



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



N°d'ordre :

UNIVERSITE ABOUBEKER BELKAID- TLEMCEM
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET
SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Présenté pour l'obtention du

Diplôme d'Ingéniorat d'Etat

Option

Hydrogéologie

Présenté par :

KHELOUFI Lamia

SFERDJLI Fouzia

**APPORT DES ANALYSES STATISTIQUES DES DONNEES
HYDROCHIMIQUES A L'IDENTIFICATION DE L'ORIGINE
DES EAUX SOUTERRAINES
APPLICATION AU SYNCLINAL DE TIOUT (NO-ALGERIEN)**

Soutenu le : 26/06/2014 devant le jury :

Mr. BOUDJEMA A.

Mme. KERZABI YOUSFI S.

Mr. KERZABI R.

Mme. BOUDJEMA S.

Mme. HEBIB I.

MAA à l'Université de Tlemcen

MAA à l'Université de Tlemcen

Doctorant à l'Université d'Oran

MAA à l'Université de Tlemcen

MAB à l'Université de Tlemcen

Président

Encadreur

Co-encadreur Examinatrice

Examinatrice

Dédicace

Merci Allah (mon dieu) de m'avoir donnée la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur de lever mes mains vers le ciel et de dire ya « kayoum »

Je dédie ce travail à

Celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à ma mère.

A mon père, école de mon enfance, qui a été mon ombre durant toutes les années d'étude, et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et la protection.

A mes frères : Amine et Ayoub

A mes sœurs : Zohra, Khouloud, Salsabil et Rahaf

A toute la famille KHLOUFI, SFARDJLI et AGGAB

A mon binôme Fouzia qui partagé avec moi les bons et les mauvais moments

A tous mes amis : Chahrazed, Touria, Fatima, Hanane, Salima, Houda, Hassina, Tema madjdoubi, Fatima khachab ainsi que Madjid et Ismail

A toute la promotion de 5^{ém} année hydrogéologie et géologie d'ensemble sédimentaire 2013-2014

A tous ceux qui me sont chères, merci

LA
MIA

DEDICACE

Je commence par rendre grâce à dieu et à sa bonté, pour la patience, la compétence et le courage qu'il m'a donné pour arriver à ce stade.

A mon père Kuider et ma mère Fatiha ;

Ce travail n'est que le fruit de votre soutien, de votre encouragement, de votre prière, de votre amour profond. Je souhaite que ce mémoire vous apporte la joie. Tous les mots que je pourrais utiliser seraient insuffisants pour vous témoigner l'amour que je vous porte. J'espère être à la hauteur de votre attente.

A ma sœur Chahida.

A mes frères : Mouhamed, fayçel et Mourad.

Je dédie ce travail à la famille : SEFERDJELI, SERFAOUI et KHELOUFI.

Il est très difficile de choisir les termes adéquats pour exprimer mon amour à mon binôme Lamia. Que DIEU te procure la santé, la joie et la réussite

A mes Amis

Lamia, Touria, Fatima Zohra, Chahrazad, Hanane, Salima, Hadjira, Zahira, Hassina et Amina, Pour tous les moments inoubliables qu'on a passés ensemble, que ce travail soit d'expression de mon grand amour. Je vous souhaite une vie pleine de succès et de joie.

A la promotion de 5^{ème} années hydrogéologie et géologie des ensembles sédimentaires 2013-2014.

Je tiens à remercier respectivement tous ceux qui m'ont aidée, soutenue, et encouragée pour la réalisation de ce modeste travail

Fouzia

REMERCIEMENTS

Quelques mots en préambule à ce mémoire nous remercions « ALLAH » qui nous a aidé et donné la patience et le courage durant ces longues années d'étude.

Au terme de la réalisation de ce modeste travail, nous tenons à exprimer toute reconnaissance à M^{me} KERZABI YOUSFI S. qui a accepté de diriger ce travail, nous la remercions pour avoir bien voulu nous faire profiter de ces connaissances et pour les conseils qu'elle nous a donnés.

Nous remercions également M^r KERZABI R. pour avoir accepté de co-encadrer ce modeste travail.

Nous tenons à remercier très chaleureusement M^r.BOUDJEMA A. Maitre-assistant à l'Université de Tlemcen pour nous avoir honorés de sa présence et accepter de présider ce jury.

Nos remerciements s'adressent à M^{me}. BOUDJEMA S. Maitre-assistant à l'Université de Tlemcen pour avoir accepté de juger mémoire.

Nos remerciements s'adressent à M^{me}. HEBIB I. Maitre-assistant à l'Université de Tlemcen pour avoir accepté de juger mémoire.

Résumé

Les Monts des Ksour, la partie occidentale de l'Atlas Saharien correspondent aux terrains méso-cénozoïques plissés. Le Barrémo-Apto-Albien du synclinal de Tiout est une formation gréseuse qui renferme la nappe la plus exploitée de la région.

L'étude hydrochimique indique une minéralisation assez élevée dû à la dissolution des formations gypseuses, carbonatés et salifères.

L'analyse statistique des données chimiques en composantes principales (ACP) regroupe l'origine des eaux en deux familles : une eau d'origine du lessivage des évaporites par la dissolution des diapires triasiques avec une minéralisation importante et l'autre d'origine météorique par infiltrations (engrais chimiques) lessivées.

La qualité des eaux du synclinal de Tiout sont influencées par la lithologie et la présence des diapirs triasiques.

Mots clés : Atlas Saharien, Monts des Ksour, synclinal de Tiout, Minéralisation, Hydrochimie, analyse en composante principale (ACP)

Abstract

The Ksour Mountains, western part of the Saharian Atlas correspond to meso-cenozoic folded terrains. The Barremo-Apto-Albien of the Tiout syncline is represented by a sandy formation bearing ground water layer which is the most exploited in the region.

The hydrochemical study shows a high mineralization is due to the dissolution of the gypsum formation, carbonate and saliferous formations.

The Statistical analysis of the chemical data on principal component analysis (PCA) regroups water origin into two families, an evaporitic origin by dissolution of the Triassic diapirs with an important mineralization and the meteorologic origin by infiltration (chemical fertilizer).

The water quality of the Tiout syncline is influenced by the lithologie and the presence of the Triassic diapirs.

Key word: Saharian Atlas, Ksour Mountains, Tiout syncline, Mineralization, Hydrochemistry, Principal Component Analysis (PCA).

ملخص :

تتتمي جبال القصور إلى الأطلس الصحراوي الغربي المتصلة بأراضي الميزو-كينوزوي المطوية.

خزان المياه الجوفية لطباشيري السفلي لمنطقة تيوت هو حجر رملي و يعتبر الأكثر استغلالا في المنطقة.

تبين الدراسة الهيدروكيميائية عن وجود تمعدن مرتفع ويعود هذا إلى ذوبان التكوينة الجبسية، الكلسية والملحية.

التحليل الاحصائية للمعطيات الكيميائية المركبات الأساسية تقسم مصدر المياه إلى قسمين : مياه ذات مصدر تحلل المتبخرات مع تمعدن مهم ومصدر آخر يعود إلى تغلغل الأمطار المصحوبة بالاسمدة الكيميائية .

تتأثر نوعية مياه الحوض المقعر لمنطقة تيوت بنوعية التربة وحضور ديابير ترياسي.

الكلمات المفتاحية: الأطلس الصحراوي، جبال القصور، الحوض المقعر لمنطقة تيوت، تمعدن، هيدروكيميا، تحاليل المركبات الأساسية

Sommaire

Dédicace	1
Remerciement	3
Résumé	4
Sommaire	6
Introduction générale	9
CHAPITRE 1 : GENERALITE	11
I. CADRE GEOGRAPHIQUE	12
I.1 Cadre géographique régionale.....	12
I.2 Cadre géographique du secteur d'étude.....	12
I.3 Réseaux hydrographiques.....	13
II. CADRE CLIMATIQUE	14
II.1 Précipitations.....	15
II.1.1 Précipitations annuelles 1983 – 2013.....	15
II.1.2 Précipitations moyennes mensuelles 1983 – 2013.....	16
II.1.3 Précipitations saisonnières 1983 – 2013.....	16
II.2 Température.....	17
II.3 Régime climatique.....	18
III. CADRE GEOLOGIQUE ET STRUCTURAL	18
III.1 Aperçu géologique.....	18
III.1.1 Trias.....	18
III.1.2 La série Jurassique	19
• Lias.....	19
• Dogger.....	19
• Malm.....	19
III.1.3 Jurassique supérieur – Crétacé inférieur.....	19
a. Formation d'Aïssa.....	19
b. Formation de Tiloula.....	19
c. Formation de Tiout.....	19
c. 1 Membre inférieur	19

c. 2 Membre médian	20
c. 3 Membre supérieur	20
III.1.4 Formations post – turoniennes	20
III.1.5 Formations quaternaires	20
• Limons anciens	21
• Colluvions de piémonts	21
• Alluvions anciennes	21
• Alluvions récentes	21
• Formations éoliennes	21
III. 2 Aperçu structural	25
• Un style de tectonique souple	25
• Un style de tectonique cassante	25
• Les diapirs triasiques	26

CHAPITRE II : HYDROGEOLOGIE 28

I. LES FORMATIONS AQUIFERES	29
I.1 La nappe du Jurassique	29
I.2 La nappe du Crétacé (Barémo-Apto-Albien)	30
I.3 La nappe Quaternaire (aquifère alluvionnaire)	30
II. PIEZOMETRIE	31
II.1 Inventaire des points d'eau	31
II.2 Interprétation de la carte hydrogéologique	31
III. TRANSMISSIVITE	33

CHAPITRE III : HYDROCHIMIE 35

INTRODUCTION	36
I. ETUDE HYDROCHIMIQUE	
I.1. INTERPRETATION DES ANALYSES PAR BALANCE IONIQUE	36
I.2. INTERPRETATION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES	37
I.2.1. <i>pH</i>	37
I.2.2. Minéralisation	37
I.3 Cartes d'isoteneurs	38
1. Carte isoteneur Ca^{++}	38
2. Carte isoteneur Mg^{++}	39
3. Cartes isoteneurs Na^+ et Cl^-	40
4. Carte isoteneur K^+	41
5. Carte isoteneur SO_4^{-2}	41
6. Carte isoteneur HCO_3^-	42
7. Carte isoteneur NO_3^-	43

I.4. Les Facies Chimiques	43
II. ANALYSE STATISTIQUE	49
II.1 Principe.....	49
II.2 Objectif	49
II.3. Fonctionnement.....	50
II.3.1. Choix de l'application	50
II.3.2. Préparation des données	50
II.3.3. Présentation des résultats de l'Analyse en Composantes Principales.....	52
II.4. Application	53
Résultats	54
CONCLUSION GENERALE	
	56
Liste des figures.....	60
Liste des tableaux	62
ANNEXE	63
REFERENCE BIBLIOGRAPHIE	72

INTRODUCTION GENERALE

Les Monts des Ksour ont fait l'objet de plusieurs études antérieures. L'objectif de notre travail est d'identifier et d'étudier l'origine du chimisme des eaux souterraines du synclinal de Tiout à l'aide d'un outil statistique analysant des données chimiques.

Le premier chapitre de ce travail, consistera à une présentation générale de la zone d'étude : cadre géographique, synthèse climatique et aperçu géostructural, afin de déterminer les différentes unités stratigraphiques qui constituent les niveaux aquifères dans la région d'étude.

L'étude hydrogéologique, en chapitre 2 sera consacré à la caractérisation hydrogéologique et hydrodynamique de l'aquifère gréseux crétacé et mio-plio-quaternaire du synclinal de Tiout.

Dans le chapitre 3, nous avons réalisé une étude hydrochimique des eaux de l'aquifère pour déterminer les paramètres physico-chimiques et les faciès dominants des eaux. Ainsi une analyse statistique en composantes principales (ACP) nous permettra de déterminer et de comprendre l'origine du chimisme des eaux.

CHAPITRE I : GENERALITE

I. CADRE GEOGRAPHIQUE

I.1 Situation géographique régionale (Fig.1)

Les Monts des Ksour font partie de l'Atlas Saharien occidentale, situés à environ 400 km au sud d'Oran, limités au Nord par les Hautes plaines Oranaises, au Sud par la plateforme saharienne, à l'Ouest par le Haut Atlas marocain et à l'Est par Djebel Amour (Atlas saharien central).

Ils constituent une région montagneuse assez élevée avec certains sommets qui dépassent souvent les 2000 m.

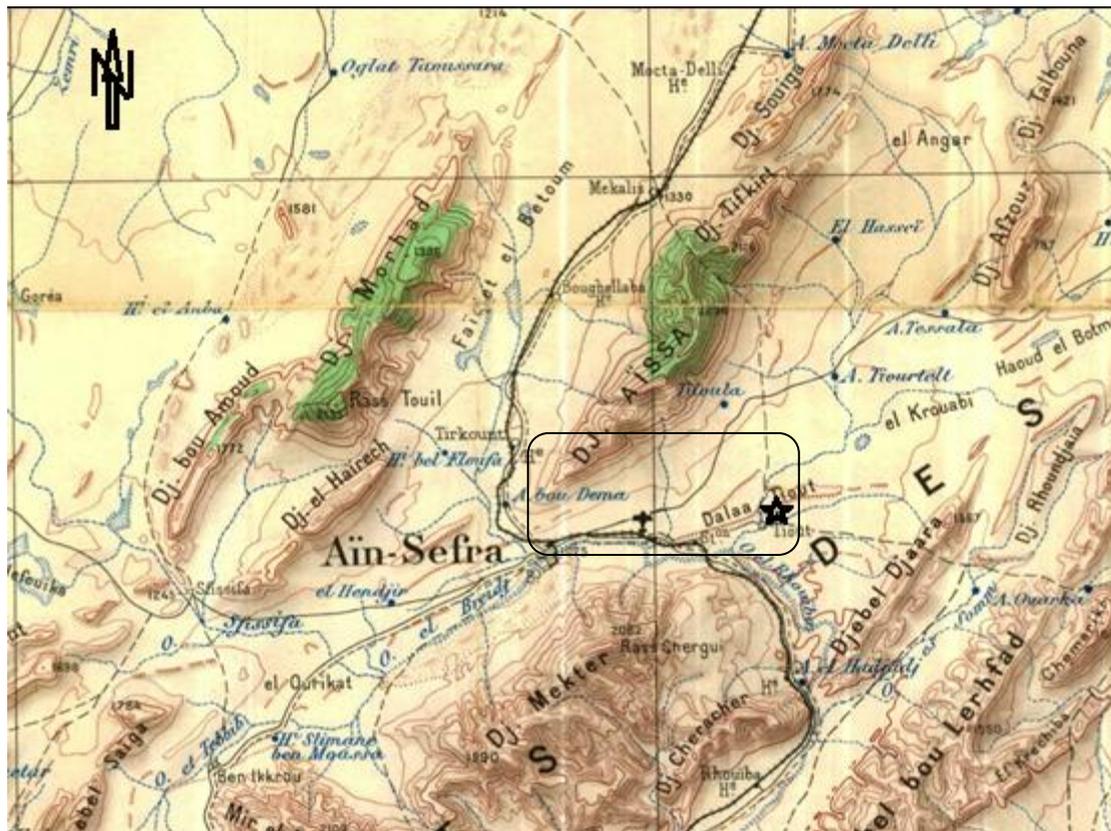


Fig. 1 : Situation géographique de la zone d'étude

I.2 Situation géographique du secteur d'étude (Fig.2)

La région de Tiout est située dans la partie centrale des Monts des Ksour. Elle est distante d'environ 88 km de la wilaya de Naâma, elle est limitée :

- Au Nord par Djebel Aïssa ;
- Au Sud par Djebel Mekter ;
- A l'Ouest par la dépression d'AïnSéfra-El Handjir ;
- A l'Est par Djebel Djara.



 Région d'étude	 Ile de Tiout	Echelle : 1/500 000
--	--	---------------------

Fig.2: Cadre géographique du secteur d'étude.

I.3 Réseau hydrographique

Les Oueds se canalisent dans les dépressions contournant les Monts des Ksour pour se diriger vers le Sud (Fig. 3).

Les principaux Oueds sont :

- Oued Bredj : cet Oued reçoit l'Oued Sfissifa qui draine le versant Nord du Djebel Mekter.
- Oued AïnSéfra : l'Oued Bredj et Tirkount se rencontrent au centre d'AïnSéfra pour former cet Oued qui se dirige vers le Sud, tout en recevant d'autres Oueds comme l'Oued Tiourtelt, formant un seul Oued, celui de Rouiba, pour en former à la fin l'Oued Namous qui se dirige et se perd dans les sables du Grand Erg occidental.

Tableau 2 : Précipitations moyennes annuelles

Année	Précipitations annuelles (mm)	Année	Précipitations annuelles (mm)
1983	34.05	1999	13.21
1884	59.71	2000	214.66
1985	90.96	2001	82.06
1986	172.23	2002	161.33
1987	74.19	2003	184.42
1988	103.37	2004	188.62
1989	171.44	2005	117.88
1990	248.42	2006	158.23
1991	376.94	2007	279.17
1992	91.23	2008	417.37
1993	190.56	2009	256.28
1994	161.33	2010	207.52
1995	163.1	2011	227.34
1996	148.87	2012	215.45
1997	112.83	2013	107.44
1998	130.6		

II .1.1 Précipitations annuelles 1983-2013

La courbe de la variation de la précipitation (Fig.4) montre que la lame d'eau tombée varie entre 417.4 mm (2008) et 13.2 mm (1999). La valeur moyenne est 166.5 mm.

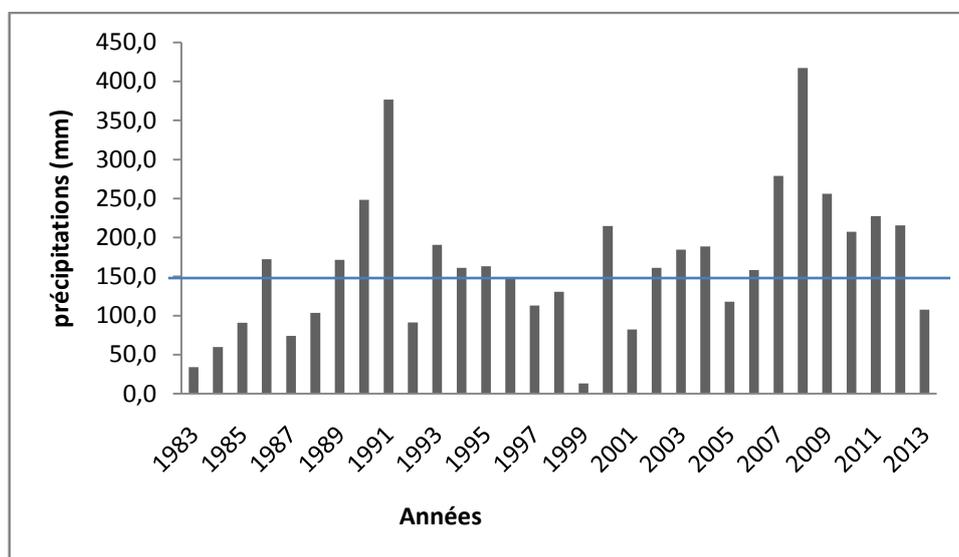


Fig.4 : Variation des précipitations annuelles (1983-2013)

II.1.2 Précipitations moyennes mensuelles

Les valeurs moyennes mensuelles des précipitations de la période 1983-2013 (tableau 3) montrent que :

- La pluviométrie moyenne annuelle est de 166.5 mm ;
- Le mois le plus pluvieux est celui du mois d'octobre avec une valeur de 29.9 mm ;
- Le mois le plus sec est celui du mois de juillet , avec une valeur de 3.9 mm (Fig.5).

Tableau 3 : Données des précipitations moyennes mensuelles (1983-2013)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Total
P(mm)	21.8	29.9	14	8.1	8.5	12.2	20.9	11.4	18.2	7.9	3.9	9.6	166.5

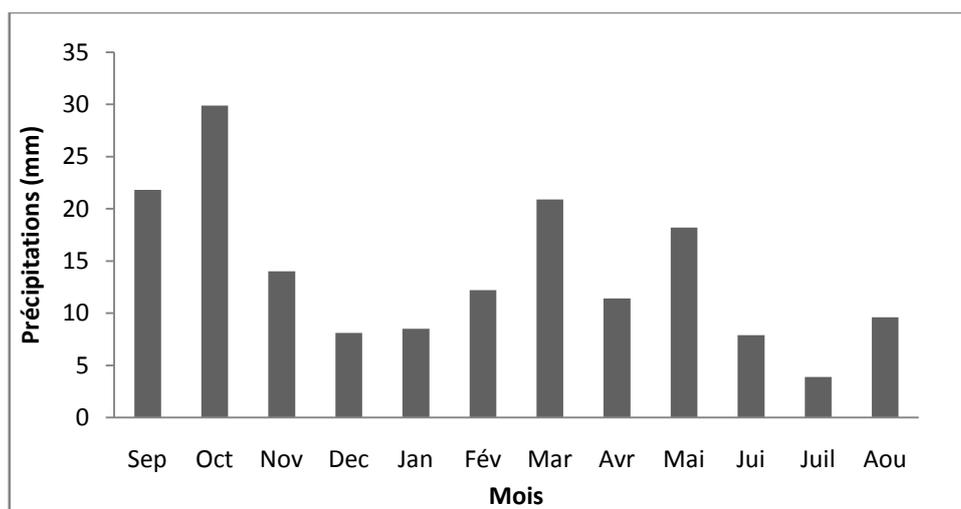


Fig. 5 : Précipitations moyennes mensuelles (1983-2013)

II.1.3 Précipitations saisonnières

Les précipitations saisonnières moyennes de la station d'Aïn Séfra (tableau 4) montrent que dans la région d'Aïn Séfra il y a quatre saisons distinctes : Hiver avec une moyenne de 31.5 mm, Printemps 55.8 mm, Eté 24.1 mm et automne 69.9 mm.

Tableau 4 : Valeurs des précipitations saisonnières (1983-2013)

Saison	Hiver	Printemps	Eté	Automne
P (mm)	31.5	55.8	24.1	69.9

II. 2 Température

La température est l'un des éléments fondamentaux dans l'établissement du bilan hydrologique et dans la détermination du caractère climatique d'une région.

Le tableau 5 nous donne les minima et maxima ainsi que les températures moyennes pour la période 1983-2013 (Fig.6) :

- Les moyennes $T_{moy} = (T_{max} + T_{min}) / 2$ (tableau 5).

La répartition de la température moyenne mensuelle permet de considérer le mois de janvier comme le plus froid (7.6°C) et le mois de juillet comme le plus chaud (29.8°C).

Tableau 5 : Températures mensuelles : minimum, maximum et moyenne (1983-2013)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
Tmax (°C)	31.5	32.1	18.7	14.5	13.7	16	19.3	22.9	27.4	33.5	37.6	36.6
Tmin (°C)	17.1	12.3	6.5	2.9	1.5	3.2	6.5	9.6	13.7	18.7	22.1	21.2
Tmoy (°C)	20	22.2	12.6	8.7	7.6	9.6	12.9	16.3	20.5	26.1	29.8	28.9

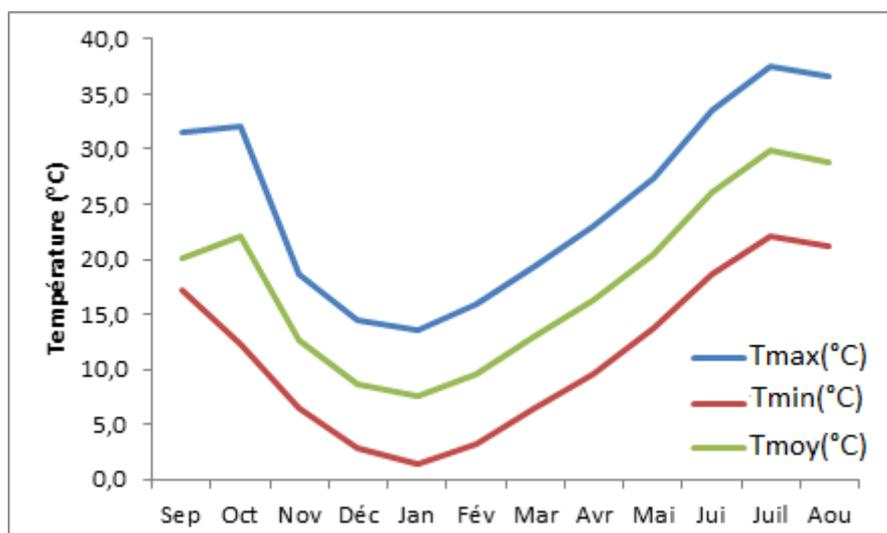


Fig. 6 : Variation des températures moyennes mensuelles (1983-2013)

II.3 Régime climatique

D'après les études effectuées dans la région (Mansour 2007 ; Rahmani 2008) les vitesses du vent varient entre 15.4 Km/h et 4.9 Km/h avec des moyennes de 10.1 Km/h.

