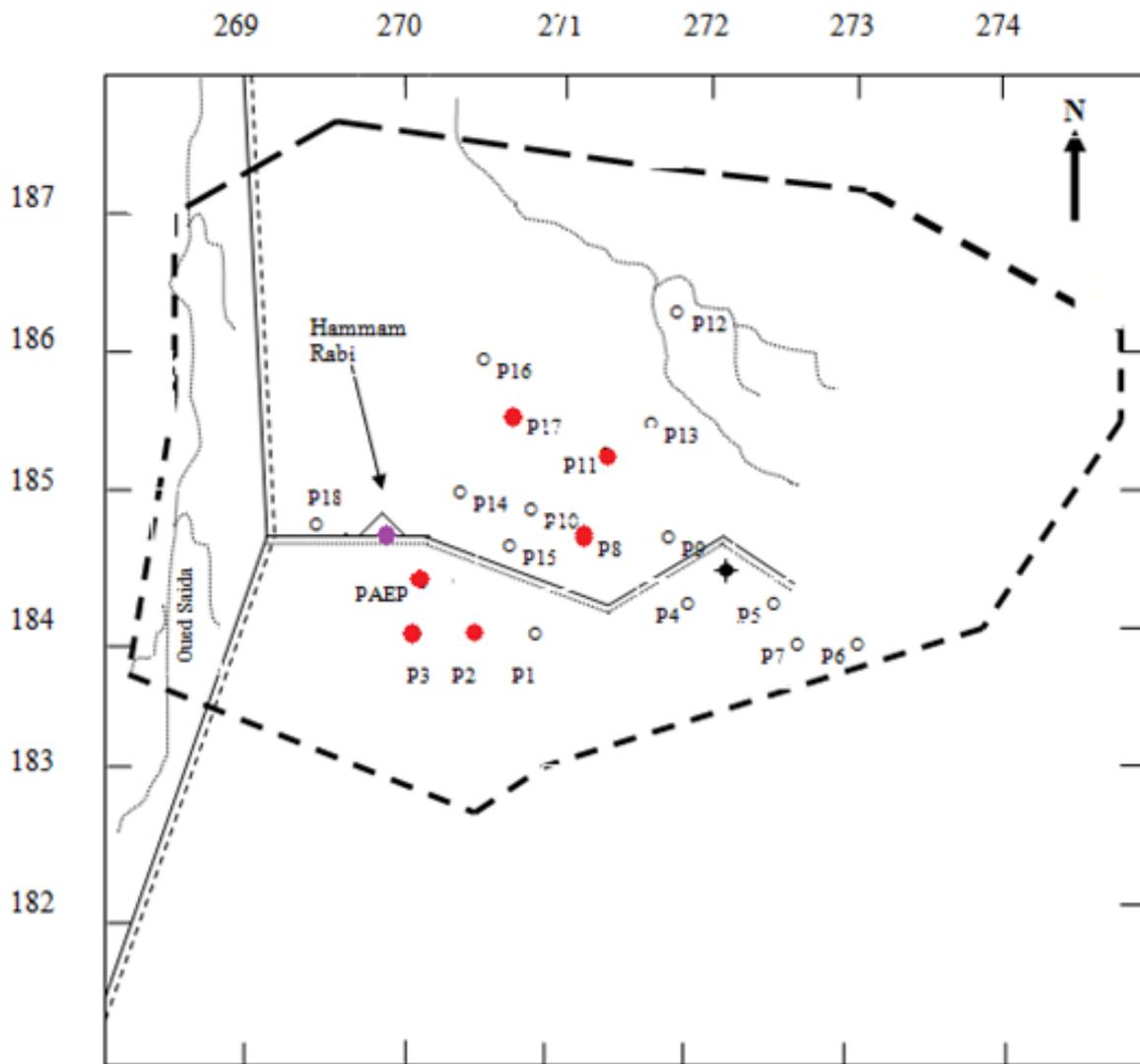
POINT	COORDONNEES X	COORDONNEES Y	COTE DU POINT (m)
A	269.650	187.850	

B	271.800	187.250	722
C	272.940	187.200	811
D	274.710	186.380	861
E	274.775	185.775	846
F	273.750	183.325	795
G	271.000	184.200	813
H	269.250	183.600	720
I	268.300	183.830	694
J	268.580	185.750	659
K	268.525	187.170	651

A partir de ce tableau nous devons définir par la carte suivante :

**Fig. 29** : Carte Situation en Juin 2008 des points d'Eau dans le Périmètre de Hammam Rabi.

Ech : 1/50000



- **Source Hammam Rabi**
- **Les points d'eaux chauds**
- ◆ **forage AEP**
- ⎓ **périmètre de Hammam Rabi**

### **1.3 Périmètre de protection immédiat :**

La source thermale de Hammam Rabi est dans une bache d'eau à 4.10m de profondeur. La vasque d'un diamètre de 10m environ se trouve dans le sous-sol du Hamam au niveau de la cour principale. L'accès se fait par une trappe s'ouvrant à même le sol de la cour.



**Fig. 20:** la source de Hammam Rabi.

#### **4. Conclusion :**

L'étude hydrogéologique montre que l'origine des eaux souterraines des eaux thermales de ces trois stations sont des eaux de circulation dans les formations.

**La source de Hammam Rabi et d'Aïn Skhouna et le forage de Sidi Aïssa :** la remontée rapide vers la surface se fera par l'intermédiaire de zones de forte perméabilité telles que des failles, diaclases, filons ou contacts sédimentaires.

L'alimentation de ces eaux thermales se fait par les précipitations .Les eaux thermales sont des eaux captées à partir d'une émergence naturelle ou d'un forage qui, en raison de la nature spéciale de leurs principes, de la stabilité de leurs caractéristiques physiques et de leur composition chimique, peuvent avoir des propriétés thérapeutiques.

## **1. Introduction :**

Le but de l'étude hydrochimique est de présenter de façon uniforme et de maitre sous une forme commode à la disposition des médecins de la station thermale, les éléments essentiels des analyses physicochimiques effectuer sur les griffons normalement utilisé, en se basant sur trois phases :

- Sur le terrain : prélèvement de l'eau (échantillonnages).
- Au laboratoire : analyses des échantillons d'eau.
- Au bureau : interprétations des résultats des analyses.

## **2. Méthodologie :**

L'échantillonnage a concerné trois points d'eau (A n Skhouna, Hammam Rabi, et Hammam S di A ssa-Saida-). Les échantillons ont été pris dans des bouteilles en plastique.

Les analyses des échantillons ont été réalisées par l'A.N.R.H (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques) ils ont portées sur :

- Les caractères organoleptiques
- Le pH, la température T (°C)
- La conductivité ( $\mu\text{S/cm}$ )
- la minéralisation (mg /L) –
- le titre alcalimétrique et le titre alcalimétrique complet, TA, TAC, (°F)
- Le résidu sec (mg /L)
- Le dosage des ions majeurs (anions et cations)

## **3. Classification des eaux :**

La circulation des eaux profondes se fait aussi dans les roches à fissures larges ou à cavernes. Elles sont typiquement représentées par les terrains calcaires. Les fissures originelles sont progressivement élargies par dissolution des eaux chargées de gaz carbonique qui y circule, on aboutit à des cavernes importantes avec parfois formation de vrais cours d'eau souterrains.

### **3.1- Classification selon la température de l'eau à l'émergence :**

Une eau est dite thermale si sa température à l'émergence est entre 20°C et 35°C, elle est méso thermale si la température est entre 35°C et 50°C et hyperthermale si elle est entre 50°C et 100°C et même avec émissions de vapeur d'eau et de gaz.

