كلية العلوم و التقنيات فاس
ⵜⴰⵙⴻⴷⵍⴰⵏⵜ ⵏ ⵜⵎⴰⵙⵙⴰⵏⵉⵏ ⴷ ⵜⵙⵏⵉⵍⵉⵏ
Faculté des Sciences et Techniques de Fès

جامعة سيدي محمد بن عبد الله
ⵜⴰⵙⴷⴰⵡⵉⵜ ⵙⵉⴷⵉ ⵎⵓⵃⵎⵎⴰⴷ ⴱⵏ ⵄⴰⴱⴷⵍⵍⴰⵀ
Université Sidi Mohamed Ben Abdellah

**Année Universitaire : 2018-2019**

**Licence Sciences et Techniques : Géo ressources et Environnement**

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**

**Pour l'obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques**

# Etude de la qualité des eaux souterraines de la nappe captive Fès-Saïs

Présenté par:

**ES-SBAGHI Fatima Zahrae**

**Encadré par:**

**Pr. BENABDELHADI Mohammad, FST-Fès**
**Ing. ALHAMDANI Driss, ONEE- Fès**

**Soutenu Le 12 Juin 2019, devant le jury composé de:**

**Pr. RAIS Naoual, FST-Fès**
**Pr. BENAABIDTE Lahcen, FST- Fès**
**Pr. BENABDELHADI Mohammad, FST-Fès**

**Stage effectué à : ONEE, Fès**

*Faculté des Sciences et Techniques - Fès*
*B.P. 2202 – Route d'Imouzzer – FES*
*212 (0) 535 60 29 53 Fax : 212 (0) 535 60 82 14*

# Remerciement

Au terme ce travail, je tiens à remercier vivement Monsieur le Directeur de la région du centre Nord de l'ONEE/Branche d'eau qui a accepté de m'accueillir en stage au sein de son organisme.

Mes profondes remerciements vont à mon encadrant interne de la -FST Fès- Mr. **BENABDELHADI Mohammed** professeur au département de L'Environnement à la faculté des Sciences et Techniques de Fès; qui a accepté d'encadrer mon travail durant deux mois de stage et qui m'a réservé des moments précieux de discussion et m'a facilité toutes les conditions pour bien mener ce travail.

Je tiens à exprimer mes profondes gratitudes et mes sincères remerciements à mon encadrant de l'ONEE **Mr HAMDANI Driss**; Ingénier de qualité d'eau ; pour toutes ces directives précieuses et pour la qualité de son suivi durant toute la période de mon stage.

Je voudrais remercier également toute l'équipe du laboratoire de **L'ONEE** pour leur accueil et pour l'intérêt qu'ils ont manifesté envers mon travail.

Mon plus vif remerciement S'adressait aussi à toute la carde professorale et administrative de FSTF et tous les enseignants du département Environnement pour les efforts qu'ils ont fourni pour notre formation.

Madame **Rais Naoual et Monsieur BENAABIDATE Lahcen** Professeurs au sein du département de l'Environnement à la faculté des sciences et technique de Fès, qui ont accepté de juger ce travail de fin d'étude.

Ce que je dois à ma chère mère et mon chère père va bien au de là des remerciements ou même de la gratitude mon vocabulaire est trop limité pour exprimer son importance dans ce travail et dans ma vie.

# Résumé

La zone que nous avons choisi d'étudier est située dans la plaine Fès-Saïs avec une superficie est d'environ 2100km$^2$. Elle est limitée par l'oued Sebou à l'est, l'oued Beht à l'ouest, les rides pré rifaines au nord- est et le causse Moyen – Atlasique au sud. La nappe captive de Fès-Saïs se situe au niveau des formations carbonatées du calcaire, du calcaire dolomitique et des dolomites liasiques et elle a pour substratum les formations triasiques et comme toit les grès et les marnes du Miocène.

L'étude des paramètres physico-chimiques concerne 19 forages réparties à Ras Al Maa, à Ain Baidda, à Ain Chkkaf et à l'ouest de Fès. Les résultats des analyses des échantillons montrent que le pH est presque neutre entre 7.13et7.65, que la °T oscille entre 17.7°C et 31°C, que la conductivité varie entre 500 et 7430µS/cm, que la concentration d'oxygène dissout varie entre 4.5 et 8.8mg/L et que la turbidité varie entre 0.18 et 0.68 NTU. Les paramètres chimiques $Mg^{2+}$, $Ca^{2+}$, $K^+$, $Na^+$, $HCO^-_3$, $Cl^-$, $SO^{2-}_4$, $NO^-_3$ sont conformes aux normes marocaines pour tous les échantillons des captages sauf le forage F11 qui dépasse la norme pour les chlorures (1790mg/L), la conductivité (7430µS/cm), le sodium (1040mg/L), le forage F9 qui est non conforme à la norme par une valeur de 8.8mg$O_2$/L pour l'oxygène dissout et le F13 qui dépasse la norme pour le $Mg^{2+}$(61.4mg/L). Ces forages avec des teneurs élevées feront l'objet d'une dilution des eaux avec celles d'autres captages. Pour les métaux lourds (Al, Se, As, Ni, Cd) leurs teneurs sont conformes aux normes marocaines et présentant ainsi une bonne qualité d'eau.

Les résultats des analyses chimiques, nous a permis de distinguer les faciès chimiques des eaux souterraines de la nappe. Il s'agit d'une eau bicarbonatée calco-magnésienne caractérisant les eaux de faible minéralisation et un deuxième type correspond à une eau chlorurée bicarbonatée calco-magnésienne ou chlorurée sulfato-calco-magnésienne caractérisant des eaux à minéralisation élevée.



**Mots clés :** nappe captive Fès-Saïs, Hydrogéologie, Eléments trace, Faciès chimiques.

# sommaire

**Introduction** ..... **8**

**La Chapitre 1: Données géographiques géologiques, hydrogéologie et climatologique des eaux souterraines de nappe Fès** ..... **9**

I. Plaine et nappes de Saïs en général ..... 9

I.1 Situation géographique ..... 9

I.2 Contexte hydrogéologie ..... 10

II. Présentation de la zone d'étude la nappe Fès Sais. ..... 10

II.1 Cadre géologique et morphologique ..... 10

II.2Géologie de la plaine de Fès ..... 10

II.3Contexte hydrogéologie ..... 13

II.4 Climatologie ..... 14

II.4.1 Données climatiques ..... 14

II.4.1.1 Précipitations ..... 14

II.4.1.2 Température ..... 15

II.5 Caractéristiques des forages ..... 17

II.5.1 Etude géophysique ..... 17

II.5.2 Méthode de forage au Carottage Rotary ..... 18

II.5.3 Equipement de forage ..... 18

II.5.4 Essai de pompage ..... 18

Artésianisime ..... 18

II.5.5 Localisation des captages ..... 19

**Chapitre 2: Etude de la qualité des eaux souterraines de la nappe captive de Fès Saïs** ..... **20**

I. Introduction ..... 20

II. Matériels et Méthodes ..... 20

II.1 Echantillonnage ..... 20

II.2 Conservation des échantillons ..... 20

II.3 Agents de conservation ..... 20

II.4 Flacons de prélèvement ..... 20

III. Paramètres physiques ..... 21

III.1 Température ..... 21

III.2 PH (Potentiel Hydrogène) ..... 21

III.2.1 Définition ..... 21

III.2.2 Principe ..... 21
III.2.3 Mode opératoire ..... 21
III. 3 Conductivité ..... 21
III.3.1 Définition ..... 21
III.3.2Principe ..... 22
III.4 Turbidité ..... 22
III.4.1 Définition ..... 22
III.4.2 Principe ..... 22
III.5 L'oxygène dissout ..... 22
III.5.1 Définition ..... 22
III.5.2Principe ..... 22
III. paramètres chimiques ..... 22
IV.1 Mesure de dureté totale TH ..... 22
IV.1.1 Principe ..... 22
IV.1.2 Mode opératoire ..... 23
IV.2 Mesure de $Ca^{2+}$ ..... 23
IV.2.1Principe ..... 23
IV.2.2 Mode opératoire ..... 23
IV.3 Mesure de $Mg^{2+}$ ..... 23
IV.3 Titre alcalimétrique complet (TAC) ..... 23
IV.3.1 Principe ..... 23
IV.3.2 Mode opération ..... 24
IV.4 Dosage par spectrométrie d'absorption atomique à flamme ..... 24
IV.4.1 Principe ..... 24
IV.4.2 Mode opératoire ..... 24
IV.4.3 Appareillage ..... 24
IV.5 Dosages des éléments trace par les Spectromètres d'Absorbation Atomique par four à graphite(SAA) ..... 25
IV.5.1 Principe ..... 25
IV.5.2 Mode opération ..... 25
IV.5.3Appareillage ..... 25
IV.6 Dosage par l'Absorbation Atomique Moléculaire ..... 25
IV.6.1Principe ..... 25
IV.6.2Appareillage ..... 26
IV.6.2Dosage des nitrates ..... 26

IV.6.2.1 Principe ..... 26
IV.6.2.2 Mode opératoire ..... 26
IV.6.3 Dosage des Chlorures ..... 26
IV.6.3.1Principe ..... 26
IV.6.3.2 Mode opératoire ..... 26
IV.6.4 Dosage des sulfates ..... 26
IV.6.4.1 Principe ..... 26
IV.6.4.2 Mode opératoire : ..... 27
I. Résultats et interprétations ..... 27
I.1 Température d'eau ..... 27
I.2 Turbidité ..... 28
I.3 PH ..... 28
I.4 Oxygène dissout ..... 29
I.5 Conductivité ..... 29
I.6. Paramètres chimiques ..... 30
I.6.1Cations ..... 31
I.6.1.1 Magnésiums ..... 31
I.6.1.2 Calcium ..... 31
I.6.1.3 Sodium ..... 32
I.6.1.4 Potassium ..... 32
I.6.2Anions ..... 32
I.6.2.1Bicarbonates ..... 32
I.6.2.2 Chlorures ..... 33
I.6.2.3 Nitrates ..... 33
I.6.2.4 Sulfates ..... 34
I.7 Balance ionique : ..... 34
II.DETERMINATION DES FACIES CHIMIQUES ..... 35
II.1 Diagramme de piper ..... 36
II.2 Diagramme de Schöeller – Berkaloff ..... 37
III.Les métaux lourds ..... 37
**Conclusion ..... 39**
**Bibliographie Référence ..... 40**
**Annexes ..... 42**