Les valeurs d'humidité comprises entre 69.3% au mois de décembre 2013 et 17.9% au mois de juillet 1984 avec une moyenne de 43.6 %.

La région est caractérisée par un climat semi-aride à aride avec des étés chauds et des hivers froids.

III CADRE GEOLOGIQUE ET STRUCTURAL

III.1 Aperçu géologique

Les Monts des Ksour appartiennent au domaine atlasique qui correspond à un groupe de chaînons intracontinentaux formé de terrains méso-cénozoïques plissés lors de l'orogénèse alpine (Kacemi 2013).

La lithostratigraphie de cette série se résume comme suit (Fig.7):

III.1.1 Trias

Le Trias diapyrique se compose d'argile bariolée versicolore, d'évaporites, de carbonates noirâtres et des couches minces basaltiques (Douihasni 1976).

Il affleure généralement le long des failles favorisant sa remontée, il occupe généralement le cœur des anticlinaux sous forme de diapir.

III.1.2 La série Jurassique

- **Lias** : D'une épaisseur moyenne de 800 m, il est formé par des calcaires et des marnes, c'est la formation de Chemarikh.
- **Dogger** : Il est formé de marnes, de calcaires récifaux, de dolomies et de grès. Il regroupe les formations de Teniet El Klakh, Tifkirt et celle de Djara.
- **Malm** : Le faciès est généralement détritique, formé de grés et d'argile. Il constitue en grande partie la " formation d'Aïssa ".

III.1.3 Jurassique supérieur – Crétacé inférieur

- a. **Formation d'Aïssa** a été localisée essentiellement à Djebel Aïssa et Mekter. Elle est formée d'une alternance de grès massifs rosâtres à stratification oblique et d'argile pélitique violette.

b. Formation de Tiloula : elle est constituée d'argiles pélitiques versicolores, des grès de couleur claire, de petits bancs de dolomies et de rares lits gypseux (Bassoulet 1973).

c. Formation de Tioutaété définie par Bassoulet (1973), elle englobe généralement des argiles et des grès. Elle correspond à un épandage détritique terrigène qui se généralise à la fin du Crétacé inférieur. Cette formation est attribuée au Barrémo-Apto-Albien (Douihasni 1976). Le synclinal de Tiout est situé entre Djebel Aïssa au Nord, Djebel Mekter au Sud et Djebel Djara au Sud-Est. A Tiout, cette formation est d'une puissance de plus de 1065m, est en continuité régulière sur la « formation de Tiloula ». La limite inférieure est marquée par l'apparition de niveaux gréseux d'épaisseur importante, de couleur rosâtre. Ces grès sont à grains moyens à grossiers, à dragées de quartz et à stratification entrecoupées (Kacemi 2013).

Cette formation a été subdivisée en trois membres selon la composition lithologique et la géomorphologie :

c. 1 Membre inférieur : est caractérisée par trois ensembles lithologiques qui apparaissent au-dessus d'une combe argileuse de couleur verte à la base et au sommet une alternance de grès de couleur clairs. Elle présente un pendage moyen de 70° vers le NO et elle est constituée de séquences binaires (grès-argile) qui se répètent sur les 115 m. Ces trois ensembles sont organisés en barres métriques à décamétriques de grès rosâtres à rougeâtre, respectivement 23m, 26m et 35m séparés par des argiles de couleur rougeâtre (13 m d'épaisseur en moyenne).

Ces barres à base ravinante sont chenalisées et sont constituées de grès grossiers à dragées de quartz, à ciment argileux. Ces grès présentent des stratifications de grande ampleur entrecoupées à la base et oblique au sommet avec des rides de courant. Au-dessus, les argiles sont parfois intercalées de grès d'épaisseur décimétrique à grains moyens à fins de couleur rosâtre (Kacemi 2013).

c. 2 Membre médian : Il s'agit d'une combe argileuse avec quelques niveaux gréseuxchenalisés. Le pendage moyen des couches est de 25° NNO. Après les 200 premiers mètres on a une alternance rapprochée de grès, de dolomie et de quelques lits gypseux intercalés dans les argiles.

Les 350 m qui suivent se présentent en combe où on peut observer dans les argiles une alternance très espacée de grès, d'argiles pélitiques et de très peu de dolomie.

Les derniers 200 mètres sont constitués presque uniquement d'argiles verdâtres, avec quelques passées millimétriques à centimétriques d'argiles et très peu de gypses au sommet (Kacemi 2013).

c. 3 Membre supérieur : Le pendage des couches s'affaibli dans ce membre, moins de 12° NNO à la base et s'annule vers la fin de la formation (le cœur du synclinal). Essentiellement gréseux, il constitue la « Dalâa de Tiout ». Il s'agit de séquences typiquement fluviatiles (de Bersier) qui se répètent au sommet inférieur, sauf que le taux des argiles diminue du bas vers le haut, de 35m à la base à de simples diastèmes vers le sommet (Kacemi 2013).

III.1.4 Formations post – turoniennes

Elles sont constituées de dépôts d'âge Sénonien, Tertiaire ou Quaternaire, aucune de ces formations n'a pu être datée, ce sont des calcaires, des grès et des conglomérats.

III.1.5 Formations quaternaires

Les formations quaternaires sont constituées par plusieurs types de dépôts :

- **Les limons anciens :** attribués au Plio-Quaternaire et Quaternaire ancien et constituent des alluvions connues sous le terme de « formations tufacées » (Galmier 1972). A ces limons anciens sont rattachés des tufs et travertins localisés à proximité des sources et souvent liées à des accidents (Douihasni 1976).
- **Colluvions de piémonts :** constitués de cailloutis formant les brèches de pente.
- **Alluvions anciennes :** ce sont des formations argilo-sableuses et conglomératiques. Elles sont peu épaisses, localisées sur les étendues planes ou dans les dépressions de faible pente.
- **Alluvions récentes** sont constituées de sables et jalonnent les lits des Oueds.
- **Formations éoliennes :** elles sont assez répandues dans la région d'Aïn Séfra. Ces accumulations sableuses constituent les dunes qui jalonnent la partie Nord et Nord-Est du Djebel Mekter.

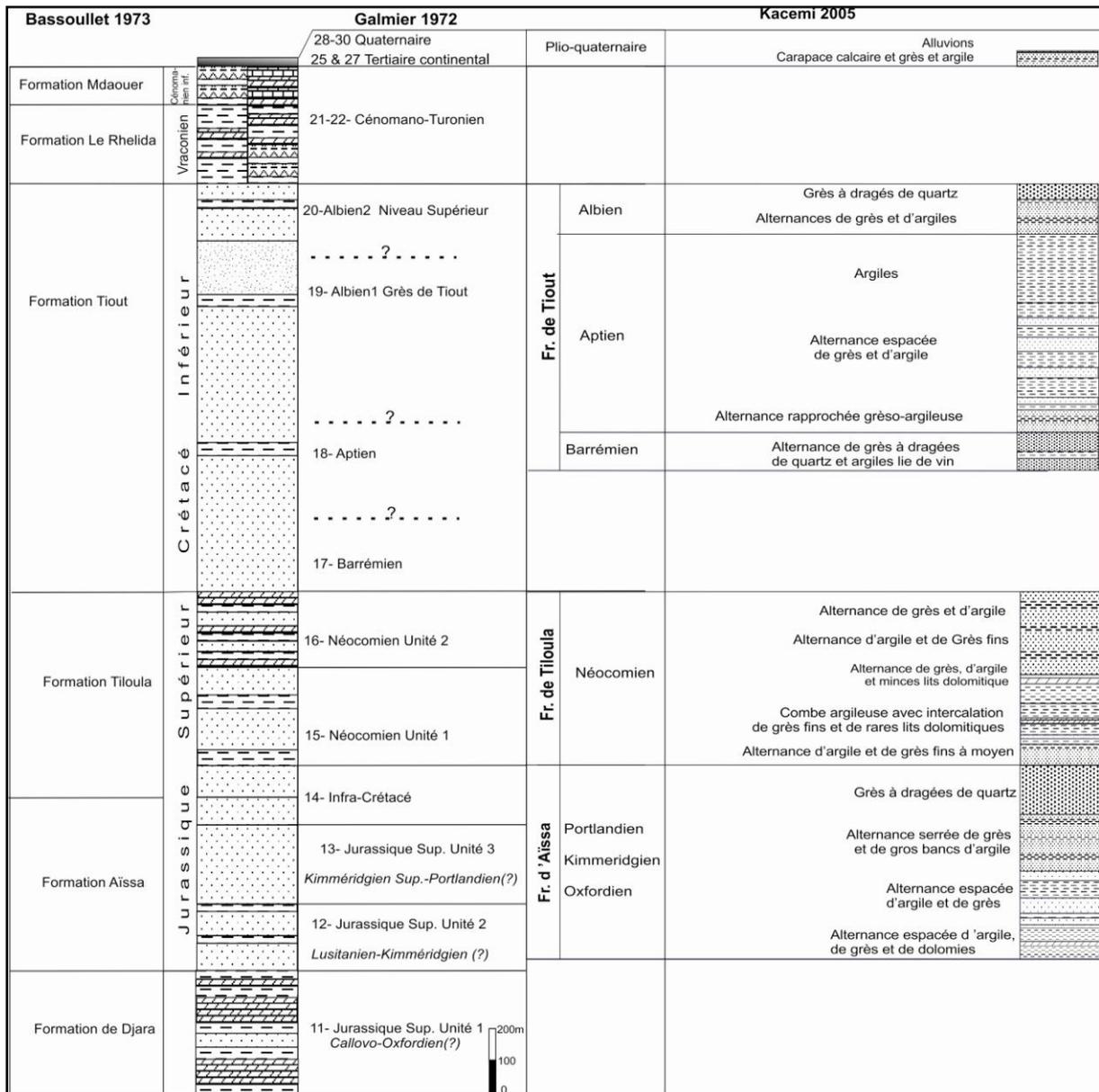
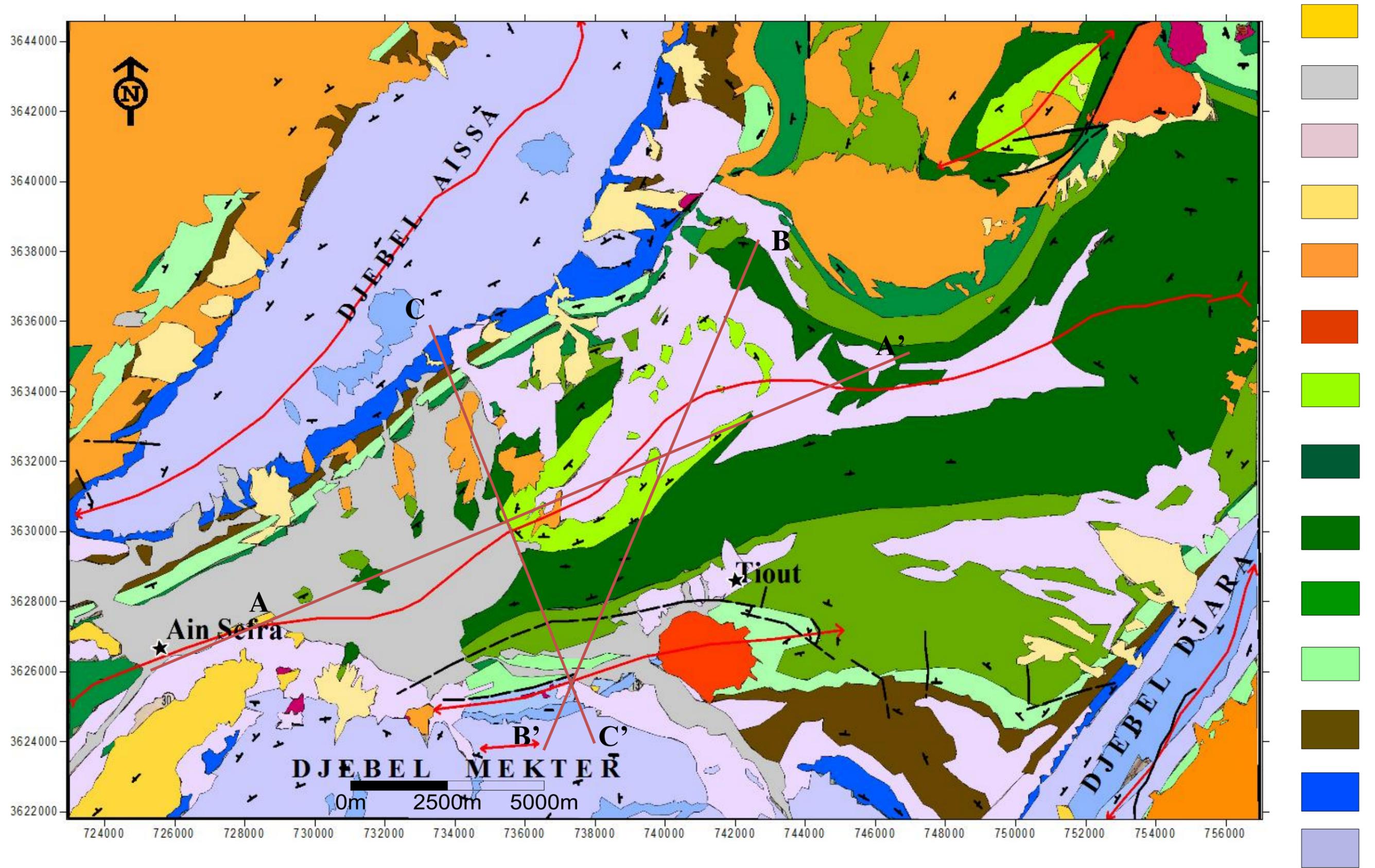


Fig. 7 : Attribution stratigraphique des formations détritiques dans la région d'Aïn Séfra (Yousfi 2014)



★ Localités

— Faults

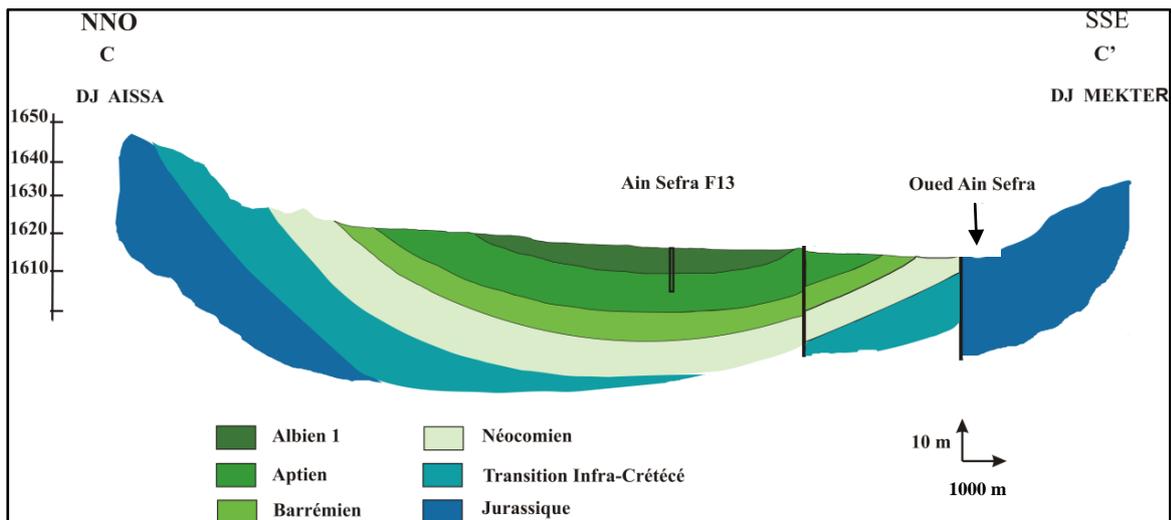
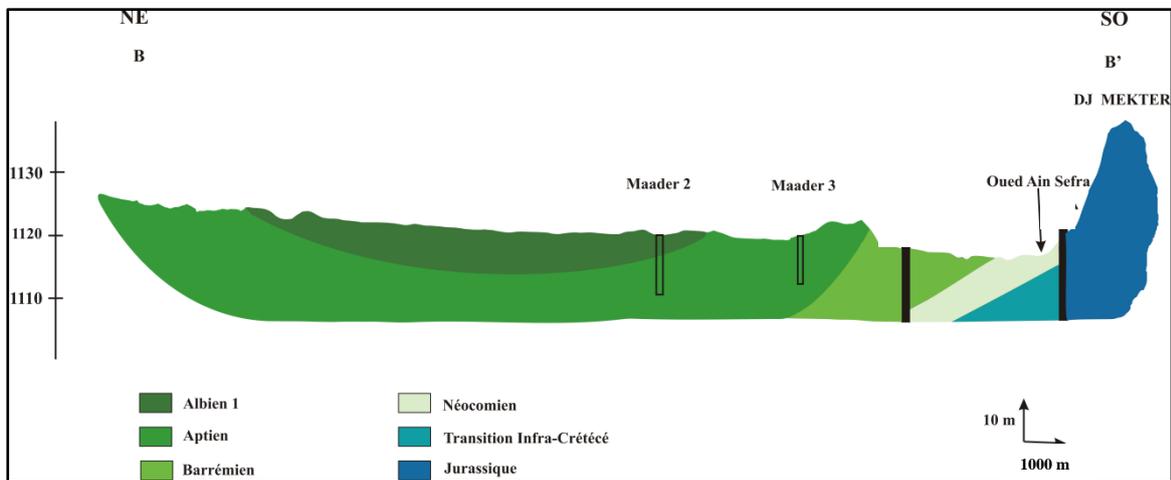
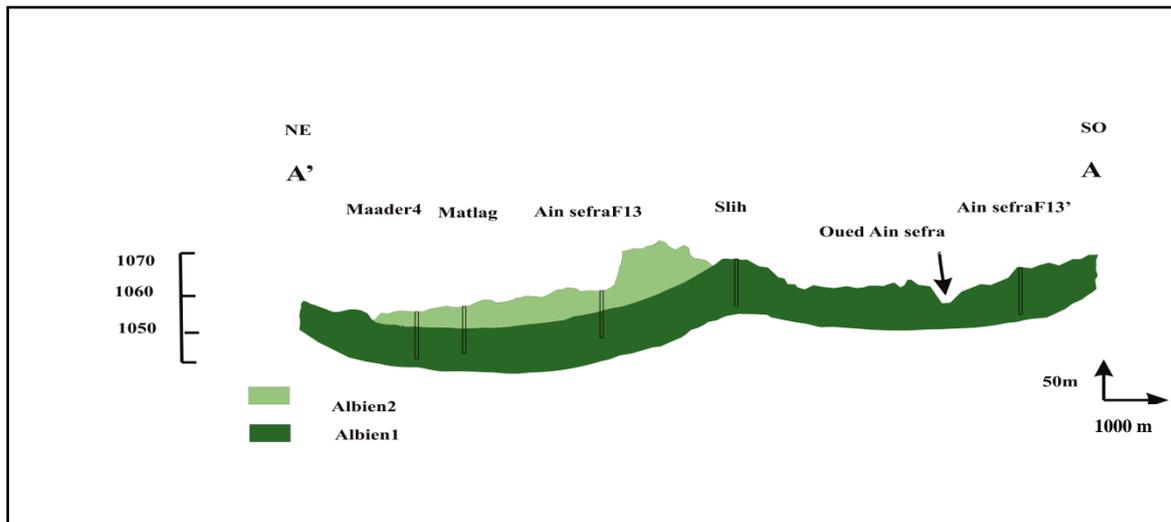


Fig. 9: Coupes géologiques

Les coupes géologiques (Fig.9) AA', BB' et CC' sont établies à partir de la carte géologique (1/100 000^{ème}) d'Aïn Séfra (Fig. 8) et des logs stratigraphiques des forages ; ces coupes montrent que la cuvette de Tiout est un synclinal à fond plat.

III.2 Aperçu structural

Au cours de l'histoire tectonique, l'Atlas saharien a été le siège d'une tectonique cassante et souple marquée respectivement par des accidents cassants et des plis à structures complexes lié à l'action conjuguée des rejeux de socle et de la mobilité et plasticité du Trias. Ce bassin a connu des phases distensives et compressives durant le Méso-Cénozoïque, (Douihasni 1976) *In Ben Sefiaet al. (2002) :*

- **Un style de tectonique souple** marqué par des plis coffrés séparés par des aires synclinoriales. Les terrains jurassiques constituent les grandes structures anticlinales formant des alignements orientés NE-SO (Galmier 1972).
- **Un style de tectonique cassante** représenté par des failles de direction générale NE-SO, recoupées par d'autres accidents NO-SE (Galmier 1972).

L'étude de la fracturation permet d'individualiser deux zones principales dans l'Atlas saharien occidental (Douihasni 1976) :

- Une zone occidentale à très forte fracturation où les accidents Nord-Sud, N30° et N40°E jouent un rôle prépondérant.
- Une zone centrale, où la fracturation diminue mais demeure importante et est représentée par les directions :
 - N70°E à N85°E, correspondant à des cisaillements importants au niveau de Djebel Mekter.
 - N110°E à N160°E ces directions recoupant l'ensemble des structures sont postérieures aux plissements. Les accidents N110°E généralement dextres, sont très bien marqués au Dj Mekter et Aïssa et peu exprimés au Djebel Morhad (Galmier 1970).

L'analyse statistique réalisée sur les linéaments appliqués sur des images satellitales dans les Monts des Ksour (Mohiddine et Toumi 2012). Cette analyse montre que le Jurassique comporte la grande partie des linéaments des Monts des Ksour avec un pourcentage de 74.17%, et le Crétacé représente 9.45% de la totalité des linéaments. Cette analyse nous a

permis de distinguer trois directions : une direction principale E-O, l'autre NO-SE et la dernière NE-SO.

- **Les diapirs triasiques** : Les mouvements du Trias se sont fait soit horizontalement avec entraînement de la couverture, soit verticalement avec rehaussement des structures. Les masses diapiriques intrusives sont alignées le long des axes des anticlinaux de direction NE-SO (aux cœurs des anticlinaux) généralement au contact des failles inverses longitudinales. Elles sont aussi localisées au voisinage de quelques accidents décrochant subméridiens NNO-SSE et E-O, au N-E de Chémarikh important décrochement kilométrique dextre. Le long des falaises du Chémarikh jaillissent les eaux thermales sulfuro-magnésiennes, à la faveur de l'accident d'AïnOuarka.(Kacemi 2013).