### **3.2- Classification selon la composition chimique de l'eau :**

Les classifications des eaux sont nombreuses, la plus habituellement retenue étant fondée sur la composition chimique, suivant l'ion principal. On distingue des groupes qui se divisent en types d'après l'ion le plus abondant.

- ✓ Le groupe des eaux carbonatées, pauvres en anion sulfaté se trouve dans les régions de volcanisme récent, les type sont soit sodique soit calciques.
- ✓ Le groupe des eaux chlorurées, le plus souvent du types sodique fréquemment associé au trias et zones pétrolifères.
- ✓ Le groupe des eaux sulfatées se divise en types calcique ou sodiques.
- ✓ Le groupe des eaux sulfatées du type sodique constitue la plupart des eaux minérales.

## **4. Méthodes de classification des eaux :**

### **4.1- Classification de Stable :**

Basée sur l'équilibre entre les cations et anions (l'électro neutralité des eaux).

### **4.2- Classification de palmer :**

Partant de la classification précédente, Palmer a pu mettre en relief deux autres propriétés des eaux : la salinité et l'alcalinité.

#### **4.3- Représentation graphique de R. Ferry :**

Ferry souligne que la classification de palmer a l'inconvénient de réunir dans une même classe des eaux différentes.

- ✓ Bicarbonatées ou sulfatées calcique d'une part, chlorurées d'autre part.

Il propose une classification basée sur l'association de certains sels qui peuvent être représentés par un diagramme fixant la physionomie de l'eau.

Les valeurs en réaction des ions en % (r%) étant établies on les combine entre elles pour reconstituer les différents sels et on multiplie par 2 pour que leur total soit égal à 100 en (x<sup>+</sup>) on porte les carbonatés alcalins (rK<sup>+</sup>, rNa<sup>+</sup>) en (y) les carbonatés terreux (rCa<sup>2+</sup>, rMg<sup>2+</sup>, rFe<sup>2+</sup>) en (x<sup>□</sup>) les sulfatés alcalins (rk, rNa) et en (y<sup>□</sup>) les sulfatés terreux (rCa<sup>2+</sup>, rMg<sup>2+</sup>, rFe<sup>2+</sup>).

#### **5. Interprétation des données de mesure et des résultats d'analyse :**

##### **5.1- Les caractéristiques organoleptiques des eaux de Hammam Rabi, Sidi Aïssa et Aïn Skhouna :**

- la couleur : L'eau est limpide c'est à dire incolore.
- L'odeur : L'eau est sans odeur. Seulement pour les eaux de Hammam S di A ssa, odeur soufrée

##### **5.2- Les caractéristiques physico-chimiques des eaux étudiées :**

Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux des trois sources sont représentés dans l'annexe.

##### **5.3- Contrôle des analyses par la balance ionique :**

Cette méthode est utilisée pour la vérification des analyses ; Elle est donnée par la relation suivant :

$$BI = \frac{y^+ - y^-}{x^+ + x^-} \times 100$$

Avec : BI : Balance ionique en %.

r: Quantité en réaction (en meq /L).

Pour les eaux étudiées (Hammam Rabi, Hammam S di A ssa et A n Skhouna), le rapport calculé donne une valeur de BI portée dans le tableau 11.

**Tableau .11:** Résultats du calcul de la Balance ionique.

Points d'eau	Balance ionique (BI%)	Interprétation
A n Skhouna	1.70	Analyses acceptables
Hammam Rabi	0.60	Bonne analyse
Hammam S di A ssa	1.97	Analyses acceptables

#### **a- Paramètres physico-chimiques :**

##### **- La température :**

La température des eaux étudiée est de 35°C à A n Skhouna et 47°C à Hammam Rabi et Hammam S di A ssa, on peut dire que pour A n Skhouna c'est une eau hypothermale et les deux autres sources sont mésothermales.

##### **- Le potentiel hydrogène (pH) :**

Le pH varie en fonction de la concentration des ions HCO<sub>3</sub> ou H<sup>+</sup>, les normes algériennes le fixent entre 6,05 et 9,5.

Le pH des eaux mesuré à A n Skhouna est de 7,10 il est de 7,01 à Hammam Rabi et de 7,17 à Hammam S di A ssa.

##### **- La conductivité :**

Elle permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau (Rodier J., 1999).

Le tableau 12 montre la relation entre la conductivité et la minéralisation.

**Tableau 12** : La relation entre la conductivité et la minéralisation (Rodier J., 1999).

<b>Conductivité (<math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>)</b>	<b>Minéralisation (<math>\text{mg}/\text{L}</math>)</b>
Conductivité < 100	Très faible
100 < Conductivité < 200	Faible
200 < Conductivité < 333	Moyenne
333 < Conductivité < 666	Moyenne accentuée
666 < Conductivité < 1000	Importante
1000 Conductivité	Elevée

Les valeurs de la conductivité électrique sont élevées pour les eaux étudiées. Elles sont de  $1135\mu\text{S}/\text{cm}$  à A n Skhouna,  $2350\mu\text{S}/\text{cm}$  à Hammam Rabi et  $3530\mu\text{S}/\text{cm}$  à Hammam S di A ssa. Les valeurs élevées de la conductivité découlent de la minéralisation importante des eaux.

#### **A. Les cations :**

##### **- L'ion calciums $\text{Ca}^{2+}$ :**

L'ion calcium est généralement l'élément dominant des eaux.

##### **- Le dosage des calciums $\text{Ca}^{2+}$ :**

Il est dosé par complexométrie à L'EDTA en présence d'un indicateur coloré.

Les analyses donnent les valeurs suivantes :  $165\text{mg}/\text{L}$  à A n Skhouna,  $320\text{mg}/\text{L}$  à Hammam S di A ssa et  $210\text{mg}/\text{L}$  à Hammam Rabi.

Les normes algériennes recommande une concentration de  $75\text{mg}/\text{L}$  et  $200\text{mg}/\text{L}$  comme concentration maximum.

##### **- L'ion magnésium $\text{Mg}^{2+}$ :**

La teneur de l'ion magnésium trouvée pour les eaux étudiées est compris entre  $28\text{mg}/\text{L}$  et  $53\text{mg}/\text{L}$ , les normes algériennes donnent une concentration maximum de  $150\text{mg}/\text{L}$  de  $\text{Mg}^{2+}$ . Donc les teneurs mesurées respectent les normes.

##### **-Le dosage du magnésium $\text{Mg}^{2+}$ :**

Sa teneur est calculée par la différence des valeurs de la dureté totale (TH) et de la dureté calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ).

##### **- L'ion sodium $\text{Na}^+$ :**

Pour cet élément les normes algériennes recommande une valeur limite de  $200\text{mg}/\text{L}$ ,

##### **- L'ion potassium $\text{K}^+$ :**

##### **- Les dosages du Sodiums ( $\text{Na}^+$ ) et du potassium ( $\text{K}^+$ ) :**

Ils sont dosés par spectrophotométrie de flamme. Concentration initiale du cation à doser réduite de la valeur absolue de l'intensité de l'émission spectrale mesurée.

#### **B. Les anions :**

##### **- Les chlorures $\text{Cl}^-$ :**

D'après les analyses mises à notre disposition, les eaux des trois sources ont une teneur importante en chlorure. Les teneurs en chlorures des eaux sont liées principalement à la nature des terrains traversés, la concentration admissible fixée par la norme algérienne est de  $200\text{mg}/\text{L}$ .

##### **- Le dosage des Chlorures $\text{Cl}^-$ :**

Il se fait par volumétrie en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de bicarbonate de potassium.