# Tableau des figures

**Figure 1:Situation géographique du bassin Saïs (ABHS, 2006)..... 9**
**Figure 2:Structure du système aquifère de Saïs (ABHS, 2006) ..... 10**
**Figure 3:log lithostratigraphique de la plaine Fès-Saïs (Amraoui, 2005) ..... 12**
**Figure 4 : Carte géologique du bassin du Saïs (Cirac, 1987)..... 12**
**Figure 5 : Coupe hydrogéologique de la nappe liasique (Taltass, 1953) ..... 13**
**Figure 6 : localisation de la zone étudiée au niveau de la carte du bilan de la nappe du Saïs (Aharik et Elgarouani, 2016)..... 14**
**Figure 7 : Précipitation annelles de la région Fès -Sais,(2018, 2017,2016)..... 15**
**Figure 8 : Valeurs de la température de l'année 2018 (infoclimat) ..... 15**
**Figure 9 : Valeurs de la température dans l'année 2017(infoclimat) ..... 16**
**Figure 10 : Mesures de la température de l'année 2016(infoclimat) ..... 16**
**Figure 11 : Caractéristique de la nappe captive (ONEE, 2012)..... 18**
**Figure 12 : Localisation des forages artésiens des la région Fès-Saïs d'après les cartes topographiques d'Ain Taoujdate et de Sefrou (1/500000)..... 19**
**Photo 13 : Spectrophotomètre d'absorption à flamme ..... 24**
**Photo 14 : Spectrophotomètre d'absorption atomique par four à graphite ..... 25**
**Photo 15 : Absorbation Atomique Moléculaire -UV..... 26**
**Figure 16 : Variation spatiale de la température d'eau..... 28**
**Figure 17 : Variation spatiale de turbidité d'eau ..... 28**
**Figure 18 : Variation spatiale du pH..... 29**
**Figure 19 : Variation spatiale de l'oxygène dissout..... 29**
**Figure 20 : Variation spatiale de la conductivité..... 30**
**Figure 21 : Variation spatiale du magnésium..... 31**
**Figure 22 : Variation spatiale du calcium..... 31**
**Figure 23 : Variations spatiale du sodium ..... 32**
**Figure 24 : Variation spatiale du potassium..... 32**
**Figure 25 : Variation spatiale des bicarbonates ..... 33**
**Figure 26 : Variation spatiale des chlorures..... 33**
**Figure 27 : Variation spatiale du nitrate..... 34**
**Figure 28 : Balance ionique des eaux souterraines ..... 35**
**Figure 29 : Diagramme triangulaire de Piper des eaux de la nappe Liasique de la région Fès-Saïs..... 36**
**Figure 30 : Diagramme logarithmique de Scheöller-Berkaloff des eaux souterraines de la nappe Fès-Saïs ..... 37**

## Liste des tableaux

**Tableau 1 : Fiche technique des captages de la nappe profonde de Fès-Saïs ..... 17**
**Tableau 2 : Résultats analytiques des paramètres physiques ..... 27**
**Tableau 3 : résultats analytiques des paramètres chimiques des eaux étudiées, 2019..... 30**
**Tableau 5 : Teneurs des métaux lourds dans les eaux souterraines (2019) ..... 38**
**Tableau 6 : Balance ionique des eaux souterraines de la nappe captive de Fès-Saîs..... 43**

# *Introduction*

L'eau est un agent écologique indispensable à l'existence, au développement et l'évolution de la vie des êtres vivent. L'eau de l'alimentation est un élément rare dans le monde, elle recouvre 72% de la surface et 0.3% des réservoirs globaux d'eau sont consommés par les humains. Elle ne doit pas contenir en quantité dangereux ni micro-organismes, ni substance chimiques nocifs pour la santé en outre, elle doit être aussi agréable à boire selon la norme marocaine (NM.03.07.001).

L'objet de ce présent travail est l'étude de la qualité des eaux de la nappe captive de Fès-Saïs situé sur la plaine de Fès-Saïs dans la partie nord-ouest au Maroc dans la région Fès-Meknès. Nous allons commencer par une étude bibliographique du contexte géologique, hydrogéologique et climatologique. Pour mener à bien ce travail nous allons d'abord procéder à une compagne de prélèvement des eaux au niveau de 19 forages répartis à Ras Al Maa, à Ain Baidda, à Ain Chkkaf et à l'ouest de Fès.
Pour évaluer l'état actuel de la qualité des eaux de cette zone nous allons procéder à l'analyse des paramètres physico-chimiques suivants ; $Mg^{2+}$, $Ca^{2+}$, $K^{+}$, $Na^{+}$, $HCO^{-}_{3}$, $Cl^{-}$, $SO^{2-}_{4}$, $NO_{3}^{-}$, la température, l'oxygène dissout, la turbidité, la conductivité, et le pH. Ces analyses vont être effectuées dans le laboratoire régionale de l'ONEE de Fès et seront effectuée par plusieurs méthodes ; le dosage, la spectrométrie d'absorption moléculaire et la spectrométrie d'absorption à flamme. Les éléments traces Al, Se, As, Ni et Cd vont être analysés par la méthode de spectrométrie d'absorption atomique avec four à graphite. En fin d'étude les résultats des analyses chimiques vont servir pour caractériser les faciès chimiques en utilisant le diagramme de Piper et le diagramme semi-logarithmique de Schöeller-Berkaloff

# *La Chapitre 1: Données géographiques géologiques, hydrogéologie et climatologique des eaux souterraines de nappe Fès*

## I. PLAINE ET NAPPES DE SAÏS EN GENERAL

### *I.1 Situation géographique*

La plaine de Saïs se situe entre des coordonnées lambart : 465<X<545km et 335<Y<385km, la superficie de plaine de Saïs est d'environ 2100km$^2$ « 100km d'ouest en est et 30km du nord au sud », elle est limitée par l'oued Sebou à l'est, l'oued Beht à l'ouest, les rides prérifaines au nord- est et le causse Moyen – Atlasique au sud.

Au nord de la plaine, le domaine prérifain, présent un relief assez accident avec des formations rigides (calcaires, grés) qui pointent à l'intérieur d'un ensemble mollement plissé pour conférer une structure de type iceberg avec des vallées étroites et profondément encaissées. Au sud, la limite atlasique montre une structure subtabulaire disséquées qui accuse un pendage général vers le nord ou elle s'ennoie sous les formations miocènes et plio villafranchiennes de la plaine.

La limite nord de la plaine de Saïs s'étale dans le domaine pré rifain tandis que la limite sud intéresse le domine atlasique et les deux sont des repères structuraux différents pour leur âge et par leurs styles. Un accident topographiquement franc, d'orientation globale WNW-ESE, appelé flexure d'Aïn Taoujdate, dénivelle nettement deux paliers: le plateau de Meknès (ou le Saïs de Meknès) à l'ouest et la plaine du Saïs (ou le Saïs de Fès) à l'est. Cet accident abaisse la plaine du Saïs par rapport au plateau de Meknès. La flexure de Ras El Ma, de direction sensiblement NE-SW, divise la plaine du Saïs en deux parties: la plaine d'Aïn Taoujdate à l'ouest et la plaine de Fès à l'est (Fig. 1) (ABHS, 2006)

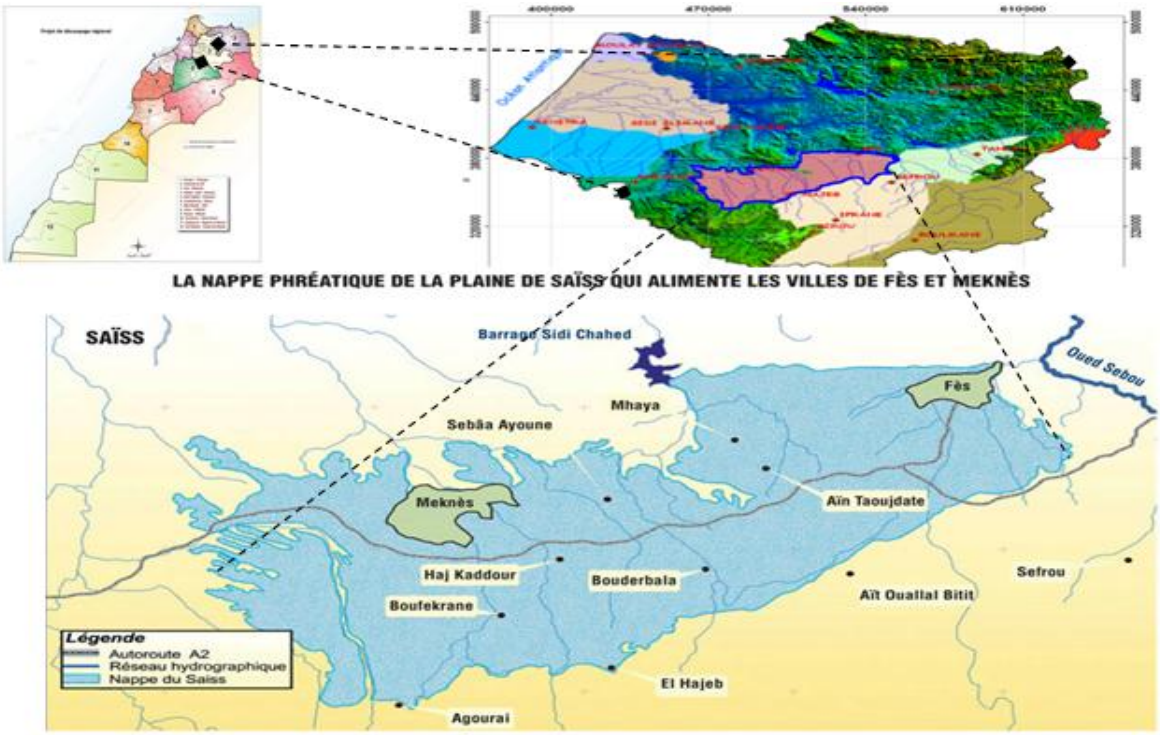



**Figure 1:Situation géographique du bassin Saïs (ABHS, 2006)**

### *I.2 Contexte hydrogéologie*

L'hydrogéologie de La plaine de Saïs est formée par un aquifère complexe et composé de deux nappes superposées une phréatique et une profonde. La nappe phréatique circule dans des sables, des conglomérats du Miocène par endroits dans les calcaires lacustres du Plio-Villafranchien. La nappe profonde circule dans les calcaires dolomitiques du Lias et se met en charge sous l'épaisse série de marnes imperméables du Miocène (Fig. 2).