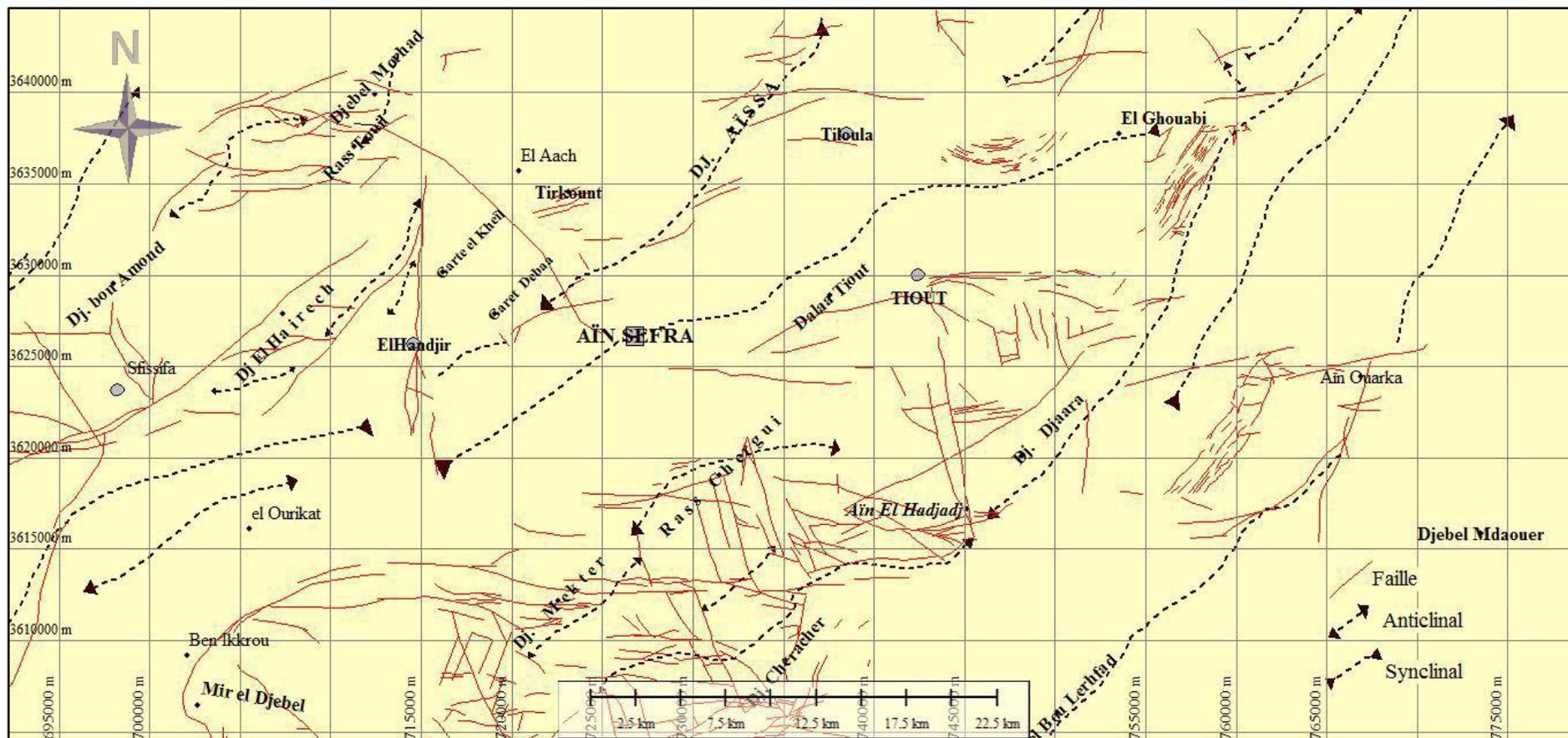


Fig.10 : Carte structurale de la partie occidentale et centrale des Monts des Ksour (base de la carte photogéologique de D. Galmier 1972, et l'accident Ras Touil-AïnSéfra) (Yousfi 2014)

CHAPITRE II : HYDROGEOLOGIE

L'hydrogéologie est une discipline des sciences de la Terre, qui se spécialise dans la recherche et l'exploitation des eaux souterraines et étudie comment les matériaux géologiques influencent la circulation et la qualité des eaux souterraines (Castany 2002) Cette partie de notre travail est consacrée à représenter le contexte hydrogéologique du synclinal de Tiout.

I. LES FORMATIONS AQUIFERES

La série sédimentaire débute par les formations continentales de Djara et d'Aïssa du Jurassique (une alternance d'argiles, des dolomies et des grès). Elles sont surmontées par une série néocomienne principalement argileuse avec des intercalations gréseuses (la formation de Tiloula). Ensuite un immense ensemble gréseux du Barrémo-Apto-Albien appelé aussi le Continental Intercalaire, comble le fond des dépressions du bassin hydrogéologique ; l'ensemble est déformé par des plissements à fond plat et cassé par des accidents tectoniques. Le Tertiaire et le Quaternaire sont essentiellement constitués de carapace calcaire, de grès, des alluvions et de sables dunaires. Seules les séries supérieures du Crétacé, du Tertiaire et du Quaternaire, renferment des nappes exploitables à potentiel hydrique important.

Selon les différentes études géologiques et hydrogéologiques réalisées sur la région d'AïnSéfra (Abada 1984, Kacemi 2005, Mansour 2007, Rahmani 2008), une colonne hydrogéologique a été élaborée pour visualiser en profondeur les aquifères et simplifier leur aspect litho-hydrodynamique. Cette colonne identifie plusieurs formations hydrogéologiques (fig. 11) : aquifère multicouche jurassique ; l'aquifère multicouche crétacé et les formations néocomiennes semi-perméables jouant le rôle d'un substratum pour l'aquifère crétacé, en assurant une séparation partielle avec celui du Jurassique (Yousfi 2014) :

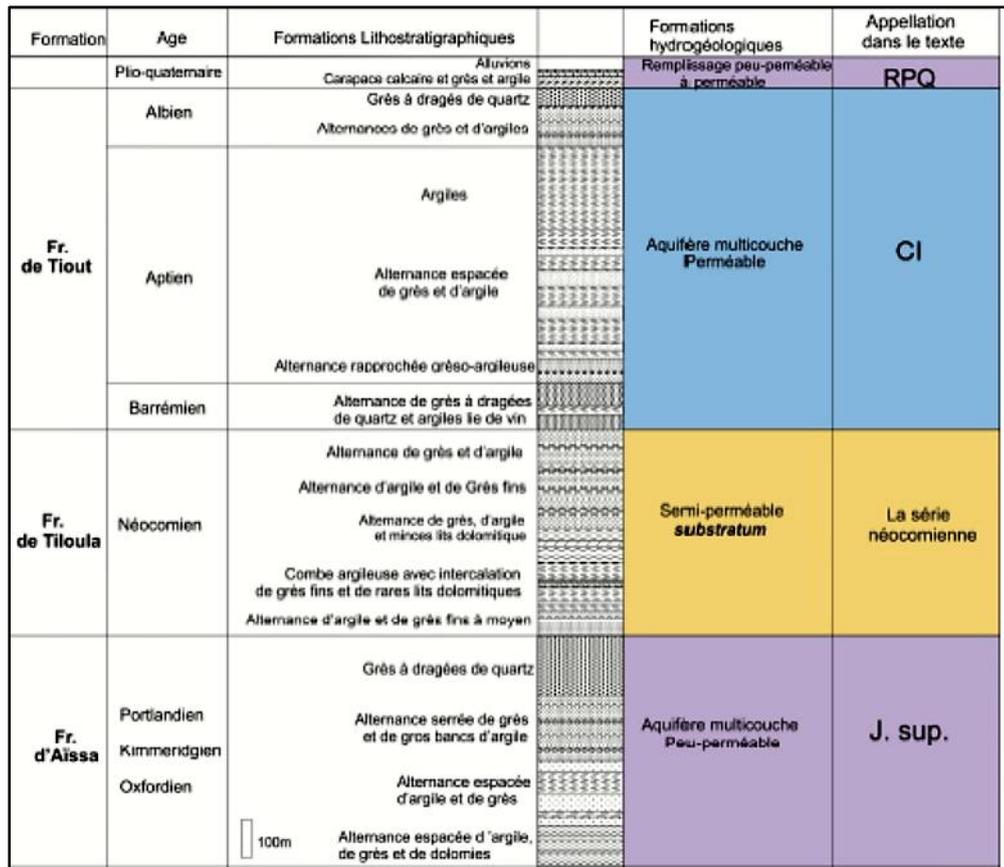


Fig. 11 : Propriétés hydrogéologiques du Jurassique Supérieur et du CI de la région d'AïnSéfra (Yousfi 2014).

I.1 La nappe du Jurassique

Le Jurassique peut constituer un des aquifères importants toutefois sa présence dans la région à plus de 500 m de profondeur rend difficile son exploitation (Mansour 2007).

Il existe certes quelques points d'eau dans la partie Ouest des Monts des Ksour (région de Sfisifa), mais sont d'un débit insignifiant à l'exception de l'émergence de quelques sources à Djebel Aïssa (source d'Aïn el Beida), à Djebel Mekter (source AïnSrara) et à Djebel Afzouz (Source d'AïnTessala) (Fig. 11).

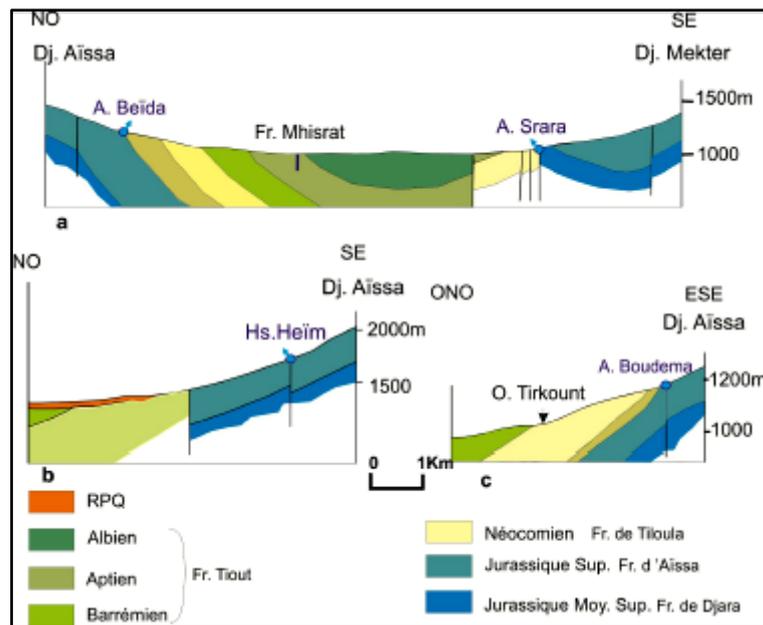


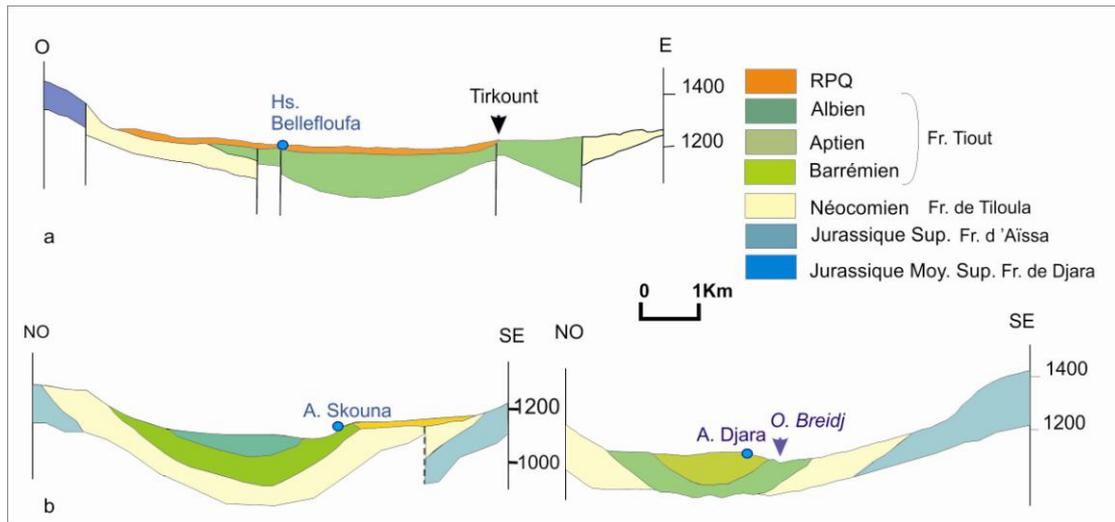
Fig. 12 : Mécanismes d'émergence des sources du Jurassiquea : AinBeïda, AinSrara, b : HassiHaïm, c : AïnBoudema (Yousfi 2014)

I.2 La nappe du Crétacé (Barrémo-Apto-Albien)

C'est la seule nappe importante de la région et la plus exploitée par de nombreux forages. Le Barrémo-Apto-Albien est une formation gréseuse avec des passages argileux qui occupe généralement les dépressions ce qui favorise une bonne alimentation de la nappe que ce soit directement par son impluvium ou latéralement par les formations limitrophes et verticalement par les formations sous-jacentes. .

Les plus importantes sources de la région constituent les exutoires naturels de cette nappe (Fig. 12):

- AïnTirkount : pour l'unité hydrogéologique de GaretKheïl ;
- AïnSkhouna et Dzira : pour l'unité hydrogéologique d'El Handjir ;
- AïnChaïb et Tiout : pour l'unité hydrogéologique de Tiout.



**Fig. 13: Mécanismes d'émergences des sources du Crétacé
a : HassiBellefloufa, b : AïnSkhouna et AïnDjara (Yousfi 2014)**

I.3 La nappe du Mio-Plio-Quaternaire (Aquifère alluvionnaire) :

Cet aquifère représente un remplissage des dépressions du bassin hydrogéologique par des grès et d'argile rouge et une carapace calcaire tertiaires, ainsi que des alluvions et des colluvions quaternaires.

II. LA PIEZOMETRIE

II.1 Inventaire des points d'eau

Un inventaire des points au nombre de 24 a été réalisé au mois de septembre 2008, regroupant les puits et les forages (Rahmani 2008). Le tableau porté en (annexe tableau F) regroupe différents points d'eau du synclinal de Tiout (Fig. 13).

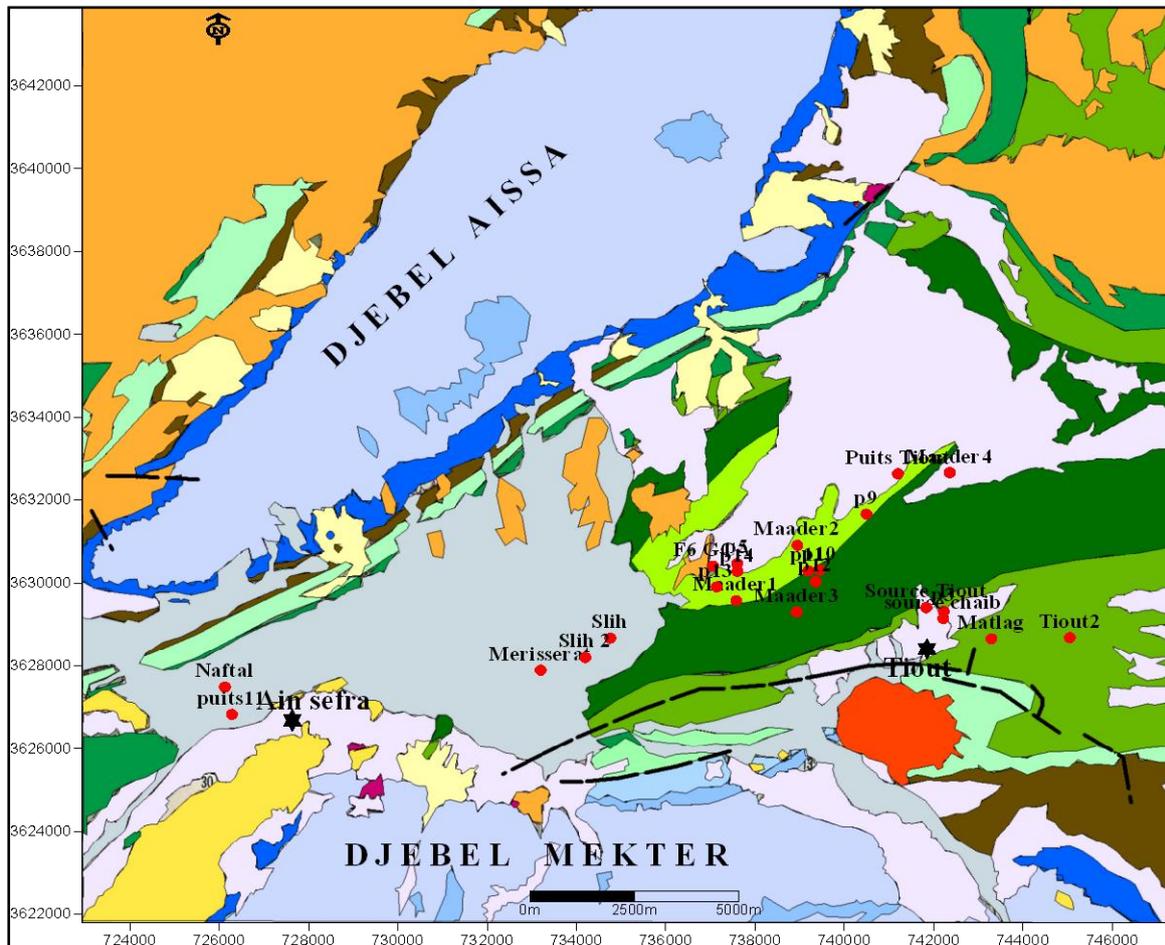
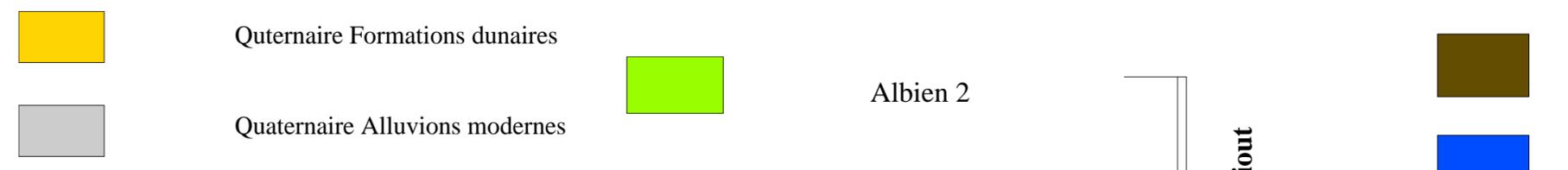
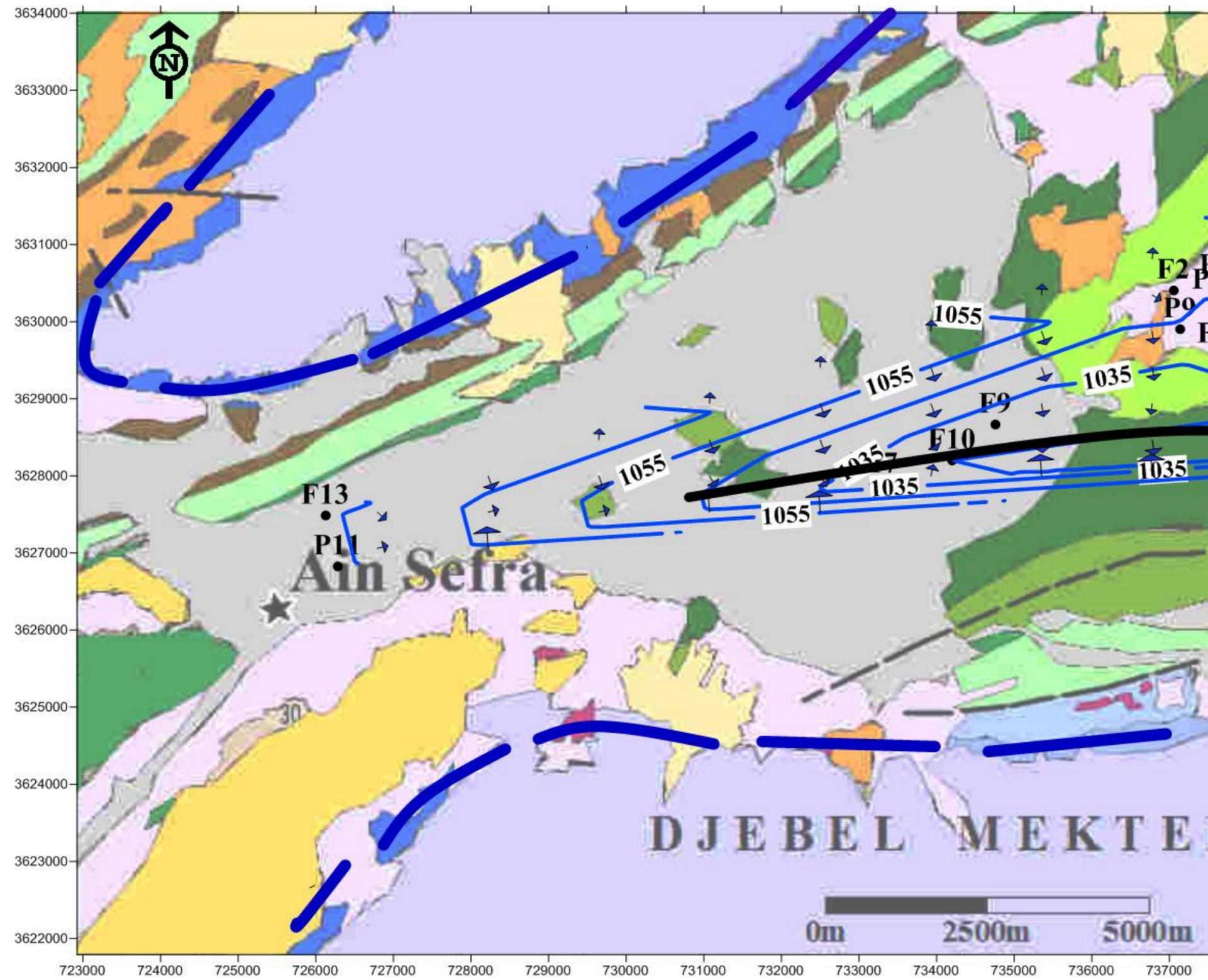


Fig. 14 : Inventaires des points d'eau (septembre 2008)

II.2 Interprétation de la carte piézométrique

La carte piézométrique représentée dans la figure 14 a été tracée sur la base des informations rapportées au tableau F (voir annexe).

La piézométrie nous a permis de distinguer un sens d'écoulement majeur de direction Ouest-Est. Le gradient hydraulique varié entre 0,0375 et 0,04285. Le sens d'écoulement indique que l'exutoire de la nappe Barrémo-Apto-Albienne du synclinal de Tiout est la source de Tiout et de Chaïb. L'alimentation de la nappe s'effectue par l'infiltration directe de la pluie, par ruissellement après les fortes averses et par les apports latéraux des formations jurassiques.



III. TRANSMISSIVITE

Par définition, la transmissivité est le débit d'eau qui s'écoule par unité de largeur d'un aquifère sous l'effet d'une unité de gradient hydraulique. Elle représente la capacité de l'aquifère à transmettre l'eau à travers une unité de surface. Elle peut donc nous informer sur la perméabilité du milieu. Selon que cette valeur est élevée ou faible l'aquifère peut être jugé bon ou mauvais (Castany 2002).

Des essais de pompage de longue durée (48h à 72h) à débit constant ont été effectués sur les différents forages (Rahmani 2008) (voir annexe tableau G) afin de déterminer la transmissivité des formations aquifères du Crétacé et du Mio-Plio-Quaternaire.

La répartition spatiale des transmissivités (Fig. 15) montre que les forages Slih 1, Slih 2, Maader 4, Maader 3 et Mehisserat donnent des valeurs de T comprises entre $3.5.10^{-2}$ m²/s et 1.10^{-3} m²/s. Les autres points d'eau ont des valeurs moyennes à faibles en raison des passages argileux.