##### **- les sulfates $\text{SO}_4^{2-}$ :**

Les teneurs en ion sulfates pour les eaux étudiées sont élevées  $870\text{mg}/\text{L}$  à Hammam S di A ssa,  $480\text{mg}/\text{L}$  à A n Skhouna et  $440\text{mg}/\text{L}$  pour la source de Hammam Rabi. La norme algérienne est fixe les sulfates entre  $200\text{mg}/\text{L}$  et  $400\text{mg}/\text{L}$ .

##### **- Le dosage des Sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) :**

Ils sont dosés par méthode gravimétrique en présence d'acide chlorhydrique.

##### **- Les hydrogencarbonates (bicarbonates) $\text{CO}_3\text{H}^-$ :**

Dépendant surtout de la nature des terrains traversés, sa concentration varie entre 203-284 mg/L et 298 mg/L, les Normes Algériennes, ne fixent aucune valeur pour ce paramètre puisque qu'elle que soit la teneur en bicarbonates dans l'eau de consommation la potabilité n'est pas affectée.

**- Le dosage des hydrogencarbonates (CO<sub>3</sub>H<sup>-</sup>) :**

Ils sont dosés par volumétrie en présence d'acide chlorhydrique, et d'un indicateur coloré (vert de bromothymol).

Paramètre	Unité	Hamмам Rabi	Hamмам S di A ssa	Hamмам A n Skhouna
T air	°C	15	17,55	12
T eau	°C	47	47	35
pH	-	7,01	7,35	7 ,1
Conductivité	μS/cm	2350	3530	2300
Minéralisation	mg/L	1782.57	2677.66	1744.65
Salinité	‰	0.17	0.26	0.17
RS (résidu sec)	mg /L	1527.5	2294.5	1495
TA	mg/L	0	0	0
Ca <sup>2+</sup>	mg/L	210	320	165
	meq/L	10.5	16	8.25
Mg <sup>2+</sup>	meq/L	2.14	2	5 .25
Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup>	meq/L	12.64	18	13,5
	°F	63.2	90	67.5
K <sup>+</sup> +Na <sup>+</sup>	meq/L	13.06	17.3	9.6
CO <sub>2</sub>	mg/L	56	88	40
<i>Σ Cations</i>	<b>meq/L</b>	<b>25.7</b>	<b>35.3</b>	<b>23.1</b>
Cl <sup>-</sup>	mg/L	401	560,9	418,9

	meq/L	11.29	15.8	11.8
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	0	0	0
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	meq/L	3.2	0	0.5
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	520	870	418.9
	meq/L	10.83	18.12	10
NH <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	0.23	0.23	0.11
	meq/L	0.01	0.01	0.006
<i>ΣAnions</i>	<b>meq/L</b>	<b>25.39</b>	<b>33.93</b>	<b>22.3</b>
<i>BI</i>	<b>%</b>	0.60	1.97	1.7

**Tableau13:** Résultats des analyses physico-chimiques

## **6. Représentations graphiques des eaux :**

Les valeurs des analyses chimiques peuvent être portées sur des diagrammes permettant de comparer les eaux entre elles et de les classer en familles chimiques. Cette représentation sert à déterminer les faciès des eaux.

### **1- Faciès et formules caractéristiques :**

Pour déterminer les différents faciès traversés par les eaux (A n Skhoua, Hammam Rabi et S di A ssa) et les classer en familles chimiques on s'est basé sur les diagrammes de Piper, de Stiff et celui de Schoeller Berkaloff.

#### **✓ Diagramme de Piper :**

Dans ce type de diagramme, la représentation des analyses chimiques permet d'avoir une approche de la composition chimique d'une eau. La représentation est faite à partir des quantités en réaction en pourcentage.

Les résultats ont été reportés sur le diagramme de Piper. La position des points représentatifs des anions est des cations caractérise la composition chimique de l'eau des trois sources thermales.

Selon le diagramme (Fig.1), ces eaux appartiennent à deux groupes :

- Chlorurée sodique.
- Sulfatée sodique.