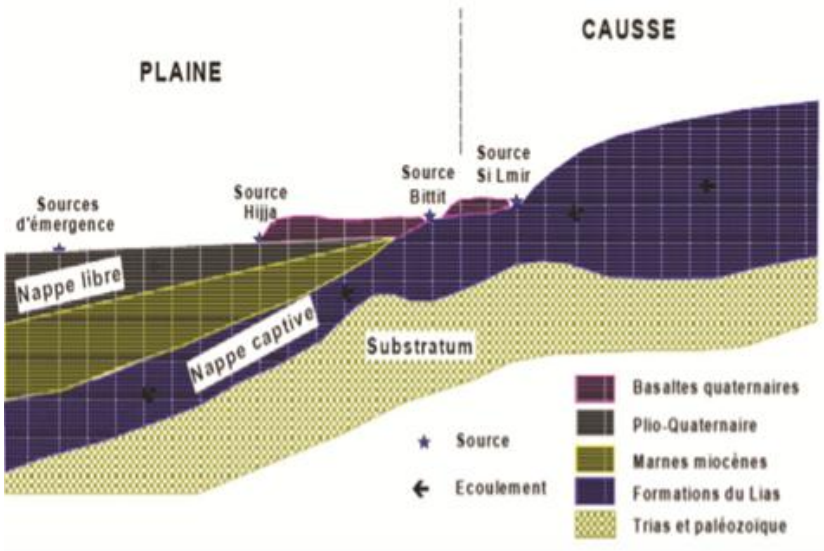



**Figure 2:Structure du système aquifère de Saïs (ABHS, 2006)**

## II. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE LA NAPPE FES SAIS.

### *II.1 Cadre géologique et morphologique*

Le contexte géomorphologie de la ville de Fès est très varié ; il est composé d'une plaine, de vallées, de plateaux. La ville de Fès est construite sur la plaine de Saïs qui présente une topographie qui décroit du sud vers le nord pour se redresser brutalement au contact des rides pré –rifaines. La pente des cours d'eau est assez faible et de ce fait, les oueds sont peu encaissés par endroit ce qui engendre des zones mal drainées ou marécageuses : c'est le cas de la localité de Douyate située à l'ouest de la ville de Fès ainsi que la zone de Merja au nord de l'agglomération de Ben Souda. La plaine est encadrée par les rides pré- rifaines de Jbel Trahat et Jbel Zalagh au nord.

### *II.2Géologie de la plaine de Fès*

Le substratum est d'âge Triasique et il est formé par les dépotes détritiques, il s'agit des agriles rouges salifiés ayant une origine continentale (Roch, 1950) et des basaltes doléritiques (Ouarhache, 1987) (Fig. 4). Les argiles seraient déposées en fait dans un milieu marin peu profond (Lucas, 1962). Le sédiment triasique se caractérise par une surface irrégulière résultat

de l'érosion de la chaine hercynienne. La présence des coulées basaltiques épanchées avec des épaisseurs variables  indice des évaporites, souvent à l'origine de diapirisme amplifient les épaisseurs (Cogney et Termier, 1971 ; Cogney et Faugéres, 1975).

Le lias se compose par des dolomies, des calcaires et des calcaires dolomitiques (Al Arabi et al.1986, Al Arabi.1987, charriére.1990) (Fig. 4). Le Causse moyen-atlasique s'enfonce progressivement sous le bassin de Meknès-Fès, vers le nord. Il est affecté par des failles et des flexures (Chamayou, 1958). La profondeur du Lias est irrégulière  à travers le bassin  ce que traduit l'effet des accidents tectoniques sous forme d'un ensemble de cuvettes synclinales limitées au sud par la flexure de style rifain d'Ain – Taoujdate, à l'est par d'Ain –chkeff, et au nord par les rides prérifaines ; ces accidents sont responsables d'un compartimentage de l'aquifère profond en panneaux soulevés ou affaissés de l'ordre de 80 m. On note un développement des faciès jurassiques vers l'est du bassin. La roche carbonatée du lais moyen c'est le réservoir principal d'eau souterraine (Amraoui, 2005) de la région Fès Saïs.

Le Miocène inférieur est constitué par des Grès de Tghat au dessues des marnes blanchâtres et des calcarénites (calcaire gréseux) et puis se termine par les Marnes de Fès. Le Miocène supérieur  peut atteindre une puissance de 1000 m à la verticale de Fès et il mise en place sur le nord de la plaine de Fès-Saïs (DRFE, 1989); il se termine par un faciès gréso-sableux peu épais (30 à 50 m) dit « sahélien » et rapporté au Pliocène (Fig. 4). Le Miocène compose le toit de la nappe profonde de Sais.

| Age | Log | Epaisseur (m) | Description des faciès |
|---|---|---|---|
| Quaternaire | | 0 à 50 | Coulées basaltiques, travertins et tufs, limons anciens et cailloutis |
| Pliocène | | 10 à 50 | Calcaires lacustres et sables fauves |
| Miocène | | 0 à 1000<br>20 à 50 | Marnes bleues avec intercalation de quelques niveaux gréseux **(Tortonien)**<br>Calcaires gréseux et mollasses à la base **(Burdigalien)** |
| Lias | | 20 à 80<br>50 à 150 | Dolomies litées, recouvertes de calcaires à silex et calcaires dolomitiques, le tout surmonté de calcaires gris **(Lias moyen)**<br>Dolomies sableuses friables, recouvertes par des dolomies massives et surmontées par des dolomies litées **(Lias inférieur)** |
| Trias | | Dizaines à centaines | Alternance d'argiles rouges gypsifères et salifères avec des basaltes doléritiques |
| Paléozoïque | | Quelques centaines | Schistes bruns, parfois violacés, des grès, des quartzites et des calcaires gréseux **(Viséen)**. |

**Figure 3:log lithostratigraphique de la plaine Fès-Saïs (Amraoui, 2005)**

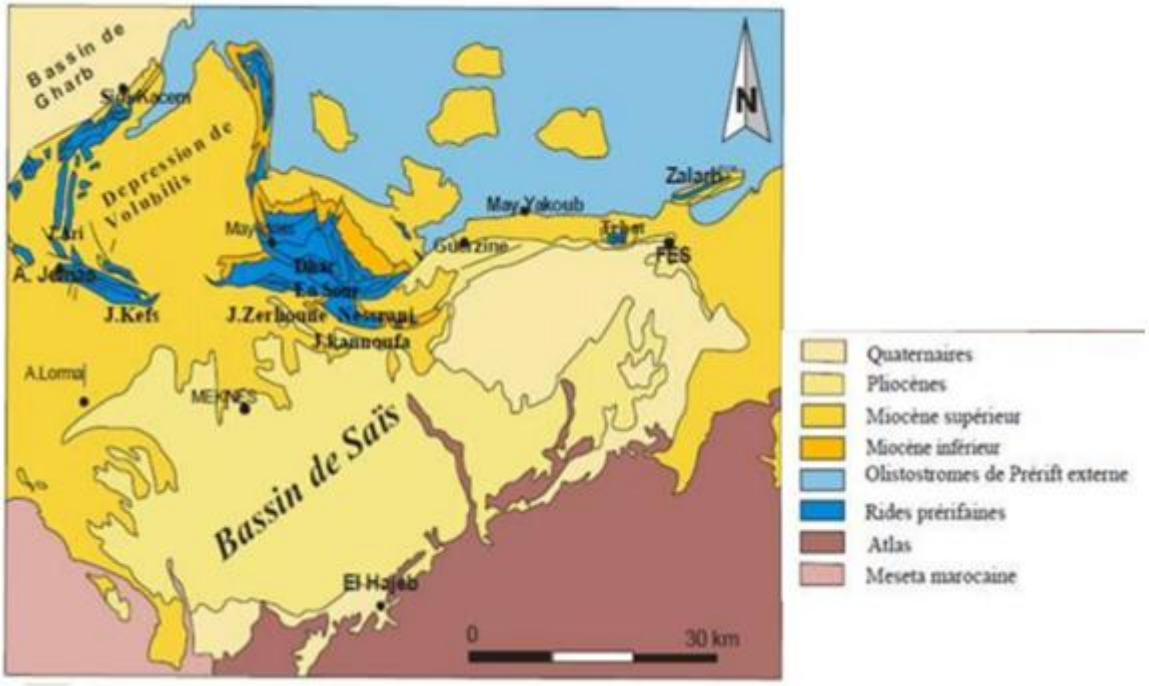



**Figure 4 : Carte géologique du bassin du Saïs (Cirac, 1987)**

### *II.3Contexte hydrogéologie*

D'un point de vue hydrogéologique, la région de Fès présente une grande nappe captive nommée la nappe de Fès-Saïs ou la nappe profonde du lias. Le réservoir d'eau est formé par les calcaires dolomitiques du Lais en charge sous les marnes du Miocène, son toit est généralement localisé entre 452m et 1468m de profondeur (Fig. 5). Cette nappe est alimentée par les eaux d'infiltration au niveau des causses du moyen Atlas situé en amont et elle est exploitée au moyen des forages artésiens.

Les captages de la nappe du Lais sont localisés dans le secteur d'Ain Chkkef et de Ras El Maa et Ain Baida et Ain Semmen (Tab. 1) et assurent l'alimentation en eau potable des populations urbaines de la ville de Fès.