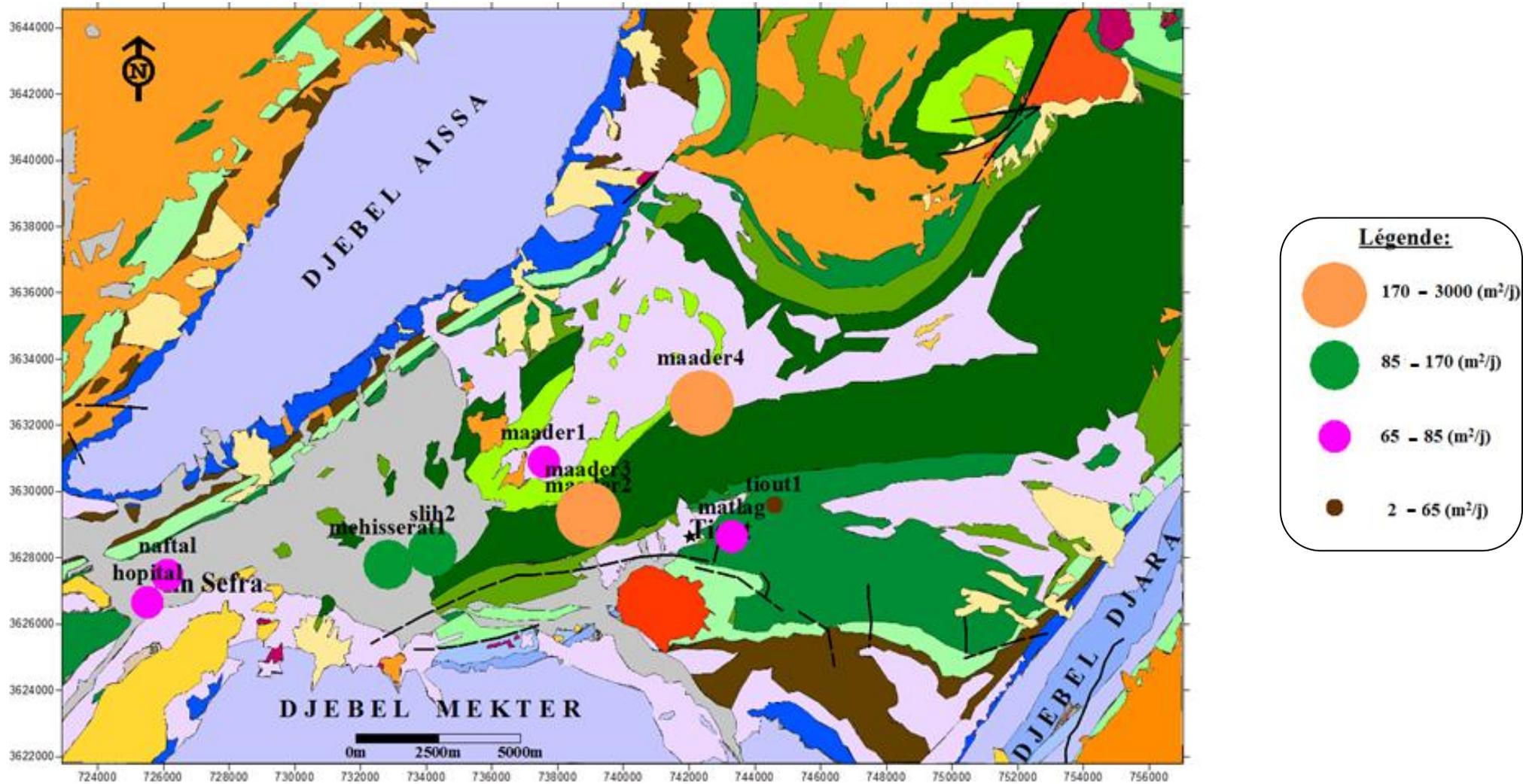


Fig. 16 : la carte de la Transmissivité

CHAPITRE III :

HYDROCHIMIE

INTRODUCTION

Les caractéristiques physico-chimiques des eaux : la température, le pH, la conductivité et les teneurs en éléments chimiques dissous sont en fonction de la nature lithologique des formations traversées. Dans ce chapitre nous avons essayé d'expliquer l'origine de la minéralisation des eaux de l'aquifère crétacé et mio-plio-quaternaire du synclinal de Tiout.

I. ETUDE HYDROCHIMIQUE**I.1. INTERPRETATION DES ANALYSES PAR BALANCE IONIQUE**

Les analyses peuvent être contrôlées par la formule suivante :

$$BI = \left| \frac{\sum r^+ - \sum r^-}{\sum r^+ + \sum r^-} \right| \times 100$$

BI > 5% : erreur dans l'analyse

2% > BI > 5% : erreur appréciable dans l'analyse

BI < 2% : bonne analyse

r : quantité en réaction (meq/l)

BI : balance ionique

Les résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur les échantillons prélevés dans les différents points d'eau sont portés en annexe (tableau H).

Les valeurs de la balance ionique des analyses des eaux sont inférieures à 2% dans les points d'eau Maader2, Slih, Tiout Gare, Tiout APC, Maader 3, Matlag, AïnSéfra F94, Puits Mehissrate donc on a de bonnes analyses (tableau 6).

Tandis qu'elles sont comprises entre : 2% et 5% pour les points d'eau : P7, Source Tiout, Maader 4, Tiout 2, Lahlaf donc on a des analyses acceptables.

Les valeurs de la balance ionique sont supérieures à 5% dans les points d'eau : P1, Naftal, Source Chaïb donc on a de mauvaises analyses.

Tableau 6 : Balance ionique

Nom points d'eau	Ca ⁺⁺ (meq/l)	Mg ⁺⁺ (meq/l)	Na ⁺ (meq/l)	K ⁺ (meq/l)	Cl ⁻ (meq/l)	SO ₄ ²⁻ (meq/l)	HCO ₃ ⁻ (meq/l)	NO ₃ ⁻ (meq/l)	Analyse
P1	7,5	2,58	4,56	0	4	4,41	3,72	1,2	mauvaise
P7	5,8	2,41	3,04	0	2,05	3,79	3,6	1,16	acceptable
Maader 2	5,6	3,83	2,6	0,1	2,87	4,39	3,78	0,85	bonne
Source Chaib	5,4	3,91	3,39	0,12	3,63	3,7	3,77	0,43	mauvaise
Slih	4,55	2,41	2,3	0,1	2,28	3,08	3,21	0,67	bonne
Tiout APC	9,1	7,83	8,43	0,07	10,28	10,47	4,42	0,22	bonne
Tiout Gare	3,8	4	3,39	0,23	3,46	4,39	3,06	0,3	bonne
Source Tiout	5,4	4,25	6	0,17	5,54	6,29	2,86	0,35	acceptable
Maade 4	10,4	6,25	16,95	0,17	11,71	15	3,63	0,41	acceptable
Maader 3	5,8	4,66	5,65	0,1	5,57	6,7	3,96	0,32	bonne
Tiout 2	28,05	12,58	23,82	0,51	32,67	30	5,06	1,12	acceptable
Ain Sefra F94	8,3	6,08	6,21	0,38	6,42	10,39	5,08	0,3	acceptable
Source Lahlaf	9,6	8,08	8	0,3	11,04	11,79	3,7	0,56	bonne
Matlag	5,6	3,41	21,6	0,33	19,57	7,6	4,04	0,14	bonne
Puits Mehisserat	20,05	7,66	24,21	0,25	24,08	23	4,55	0,38	bonne
Naftal	41,6	46,66	48,47	0,76	69,77	46,97	4,39	0,48	mauvaise

I.2.INTERPRETATION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUE

I.2.1. pH :

Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés, il varie habituellement normalement entre 7,2 et 7,6 d'après (Rodier, 2009), en revanche le pH des eaux de l'aquifère de Tiout est compris entre 6.5 et 8.4 s'explique que ces eaux traversent les formations jurassiques et crétaé.

II.2.2.Minéralisation

D'une façon générale, la minéralisation est plus élevée dans les eaux souterraines que dans les eaux superficielles. Les eaux très minéralisées sont riches en sodium, en calcium, en magnésium, en chlorure, en sulfate et en hydrogénocarbonates (Rodier 2009).

La figure 16 montre que les valeurs de minéralisation sont comprises entre 576 mg/l Maader4 et 4320 mg/l Ain Séfra F94, ce qui nous permet de classer la minéralisation en trois catégories :

- Minéralisation importante :
- Minéralisation élevée (Rodier 2009) dans les points d'eau : P7, Maader 2, Source Tiout, Maader 4, Puits Mehisserat et Slih.
- Minéralisations très élevée (Rodier 2009) dans les points d'eau : P1, Source Chaïb, Maader 3, Tiout 2, Naftal, Tiout APC, Tiout Gare, Source Lahlaf, Matlag et Aïn Séfra F94.

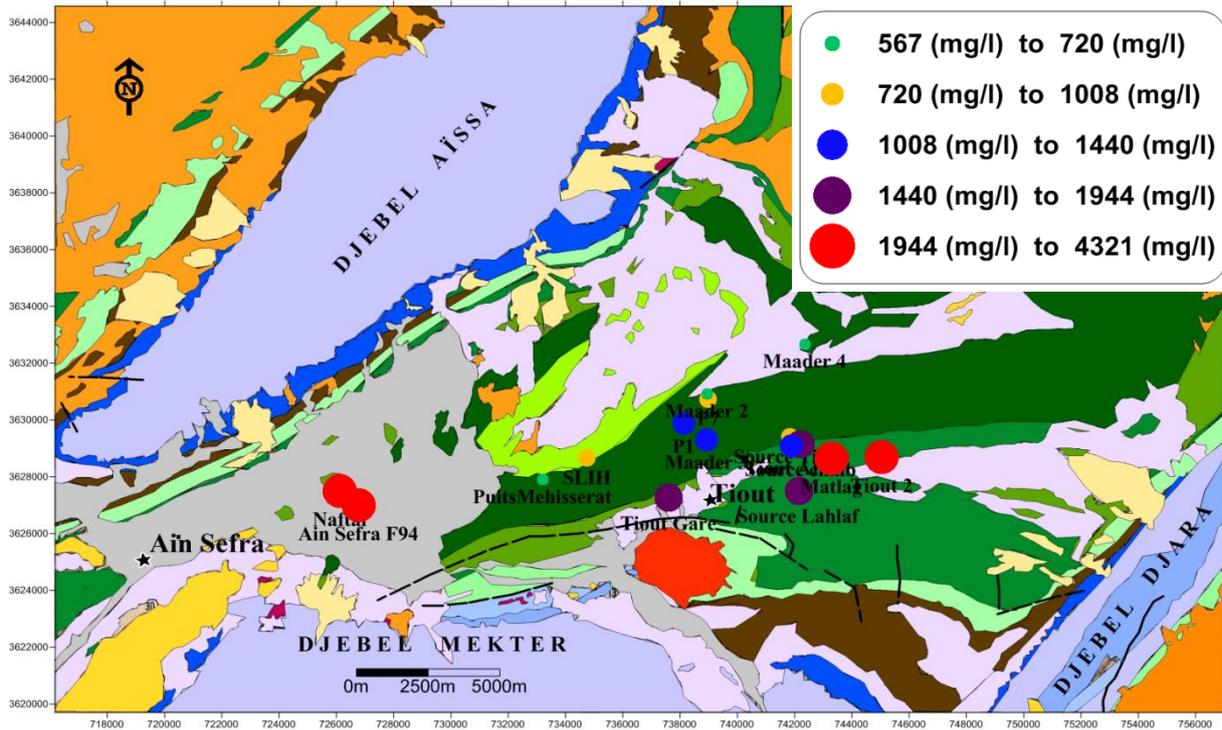


Fig.17 Carte de la minéralisation des eaux de l'aquifère gréseux du synclinal de Tiout

I.3 Cartes d'isoteneurs

L'étude des cartes d'isoteneurs permet de donner les indications sur l'origine des ions contenus dans les eaux souterraines.

I.3.1 Carte isoteneur Ca⁺⁺

Les teneurs de Ca⁺⁺ sont comprises entre 76 et 832 mg/l. La présence des ions Ca⁺⁺ dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles : soit la dissolution des formations carbonatées (CaCO₃) (bancs dolomitiques et calcaires jurassiques), soit la dissolution des formations gypseuses (CaSO₄) (passages gypseux aptiens) (Fig. 17)

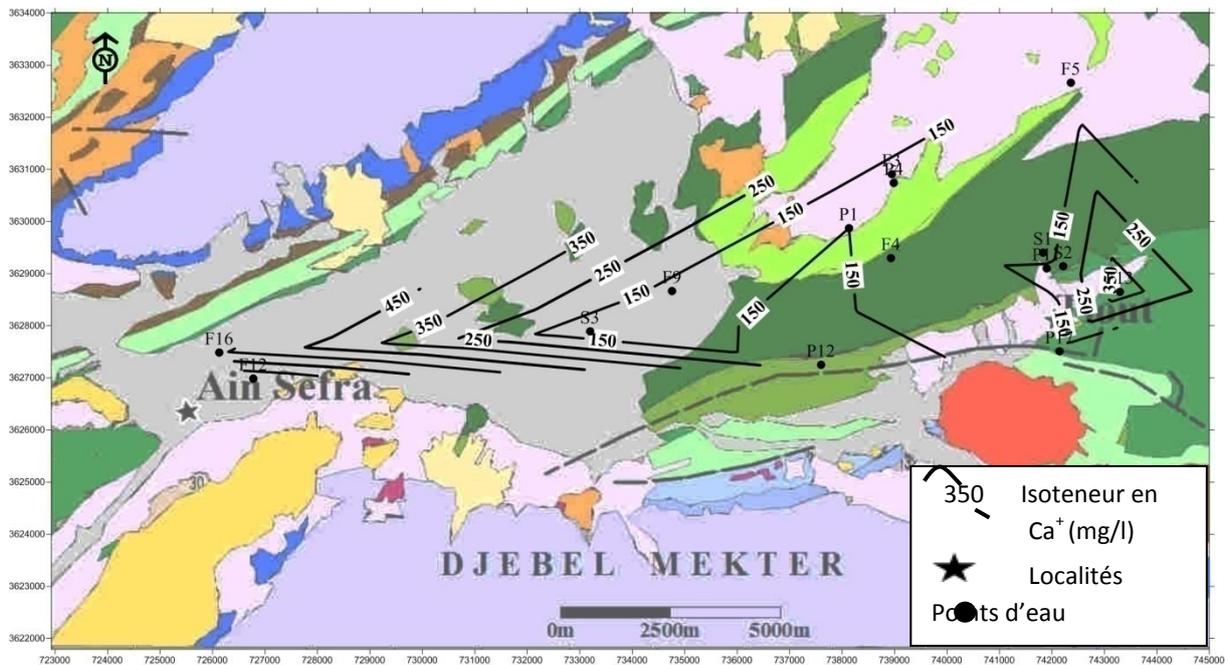


Fig.18 : Carte d'isoteneur Ca⁺⁺

I.3.2. Carte d'isoteneur Mg⁺⁺

Les teneurs de Mg⁺⁺ sont comprises entre 29 et 560 mg/l. Ses origines sont comparables à celle du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées limitrophes du Jurassique à fortes teneurs en magnésium [magnésite (MgCO₃) et dolomite CaMg (CO₃)₂] (Fig. 18).

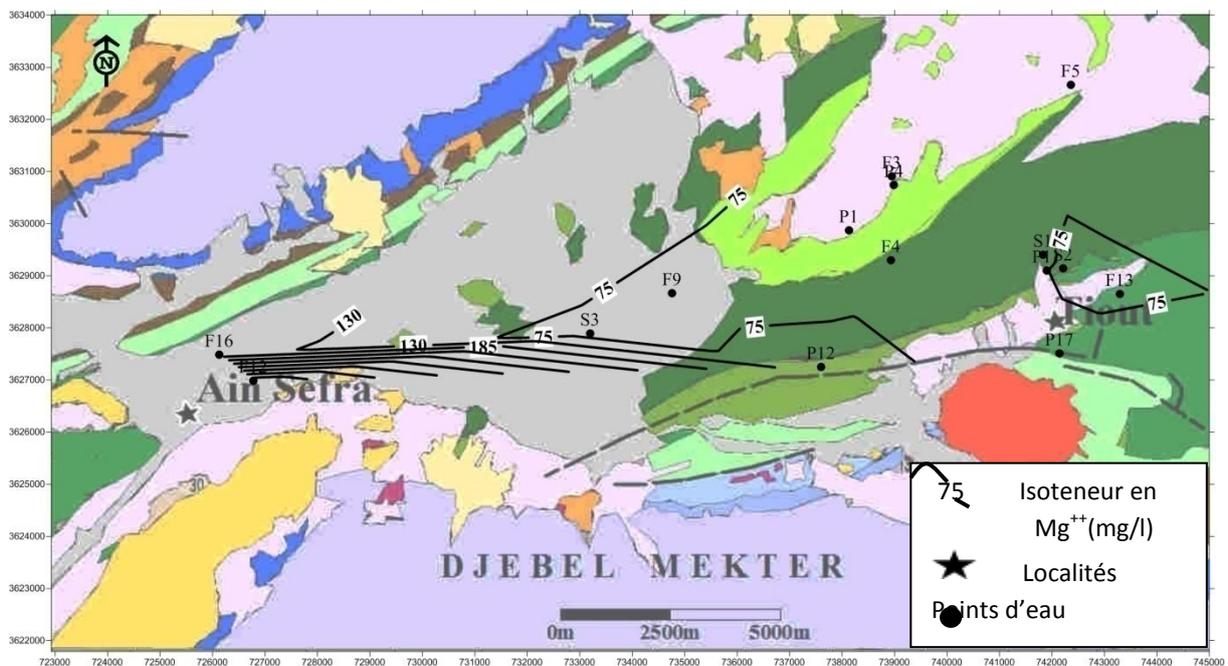


Fig.19 : Carte d'isoteneur Mg⁺⁺

I.3.3. Carte des isoteneurs Na^+ et Cl^-

Les teneurs de Na^+ sont comprises entre 53 et 1115 mg/l, et les teneurs de Cl^- sont comprises entre 73 et 2477 mg/l. La présence de ces éléments est liée probablement à la dissolution des formations salifères triasiques. Les teneurs les plus importantes sont observées au niveau d'Aïn Séfra où nous pouvons expliquer son origine par une intrusion triasique à la faveur de la faille Ras Touil- AïnSéfra détectée par la géophysique (Abada 1984, CGG 1974)(Fig. 19 et 20).

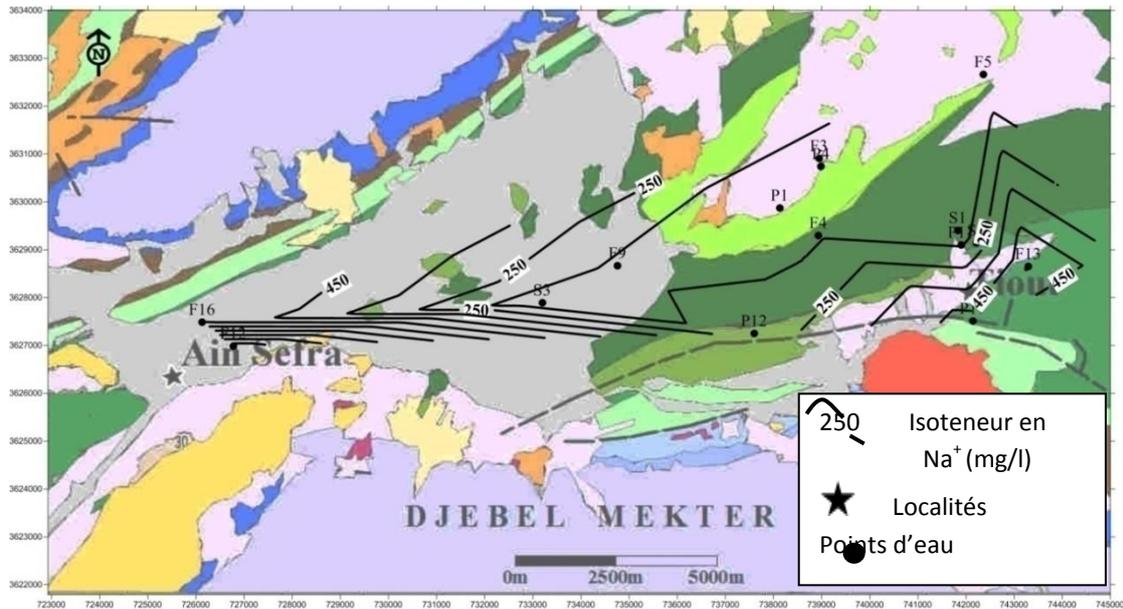


Fig. 20 : Carte d'isoteneur de Na^+

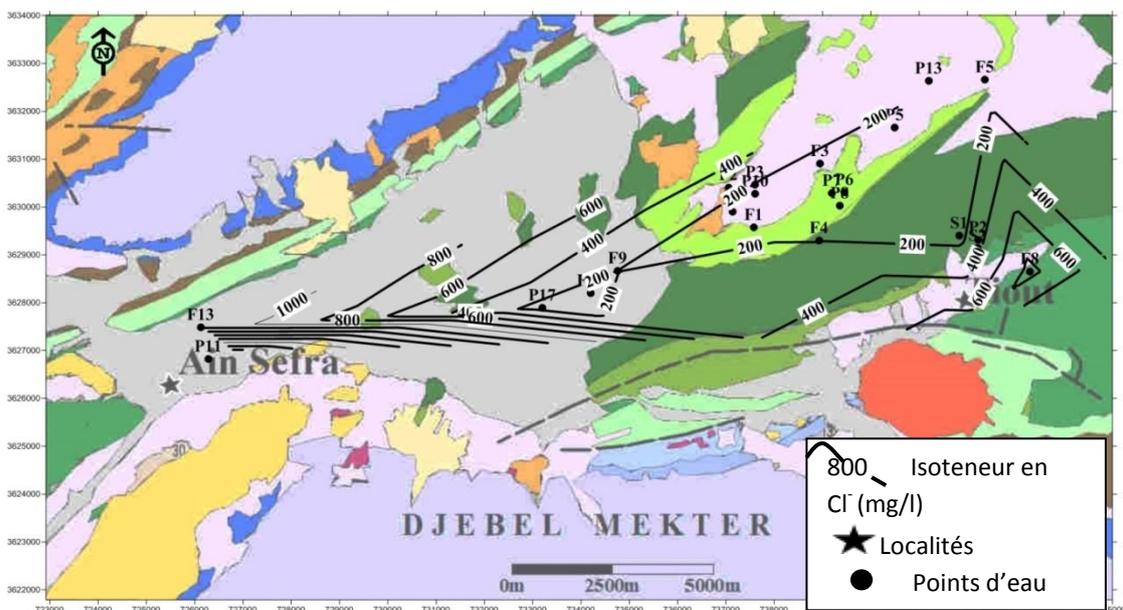


Fig.21 : Carte d'isoteneur Cl^-

I.3.4. Cartes d'isoteneur K^+

Les teneurs de K^+ sont inférieures à 30 mg/l. Le potassium provient de l'altération des formations silicatées (le Crétacé gréseux), des argiles potassiques (Fig. 21).