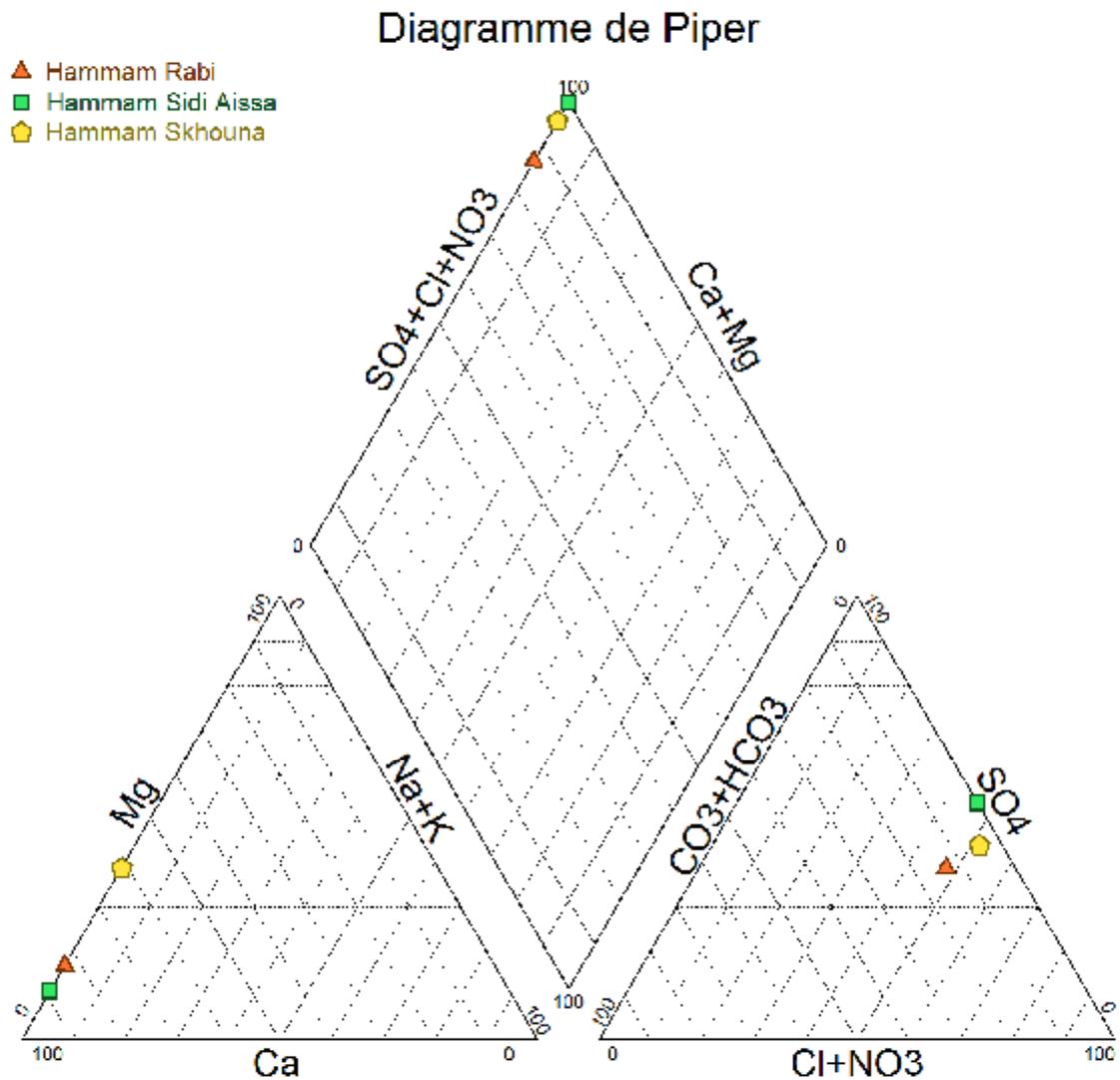
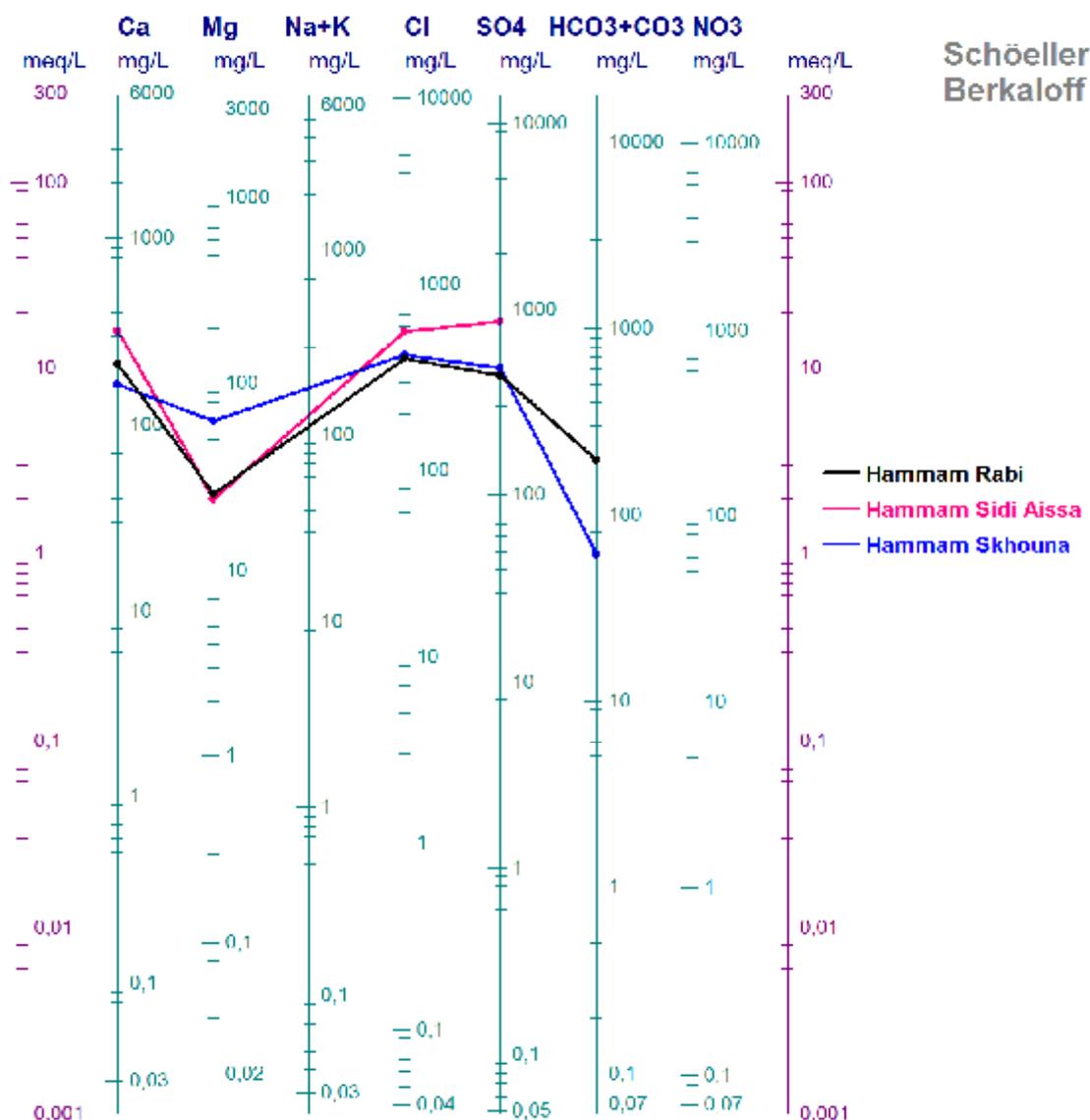


Fig.21: Diagramme de Piper des eaux étudiées

✓ **Diagramme de Schoeller Berkaloff :**

Le diagramme de Schoeller Berkaloff est utilisé pour déterminer les faciès des eaux et leur évolution. Les analyses chimiques effectuées sur les points d'eau étudiées permettent de distinguer deux types de faciès.



**Fig.22** : Diagramme de Schoeller Berkaloff des eaux étudiées.

**Tableau14** : Classification des eaux selon les ions majeurs.

Les points d'eau	Formule caractéristique	Faciès chimique
Hammam Rabi Ain Skhouna	$rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rNH_3^- / r(Na + K) > rCa^{2+} > rMg^{2+}$	Chlorurée sodique
Hammam S di A ssa	$rSO_4^{2-} > rCl^- > rNH_3^- > rHCO_3^- / r(Na + K) > rCa^{2+} > rMg^{2+}$	Sulfatée sodique

✓ **Diagramme de Stiff :**

On reporte sur ce diagramme les quantités en réaction (r%). D'un coté  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  et de l'autre coté  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ .

Les résultats obtenus par le diagramme de Stiff permettent de classer les eaux analysées en deux faciès :

- Chloruré sodique.
- Sulfaté sodique.

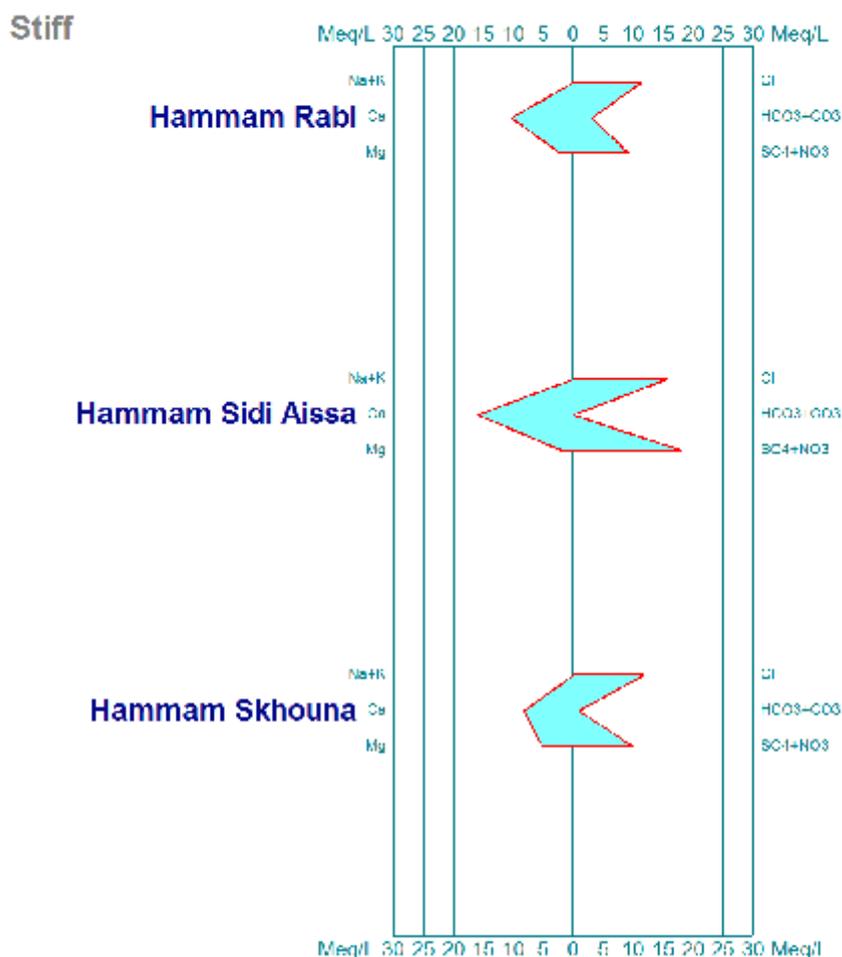


Fig.23 : Diagramme de Stiff des eaux étudiées.