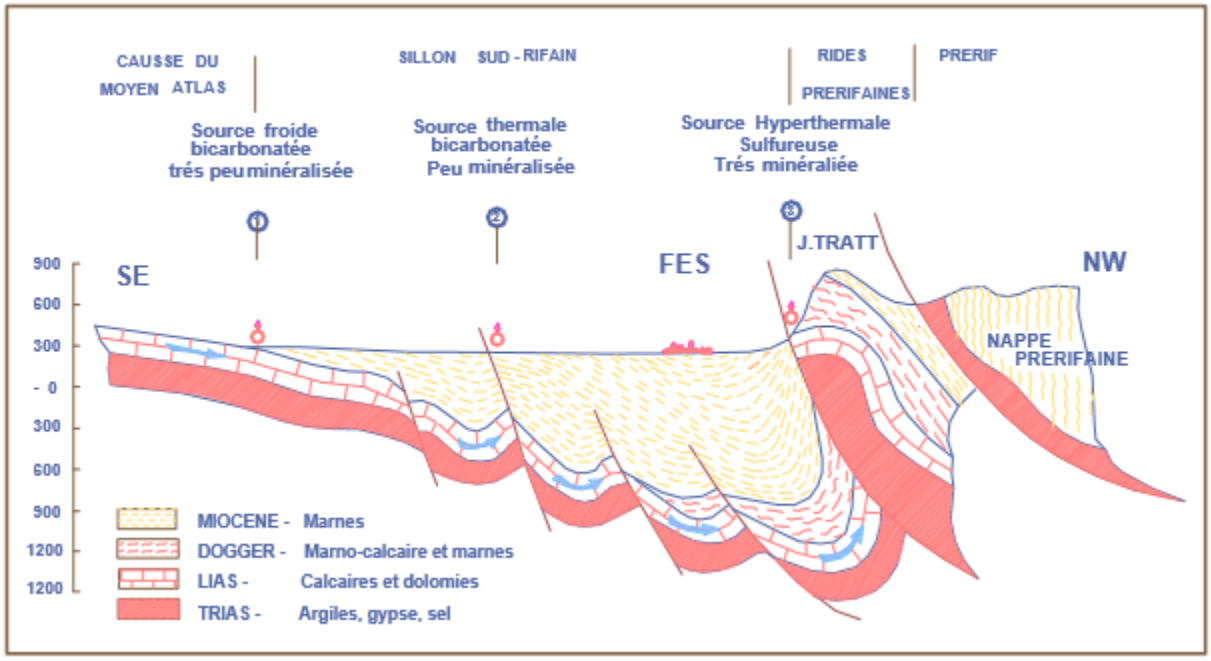



**Figure 5 : Coupe hydrogéologique de la nappe liasique (Taltass, 1953)**

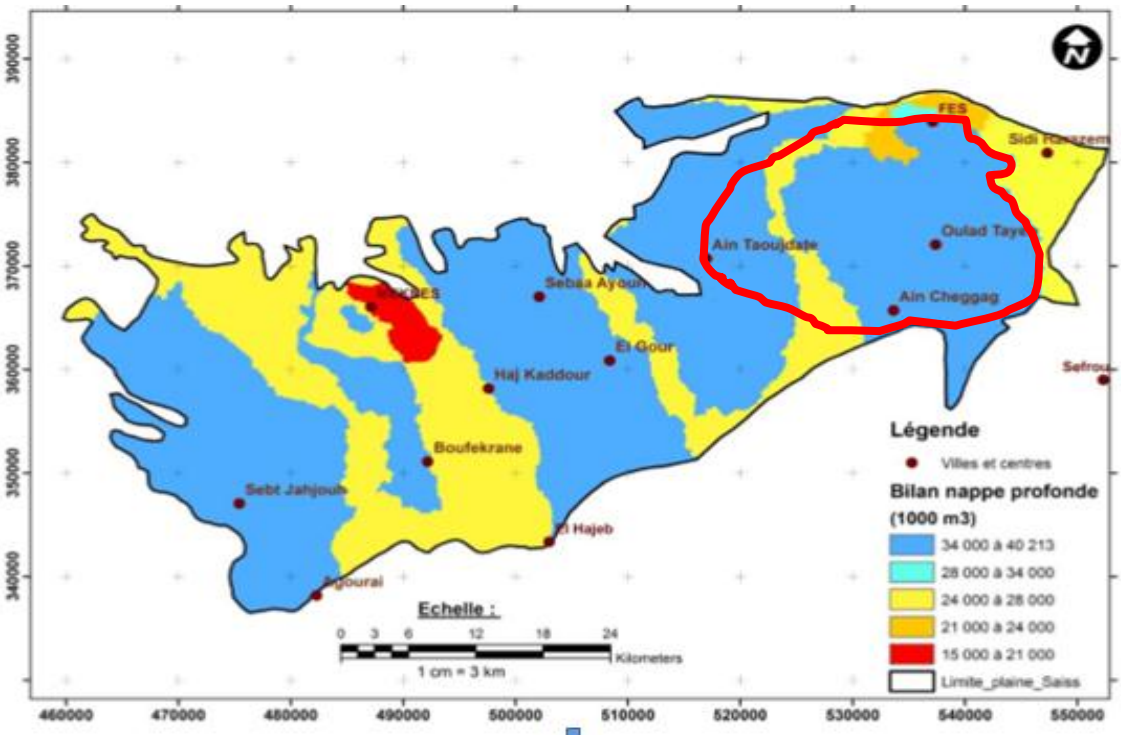



**Figure 6 : localisation de la zone étudiée au niveau de la carte du bilan de la nappe du Saïs (Aharik et Elgarouani, 2016)**

## *II.4 CLIMATOLOGIE*

### II.4.1 Données climatiques

Le climat est chaud et tempéré. Les précipitations sont importantes à Fès en hiver mais elles sont rares en été. La moyenne des précipitations est de 205mm. La température moyenne annuelle est de 17.5˚C. En générale le climat de Fès-Saïs est méditerranien. La ville se situe entre le moyen Atlasique au sud, et le Rif au nord, et donc elle subit l'effet de versant des montages.

#### II.4.1.1 Précipitations

On constate des variations au niveau des précipitations surtout durant les années dernières liées au changement du climat. En 2018, la valeur des précipitations est plus élevée que les années passées comme 2017et 2016 surtout les mois de mars et avril. On a observé que les précipitations sont plus au moins nulles pendant les mois de juin et juillet, et la valeur maximale pendant les trois années est de 205 mm pendant le mois de mars.

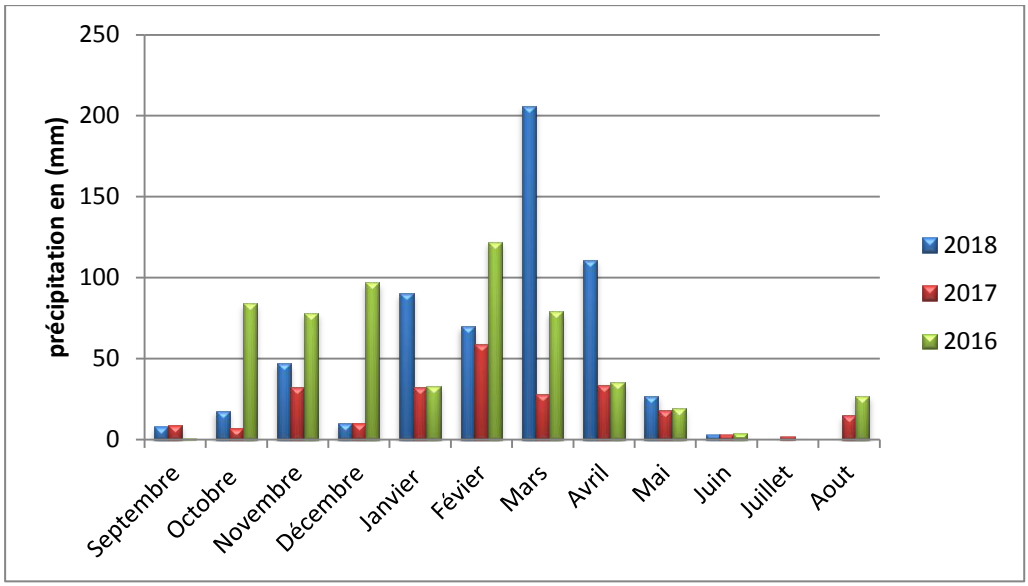
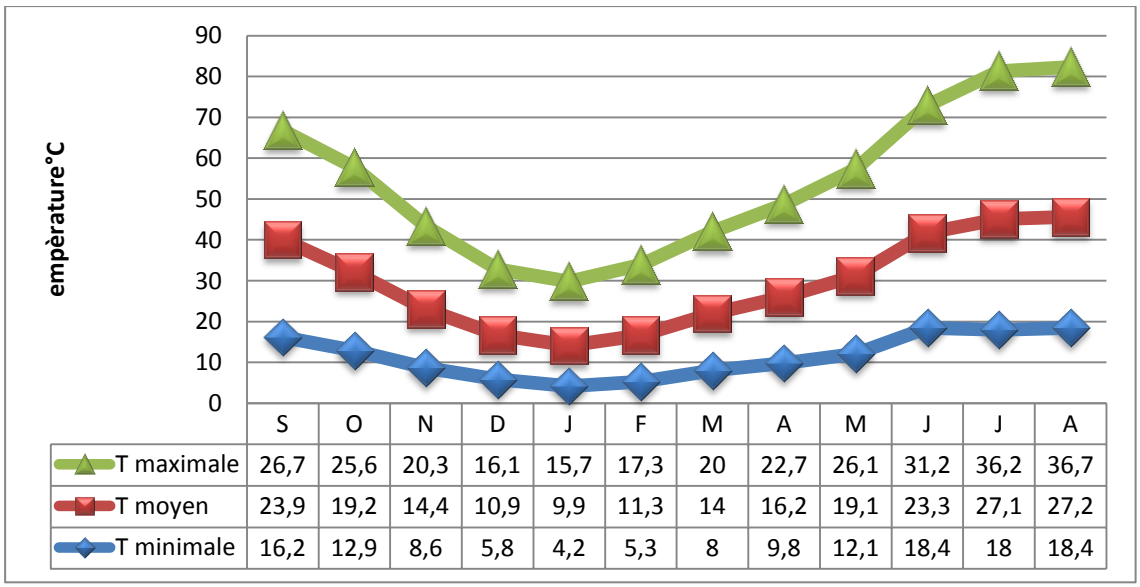



**Figure 7 : Précipitation annelles de la région Fès -Sais,(2018, 2017,2016)**

II.4.1.2 Température

L'étude du facteur de la température est primordiale pour caractériser le contexte climatique dans une région. Pour l'année 2018 la température moyenne est de 17.3 °C. Le mois le plus froid est janvier avec une température moyenne de l'ordre de 9.9 °C, et le mois le plus chaud est celui d'août avec une température moyenne de 27.4°C.