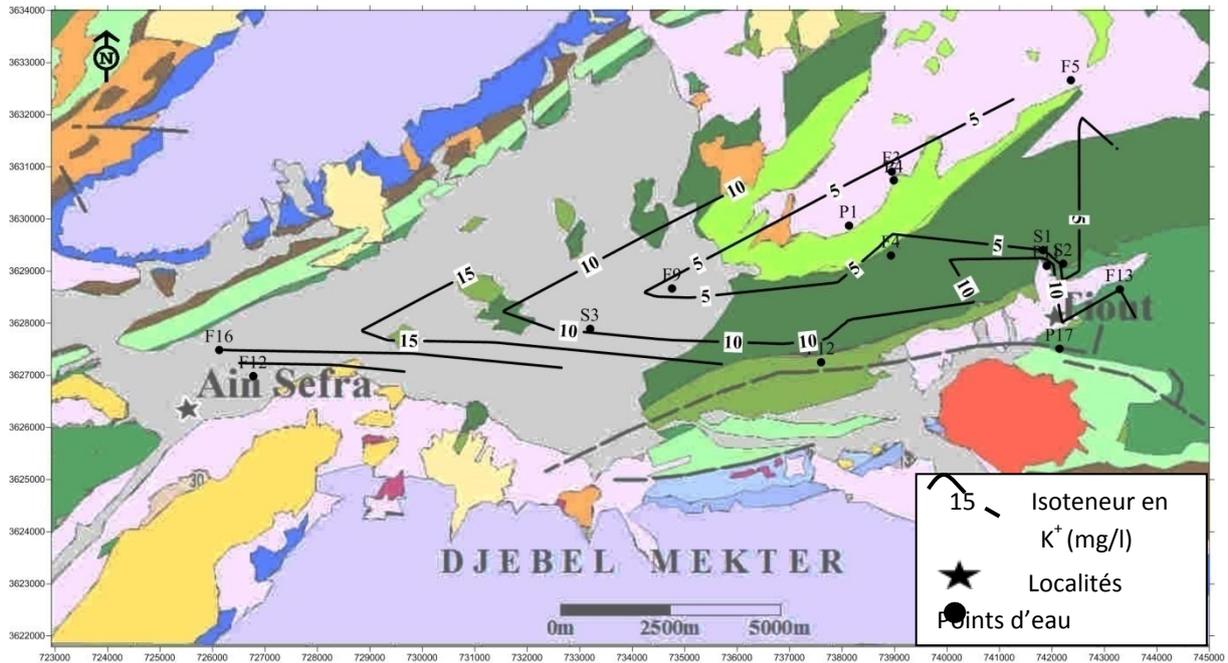


Fig.22 : Carte isoteneur K^+

I.3.5. Carte d'isoteneur SO_4^{-2}

Les teneurs de SO_4^{-2} sont comprises entre 148 et 2255 mg/l. La présence des ions des sulfates dans l'eau est liée, éventuellement à la dissolution des lits gypseux de la formation de Tiloula. (Fig. 22).

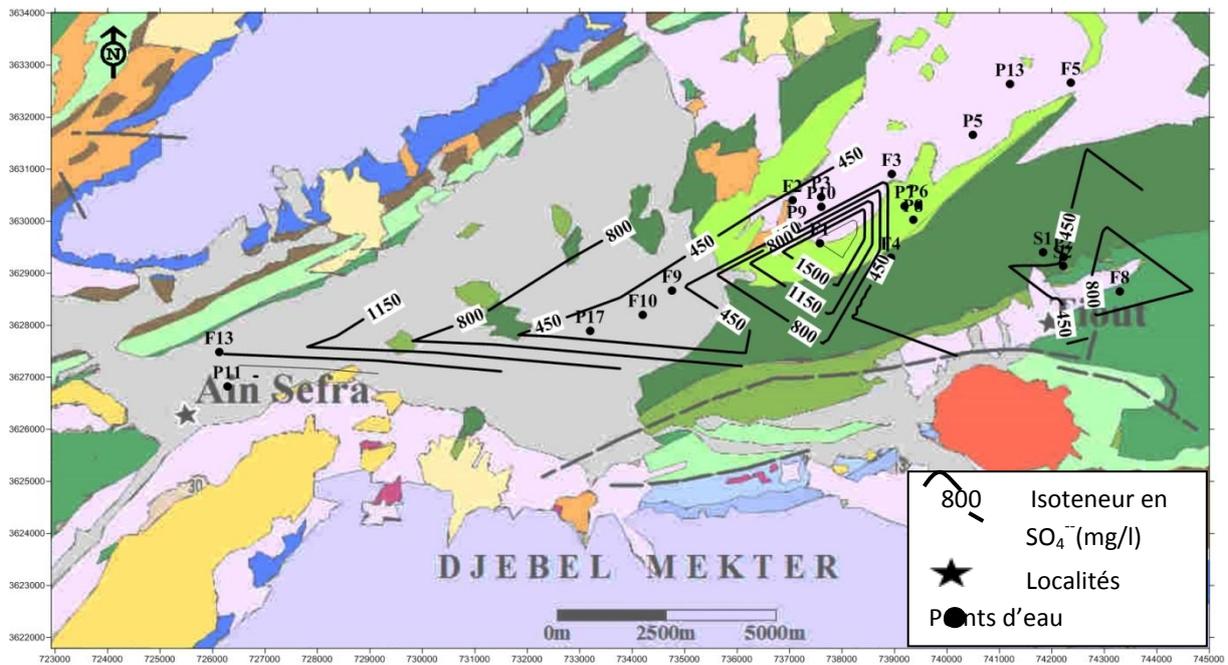


Fig.23 : Carte isoteneur SO_4^{2-}

I.3.6. Carte d'isoteneur HCO_3^-

Les teneurs de HCO_3^- sont comprises entre 175 et 310 mg/l. L'origine des bicarbonates est les formations carbonatées jurassiques coiffants la dépression de Tiout (Fig. 23).

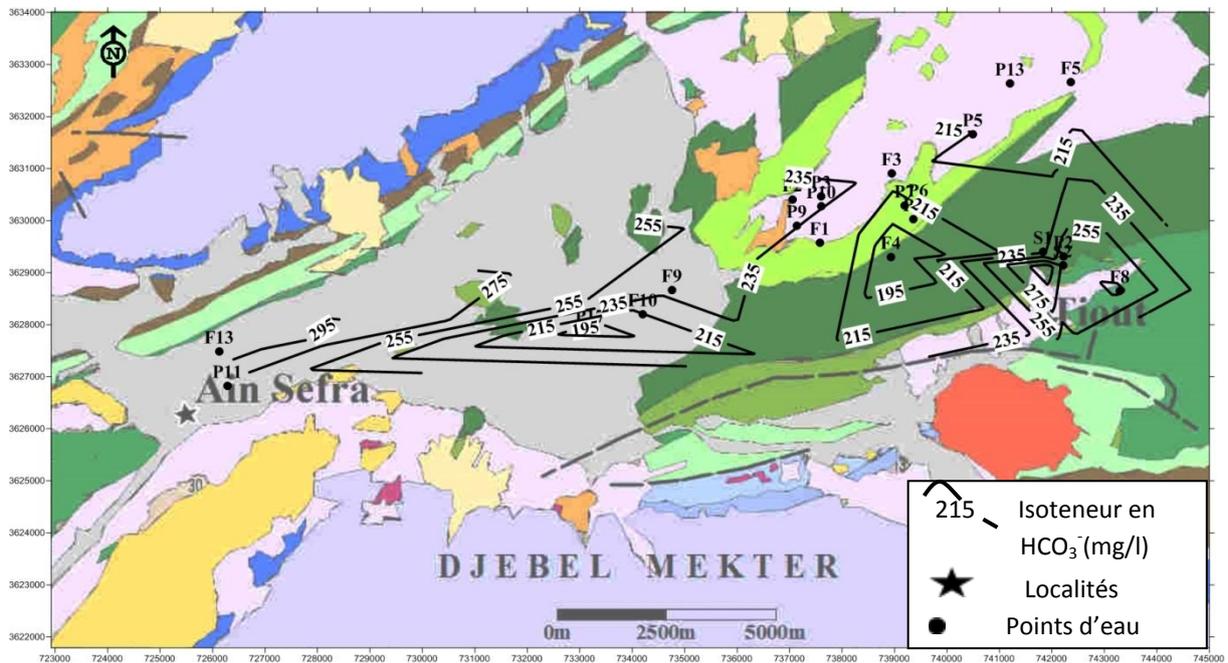


Fig.24 : Carte isoteneur HCO_3^-

I.3.7. Carte d'isoteneur NO_3^-

La teneur maximale de NO_3^- est observée au niveau du puits P1 et la teneur minimale est observée au niveau de la Source Lahlaf ; sa présence dans les eaux souterraines est liée à l'activité agricole (Fig. 24).

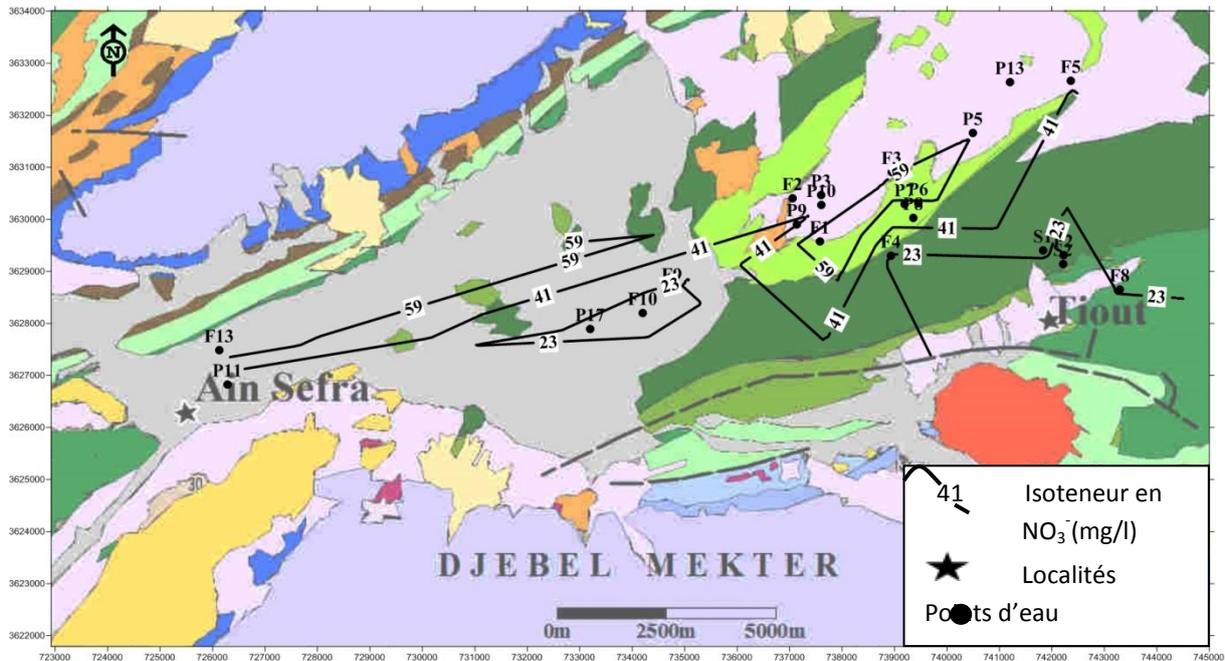


Fig.25 : Carte d'isoteneur NO_3^-

I.4. Les faciès chimiques

La représentation des données physico-chimiques sur les diagrammes du Piper, SchoellerBerkaloff et Stiff montrent plusieurs faciès chimiques qui dépendent de la nature lithologique.

Les faciès des eaux de l'aquifère crétacé et mio-plio-quaternaire sont (Fig. 25, 26, 27 et 28) :

- bicarbonaté calcique
- sulfaté sodique
- sulfaté calcique
- chloruré sodique
- sulfaté magnésien
- chloruré calcique

L'étude hydrochimique indique une minéralisation comprise entre 576 mg/l et 3168 mg/l. Cette minéralisation est en fonction de la lithologie.

Les cartes des isoteneurs et les diagrammes des faciès chimiques nous ont permis d'avoir des indications sur l'origine des ions. L'analyse statistique des paramètres physico-chimiques des eaux nous permettra d'affirmer ces hypothèses.

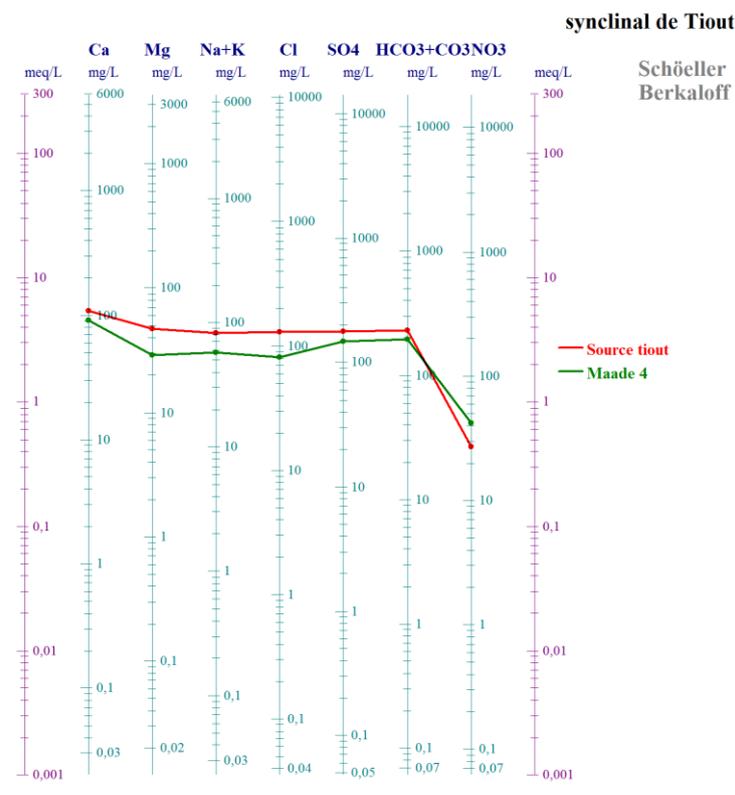
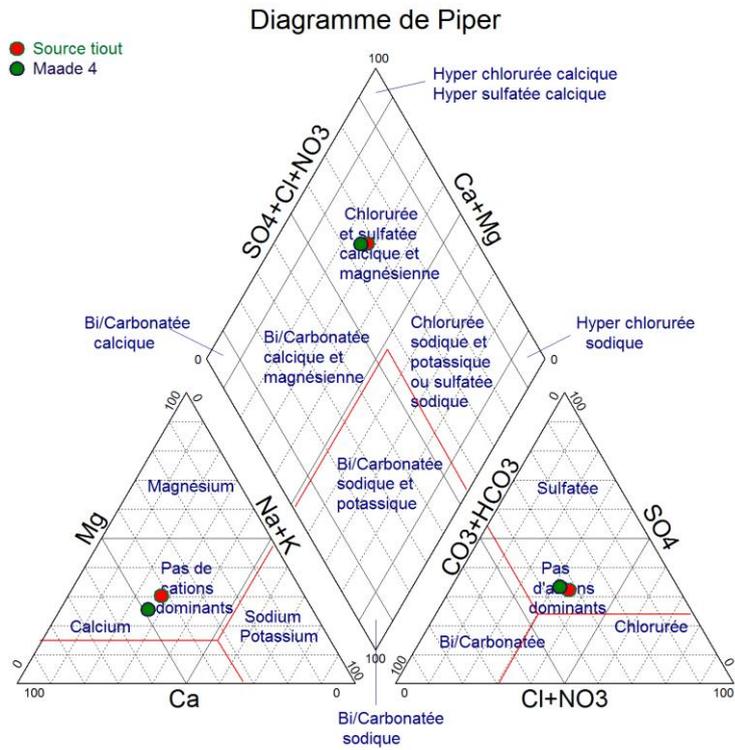