**Conclusion :**

Selon les résultats obtenus par les analyses physicochimiques on peut dire que les eaux étudiées ont :

- ✓ Une conductivité élevée :
  - 2350  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à Hammam Rabi.
  - 3530  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à Hammam Sidi Aïssa.
  - 2300  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à Aïn Skhouna.
- ✓ Une minéralisation importante pour les 3 stations :
  - 1782.57 mg /L Hammam Rabi.
  - 2677.66 mg /L Hammam Sidi Aïssa.
  - 1744.65 mg /L Aïn Skhouna.

- ✓ Un résidu sec élevé :
  - 1527.5 mg /L Hammam Rabi.
  - 2294.5 mg /L Hammam Sidi Aïssa.
  - 1495 mg /L à Aïn Skhouana.

Ce qui indique une teneur élevée en matières dissoutes.

- ✓ Un pH entre 7,01 et 7,35 ; donc neutre (conforme aux eaux souterraines).

Les diagrammes de Piper et de Stiff ont permis de déterminer deux faciès:

- ❖ Faciès sulfaté sodique pour Hammam Sidi Aïssa.
- ❖ Faciès chlorure sodique pour Hammam Rabi et Hammam Skhouana.

Les eaux ont une qualité bonne à passable pour la consommation humaine du point de vue physico-chimique, qui ont une dureté élevée, donc non destinées à la consommation humaine avec une minéralisation assez importante.

Les données du tableau 15 ont été prises de l'ANRH de Sa da sur le périmètre de protection de Hammam Rabi sans modification :

**Tableau 15** : Principaux puits chauds dans le périmètre de protection de la source de Hammam Rabi (ANRH 2008)

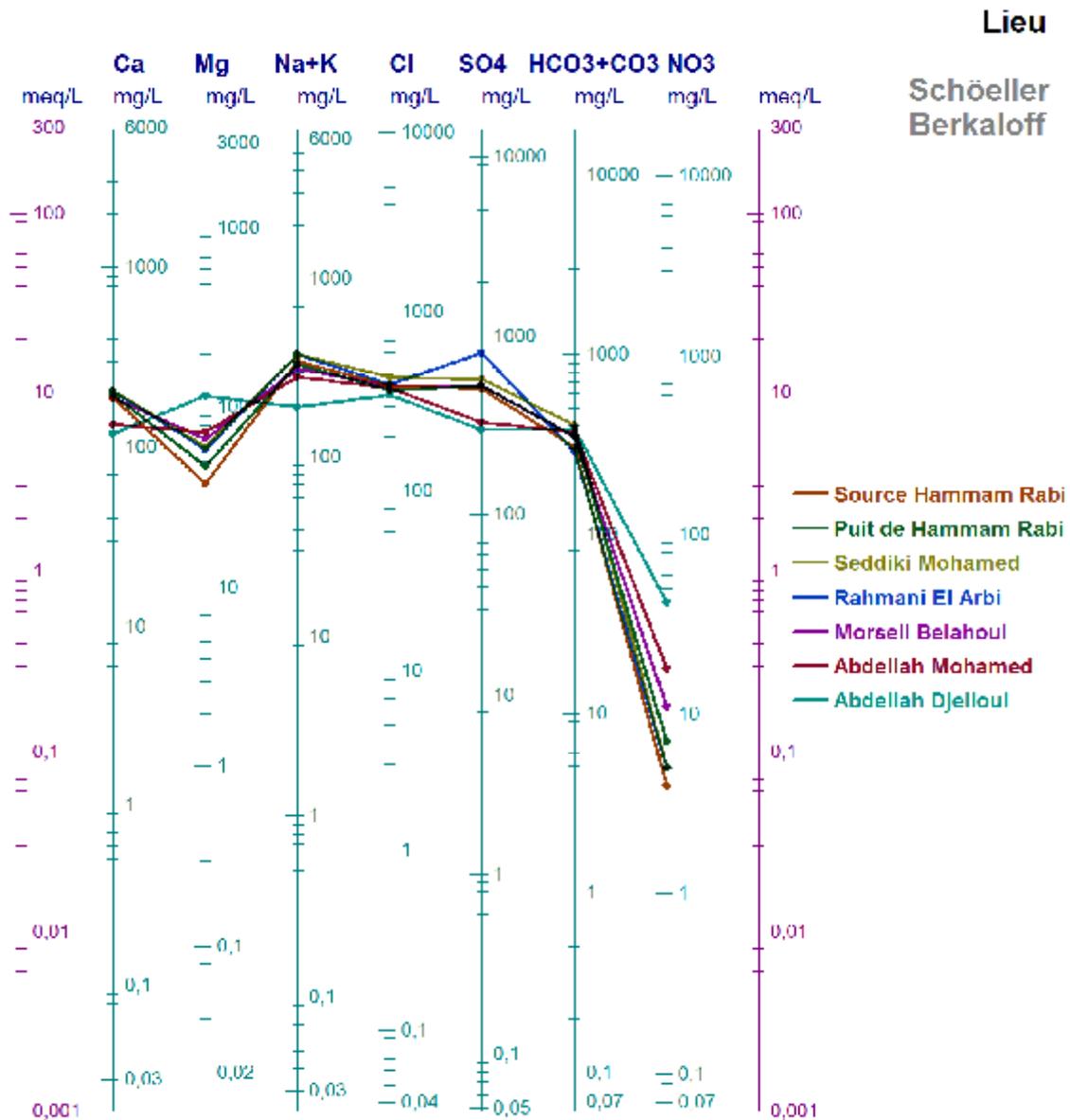
N°	Nom	Coordonnée			Prof (m)	NS (m)	T° C de l'eau	Faciès	Observation
		X(Km)	Y(Km)	Z(m)					
1	Source Hammam Rabi	270.00	184.700	-	-	-	46 - 47°	Sulfatée Sodique	Exploitée :Station Thermale
2	Puits de Hammam Rabi	270.300	184.300	-	> 30	-	38 - 39°	Sulfatée Sodique	AEP (Hammam Rabi )
P2	Seddiki Mohamed	270.500	184.200	722	25.4	-	39 - 40°	Sulfatée Sodique	IRR : Décision de Fermeture N° 397 du 10/07/1990 et N° 548 du 14/12/1997
P3	Rahmani El Arbi	270.200	184.800	715	> 30m	15 - 16	39°	Sulfatée Sodique	IRR : Décision de Fermeture N° 388 du 10/07/1990 et N° 547 du 14/12/1997
P17	Morseli Belahoul	270.600	185.800	700	20	05 - 06	30 - 32°	Sulfatée Sodique	IRR : Décision de Fermeture N° 430 du 20/08/1990 et N° 552 du 14/12/1997
P11	Abdellah Mohamed	271.000	185.600	706	14.50	12 - 14	28°	Chlorurée Sodique	IRR : Décision de Fermeture N° 626 du 18/11/1990 et N° 551 du 14/12/1997
P8	Abdellah Djelloul	271.000	184.600	720	> 28	19 - 20	25 - 25.5°	Chlorurée Sodique	IRR : Décision de Fermeture N° 436 du 02/09/1990