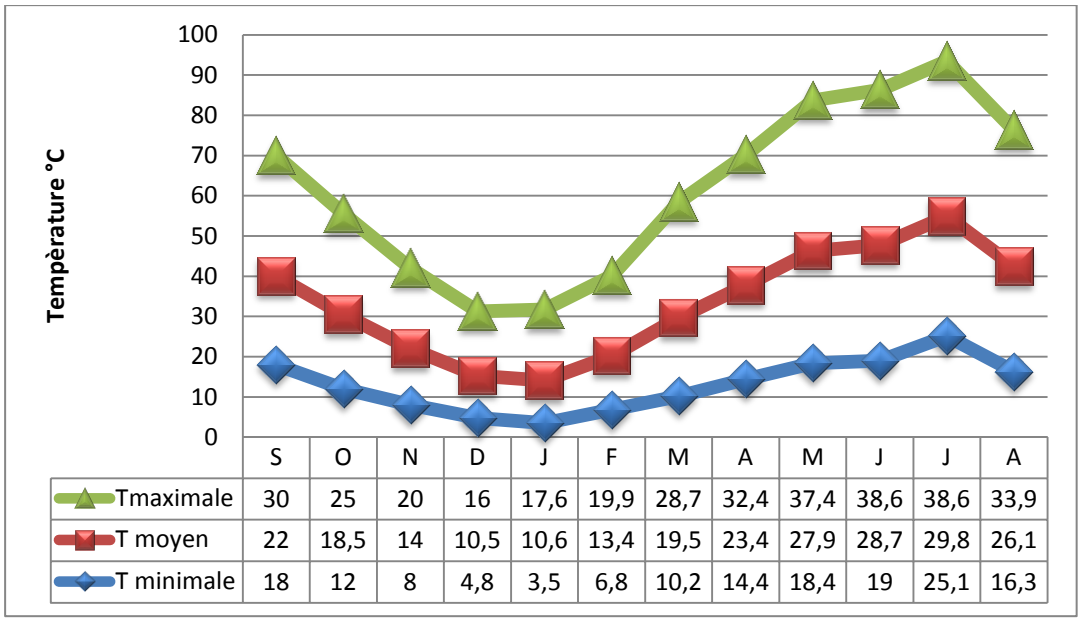



| | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T maximale | 26,7 | 25,6 | 20,3 | 16,1 | 15,7 | 17,3 | 20 | 22,7 | 26,1 | 31,2 | 36,2 | 36,7 |
| T moyen | 23,9 | 19,2 | 14,4 | 10,9 | 9,9 | 11,3 | 14 | 16,2 | 19,1 | 23,3 | 27,1 | 27,2 |
| T minimale | 16,2 | 12,9 | 8,6 | 5,8 | 4,2 | 5,3 | 8 | 9,8 | 12,1 | 18,4 | 18 | 18,4 |

**Figure 8 : Valeurs de la température de l'année 2018 (infoclimat)**

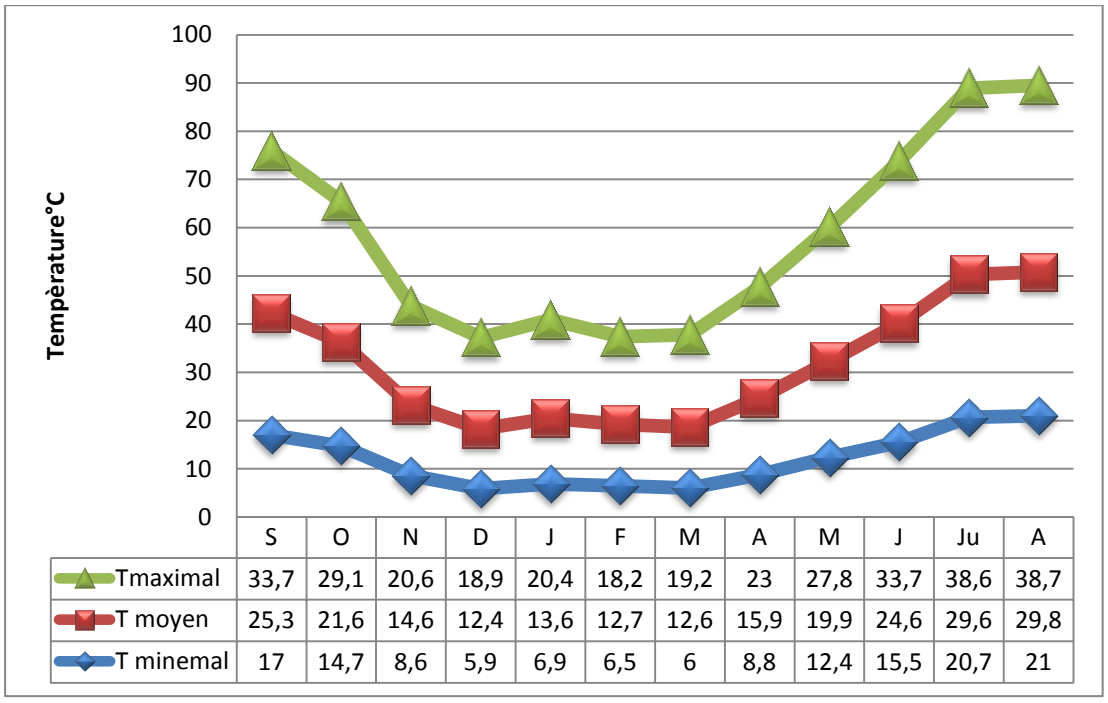
En l'année 2017 la température moyenne est de 17.1°C. Le mois le plus chaud est le mois de juillet d'une valeur 28.3°C et le mois le plus froid est janvier avec une température égale à10.1°C. Le mois le plus chaud dans l'année 2016 est août avec une température moyenne de 30.3°C et le mois froid est celui de décombre avec une température moyenne est égale à 12.4°C. La température moyenne de l'année 2016 est de 19.8°C.

On distingue que l'année la plus chaude est 2016 et l''année la plus froide est l'année 2017.




| | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tmaximale | 30 | 25 | 20 | 16 | 17,6 | 19,9 | 28,7 | 32,4 | 37,4 | 38,6 | 38,6 | 33,9 |
| T moyen | 22 | 18,5 | 14 | 10,5 | 10,6 | 13,4 | 19,5 | 23,4 | 27,9 | 28,7 | 29,8 | 26,1 |
| T minimale | 18 | 12 | 8 | 4,8 | 3,5 | 6,8 | 10,2 | 14,4 | 18,4 | 19 | 25,1 | 16,3 |

**Figure 9 : Valeurs de la température dans l'année 2017(infoclimat)**




| | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | Ju | A |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tmaximal | 33,7 | 29,1 | 20,6 | 18,9 | 20,4 | 18,2 | 19,2 | 23 | 27,8 | 33,7 | 38,6 | 38,7 |
| T moyen | 25,3 | 21,6 | 14,6 | 12,4 | 13,6 | 12,7 | 12,6 | 15,9 | 19,9 | 24,6 | 29,6 | 29,8 |
| T minemal | 17 | 14,7 | 8,6 | 5,9 | 6,9 | 6,5 | 6 | 8,8 | 12,4 | 15,5 | 20,7 | 21 |

**Figure 10 : Mesures de la température de l'année 2016(infoclimat)**

## *II.5 Caractéristiques des forages*

**Tableau 1 : Fiche technique des captages de la nappe profonde de Fès-Saïs**

| forages | | Localisation | Type | X | Y | Caractéristiques techniques | | Débit (L/s) | durée de descente |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | PT(m) | N.Piéz/sol (bars) | | |
| **F1** | Ain Chkef | Ras El Mâa | Forage artésien | 530 500 | 373 500 | 800 | 9,85 | 100 | 2h |
| **F2** | Ain Chkef | Laababda | Forage artésien | 532 400 | 372 750 | 931 | 9,54 | 80 | 1h |
| **F3** | Ain Chkef | Laababda | Forage artésien | 526 966 | 374 092 | 665,67 | 12,25 | 100 | 1h |
| **F4** | Ain Chkef | Ras El Mâa | Forage artésien | 524 750 | 373 600 | 775 | 13,66 | 150 | 1h |
| **F5** | Ain Chkef | Ras El Mâa | Forage artésien | 528 200 | 372 000 | 767 | 79,4 | 109 | 1h |
| **F6** | Ain Chkef | Ras El Mâa | Forage artésien | 528 150 | 374 950 | 807 | 133,4 | 120 | 2h |
| **F7** | Ain Chkef | Ras El Mâa | Forage artésien | 531 000 | 376 950 | 911 | 13,98 | 132 | 2h |
| **F8** | Ain Chkef | Ain Beida | Forage artésien | 526 500 | 368 600 | 715 | 61,8 | 121,3 | 2h |
| **F9** | Ben Souda | Ain Smene | Forage artésien | 535 250 | 377 900 | 1468 | 13,88 | 109 | 1h |
| **F10** | Ain Chkef | OUED ATCHANA | Forage artésien | 525 400 | 370 600 | 635 | 10,94 | 1 | Inconnue |
| **F11** | Ain Chkef | Ras El Mâa | Forage artésien | 533 950 | 376 825 | 1433 | 14,87 | 90 | 1h |
| **F12** | Ain Chkef | | Forage artésien | 532 725 | 374 400 | 145 | 11,4 | Inconnue | Inconnue |
| **F13** | Ain Beida | Ouled Mimoun | Forage artésien | 544 200 | 375 400 | 681 | 6,63 | 106,3 | 2h |
| **F14** | Ain Chkef | Ras El Mâa | Forage artésien | 525 472 | 370 120 | 465 | 85,7m | 25 | 2h |
| **F15** | Ain Chkef | Ras El Mâa | Forage artésien | 526 357 | 373 014 | 697 | 95m | 75 | 2h |
| **F16** | Ain Chkef | Ras El Mâa | Forage artésien | 524 600 | 371 960 | 620 | 9,793 | 240 | 3h |
| **F17** | Ain Chkef | Ras El Mâa | Forage artésien | 525 298 | 369 146 | 517 | 6,43 | 153,8 | 5h |
| **F18** | Ain Chkef | Khrabcha | Forage artésien | 536 030 | 371 280 | 502 | 46,8 | 125 | 2h |
| **F19** | Ain Chkef | Ras El Mâa | Forage artésien | 525 000 | 375020 | 824 | 12,03 | 100 | 1h |