Fig. 26 : Diagramme du faciès bicarbonaté calcique

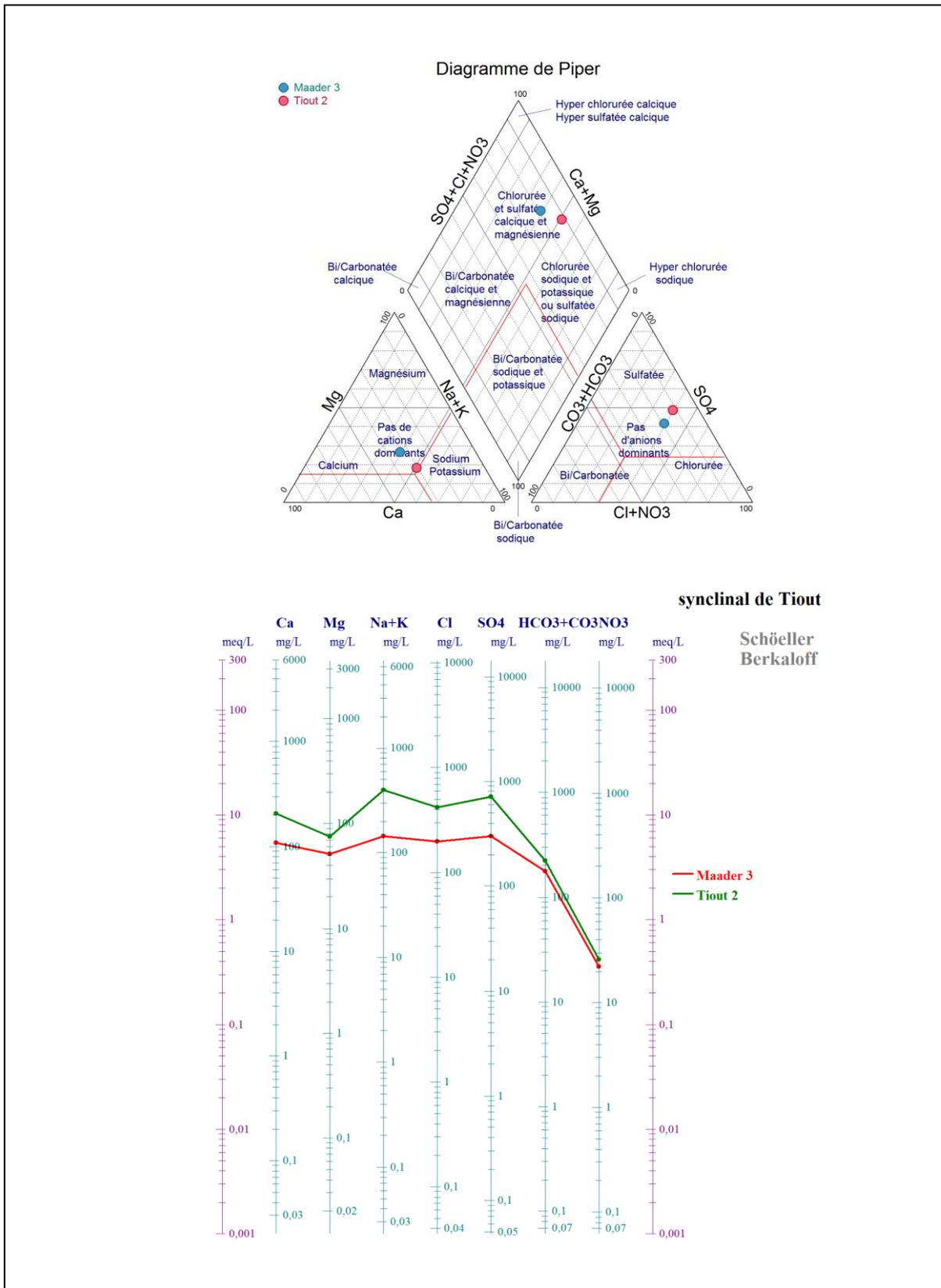


Fig. 27: Diagramme du faciès sulfaté sodique

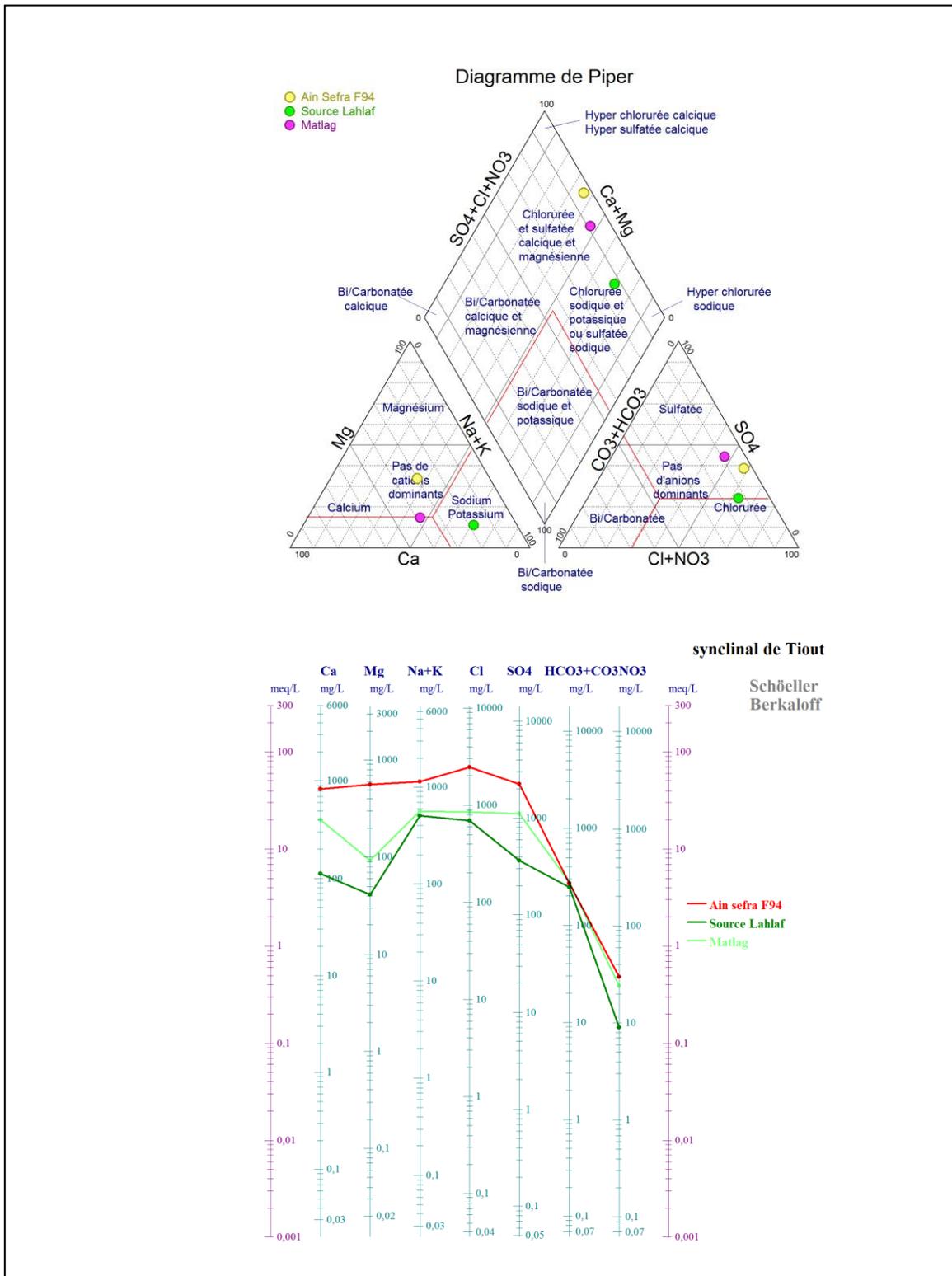


Fig. 28 : Diagramme du faciès chloruré sodique

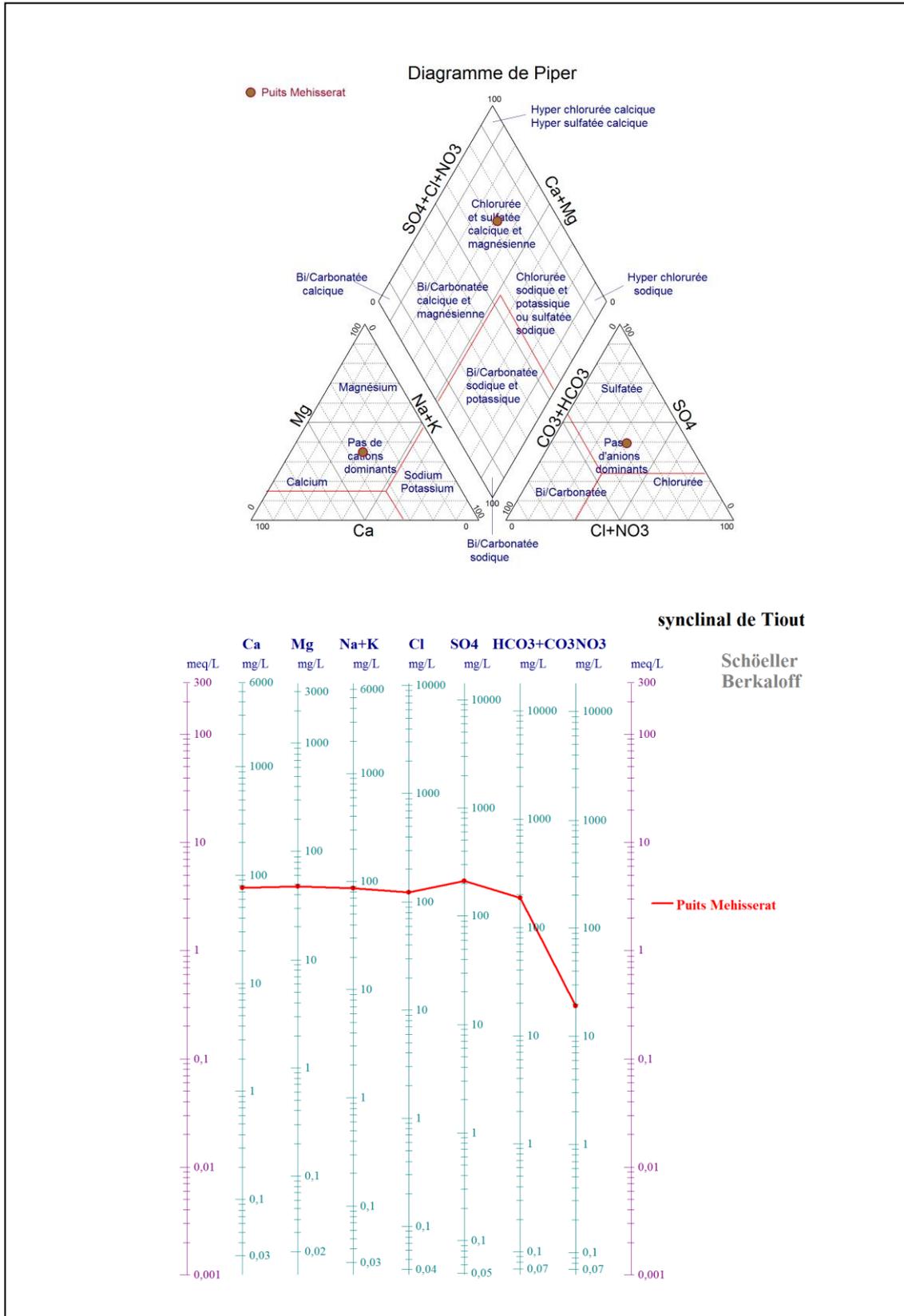


Fig. 29 : Diagramme du faciès sulfate magnésien

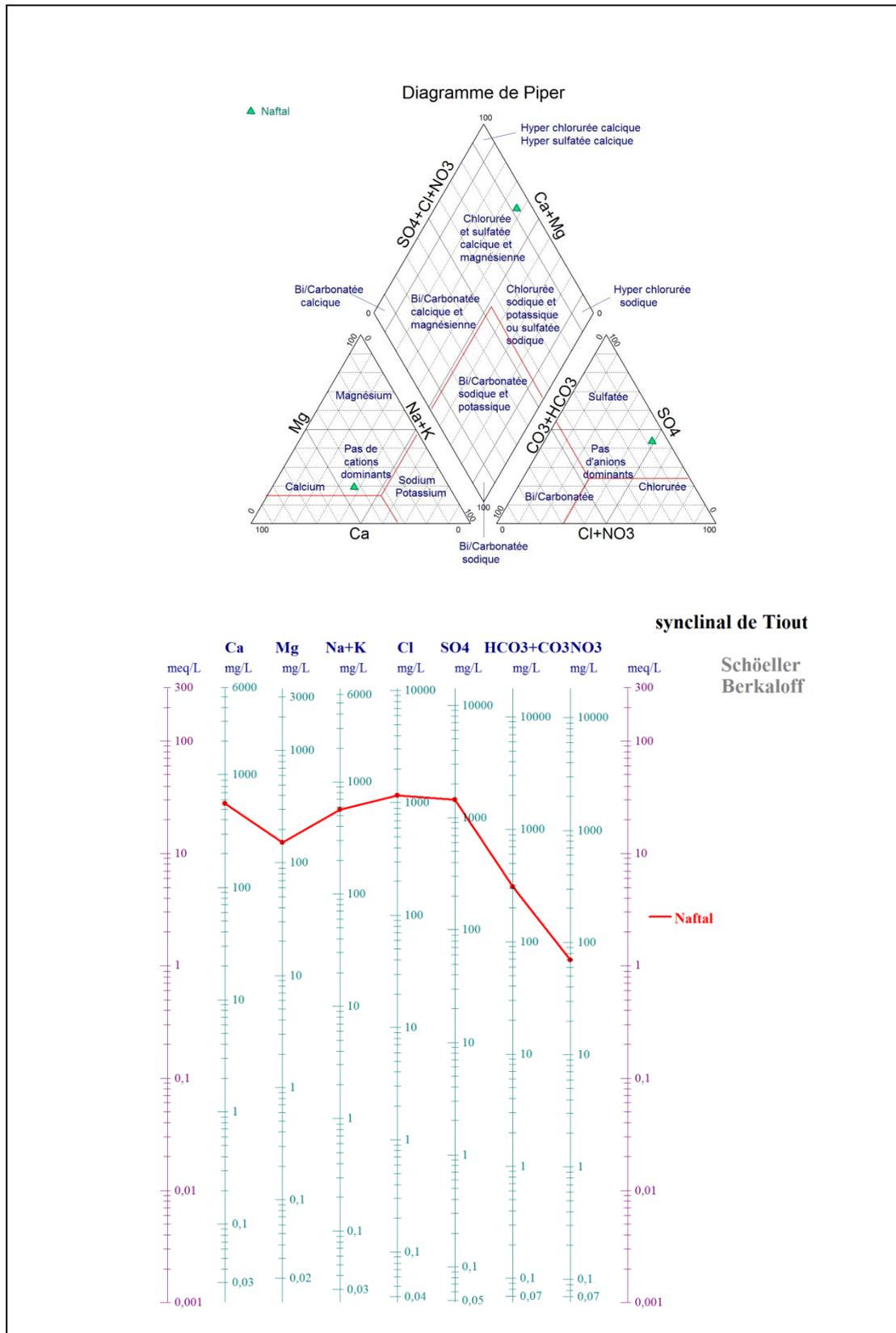


Fig. 30 : Diagramme du faciès chloruré calcique

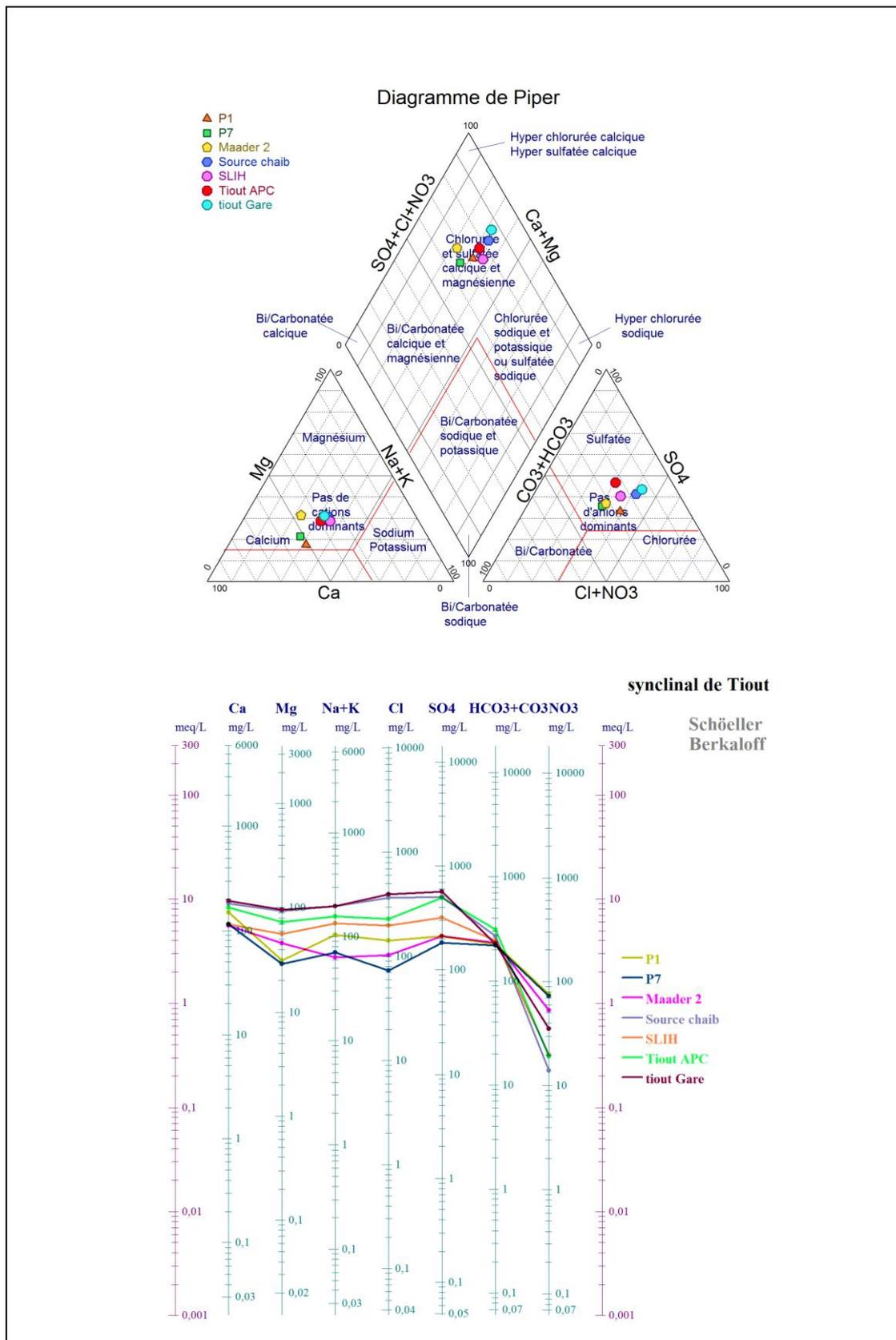


Fig. 31 : Diagramme du faciès sulfaté calcique

II. ANALYSE STATISTIQUE

II.1.Principe

La description des liaisons entre deux variables par des techniques statistiques bidimensionnelles conduit à se poser la question de la représentation simultanée de données en dimension plus grande que 2. Quelle graphique permettrait de “généraliser” le nuage de points tracé dans le cas de deux variables permettant d’aborder la structure de corrélation présente entre plus de deux variables ? L’outil utilisé est alors l’analyse en composantes principales (Wiki Stat).

Mathématiquement, l’analyse en composantes principales est un simple changement de base : passer d’une représentation dans la base canonique des variables initiales à une représentation dans la base des facteurs définis par les vecteurs propres de la matrice des corrélations.(Wiki Stat).

Parmi les applications de cette méthode, on citera plus particulièrement la visualisation et l’étude des corrélations entre les variables ainsi que la visualisation des observations dans l’espace à deux ou trois dimensions (Mudry 1987).

II.2.Objectifs

L’ACP est une méthode descriptive dont l’objectif est de :

- Synthétiser les liaisons entre les variables (cercle des corrélations), définir les variables qui vont dans le même sens, dans un sens opposé, indépendantes ... (Labatte 2012)
- Représenter dans un plan les individus afin de déterminer les individus proches ou éloignés, les regrouper en classe homogène, ... On parle de topologie des individus (Labatte2012).
- Construire de nouvelles variables, appelées composantes principales, non corrélées et qui permettent de synthétiser l’information (Labatte2012).
- Présenter sous une forme graphique le maximum d’informations contenues dans une base de données (Bouchier 2010).
- Faciliter l’interprétation d’un grand nombre de données initiales (Baccini 2010).

II.3.Fonctionnement

Une étude statistique en composante principale (ACP) a été faite par un logiciel XLSTAT 2014.

II.3.1.Choix de l'application

L'interface de XLSTAT présente plusieurs applications, parmi celles on peut choisir ACP (Fig. 29).

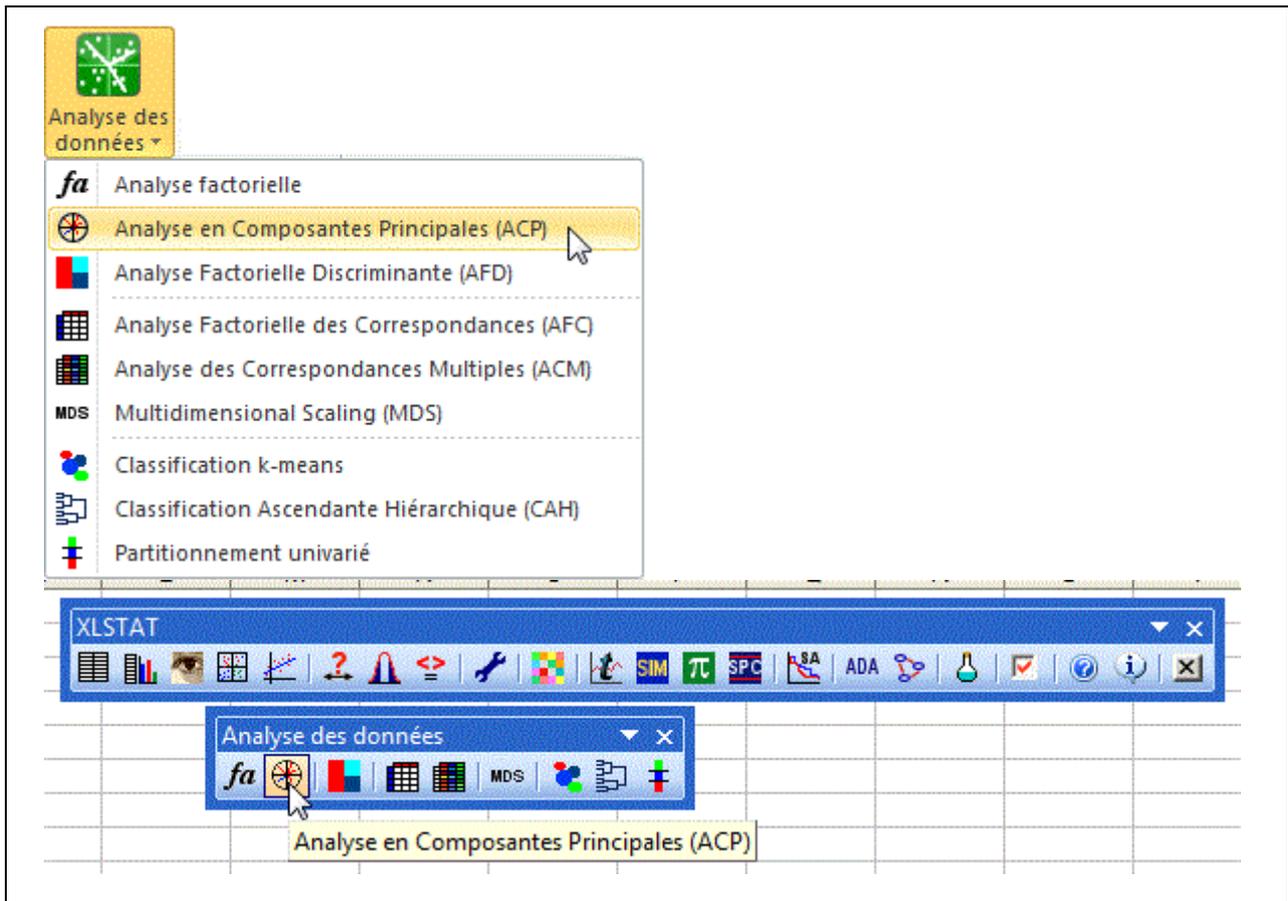


Fig. 32 : Interface de l'application « ACP » dans XLSTAT

II.3.2.Préparation des données

Les données doivent être contenues dans un tableau avec : en colonnes les variables et en lignes les individus (Fig. 30 et 31) :

Cliquez et sélectionnez les variables que vous voulez étudier.

Code	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	So ₄ ²⁻	Hco ₃ ⁻	No ₃ ⁻	Cond
P1	150	31	105	0	142	212	227	75	1,6
P4	116	29	70	0	73	182	220	72	1,2
F3	112	46	60	4	102	211	231	53	0,9
S1	108	47	78	5	129	178	230	27	1
F5	91	29	53	4	81	148	196	42	0,78
S2	182	94	194	3	365	503	270	14	2,4
P17	76	48	78	9	123	211	187	19	0,8
F4	108	51	138	7	197	302	175	22	1,4
F7	208	75	390	7	416	720	222	26	2,7
F9	116	56	130	4	198	322	242	20	1,1
F13	561	151	548	20	1160	1440	309	70	4,4
P11	166	73	143	15	228	499	310	19	1,7
P12	192	97	184	12	392	566	226	35	2
S3	112	41	497	13	695	365	247	9	2,5
F16	401	92	557	10	855	1104	278	24	4,8
F12	832	560	1115	30	2477	2255	268	30	6

Cliquez et sélectionnez les observations.

Code	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	So ₄ ²⁻
P1	150	31	105	0	142	212
P4	116	29	70	0	73	182
F3	112	46	60	4	102	211
S1	108	47	78	5	129	178
F5	91	29	53	4	81	148
S2	182	94	194	3	365	503
P17	76	48	78	9	123	211
F4	108	51	138	7	197	302
F7	208	75	390	7	416	720
F9	116	56	130	4	198	322
F13	561	151	548	20	1160	1440
P11	166	73	143	15	228	499
P12	192	97	184	12	392	566
S3	112	41	497	13	695	365
F16	401	92	557	10	855	1104
F12	832	560	1115	30	2477	2255

Fig. 33 : Exploration des données

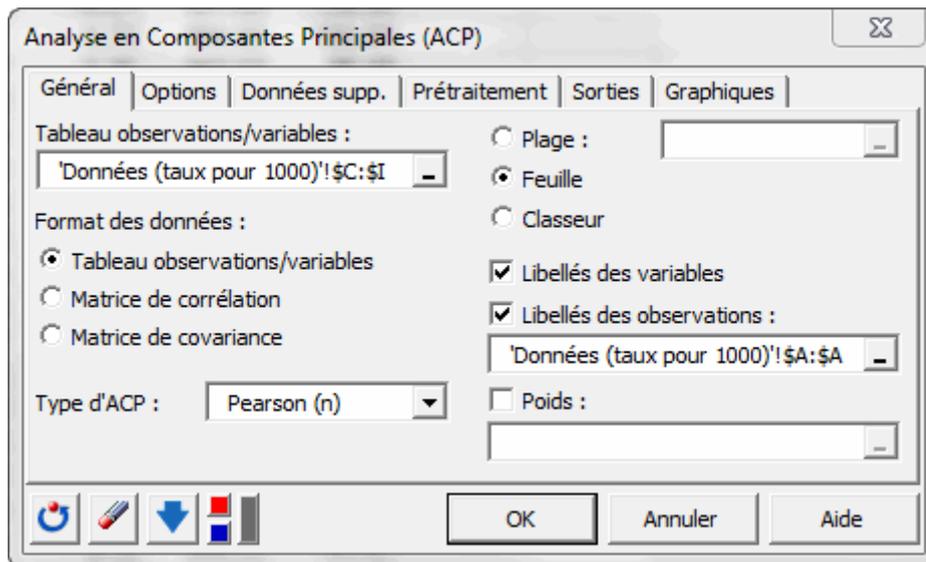


Fig. 34 : Edition des données

II.3.4. Présentation des résultats de l'Analyse en Composantes Principales :

Le logiciel produit alors différents tableaux et graphes : les graphes des variables et des individus sont des nuages de points représentés dans un cercle de corrélation, dont les points les plus proches du cercle sont les plus importants (Fig. 32).

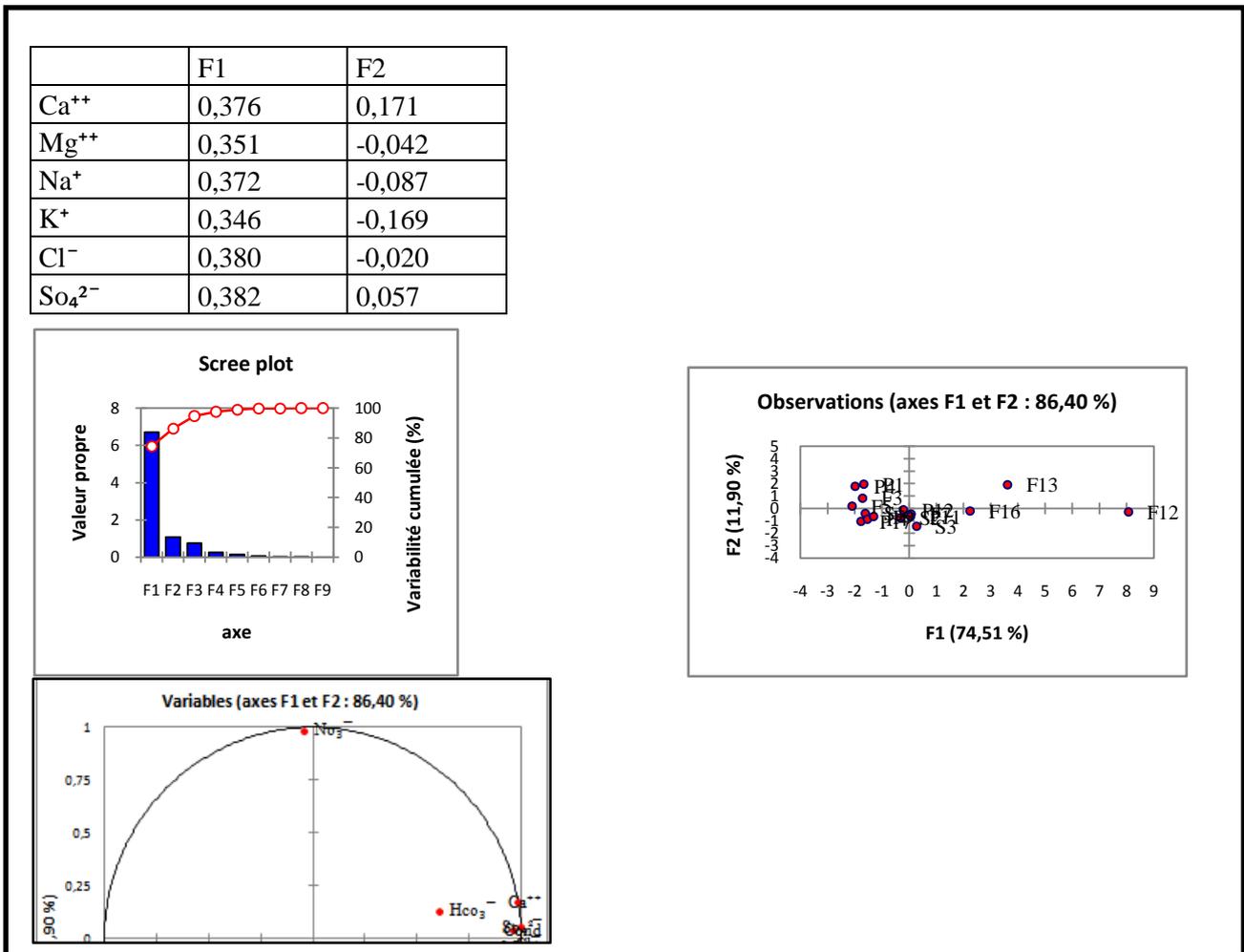


Fig. 35 : Présentation des résultats

II.4.Application

Les objectifs de cette méthodologie est de caractériser la minéralisation des eaux de système d'aquifère et déterminer son origine.

Nous avons effectué une analyse en composantes principales (ACP) sur 16 points d'eau et 9 variables physico-chimiques qui sont : Mg⁺⁺, Ca⁺⁺, K⁺, Na⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, NO₃⁻ et la conductivité(tableau 7).