**Tableau16** : les analyses chimiques des principaux puits d'eaux chaudes.

	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>2+</sup>	K	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Conductivité μS/cm	Minéralisation mg/L	RS à 110°C	pH	T°C
1	188	38	336	12	390	503	0	302	4	2240	1700	1760	7.15	46-47
2	196	47	322	11	369	527	0	346	7	2				

P2	205	60	368	12	436	572	0	399	5	2450	1860	2060	7.3	39-40
P3	205	59	368	12	396	800	0	286	5	2300	1746	1900	7.37	39
P 17	188	67	304	10	389	527	0	346	11	1617	2130	1700	7.61	30-32
P 11	134	73	274	9	375	331	0	369	18	2200	1667	1660	7.52	28
P8	118	117	188	3	348	298	0	383	42	1950	1480	1560	7.53	25-25.5





**Fig.25** : Diagramme de Schoeller Berkaloff des eaux.

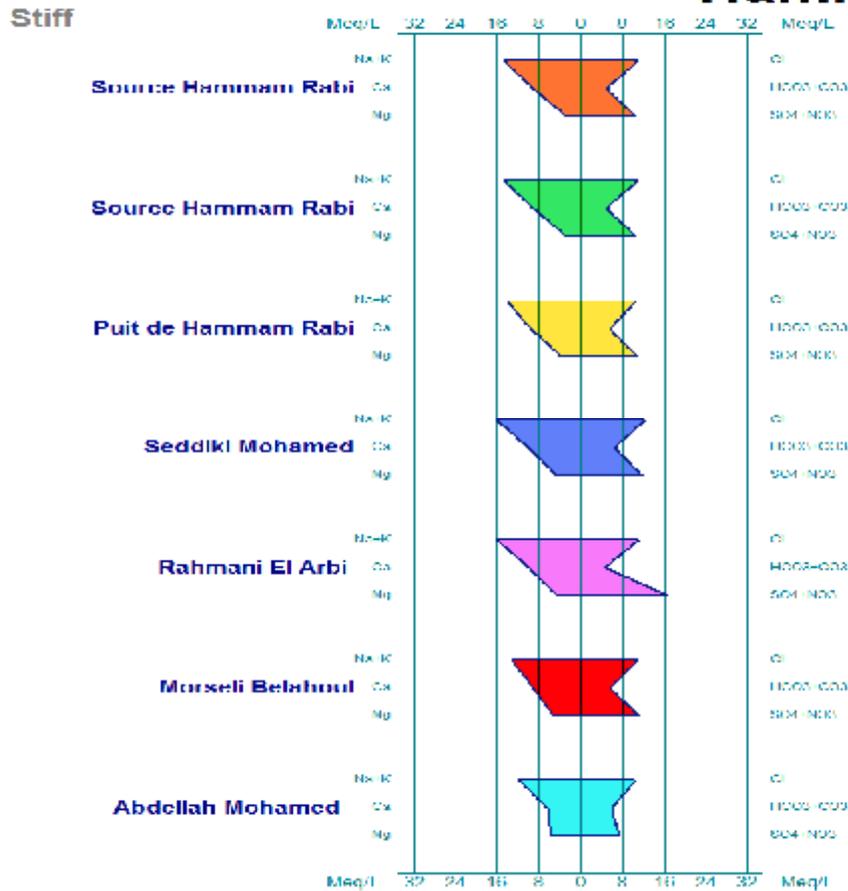
✓ **Diagramme de Stiff** :

On reporte sur ce diagramme les quantités en réaction (r%). D'un coté  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ , Na, K et autre coté  $Cl^{-}$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $HCO_3^{-}$ .

Les résultats obtenus par le diagramme de Stiff permettent de classer l'eau analysée en deux faciès :

- Chloruré sodique.
- Sulfaté sodique.
- Bicarbonates sodique.

# Hamмам Rabi



**Fig.26 :** Diagramme de Stiff des eaux étudiées.

**Tableau18:** Dureté des différentes eaux étudiées.

Les Valeurs	0° à 3F°	3 à 15 F°	15 à 30F°	D >30F°
TH de L'eau	Trés douce	Douce	Dure	Trés dure
Les points d'Eau	Les valeurs de TH de L'Eau en F°		Qualité	
Source de Hammam Rabi	63 F		Trés Dure	
Puits de Hammam Rabi	68 F°		Trés Dure	
P2 Seddiki Mohamed	76 F°		Trés Dure	
P3 Rahmani El Arbi	75 F°		Trés Dure	
P17 Morsli Belahoual	75 F°		Trés Dure	

P11 Abdellah Mohamed	64 F°	Trés Dure
P8 Abdellah Djelloul	78 F°	Trés Dure

### **Interprétation :**

Les Valeurs de la conductivité électrique sont élevées. Elles varient de 1950 à 2450  $\mu\text{S/cm}$  Cette élévation de la conductivité montre que ces eaux ont une minéralisation importante.

La Conductivité augmente lorsque la teneur en sels dissous augmente ces eaux sont classées parmi les eaux fortement minéralisée.

La source Thermale de Hammam Rabi est le principal exutoire des eaux chaudes.

Les résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur les échantillons d'eau prélevés montrent que les faciès des eaux sont comme suit :

- Sulfatée Sodique
- Chlorurée Sodique

Tous les éléments chimiques ont des valeurs supérieures à celles requises par les normes de potabilité

Les pH sont neutres avec une Valeur entre 7 et 8.

### ***Conclusion générale***

- Cette étude nous a donné une idée sur les caractéristiques hydrogéologiques et hydrochimique des eaux thermales de la région de Sa da.
- L'étude climatique de la région sur une période allant de 1990-2011 montre que la moyenne annuelle des précipitations (Bureau National des Etudes de Développement Rural de la wilaya de Sa da) 358,2 mm par an avec une température moyenne annuelle de 16.7°C ,elle est caractérisée par un climat semi-aride .

L'étude de l'évapotranspiration et de déficit d'écoulement a été fait par l'utilisation de différent méthode, seule la méthode de Turc a donné des résultats proches de la réalité : un déficit égale à 345mm.

- La litho stratigraphie nous a montré que la région étudiée est constituée par une variété de formations géologique.

Les terrains les plus répondus dans cette région sont des terrains Jurassiques qui sont les plus intéressants présentées par les dolomies inférieures de l'Hettangien-Pliensbachien et les dolomies supérieures de l'Aaléno-Bathonien.

- L'étude hydrogéologique montre que l'origine des eaux souterraines des trois stations ces eaux thermales sont des eaux de circulation les formations du Jurassique inférieur et moyen.

L'alimentation de ces eaux thermales se fait par les précipitations.

- Du point de vue hydrochimique, les eaux des trois points thermales étudiées (A n Skhouna, Hammam Rabi et Hammam S di A ssa) sont très dures, non destinées à la consommation humaine, avec une minéralisation assez importante .Ces eaux appartiennent à deux familles distinctes (Sulfaté sodique-Chloruré sodique).