### *II.5.1 Etude géophysique*

Avant de faire un forage d'eau, il faut faire une étude géophysique par l'exploration électrique. Les facteurs importants de l'exploration électrique sont la teneur en eau, la concentration en ions de l'électrolyte et la texture des agrégats du sol ou de la roche. L'eau joue un rôle fondamental sur cette méthode parce que le courent électrique passe par la minéralisation d'eau ou les ions de solution. Il doit être interprété avec soin car les terrains conducteurs peuvent masquer les terrains sous-jacents. C'est le résultat de l'exploration électrique positif.

### *II.5.2 Méthode de forage au Carottage Rotary*

C'est la méthode la plus utilisée pour les forages profonds ou les forages artésiens. La pénétration de l'outil s'effectue par abrasion et broyage du terrain, sans chocs, uniquement par rotation. Le contrôle hydrogéologique est impossible car la boue empêche l'introduction du fluide dans le forage, on fait des diagraphies instantanées ou retardées pour avoir des indications. On recherche l'eau douce avec la boue saumâtre et l'eau saumâtre avec la boue douce. On établie une courbe de chlorure de boue. Si le forage traverse des formations perméables, le forage consomme plus de boue.

### *II.5.3 Equipement de forage*

L'équipement de forage se constitue par le tubage. Il s'agit de l'opération de chemisage du trou en vue de son exploitation éventuelle. Dans un forage d'exploitation, on utilise deux catégories de tubes : Les tubes pleins sont placés au niveau des couches imperméables et les tubes perforés (crépines) sont placés au droit des horizons de bonne perméabilité.

### *II.5.4 Essai de pompage*

Il a pour objet de défini le paramètre hydrodynamique (T.S) de l'aquifère dans lequel est réalisé le forage ce qui conduit à l'exploitation optimale de l'ouvrage. Le pompage des forages très facile par apport les puits parce que ne peut pas utiliser la pompe pour leurs l'exploitation.

### *Artésianisime*

La pression relevée en tête des forages artésiens varie entre 1 et 24 bars. La pression est liée par l'augmentation d'épaisseur du toit d'aquifère. L'eau remontre au niveau du sol en 2m minimum.

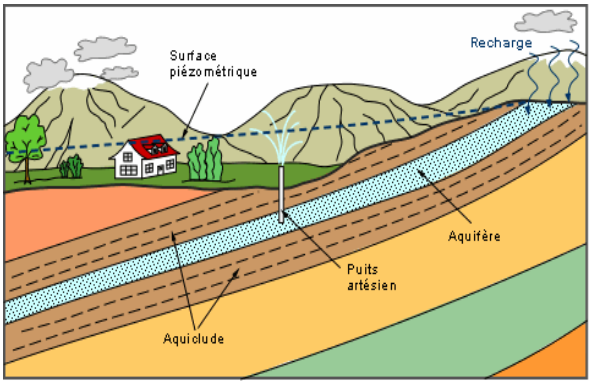



**Figure 11 : Caractéristique de la nappe captive (ONEE, 2012)**

### *II.5.5 localisation des captages*

La nappe de Fès saïs est exploitée essentiellement par des forages artésiens. Le nombre de captage est de 19 et ils sont localisés à Ras Al Maa, à Ain Baidda, à Ain Chkkaf et à l'ouest de Fès.

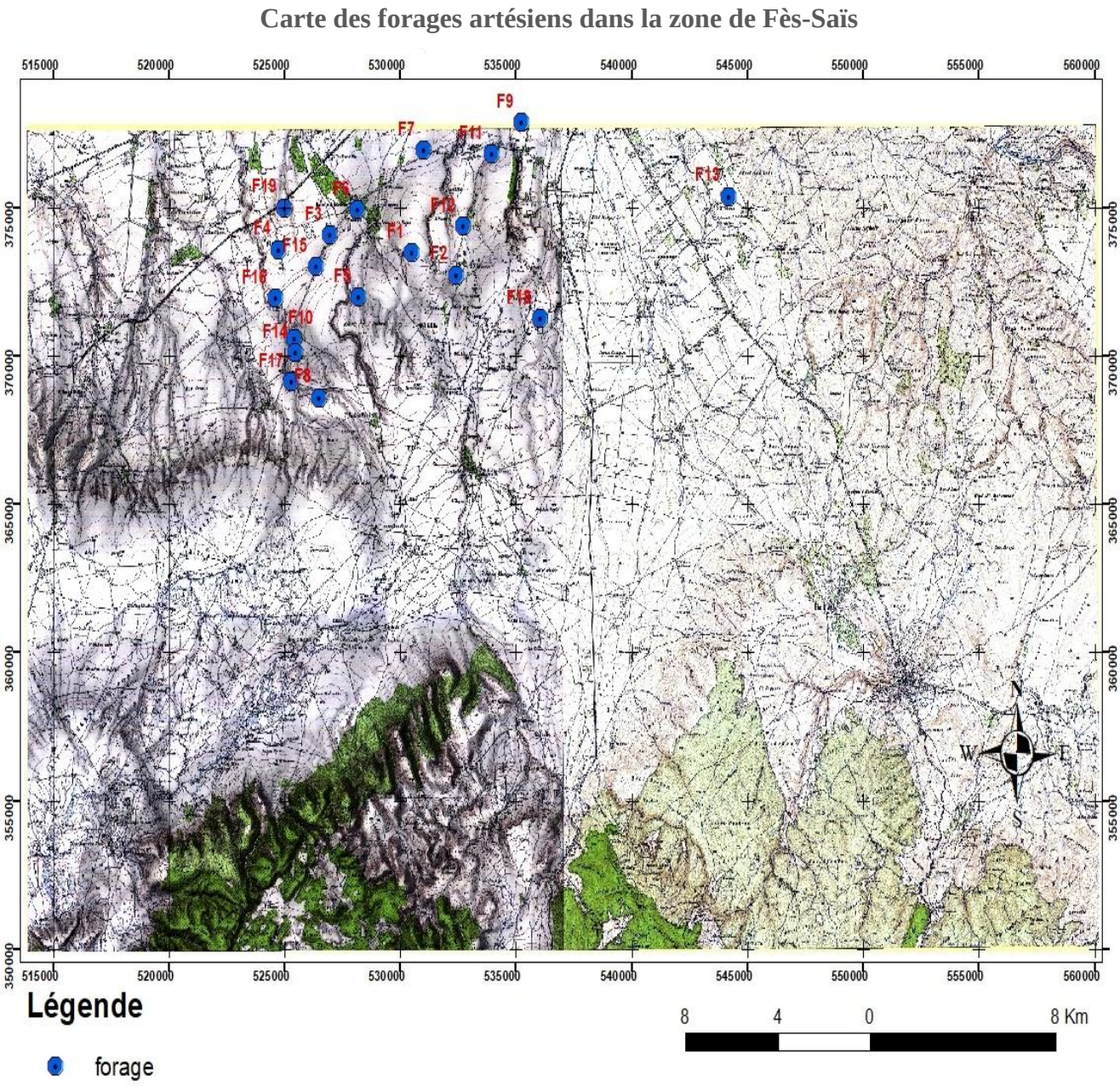



**Figure 12 : Localisation des forages artésiens des la région Fès-Saïs d'après les cartes topographiques d'Ain Taoujdate et de Sefrou (1/500000)**

## I. Introduction

Les méthodes des analyses de l'eau potable dans l'ONEE/BO sont basées sur des normes de quantité et de qualité**.** Le laboratoire de l'ONEE/BO assure le suivi de la qualité de l'eau de la région de Fès Saïs en se basant sur deux normes :

La Norme Marocaine relative à la qualité des eaux d'alimentation humaine NM 03.7.001: elle spécifie les exigences de la qualité, les méthodes d'analyses appliquées et les valeurs maximales **VMA** pour les paramètres analysés, ainsi que les plans d'action à réaliser dans le cas de dépassements de la Norme.
La Norme marocaine relative au contrôle et surveillance de l'eau NM 03 .7.002 : elle précise les types d'analyses selon le point de contrôle aussi que la fréquence appliquée pour chaque point.

## II. Matériels et Méthodes

### II.1 Echantillonnage

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération qui doit être faite avec énormément de soin, les résultats analytiques et leur interprétation dépendent de la manière du prélèvement et du conditionnement de l'échantillon, l'échantillon doit être homogène et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau.

### II.2 Conservation des échantillons

La majorité des eaux naturelles sont successibles de se modifier plus au moins rapidement à cause des facteurs chimiques (oxydo-réduction, précipitations, évaporations…..etc.). Dans la majorité des cas le changement des paramètres chimiques peut avoir lieu entre l'instant du prélèvement et l'analyse. La nature et la vitesse de ces réactions peuvent facilement modifier les concentrations par rapport au moment du prélèvement ce qui signifie que les conditions de la conservation de l'échantillon n'ont pas été respecté, et à cause des variations qui peuvent affecter les échantillons d'eau pendant le transport, certains paramètres sont analysés immédiatement sur terrain tels que : pH, conductivité, Turbidité et température.