Tableau 7 : Les analyses physico-chimiques des points d'eau utilisées dans ACP

Noms de points d'eaux	Code	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	Cond.
P1	P1	150	31	105	0	142	212	227	75	1,6
P7	P4	116	29	70	0	73	182	220	72	1,2
Maader 2	F3	112	46	60	4	102	211	231	53	0,9
Source Tiout	S1	108	47	78	5	129	178	230	27	1
Maader 4	F5	91	29	53	4	81	148	196	42	0,78
Source chaïb	S2	182	94	194	3	365	503	270	14	2,4
PuitsMehisserat	P17	76	48	78	9	123	211	187	19	0,8
Maader 3	F4	108	51	138	7	197	302	175	22	1,4
Tiout 2	F7	208	75	390	7	416	720	222	26	2,7
Slih	F9	116	56	130	4	198	322	242	20	1,1
Naftal	F13	561	151	548	20	1160	1440	309	70	4,4
Tiout APC	P11	166	73	143	15	228	499	310	19	1,7
Tiout Gare	P12	192	97	184	12	392	566	226	35	2
Source Lahlaf	S3	112	41	497	13	695	365	247	9	2,5
Matlag	F16	401	92	557	10	855	1104	278	24	4,8
AïnSefra F94	F12	832	560	1115	30	2477	2255	268	30	6

Résultats

La présentation des variables (Fig. 33) montre que l'**axe I** est un axe de minéralisation d'origine triasique et l'**axe II** est défini par des pics de nitrates provenant de l'infiltration des précipitations sur la cuvette synclinale de Tiout. La représentation des individus (points d'eau) (Fig. 34) et leur répartition sur la carte géologique (Fig. 13) nous ont permis de déterminer deux familles d'eaux et donc deux origines de la minéralisation :

- Une eau chargée par les ions Mg⁺⁺, Ca⁺⁺, K⁺, Na⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, d'origine évaporitique due à la présence des diapirs triasiques,
- Une eau contenant les nitrates provenant des engrais chimiques et transportés par les eaux des précipitations infiltrées.

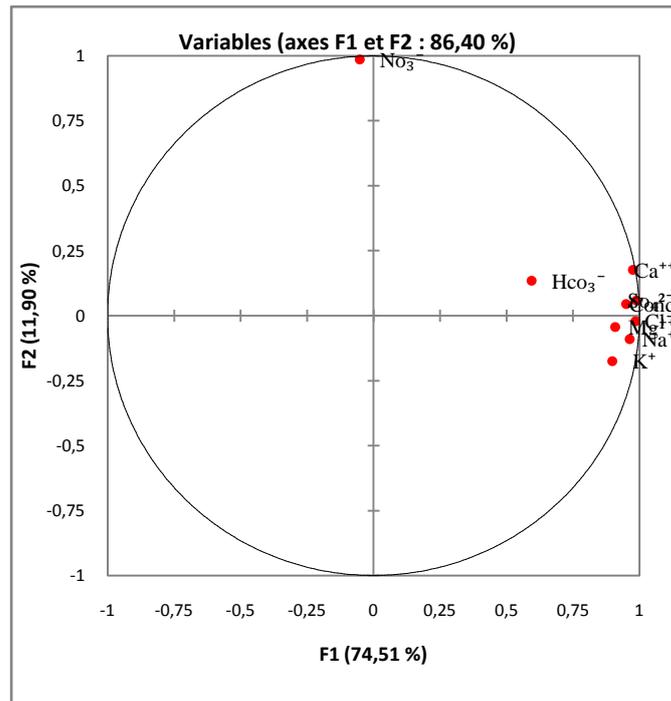


Fig. 36 : Analyse en composantes principales, espace des variables

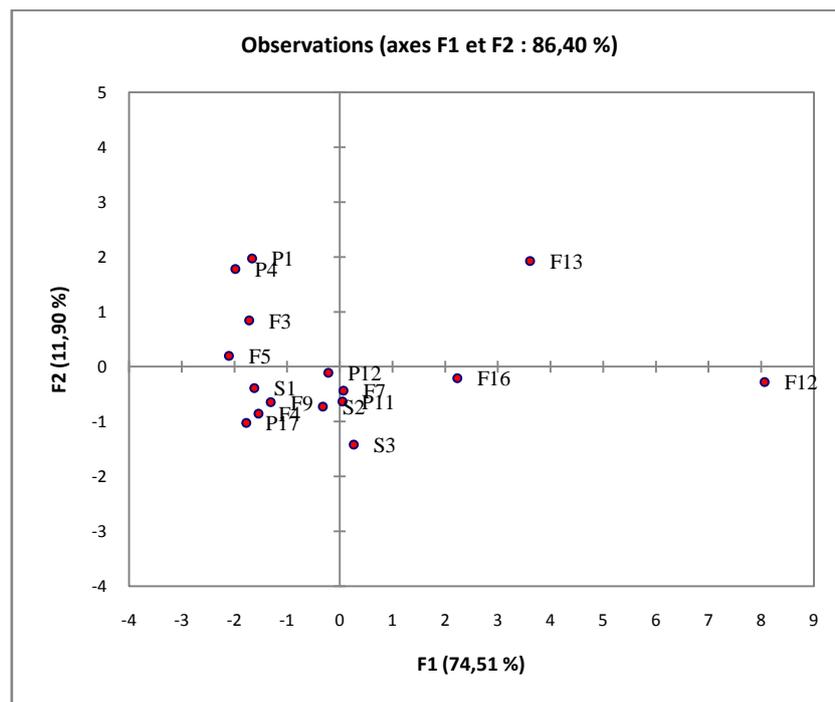


Fig. 37: Analyse en composantes principales, espaces des individus

L'analyse en composantes principales nous a permis de démontrer que la variabilité hydrochimique des eaux de l'aquifère gréseux est conditionné par la lithologie de la zone d'étude, où les structure diapirique argilo-gypseuse du Trias forment la principale source de la minéralisation des eaux souterraines. Il est claire donc, que le contexte

géostrucutalconditionne d'une façon très significative la configuration géochimique des aquifères de cette partie de l'Atlas Saharien occidental (Yousfi et *al* 2013).

L'analyse statistique des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines du synclinal de Tiout a confirmé les résultats de la parie précédente, elle constitue donc un considérable outil pour la caractérisation et la détermination de l'origine des eaux souterraines.

CONCLUSION GENERALE

Après la présentation générale de la zone d'étude qui a été faite en premier et deuxième chapitre sur le synclinal de Tiout (la situation géographique, la synthèse climatiques, l'aperçu géologique et l'étude hydrogéologique), nous avons pu déterminer que le synclinal de Tiout qui est une dépression fait partie des Monts des Ksour qui est caractérisée par la dominance des formations gréseuses d'âge Crétacé inférieur :

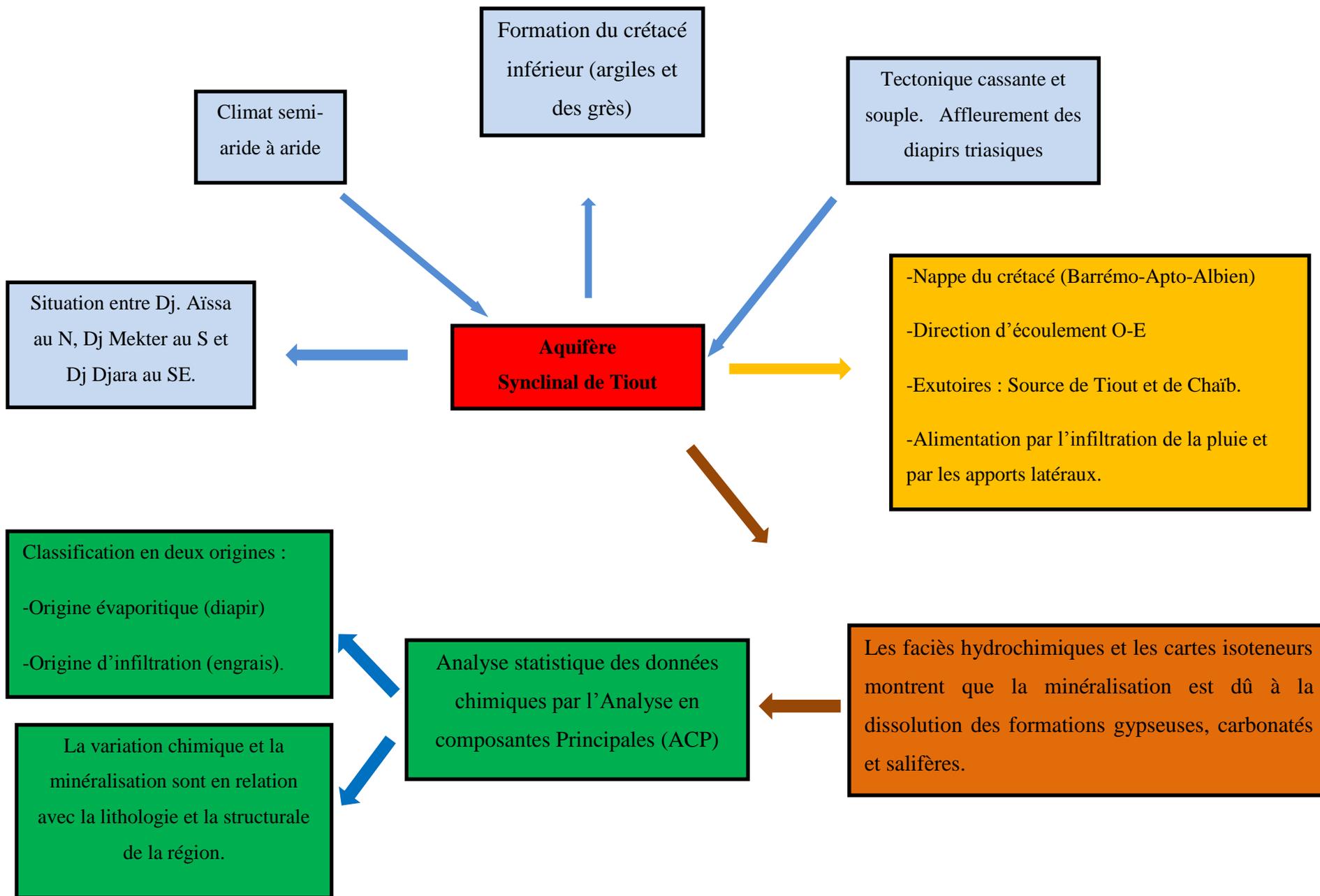
La région du secteur d'étude est caractérisée par un climat aride à semi-aride.

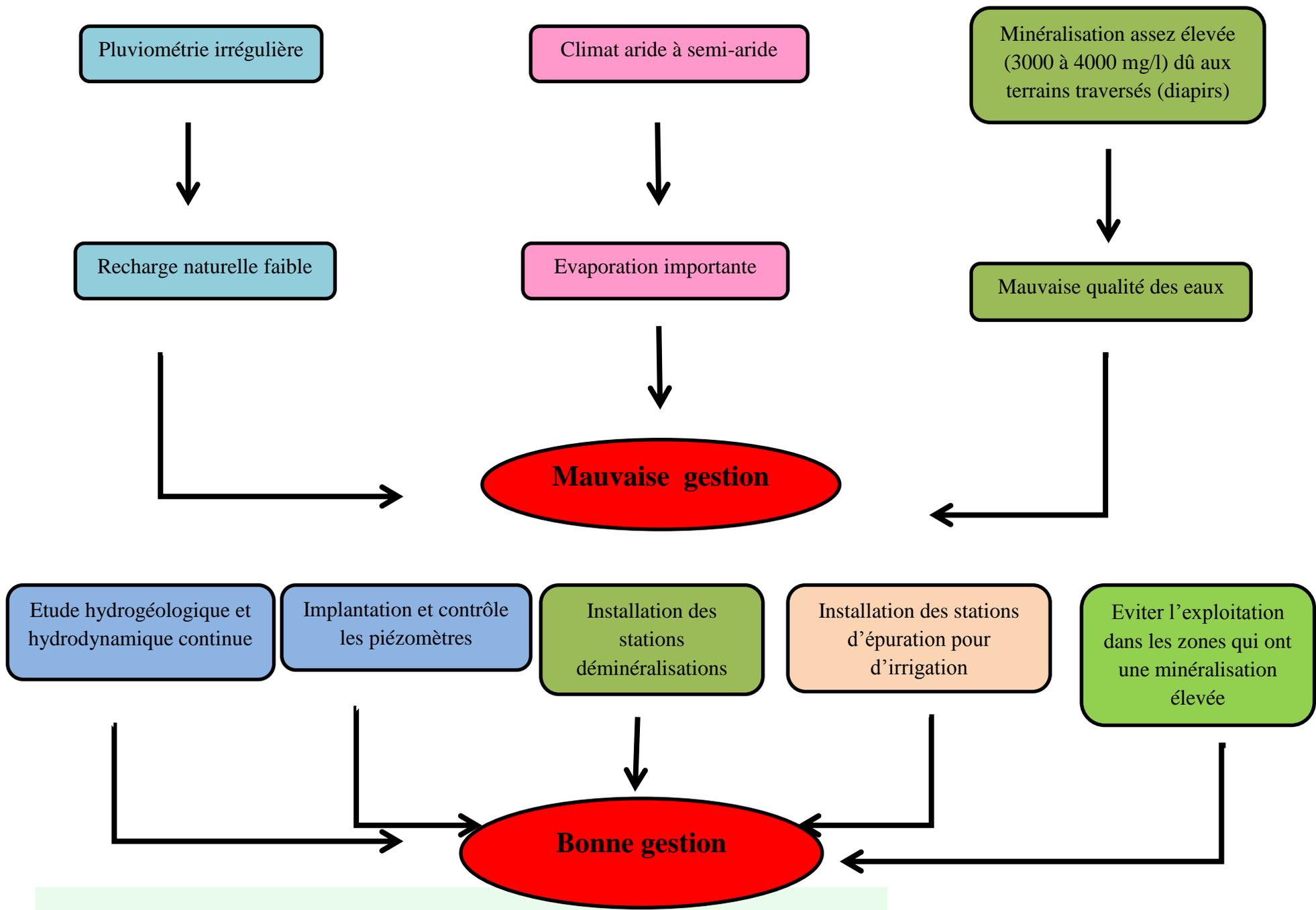
L'étude hydrogéologique nous a permis d'identifier la nappe Barrémo-Apto-Albien :

- Un sens d'écoulement de l'Ouest vers l'Est.
- Un gradient hydraulique varie entre 0,0375 et 0,04285.
- Des exutoires : Source Tiout et Chaïb.
- Une alimentation se fait verticalement par l'infiltration de la pluie, après les fortes averses et latéralement par les formations Jurassique.
- Une transmissivité qui varie entre $3.5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ et $1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

Le troisième chapitre de notre travail est consacré à une étude hydrochimique. Nous avons montré à partir des cartes des isoteneurs et des diagrammes que la minéralisation des eaux de la nappe Barrémo-Apto-Albien est due principalement à la dissolution des évaporites.

L'analyse statistique des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines du synclinal de Tiout a confirmé les résultats de la partie précédente, elle constitue donc un considérable outil pour la caractérisation et la détermination de l'origine des eaux souterraines.





LISTE DES FIGURES

Fig.1 : Situation géographique de contexte régional

Fig.2 : Cadre géographique du secteur d'étude

Fig.3 : Réseau hydrographique de la région AïnSéfra

Fig.4 : Variation des précipitations annuelles (1983-2013)

Fig.5 : Précipitations moyennes mensuelles (1983-2013).

Fig.6 : Variation des températures moyennes mensuelles (1983-2013)

Fig.7 : Attribution stratigraphique des formations détritiques dans la région d'AïnSéfra

Fig.8 : Carte géologique de la région d'AïnSéfra (D'après Galmier 1972-digitalisée)

Fig.9: Coupes géologiques

Fig.10 : Carte structurale de la partie occidentale et centrale des Monts des Ksour (base de la carte photogéologique de D. Galmier 1972, et l'accident Ras Touil-AïnSéfra)

Fig. 11: Propriétés hydrogéologiques du Jurassique Supérieur et du CI de la région d'AïnSéfra (Yousfi 2014).

Fig. 12 : Mécanismes d'émergence des sources du Jurassique a : AïnBeïdaAïnSrara, b : HassiHaïm, c : AïnBoudema (yousfi 2014)

Fig.13 : Mécanismes d'émergences des sources du Crétacé a : HassiBelfloufa, b : AïnSkhouna et AïnDjara (Yousfi 2014)

Fig.14 : Inventaire des points d'eaux (septembre 2008)

Fig.15 : Carte hydrogéologique du secteur d'étude

Fig.16 : La carte de la Transmissivité

Fig.17 : Carte de minéralisation

Fig.18 : Carte isoteneur Ca^{++}

Fig.19 : Carte isoteneur Mg^{++}

Fig.20 : Carte isoteneur Na^+

Fig.21 : Carte isoteneur Cl^-

Fig.22 : Carte isoteneur K^+

Fig.23 : Carte isoteneur SO_4^{--}

Fig.24 : Carte isoteneur HCO

Fig.25: Carte isoteneur NO_3^-

Fig.26 : Diagrammes du faciès

Fig.27 : Diagrammes du faciès

Fig.28 : Diagrammes du faciès

Fig.29 : Diagramme du faciès

Fig.30 :Diagramme du faciès

Fig. 31 :Diagramme du faciès

Fig. 32 : Interface de l'application « acp » dans xlstat

Fig. 33 : Exploration des données

Fig. 34 : Edition des données

Fig. 35: Présentation des résultats

Fig. 36 : Analyse en composantes principales, espace des variables

Fig. 37 : Analyse en composantes principales, espaces des individus

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : caractéristiques de la station d'AinSéfra

Tableau 2 : précipitation moyenne annuelles

Tableau 3 : Données des précipitation moyennes mensuelles (1983-2013)

Tableau 4 : Valeurs des précipitations saisonnières (1983-2013)

Tableau 5 : Températures mensuelles : minimum, maximum et moyenne (1983-2013)

Tableau 6 : Balance ionique

Tableau 7 : Les analyses physico-chimiques des points d'eau utilisées dans ACP

ANNEXE

Tableau A : précipitations moyennes mensuelles et annuelles (1983 – 2013)

(<http://www.climate A>)

Années	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Total
1983	0,51	1,02	0	0	0	5,33	1,02	1,02	25,15	0	0	0	34,1
1884	1,02	0	17,02	0	1,27	3,82	3,55	0	28,45	1,53	3,05	0	59,7
1985	18,04	21,35	1,27	32	8,13	0	6,1	0	2,03	0	0	2,04	91,0
1986	36,06	58,69	38,1	1,02	1,27	7,12	11,17	0	10,42	5,08	0,51	2,79	172,2
1987	0,25	8,13	16	8,89	0	3,31	14,99	1,02	5,08	2,79	4,07	9,66	74,2
1988	4,06	10,16	11,93	0	8,13	27,43	9,91	1,02	13,97	8,89	7,87	0	103,4
1989	6,35	10,41	13,46	2,04	32	6,1	23,87	16,5	24,13	11,43	2,03	23,12	171,4
1990	10,17	1,02	3,3	7,87	17,27	0	2,03	18,54	171,7	4,06	9,16	3,3	248,4
1991	6,1	29,46	0,25	12,2	1,53	49,02	183,4	23,36	25,91	39,11	3,3	3,3	376,9
1992	0	0	19,05	1,02	3,06	5,08	10,43	5,09	34,04	0,25	9,14	4,07	91,2
1993	10,93	6,11	66,04	3,3	6,11	32,01	51,31	3,05	5,09	4,57	1,02	1,02	190,6
1994	54,37	46,74	12,95	0	19,05	3,05	18,05	0	1,02	3,05	1,02	2,03	161,3
1995	10,92	38,11	0	6,1	2,04	3,56	39,11	27,18	1,02	30,99	0	4,07	163,1
1996	2,03	3,56	0	25,65	11,18	8,13	43,71	6,1	5,59	28,44	12,44	2,04	148,9
1997	12,2	1,02	4,07	2,03	11,43	0	5,09	46,75	3,57	0	0	26,67	112,8
1998	25,91	7,13	0	1,02	3,3	69,35	4,06	5,08	13,48	0	0	1,27	130,6
1999	0	3,05	6,6	3,56	0	0	0	0	0	0	0	0	13,2
2000	189,24	9,4	0	0,76	4,06	0	1,02	2,04	4,07	3,05	0	1,02	214,7
2001	9,15	16,26	11,94	7,36	4,08	18,54	0	2,03	0	0	0	12,7	82,1
2002	10,67	18,56	35,05	7,11	0	8,13	2,55	22,36	1,53	4,06	9,66	41,65	161,3
2003	13,21	48,01	30,48	4,06	19,56	11,69	25,15	7,87	13,97	1,02	6,1	3,3	184,4
2004	4,06	37,7	24,89	14,24	0,51	13,98	24,13	13,46	18,81	25,91	1,53	9,4	188,6
2005	25,15	39,12	0	8,13	6,1	2,03	4,07	0	0	4,57	0	28,71	117,9
2006	25,41	6,09	22,09	15,75	14,73	10,93	5,33	11,17	42,15	0,51	1,02	3,05	158,2
2007	6,1	171,2	5,84	10,41	0	7,11	3,05	38,36	3,05	0	3,05	31	279,2
2008	34,03	249,43	15,24	10,17	9,14	22,63	3,3	1,02	37,09	6,6	12,45	16,27	417,4
2009	84,33	0	17,2	15	33,79	17,04	55,13	16,51	4,06	6,35	3,82	3,05	256,3
2010	35,06	34,8	2,04	3,56	12,19	31,75	15,24	0,25	7,87	12,95	8,12	43,69	207,5
2011	18,03	28,19	34,04	10,17	2,04	0	14,48	22,1	56,13	36,32	1,53	4,31	227,3
2012	18,1	17,6	14,2	15,5	17,78	8,14	43,95	60,96	3,05	1,02	3,05	12,1	215,5
2013	4,33	5,09	11,93	23,61	14,48	3,05	23,11	0,76	1,02	1,27	15,74	3,05	107,4
Moyenne	21,8	29,9	14,0	8,1	8,5	12,2	20,9	11,4	18,2	7,9	3,9	9,6	166,5

Tableau B : Température moyennes mensuelles minimums (<http://www.climate Aïn Séfra.com>)