## Références bibliographiques :

- **CASTANY G. (1982)** : Hydrogéologie principe et méthodes EDS. Bordas.
- **PITAUD G. (1973)** : Etude hydrogéologique pour la mise en valeur de la vallée de l'Oued de Saïda.
- **RODIER J. (1996)** : Analyse de l'eau. 8ème édition. Ed : Dunod. Paris.
- **BEN ABDELLAH. M – MOSTEFA D** : Rapport sur l'assèchement de la Source Thermale de Hammam Rabi (Wilaya de Saïda) ANRH 1997 la Sources des données.
- **BENAMEUR AHMED et MELLAL DJAMEL (2007)** : Hydrogéologie et Hydrochimie des eaux thermales de la région de Saïda. Mémoire d'ingénieur d'état. Univ. Tlemcen(Algérie) pages 15-26.
- **HABIB KHELIFA (1991)** : Contribution à l'étude hydrogéologique des bassins d'alimentation des eaux minérales de Saïda et la source thermale de Hammam Rabi. Mémoire d'ingénieur d'état. Univ. Oran (Algérie).
- **MOHAMED AMINE ZAIDI (2012)** : Actualisation de l'Etude Hydrogéologique et Hydro-chimique de la région d'Aïn Skhoua (Saïda). Mémoire d'ingénieur d'état. Univ. Tlemcen(Algérie) pages 9 et 12.
- **OUARDAS Tayeb (1983)** : Sédimentologie des Grès de Sidi Amar ou Grès de Franchetti dans les Monts de Saïda et les Monts de Daïa(Algérie). Thèse doctorat. Univ Grenoble.
- **MOSTEFA. D** : projet de création d'un périmètre de la source de Hammam Rabi ANRH 1990.
- **Données hydrogéologies et hydrochimies fournies par :**
  - **La direction de l'Hydraulique de la Wilaya de Saïda.**
  - **La direction de l'ANRH de wilaya de Saïda.**
  - **La direction de l'ADE de la wilaya de Saïda.**
  - **Station BNEDR.**

## Sites Web :

**Google Earth.**

# Annexe

## Etude climatique (suite du texte) :

### Les indices climatiques généraux :

Les indices climatiques permettant de mieux cerner le type de climat d'une région sont :

### Indice d'Emberger :

La formule de quotient  $Q_2$  d'Emberger est :  $Q_2 = \frac{343P}{M-m}$

Avec : **p** : précipitations moyennes annuelles en mm.

**M** : température moyenne maximale du mois le plus chaud en °C.

**m**: température moyenne minimale du mois le plus froid en °C.

Après calcul,  $Q_2 = 31.2$ .

En rapportant cette valeur le Climagramme qui comporte en ordonnées les valeurs de  $Q_2$  et en abscisse la moyenne du minima du mois le plus froid en °C, nous pouvons constater que la région de Sa da présente un climat semi-aride à hiver tempéré.

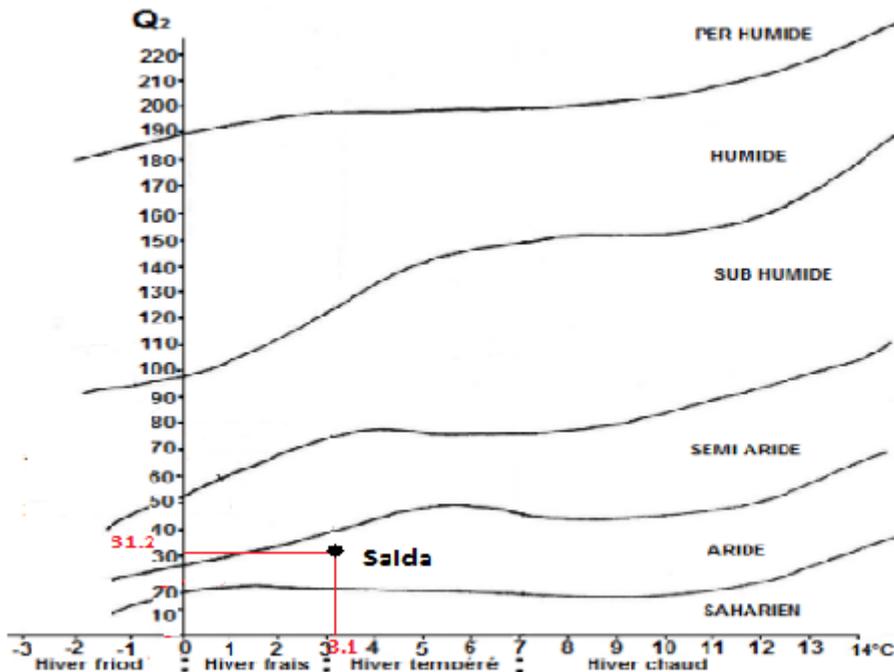


Fig. A : Climagramme d'EMBERGER.

### Indice de Moral :

Il est donné par la relation :  $I_A = P/T^2 - 10T + 20$  avec :

P : précipitations moyennes annuelles (mm).

T : température moyennes annuelles (°C) .

L'indice annuel est :  $I_A = 0.76$

Pour caractériser le climat, Moral a proposé un indice mensuel :

$$I_m = P_m / 0.1T^2 - T + 20$$

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
$I_m$	2.09	1.79	1.81	1.49	0.95	0.20	0.06	0.16	0.41	0.99	1.6	1.92

Tableau A : Calcul de l'indice de Moral mensuel.

Les quatre types de mois indiqué par Moral sont :

- Mois pluvieux :  $p \quad 0.1 T^2 + T + 30.$
- Mois humide :  $0.1 T^2 + T + 30 \quad P \quad 0.1 T^2 - T^2 + 20.$
- Mois sec :  $0.1 T^2 - T^2 + 20 \quad P \quad 0.05 T^2 - T + 10.$
- Mois aride :  $P \quad 0.05 T^2 - T + 10.$

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Type	Humide	Sec	Aride	Sec	Humide
------	--------	-----	-------	-----	--------

**Tableau B** : Classification en mois Sec et Humide.

### Déficit d'écoulement :

#### Méthode de Coutagne :

Le déficit d'écoulement qui est l'équivalent de l'évapotranspiration réelle est par l'expression :

$$D = P - E_p$$

D : déficit d'écoulement.

P : précipitation moyenne mensuelles.

$E_p$  : son expression est :  $1/0.8 + 0.14 T$ .

T : température moyenne annuelle.

Cette méthode n'est applicable que si  $1/8 < 1/2$ .