### II.3 Agents de conservation

Les conditions de conservation doivent être respectées pour l'efficacité analytique des phénomènes chimique des échantillons. Dans le cas d'analyses des métaux lourds, deux possibilités peuvent se présenter : il s'agit du dosage total de l'élément soluble et insoluble et dans ce cas le prélèvement sera effectué en présence d'acide nitrique de très grande pureté, ou bien un dosage du métal en solution alors, le prélèvement sera filtré avant l'addition d'acide nitrique. (NM 03.07.001)

### II.4 Flacons de prélèvement

Le rinçage et la stérilisation des flacons de prélèvement est très important parce que le flacon peut contaminer l'échantillon à analyser ou réagir avec l'eau analysée. Le type des flacons de prélèvement pour l'analyse physico-chimique sont en P.E.T (Poly Éthylène). On fixe les éléments traces par addition de l'acide nitrique. En général il faut ajouter 10mL d'acide

nitrique concentré dans 1L de l'échantillon prélevé dans un flacon en plastique (Rodier et al., 2009) et il faut ajouter 1mL d'acide nitrique concentré pour les flacons de 100mL.

## III. Paramètres physiques

### *III.1 Température*

La température de l'eau, est un agent écologique qui entraîne d'importantes répercutions écologiques (Leynaud, 1968). Elle joue un rôle important dans la solubilité des sels et surtout des gazeux, elle conditionne les équilibres de dissociation. Elle agit aussi sur la conductivité électrique, le pH, et permet la connaissance de l'origine des eaux souterraines ainsi que les éventuels mélanges. La mesure de la température peut être effectuée soit par un thermomètre à mercure gradué ou à l'aide d'un appareil multi-paramètre. Elle est exprimée en degré Celsius (˚C)

### *III.2 PH (Potentiel Hydrogène)*

#### III.2.1 Définition

Le pH se définit comme le logarithme négatif de l'activité de l'ion hydrogène

$PH=-\log_{10}[H_3O^+]$

Le pH représente la concentration des ions $H_3O^+$contenus dans une solution. Cette mesure est importante car le pH régit sur de nombreux équilibres physico –chimique. Il donne une idée sur l'acidité ou la basicité des eaux souterraines. Dans les eaux naturelles Le pH peut varier de 4 à 10. On admit que le pH des eaux de consommation doit être compris entre 6.5 et 8.5(NM.03.7.001).

#### III.2.2 Principe

La mesure de pH à l'aide d'une électrode de verre dont le potentiel varie en fonction de la concentration des ions hydrogènes. Ce potentiel est mesuré par rapport à une électrode de référence à l'aide d'un potentiomètre à haute impédance communément appelé pH-mètre(NM.7.002)

#### III.2.3 Mode opératoire

### *III3 Conductivité*

#### III.3.1 Définition

La conductivité est l'expression de la charge des ions dissoute et rend compte de la minéralisation des eaux par la quantité d'ions en solution (Nicod, 1973). Elle transmet la chaleur, conduire un courant électrique, donc une mesure indirecte de la teneur de l'eau en ions. Plus l'eau contient des ions calcium ($Ca^{2+}$), magnésium ($Mg^{2+}$), sodium ($Na^+$), potassium($K^+$), bicarbonate ($HCO_3^-$), et le chlorure ($Cl^-$), plus elle est capable de conduire un courant électrique et plus la conductivité mesurée est élevée. La conductivité électrique s'exprime en micro-siemens par centimètre (µS/cm).

### III.3.2Principe

Avant de faire la mesure, il faut d'abord contrôler l'appareil et pour ce là on utilise un étalon qui a une conductivité connue, puis on met l'électrode dans un flacon contenant l'échantillon sous agitation. Ensuite on lit le résultat affiche a l'écran de l'appareil.

Niveau de guide de la conductivité à 20°C d'une eau destinée à la consommation humain: 400 µS/cm

| Valeurs | Caractéristique |
|---|---|
| De 50 à 400 µS/cm | qualité excellente. |
| De 400 à 750 µS/cm | bonne qualité. |
| De 750 à1500 µS/cm | qualité médiocre mais eau utilisable. |
| Au-delà de 1500 µS/cm | minéralisation excessive |

(Touhari.2015)

## *III.4Turbidité*

### III.4.1 Définition

La turbidité d'une eau est due à la présence des particules en suspension, notamment colloïdales : argiles, limons, grains de silice, matières organiques, etc. L'appréciation de l'abondance de ces particules mesure son degré de turbidité. Celui-ci sera d'autant plus faible que le traitement de l'eau aura été plus efficace, la valeur maximale admissible pour une eau de boisson est de 5 NTU (Jean-Claude, 1983) (MN.03.7.001).

### III.4.2 Principe

Son principe repose sur la comparaison de l'intensité de la lumière diffractée « effet de Tyudall »par l'échantillon à celle de référence dans les conditions « Longueur d'onde angle entre le rayon incident et le rayon diffracté. L'unité est NTU : Unité de Turbidité Néphélométrique.

## *III.5 L'oxygène dissout*

### III.5.1 Définition

L'oxygène dissout est un paramètre qui renseigne sur l'état de l'eau des forages et d'autre part il favorise le dénombrement des micro-organismes qui dégradent la matière organique.

### III.5.2Principe

La mesure se fait avec un oxymétre (appareil qui permet de mesurer l'O2 dissous).

# III. PARAMETRES CHIMIQUES

## IV.1 Mesure de la dureté totale TH

### IV.1.1 Principe

La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception de ceux des métaux alcalins et de l'ion hydrogène ($Na^{+}$ ; $K^{+}$) et $H^{+}$ (Rodier et al. 2009). Elle est souvent due aux ions $Ca^{2+}$ et $Mg^{2+}$. La présence de ces deux cations dans l'eau tend souvent à réduire la toxicité des métaux. On distingue la dureté carbonatée ou dureté temporaire qui provient des carbonates et bicarbonates et la dureté non carbonatée. Une eau très dure présente des inconvénients d'utilisation, tels que la diminution

des propriétés des détergents des lessives, savons et les dépôts de tartre sur les parois des canalisations d'eau. Une eau trop douce est une eau corrosive. Elle attaque les parois des canalisations d'eau et contribue à la dégradation de la qualité de l'eau à la suite de la dissolution de métaux lourds tels que le plomb (Degremont, 2005).

Les types de la dureté sont la dureté calcique qui correspond à la teneur globale en sels de calcium et la dureté magnésienne qui correspond à la teneur globale en sels de magnésium (Rodier et al.2009).

### IV.1.2 Mode opératoire

La titration se fait sur un échantillon de 100mL au quel est ajouté 5 mL de solution tampon ($NH_4^+/NH_3$) et une pointe de spatule d'indicateur coloré (Noir Eriochrome). La titration est réalisée à l'aide d'une solution EDTA ($C_{12}H_{16}N_2O_8$ :0.02M) jusqu'au virage du rouge au bleu.

Pour 100mL d'échantillon :

**TH (méq/L) = Tb × 0.4.** Avec Tb : volume en mL de complexons (0.02M) en mL

### IV.2 Mesure de $Ca^{2+}$

### IV.2.1Principe

Le but du dosage du calcium est de déterminer le tartrage du bicarbonate comme le $CaCO_3$. Le dosage du calcium a été préparé dans un milieu basique de pH =10. Le calcium ne peut en aucun cas poser des problèmes de potabilité, le seul inconvénient domestique lié à une dureté élevée est l'entartrage. Par contre, les eaux douces peuvent entraîner des problèmes de corrosion des canalisations (Gaujour, 1995). L'eau potable de bonne qualité renferme de 100 à 140 mg/L de calcium (Rodier, 2005).

### IV.2.2 Mode opératoire

Pour une prise de 100 mL, on ajoute 5 ml de la solution tampon (NaOH , 2M), et une petite pointe de spatule d'indicateur coloré (calcone) et on titre par la solution complexomitrique (EDTA 0.0, 2M) jusqu'au virage du rose au bleu. Pour 100 ml d'eau :

**$[Ca^{2+}](mg/L) = Tb \times 8$** Avec Tb : volume introduit de la solution complexomitrique en mL

### IV.3 Mesure de $Mg^{2+}$

**$[Mg^{2+}](mg/L) = (TH\ (meq/L) - Ca^{2+}\ (meq/L))*12.15$**

### IV.3 Titre alcalimétrique complet (TAC)

### IV.3.1 Principe

Le titrage alcalimétrique complet correspond à la neutralisation des ions hydroxyde ($OH^-$), carbonate ($CO_3^{2-}$) et hydrogénocarbonate ($HCO^-$) par un acide fort. (HCl) en présence d'indicateur coloré (hélianthine) selon les réactions suivantes :

$$OH^- + H_3O^+ \rightarrow 2H_2O$$
$$CO_3^{2-} + H_3O^+ \rightarrow HCO_3^- + H_2O$$
$$HCO_3^- + H_3O^+ \rightarrow H_2CO_3 + H_2O$$

Dans ce dosage on détermine la concentration des ions hydroxyde, carbonate et hydrogénocarbonate restants. TAC (meq/L) = $[OH^-] + [HCO_3^-] + [CO_3^{2-}]$

### IV.3.2 Mode opération

Dans un erlenmayer de 250mL : on prélève 100mL à analyser, on met 2 gouttes de méthyle orange la solution devienne jaune, on titre ensuite avec l'HCl à 0.1 N jusqu'au virage du jaune au jaune orange

Expression des résultats :

**TAC (meq/L) = V(HCl)*1**

TAC = (NHClx VHCl) x 1000/Vo en meq/L.
N(HCl): Normalité d'HC
V(HCl): Volume d'HC
Vo : Volume de l'échantillon

## IV.4 Dosage par spectrométrie d'absorption atomique à flamme

### IV.4.1 Principe

L'absorption atomique par flamme se base sur la création d'une vapeur atomique, capable d'absorber sélectivement la partie intéressante du rayonnement qui la traverse, se décompose en deux temps : la nébulisation ou dispersion en fin brouillard aérosol, du liquide à analyser et l'atomisation ou dissociation en ions et atomes du composé chimique dissous ou en suspension.