Années	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
1983	15,6	11,8	7,2	-0,1	-1,9	4,3	6,5	9,8	14,6	20,1	22,6	19,8
1984	19,2	10,1	6,6	5,1	0,2	2,1	5	12,8	10,1	19,9	22,7	20,5
1985	16	12,1	9,1	3,5	1,7	4,8	5,2	10,4	12,8	19,2	22,9	21,1
1986	18,8	12,1	4,9	2	2,6	4,4	6,1	6,4	15,9	17,8	22,1	21
1987	19,3	13,4	6,8	6,2	2,3	4,1	7,2	10,9	14,8	19,1	21,1	22
1988	16,3	12,4	8,4	0,5	3,9	5,2	5,7	10,3	14,4	18,2	22	22,1
1989	17,2	13,1	8,6	6,5	0,4	3,8	6,1	9,6	13,7	15,9	21,7	21,4
1990	20	13,1	6,5	3,8	3,1	2,8	9,4	10,3	12,5	21,7	23,2	21,8
1991	18,2	10,4	6,3	2,9	0,3	2,2	6,4	9	12,4	18,4	21,7	21,3
1992	16,4	11,2	3,5	3	0,3	2	4,8	9	13,3	14,9	19,9	19,3
1993	16,3	12,2	8,5	2,1	-0,3	3,1	5,9	8	14,1	19,6	21,8	22,2
1994	15,9	12,8	5,8	2	3,1	4,7	6,8	7,2	14,4	19,3	22,1	20,8
1995	15	11,8	7,6	5,2	0,2	2,8	5,7	7,4	15	18,8	20,3	21,6
1996	14,1	9,7	6	3,3	5,3	4,3	7,4	9,8	12,7	17,7	21,1	20,9
1997	17,8	21,1	6,8	3,5	4,9	2,8	4,5	9,8	14,5	18,2	22,9	20,7
1998	19,5	10,2	6,3	-0,2	3,2	3,6	5,3	9,4	12,1	18,2	22,7	20,8
1999	17,8	14,4	4,1	1	2	2,4	6,9	10,2	15,3	19,5	22,4	23,2
2000	17,3	9,2	7,7	3,9	-1,6	2,3	6,6	9,9	14,2	17,6	23,3	20,2
2001	18,6	14,5	5,6	2,7	2,3	2,3	9,9	9,6	14,3	19,9	23,1	22,2
2002	16,1	10,3	7,3	5,4	-0,1	2,2	7	8,8	12,9	18,9	20,9	20,7
2003	16,5	14,1	5,9	3,1	3	2,9	8,3	10,7	13,3	21,8	22,3	20,8
2004	16,9	13,8	4,8	2,3	0,6	4,3	7,6	9,3	10,9	18	22,3	21,6
2005	16,7	13,5	10,3	1,9	-2,3	-1	7,7	10,2	16,1	19	22,6	20,2
2006	15,8	11,7	6,8	3,7	1	3,1	6,1	11,4	16	18,4	21,2	21,6
2007	18,1	11,8	5,4	1,6	0,3	6,2	4,4	9,6	12,8	17,9	21,9	22
2008	16,6	11,4	4,3	1,6	1,4	4,7	6	9,1	14,2	18,5	21,8	20,8
2009	15,1	10,3	5,1	4,4	2,8	2,1	7,1	6,6	13,8	18,2	22,5	21,2
2010	17,9	11,2	6,3	3,9	3,3	7,7	8,7	12,3	12,6	17,1	22,8	21,3
2011	18,2	10,7	7	1,3	1,5	1,1	6,4	11,8	14,2	17,8	22,2	21,1
2012	16,9	12,9	8,3	2,4	-0,5	-0,4	4,7	8,7	14,8	21,6	22,7	21,9
2013	16,5	13,6	4,7	2	2,3	2,2	7,5	8,9	11,7	17	22,2	20,2
T°min	17,1	12,3	6,5	2,9	1,5	3,2	6,5	9,6	13,7	18,7	22,1	21,2

**Tableau C : Température moyennes mensuelles maximums (<http://www.climate>
Aïn Séfra.com)**

Années	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
1983	30,9	25,6	21,4	15,5	14,6	16	21,2	24	26,6	33,6	36,9	36
1884	32,1	22,6	18,5	12,9	13,9	14,7	17,7	25,2	22,3	33	36,2	36,3
1985	30,7	23,9	19,4	12,8	12,4	20,7	16,7	22,9	25	35,6	37,5	35,9
1986	31	22,3	15,6	12,7	12,6	16,1	16,6	20,9	29,6	31,8	36,6	36,9
1987	32,4	25,7	16,7	16,4	14,4	15,4	20,6	26,8	28,1	34,5	35,8	36,3
1988	30,9	25	17,7	12,4	14,8	14,3	19,7	24,1	28,3	32,3	37,6	37,3
1989	32,1	24,6	19	16,8	10,5	14,3	19,2	21,1	27	27,9	36,1	35,4
1990	33	26,1	18,6	14,7	10,3	19,6	20,4	20,6	23,3	35,2	35,8	35,2
1991	31,7	21,3	17,9	12,7	12,4	13,1	15,8	20	23,3	31,4	36,3	36
1992	31,4	23,8	18	13,8	11,3	15,5	15,5	21,5	25,7	28,7	34,5	35,5
1993	30	24,7	15,5	14,4	12,2	13	17,3	21,9	26,6	34,7	38	36
1994	30,1	22,8	18,6	16,1	13,6	19,3	17,8	20,2	30,4	35,1	37,7	37,5
1995	30	23,8	20,3	15,6	14,1	18,8	17	18,8	29,8	32,4	37,2	35,8
1996	30,4	25	19,1	15,2	15,3	12,9	17,2	21,8	26,4	30,6	35,2	37,1
1997	30,4	25,3	20,1	16,4	14	18,6	20,1	20,7	28	34,3	38	34,6
1998	33,4	23,8	20	14,2	14,7	16,2	20,5	24,3	25,9	31,6	39	36,9
1999	32,6	27,5	16,3	14,6	12,3	12,6	17,6	25,5	31,1	36,4	38,9	38,1
2000	31,1	22,5	19,8	11,2	11,7	18,4	21,8	23,6	28,7	33,4	38,7	35,9
2001	32,6	29,1	17	16	15,7	16,9	24,3	24,6	27,8	36,5	39,6	38,1
2002	32,1	27	19,1	16,4	15,3	18,8	20,5	22,4	27,8	35,1	38,5	36,2
2003	33,8	25,9	17,8	14,5	13,5	15,1	20,7	24,8	29,4	35,9	40,1	35,7
2004	31,6	27,7	16,2	12,3	16,4	17,1	20,5	23	24,5	34,6	37,7	38,1
2005	31,1	26,6	25,4	13	12,1	13,4	21,5	26,3	32,9	35,1	40,4	37,7
2006	29,8	28,1	19,6	12,1	9,4	13,8	22,4	26,3	29,3	34,8	38,3	31,3
2007	32,6	24,7	19,2	13,3	16,3	17,9	18,2	16,3	28	28,8	32,2	36,6
2008	30,2	20,6	15,5	12,3	15,9	16,8	20,2	25,3	22,1	33,9	38,8	38,1
2009	27,6	27,1	21	19,5	11,6	15,9	19,6	20,4	28,8	34,5	38,8	38
2010	32,1	25	20,2	17,8	16,8	19,1	21,5	26,5	27,5	34	39,3	38,1
2011	34,4	24,6	17,3	14,2	16,5	15,2	17,7	25,4	26,8	32	37,7	38
2012	32,8	26,1	19,4	15,9	13,7	11,2	19,4	21,1	30,6	37,7	39,6	38,6
2013	31,8	30,4	18,3	13	15	15,3	20,2	24,3	27,8	33,5	38,6	36,7
T°max	31,5	32,1	18,7	14,5	13,7	16,0	19,3	22,9	27,4	33,5	37,6	36,6

Tableau D : Tableau de vitesses de vents (<http://www.climateAïnSéfra.com>)

Années	Jan	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Juil.	Aou.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
1983	3,8	7,4	8,2	9	10,4	7,4	9,5	7,9	6,8	5,6	6,6	7,9
1984	7,7	8,3	8,1	9,9	10,9	10,9	6,2	7,2	8,3	8,8	10	9,3
1985	10,6	10,5	10,9	11,7	11,6	9,9	10,6	9,3	8,8	8,1	9,2	10,1
1986	11,4	11,5	11,3	11,3	9,9	10	8,1	9,1	8,8	8,9	8,8	8,6
1987	10,9	9,7	10,6	9,8	9,9	9,9	9,6	12,2	10,4	12,5	9,1	10,6
1988	11,8	11,4	8,5	12,7	14,1	19,9	14	13,2	10	10,7	11,8	11,3
1989	6,8	13,6	14,3	18,6	16,1	15,7	10,9	9,7	14,5	12,1	12,1	10,6
1990	12,8	8,4	13,8	15,7	12,2	15,8	11,6	9,6	11,3	14,2	10,9	11,1
1991	11,5	14,5	18,4	16,1	16,7	13,7	12,4	10,4	12,6	14,2	10,5	8,7
1992	11,2	8,2	14,9	16,1	13,4	15,1	11,9	9,8	13,5	13,5	6,4	11
1993	8,4	8	10,9	11,7	15,6	13,2	12,3	11,8	11	10,7	9,7	6,6
1994	10,2	14,5	11,3	14,2	15,4	11,7	6,9	10,1	12,5	6,9	6,1	4,1
1995	4,3	4,1	10,5	7,6	7,7	12,6	8,1	7,4	7,7	2,2	3,1	4,6
1996	11,2	9,1	6,5	13,7	10,4	7,5	7	10,9	7,3	4,7	4,8	5,3
1997	7	3,7	7,2	8	15,6	16,1	15,2	11,3	11,1	9,5	12,7	8,8
1998	9,2	8,8	10,5	16,1	13,8	20	8,8	12	14,5	8,8	11,2	7,2
1999	10,2	14,1	15,4	11,1	16,1	13,7	11,2	13,8	14,3	7,5	5,1	1,6
2000	2,5	2,7	6,4	14	15,5	10,5	10,1	9,4	10,7	8,4	9,1	6,1
2001	8,3	6,5	9,5	9,4	9,7	7	12,3	10,1	11,5	11	9,9	8,9
2002	6,2	8,7	13,4	14	13,5	12,3	10	12,6	10,1	8	10,9	6,7
2003	10,7	10,6	7,4	12,4	10,3	11,1	6,7	8,4	6,5	7,2	4,5	7,2
2004	4,3	9,1	10,7	9,9	13	7,9	8,5	9,1	7,4	7,3	5,5	8,2
2005	3,7	8,2	11,8	11	9,8	10,3	9,9	8,5	6,9	4,6	4,2	6,6
2006	9,9	8,7	9,7	12,3	9,8	11,9	7,5	6,9	14,8	6,1	5,3	7,8
2007	4,3	11,1	11,6	13,7	12,9	10,6	7,6	9,8	12,6	9	4	6,7
2008	3,8	6,9	10,7	11,9	12	15,9	8,7	8,1	8,3	9,6	10,6	7,5
2009	11,7	10,3	11,3	11,8	14,8	8,7	6,2	9,3	7,2	6,9	8,2	12,4
2010	12,8	15,3	10,8	10,7	11,1	13,2	9,5	8,8	7,9	5,9	8,2	5,8
2011	4,6	6,7	10,7	12,4	10,5	5,1	10,7	7,5	8,3	4,9	8	2,9
2012	3,6	8	6,3	12,6	10,6	12,2	11,6	9,6	8,4	8,6	7,5	5,6
2013	11,2	13	14,6	11,7	11,6	11,5	11,1	10,2	10,4	9,3	8,7	8,3

Tableau E : Tableau d'humidité (<http://www.climate Aïn Séfra.com>)

Années	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Juil.	Aou.
1983	30	39,2	47,5	50,1	42,3	46,6	32,6	29,9	31,6	21,9	18,3	23
1884	28,7	42,1	50,2	55,5	43,4	39,1	34	25,4	38,6	25,5	17,9	22,3
1985	35	48,1	46,7	60,8	48,9	34,5	42,5	30,7	37,2	22,6	20,6	22,5
1986	37,5	55,2	57,1	55,8	51,8	42,2	42,8	33	28,8	29,1	19,8	22,5
1987	31,6	36,5	54,9	56,5	44,3	49	41,9	29	34,2	28,5	29,2	24,1
1988	29,3	43,2	55,7	57	52,9	57,2	36,7	34,8	33,5	30,5	22,4	20,6
1989	32,3	49	53,2	58,2	60,4	47,6	37,8	40,6	29,5	33,9	21,9	32,2
1990	34,2	41,2	53,2	57	67,4	33,3	38,1	41,9	53,1	25,6	26,6	27,6
1991	32,8	51,3	46,5	63,5	53,3	54,4	54,1	47,8	39	38	30,5	28,3
1992	29,3	39,3	51,3	54,9	56	48,1	51,4	37,6	39,3	33,3	27,8	25,6
1993	34,8	41,2	68,5	60,4	52,7	59,7	50,8	36,4	35,2	28,1	21,4	24,5
1994	41,3	58,1	60,1	-	58,3	45,2	54,5	41	28,3	24,7	21,6	23,5
1995	35,3	48,3	42,6	56,7	54,1	45,7	54,1	48,8	29,2	25,8	21,3	26,3
1996	37,2	41,4	45,8	54,3	53,4	51,5	47,4	41,8	36	38,5	30,9	27
1997	42,2	48,1	48,1	54,9	60,4	44,6	33,5	53,8	36,8	29,8	23,1	33,8
1998	33,3	45,2	41,3	49,5	61,3	54,5	37,9	38,1	39	26,2	20	25
1999	28,6	36,4	50,2	54	62	54	49,3	28,6	29,3	26,8	24,1	23,8
2000	32,9	43,7	49,8	50	58,4	37,7	35	33,6	31,8	28,2	21,3	22,2
2001	36,3	33,7	56,1	55,6	49,4	45,7	37,1	35,8	36,8	23,8	20,8	26,6
2002	37,1	41,6	51,1	62,8	48,8	39,8	44,3	40	35,7	25,9	27	32,8
2003	36,7	50,6	62	62,8	60,2	58,6	46,7	40,2	38,7	27,6	23,2	28,2
2004	33,7	37,7	56	61,6	54,7	49,1	42,6	41,6	43,9	31,5	28,2	30,4
2005	41,9	49,6	47	62,3	51,9	48,5	41,9	33,6	26,2	29,1	24	29,5
2006	25,41	42,6	57	69,3	68,1	58	37,7	37,9	41,7	33,8	29,7	27,5
2007	32,9	51,1	53	60,1	54	51	43,4	47,4	35,6	27,7	24,6	29,9
2008	47,6	67,4	61,4	67,2	57,2	54,9	42,1	31,6	36	32	26,5	27,7
2009	54,5	44	50,3	50,2	66,8	53,5	52,3	47,4	34,3	32,6	27	28,3
2010	43,1	49,3	48	50,3	51,5	53	45	41,5	36,8	33	28,7	34,3
2011	39	47,4	55,9	60,7	49,9	51,3	48,5	40,3	39,1	39,4	30,2	34,1
2012	35,6	47,5	59,2	58,1	56,9	56,4	48,3	48,8	33	30,7	27,9	28,1
2013	39,6	36	52,7	61,8	52,5	47,1	47,2	36,9	40,6	32,6	30,3	30,3
2013	54,5	67,4	68,5	69,3	68,1	59,7	54,5	53,8	53,1	39,4	30,9	34,3

Tableau F : Inventaire des points d'eau et leurs niveaux piézométriques (Rahmani 2008)

N°	Code	N	X (m)	Y (m)	Z (m)	Niveau statique	Niveau piézométrique
1	F1	Maader1	737577,55	3629575,35	1069	33	1036
2	P2	P3	742223	3629312,24	1036	15,96	1020,04
3	F2	F6 GCA	737055,79	3630404,48	1076	24,5	1051,5
4	P3	P5	737600,85	3630466,89	1076	20	1056
5	P5	P9	740492,34	3631660,04	1055	20,41	1034,59
6	P6	P10	739452,38	3630310,3	1058	21,83	1036,17
7	P7	P11	739192,08	3630290,61	1056	22	1034
8	P8	P12	739357,52	3630027,72	1059	22	1037
9	P9	P13	737138,11	3629902,27	1066	22	1043,58
10	P10	P14	737603,83	3630276,45	1066	23	1043
11	S2	Source Chaib	742213,25	3629142,03	1027	0	1027
12	F9	Slih	734758	3628666	1055	26,4	1028,6
13	F13	Naftal	726128	3627486	1090	13,6	1076,4
14	P11	Puits11	726284,8	3626824,7	1079	2,5	1076,5
15	P17	Merisserat	733198	3627892,5	1050	19,5	1030,5
16	F8	Matlag	743294	3628650	1035	36	999
17	F3	Maader2	738947	3630908	1051	22,47	1028,53
18	F5	Maader4	742359,83	3632662,2	1044	20,9	1023,1
19	F4	Maader3	738930,75	3629298,6	1060	23,4	1036,6
20	F7	Tiout2	745050,7	3628679	1060	30	1030
21	S1	Source Tiout	741831,6	3629403	1032	0	1032
22	P13	Puits Tiout	741200,59	3632636,92	1056	21,45	1034,55
23	F10	Slih 2	734200	3628200	1052	27	1025

Tableau G : Transmissivité(Rahmani 2008)

	Code	Forage	X(m)	Y(m)	ΔS (m)	Q (l/s)	T (m ² /s)	T (m ² /j)
1	F1	Maader 1	737578	3630908	3,8	18	$9,3.10^{-4}$	80
2	F3	Maader 2	738947	3629575	5,6	18	$5,8.10^{-4}$	50
3	F5	Maader 4	742360	3632662	0,15	40	$2,3.10^{-4}$	2000
4	F13	Naftal	726128	3627486	1,9	10	$9,3.10^{-4}$	80
5	F9	Slih 1	734758	3628666	0,4	80	$3,5.10^{-2}$	3000
6	F6	Tiout 1	744600	3629600	8	1	$2,3.10^{-5}$	2
7	F10	Slih 2	734200	3628200	1,25	13	$1,9.10^{-3}$	165
8	F9	Matlag	743294	3628650	5,5	25	$7,5.10^{-4}$	65
9	F13	Mehisserat 1	732850	3627800	2,4	13	1.10^{-3}	85
10	F4	Maader 3	738931	3629299	2,7	15	2.10^{-3}	170
11	F14	Hôpital	725507	3626665	1,1	5	8.10^{-4}	70

Tableau H : Données des analyses physico-chimiques (Rahmani 2008)

N °	Code	Points d'eau	X (m)	Y (m)	Ca ⁺⁺ (mg/L)	Mg ⁺⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ⁻⁻ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ⁻ (mg/)	Cond.(S/cm)	Min.	Classification De la min. (Rodier 2009)	pH
1	P1	P1	738131,37	3629871,45	150	31	105	0	142	212	227	75	1,6	1152	Elevée	6,6
2	P4	P7	738986,49	3630741,15	116	29	70	0	73	182	220	72	1,2	864	Importante	6,5
3	F3	Maader 2	738947	3630908	112	46	60	4	102	211	231	53	0,9	648	Importante	7,8
4	S1	Source Tiout	741831,6	3629403	108	47	78	5	129	178	230	27	1	720	Importante	8
5	F5	Maader 4	742359,83	3632662,2	91	29	53	4	81	148	196	42	0,78	567	Importante	7,3
6	S2	Source chaïb	742213,25	3629142,03	182	94	194	3	365	503	270	14	2,4	1727	Elevée	6,5
7	P17	PuitsMehisserat	733198	3627892,5	76	48	78	9	123	211	187	19	0,8	576	Importante	8,4
8	F4	Maader 3	738930,75	3629298,6	108	51	138	7	197	302	175	22	1,4	1008	Elevée	8,4
9	F7	Tiout 2	745050,7	3628679	208	75	390	7	416	720	222	26	2,7	1944	Elevée	8
10	F9	Slih	734758	3628666	116	56	130	4	198	322	242	20	1,1	792	Importante	8,4
11	F13	Naftal	726128	3627486	561	151	848	20	1160	1440	309	70	4,4	3168	Très élevée	7,8
12	P11	Tiout APC	741900	3629100	166	73	143	15	228	499	310	19	1,7	1224	Elevée	8,1
13	P12	Tiout Gare	737600	3627250	192	97	184	12	392	566	226	35	2	1440	Elevée	8,2
14	S3	Source Lahlaf	742143	3627510	112	41	497	13	695	365	247	9	2,5	1800	Elevée	8
15	F16	Matlag	743294	3628650	401	92	557	10	855	1104	278	24	4,8	3456	Très élevée	8
16	F12	AinSefra F94	726776,6	3626986,5	832	560	1115	30	2477	2255	268	30	6	4320	Très élevée	8

REFERENCE
BIBLIOGRAPHIE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **ABADA A., 1986** : Contribution à l'étude hydrogéologique du bassin d'Oued Breidj (Monts des Ksour- Atlas saharien occidental) Algérie. *Thèse Magister, USTHB.*
- **ALBRECHT R., (2007)** : Co-Compostage de boues de station d'épuration et de déchets verts : nouvelle méthodologie du suivi des transformations de la matière organique. *Thèse Doctorat–l'Université Paul CEZANNE.*
- **BACCINI A., (2010)** : Statistique descriptive multidimensionnelle. *Publications de l'Institut de Mathématiques de Toulouse.*
- **BASSOULLET J.P., (1973)** : contribution à de l'Atlas Saharien occidental (Algérie) – *Thèse Fac science Paris.*
- **BENSEFIA K. et BENALI F., (2002)** : Etude hydrogéologique et hydrochimique de la région de Tiout (Atlas Saharien Nord occidental)-*Mémoire d'Ingéniorat-Université de Tlemcen.*
- **CASTANY G., (2002)** : Principe et méthode en hydrogéologie
- **C.G.G, 1974** : Etudes géophysique des synclinaux des monts des Ksour (AïnSéfra, Mékalis). *Compagnie générale de géophysique. Rapports internes. DHW de Naâma.*
- **DARDOUR A., (2010)** : Modélisation hydrodynamique de la nappe des Grès Crétacé du synclinal de Remtha-Monts des Ksour (Algérie) –*Mémoire de Magister – Université de Tlemcen.*
- **DEBIECHE T., (2002)** : Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. *Thèse Doctorat– l'Université de Constantine.*
- **DOUIHASNI M., (1976)** : Etude géologique de la région d'AïnOuarka – Boussamghoun (partie central des Monts des Ksour, Atlas Saharien, Algérie) Analyse structural- *Thèse 3^{ém} cycle – Université d'Oran*
- **GALMIER D., (1972)** : Photologie de la région d'Aïn Séfra (Algérie) –*Thèse de Doctorat d'état – Université de Paris.*
- **HERVE Maxime, Version 5(2) (2014)**: Aide –mémoire de statistique appliqué à la Biologie.

- **KACEMI A., (2013)** : Evolution lithostructurale des Monts des Ksour (Atlas Saharien, Algérie) au cours du Trias et du jurassique :Géodynamique, Typologie du bassin et Télédection –*Thèse de Doctorat Université de Tlemcen.*
- **MANSOUR H., 2007**: Hydrogéologie du Continental Intercalaire et du Complexe Terminal en domaine aride. Exemple des Monts des Ksour (Atlas saharien occidental Algérie). *Thèse Doctorat d'Etat Université d'Oran.*
- **MOUHIDDINE F.,TOUMI M., (2012)** : Etude par imagerie satellitale LANDSAT 7 ETM+ de la zone Ouest des Monts des Ksour (Atlas Saharien, Algérie) –*Mémoire d'Ingéniorat-Université de Tlemcen.*
- **MUDRY J., 1987** : Apport du traçage physico-chimique naturel à la connaissance hydrocinématique des aquifères carbonates. *Doctorat d'Etat 381 p. Université de Besançon, France.*
- **RAHMANI A., (2010)** : Apport des S.I.G. dans la caractérisation hydrodynamique et hydrochimique de la nappe du Crétacé inférieur de la région d'AïnSefra (Atlas Saharien occidental- Algérie) *Mémoire de Magister –Université de Tlemcen.*
- **RODIER J.** 9^e édition : Analyse de l'eau –*Dunod-Paris.2009*
- **YOUSFI S., (2014)** : Étude hydrodynamique et modélisation des écoulements souterrains dans les gouttières synclinales gréseuses du Barrémo-Albo-Aptien d'AïnSéfra (partie centrale des Monts des Ksour –Atlas Saharien, Nord-Ouest Algérie) -*Thèse Doctorat –l'Université d'Oran.*
- **YOUSFI S., MANSOUR H., MUDRY J., KERZABI R. (2013)** : Rôle de la lithologie et de la fracturation dans l'acquisition de la minéralisation des eaux d'u aquifère gréseux (exemple des gouttières synclinales du Continentale Intercalaire d'Aïn Séfra, Algérie). *Bulletin du Service Géologique National, Vol. 24 n° 3, pp 293-303 ?7 fig., 4 tab. 2013.*
- **ZENAGUI N., (2008)** : Caractérisation hydrodynamique et hydrochimique de la nappe du Crétacé inférieur de la région d'AïnSefra (Monts des Ksour – Atlas Saharien occidental)-*Mémoire d'Ingéniorat-Université de Tlemcen*

Sites internet :

- <http://pbil.univ-lyon1.fr/ADE-4>
- <http://www.climate Aïn Séfra.com>
- <http://www.wikipidia.com>

- <http://wikistat.fr/pdf/st-m.explo.acp> : Introduction à l'Analyse en composantes principales
- <http://Xlstat.com/fr/Centre-d-apprentissage/tutoriel/Analyse-en-composant-principale-acp-avec-Xlstat.html>