#### *Calcul de $\lambda$ :*

P(m)		1/8	1/2
0.358	0.318	0.039	0.159

**Tableau C** : calcul de  $\lambda$ , 1/2 et 1/8 (méthode de Coutagne).

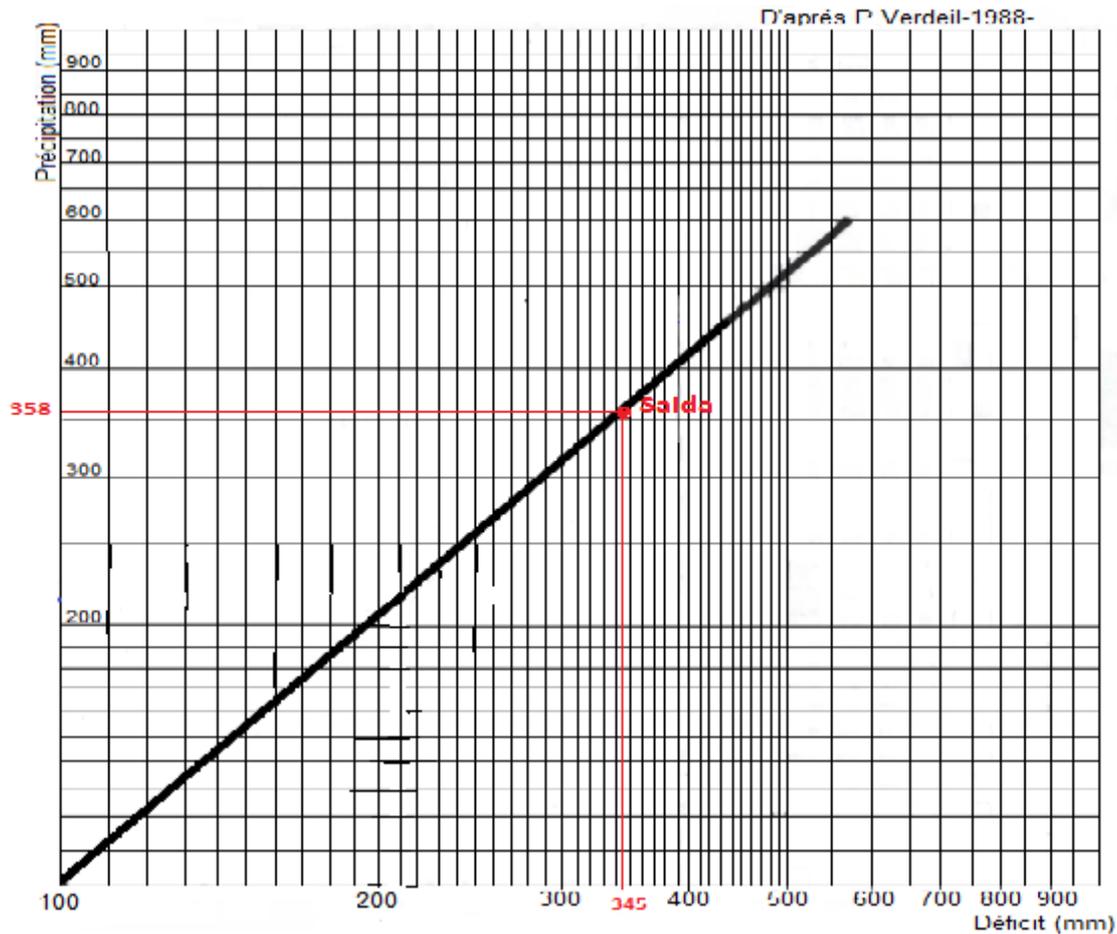
Nous obtenons donc :  $0.039 < P < 0.159$ .

Cette méthode est non applicable.

#### Méthode de Verdeil :

La méthode consiste à reporter la valeur des précipitations moyennes annuelles sur l'abaque représentatif du phénomène en Algérie.

D=345mm Il reste 13mm d'eau disponible.



**Fig. B:** la méthode de P. Verdeil pour le calcul du déficit d'écoulement.

### Méthode de Wundt :

Wundt a établi un abaque permettant d'obtenir une valeur du déficit d'écoulement en fonction de la température moyenne annuelle et les précipitations. L'application de cette méthode, nous donne les résultats dans le tableau

P (mm)	T°C	D mm/an	Écoulement/Infiltration
0.358	16.7	345	?

**Tableau D :** regroupe les valeurs des déficits calculés par les différentes méthodes ainsi que les eaux de l'écoulement et de l'infiltration.

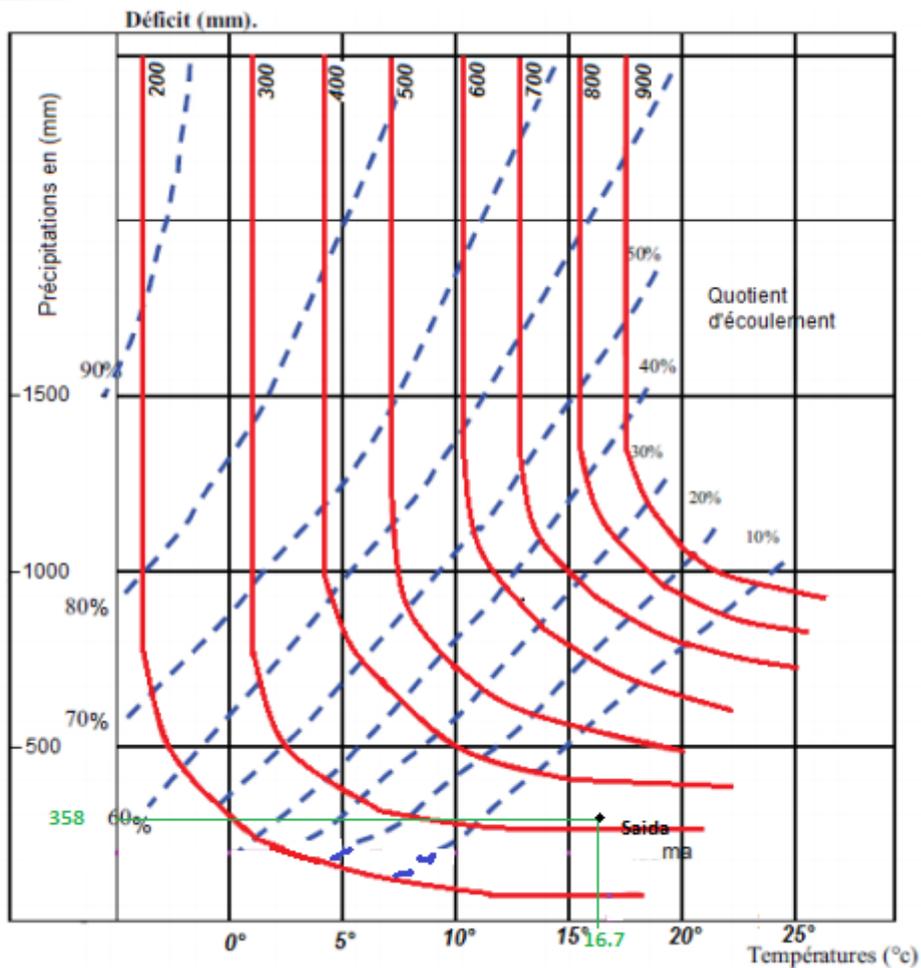


Fig. C: l'abaque de Wundt modifié par Coutagne.

Tableau E : Moyennes mensuelles des paramètres: 1990/2011 Saïda

	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Tmoy (°C)	Tmin Abs (°C)	Tmax Abs	Cumul (mm)	Pluie max abs (mm)	Inso lation ETP(mm (heures/J /Mois)	VentMoy (m/s)	Vent max abs (m/s )	Humidité
1	3,1	13,8	8,0	-9,3	25,0	38,6	61,0	6,0	2,8	36	68
2	3,4	15,5	9,2	-6,2	28,6	34,8	30,0	7,0	2,7	40	64
3	5,6	18,6	11,9	-5,8	32,6	40,5	45,4	7,5			

4	6,7	21,0	13,7	-3,5	35,3	37,4	34,0	8,6	2,9	35	58
5	10,5	25,9	18,1	-0,6	42,2	33,0	46,0	9,4	2,9	35	54
6	15,0	31,9	23,5	5,4	42,9	10,4	35,0	10,8	2,7	33	41
7	18,5	36,4	27,4	9,5	44,2	6,7	14,0	10,3	2,6	31	36
8	18,8	35,8	27,2	7,0	43,4	12,1	33,1	10,1	2,6	33	39
9	14,5	30,2	22,3	5,8	41,3	24,2	24,9	8,6	2,3	34	51
10	11,7	24,6	17,8	2,0	36,2	46,8	57,0	7,7	2,3	31	60
11	7,0	18,5	12,4	-2,4	28,5	36,8	43,0	6,5	2,6	25	64
12	4,3	14,9	9,0	-11,0	27,5	36,8	43,0	5,6	2,7	31	69