Pour obtenir d'une flamme un bon rendement d'atomisation c'est à dire, la dissociation des molécules introduites il faut l'alimenter en petites goutes calibrées. Petites afin que l'évaporation ou la solvatation ou transformation en résidu sec rapide et la moins possible utilisatrice d'énergie. La flamme doit être calibrées à fin d'obtenir un équilibre énergétique dans tout le volume de la flamme. Le principe consiste à réaliser une courbe d'étalonnage de l'élément à doser avec des concentrations connues, puis évaporer dans la flamme du photomètre l'eau à analyser et déterminer la teneur du $Na^+$ ou $K^+$.

$Na^+$ Les eaux très riches en sodium deviennent saumâtres, prennent un goût désagréable et ne peuvent pas être consommées (Rodier, 2005).

$K^+$ Le potassium règle la teneur en eau à l'intérieur des cellules (Mercier, 2000). Il est un métal alcalin, étroitement rattaché au sodium à tel point, qu'il est rarement analysé comme un constituant à part dans les analyses de l'eau. Sa présence est moins répandue dans la nature (Kemmer, 1984).

### IV.4.2 Mode opératoire

L'analyse se fait par spectrophotomètre d'absorption atomique à Flamme

### IV.4.3 Appareillage

**Photo 13 : Spectrophotomètre d'absorption à flamme**

### IV.5 Dosages des éléments trace par les Spectromètres d'Absorbation Atomique par four à graphite(SAA)

La présence des métaux dans l'environnement est due à l'action des agents atmosphériques sur les roches et à l'action de l'eau sur les sédiments, au lessivage des sols par de précipitation et aux rejets industriels. La méthode de dosage par spectromètre d'absorbation atomique avec four à graphite des éléments traces, ou les métaux ou les métalloïdes « Se, As, Ni, Al, Cd, Ba, Pb, Cr ». Dans notre cas cette méthode a été appliquée pour l'analyse de Se, As, Ni, Al, Cd, des eaux.

#### IV.5.1 Principe

Le dosage se fait par SAA avec four à graphite et l'échantillon est injecté puis atomisé dans le four à graphite.

#### IV.5.2 Mode opération

L'analyse se fait par spectrophotomètre d'absorption atomique par Four à graphite.

#### IV.5.3Appareillage

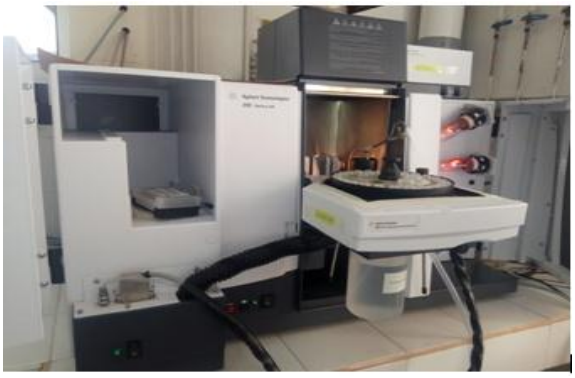


Photo 14 : Spectrophotomètre d'absorption atomique par four à graphite

## IV.6 Dosage par l'Absorbation Atomique Moléculaire

#### IV.6.1Principe

La lumière monochromatique incidente d'intensité Io traverse la cuve contenant la solution étudiée, et l'appareil mesure l'intensité I de la lumière transmise. L'intensité I de la lumière transmise est donc inférieur à $I_o$ et l'absorbance se définie comme suit:

$$A = \log (I / Io)$$

Connaissant l'absorbance d'une solution on peut déduire sa concentration par la relation de Beer Lambert (a) qui pour une longueur d'onde λ donnée l'absorbance d'une solution est proportionnelle à sa concentration des espèces en solution et à la longueur du trajet optique.

$$\mathbf{A = \varepsilon \times l \times C}$$

Avec:

**A** : L'absorbance de la solution à une longueur d'onde donnée (sans unité),
**ε** : Le coefficient d'extinction molaire de l'espèce absorbante en solution (en mol/L/cm)
I : la longueur du trajet optique (en cm),
C : la concentration de l'espèce absorbante (en mol/L).

## IV.6.2Appareillage

**Photo 15 : Absorbation Atomique Moléculaire -UV**

## IV.6.2Dosage des nitrates

### *IV.6.2.1 Principe*

L'échantillon pour lequel on fait le dosage des nitrates est fixé par un acide fort pour que les nitrates ne se transforment pas en nitrites, donc avant de doser les nitrates, l'échantillon doit être neutralisé à l'aide d'une solution NaOH. La colonne est remplie par une solution de NHCl diluée pour garder la colonne hors de la période d'utilisation.

### *IV.6.2.2 Mode opératoire*

Pour le dosage de nitrate on va mettre 50mL d'échantillon des fioles et on ajoute 1.25 mL de solution tampon pour fixer le pH. On fait passer l'échantillon dans la colonne de cadmium (Cd) traitée par $CuSO_4 5H_2O$ puis on ajoute 50 ml de l'échantillon : 25mL pour laver la colonne et on récupère 25mL. Le débit de colonne est entre 7à10ml/min. On met 1mL de réactif sulfanilamide plus 1 mL NED il donne une coloration rose ce sont une complexe de fixation. On laisse entre 30min à 2h de développement puis on fait la lecture sur la longueur d'onde $\lambda$=540nm. Avant chaque sérié des analyses il faut faire le courbe d'étalonnage.

## IV.6.3 Dosage des Chlorures

### *IV.6.3.1Principe*

Les teneurs en chlorures des eaux extrêmement variées sont liées principalement à la nature des terrains traversés. Le gros inconvénient des chlorures est la saveur désagréable qu'ils confèrent à l'eau à partir de 250 mg/l surtout lorsqu'il s'agit de chlorure de sodium (Rodier, 2005).

### *IV.6.3.2 Mode opératoire*

On prend 100mL de l'échantillon à l'aide d'une fiole puis les verser dans un Erlenmeyer. On ajoute environ 0.5mL de l'indicateur pH (8gouttes), on agite et on ajoute de l'acide nitrique (N/3) goutte à goutte jusqu'à obtention d'une couleur jaune foncée, (pH devrait se situer vers 3.6, il n'est pas nécessaire de vérifier le pH). On ajoute en plus 2 gouttes d'acide nitrique N/3.on titre au nitrate mercurique jusqu'à apparition de la première teinte voilette.

## IV.6.4 Dosage des sulfates

### *IV.6.4.1 Principe*

Les ions sulfates ($SO_4^{2-}$) sont un réactif qui précipite dans l'acide chlorhydrique contenant le $BaCl_2$ telle qu'il se forme des cristaux de Sulfate de baryum($BaSO_4$), la mesure de ($BaSO_4$) se fait par Néphélométrie.

### 1. IV.6.4.2 Mode opératoire :

On trace une courbe d'étalonnage C=f(TUB), puis on prend 100mL d'échantillon et on met 5 mL de réactif à l'acide chlorhydrique plus une spatule de $BaCl_2$. Il se forme un précipité dont la réaction est :

$$SO_4^{2-} + Ba^{2+} \Rightarrow \underline{BaSO_4}\downarrow$$

## I. RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS

Les données des analyses physico-chimiques (tab. 2) utilisée dans ce travail concernèrent 19 échantillons des eaux souterraines (Fig. 12) et chaque échantillon correspond à un forage.

**Tableau 2 : Résultats analytiques des paramètres physiques**

| Les paramètres physiques (Unité) | T° air (°C) | T° eau (°C) | Turbidité (NTU) | pH (pH) | Oxygène dissout ($mgO_2/l$) | Conductivité (µS/cm) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Les captages** | | | | | | |
| **F1** | 28 | 29 | 0,53 | 7,45 | 7,2 | 631 |
| **F2** | 17,4 | 26,6 | 0,47 | 7,31 | 6,8 | 837 |
| **F3** | 26 | 29,4 | 0,29 | 7,4 | 7,4 | 665 |
| **F4** | 27 | 28,6 | 0,5 | 7,57 | 7,6 | 684 |
| **F5** | 25 | 28 | 0,19 | 7,51 | 6,9 | 643 |
| **F6** | 14 | 27 | 0,56 | 7,48 | 8 | 696 |
| **F7** | 27 | 28,2 | 0,17 | 7,39 | 7,1 | 630 |
| **F8** | 18 | 21 | 0,3 | 7,14 | 6,8 | 643 |
| **F9** | 25 | 20 | 0,41 | 7,57 | 8,8 | 1090 |
| **F10** | 27 | 25 | 0,28 | 7,46 | 7,1 | 500 |
| **F11** | 20,5 | 31 | 0,18 | 7,19 | 7,4 | 7340 |
| **F12** | 21 | 29 | 0,25 | 7,49 | 7,8 | 697 |
| **F13** | 17,4 | 17,7 | 0,32 | 7,41 | 8 | 665 |
| **F14** | 20,5 | 25,8 | 0,63 | 7,2 | 7,4 | 538 |
| **F15** | 13,5 | 24,5 | 0,38 | 7,13 | 6,7 | 505 |
| **F16** | 17,5 | 28 | 0.23 | 7,44 | 6,4 | 698 |
| **F17** | 13,5 | 21,5 | 0,51 | 7,38 | 7,2 | 509 |
| **F18** | 21 | 25 | 0,18 | 7,15 | 5 | 757 |
| **F19** | 18 | 27,5 | 0,2 | 7,17 | 8 | 615 |

### I.1 Température

Dans la zone d'étude, la température des eaux enregistrées varient entre 31°C (F11) et 17.7°C (F13). Ces valeurs montrent que les eaux sont qualifiées de relativement chaudes et ces valeurs mesurées ne sont pas déterminées par la norme marocaine. On peut expliquer ceci par l'augmentation de température ou fur et à mesure qu'on augmente de profondeur.

Effectivement l'échantillon du forage F13 est prélevé à 681 m de profondeur alors que le F11 est prélevée à une profondeur plus importante de 1433 m.

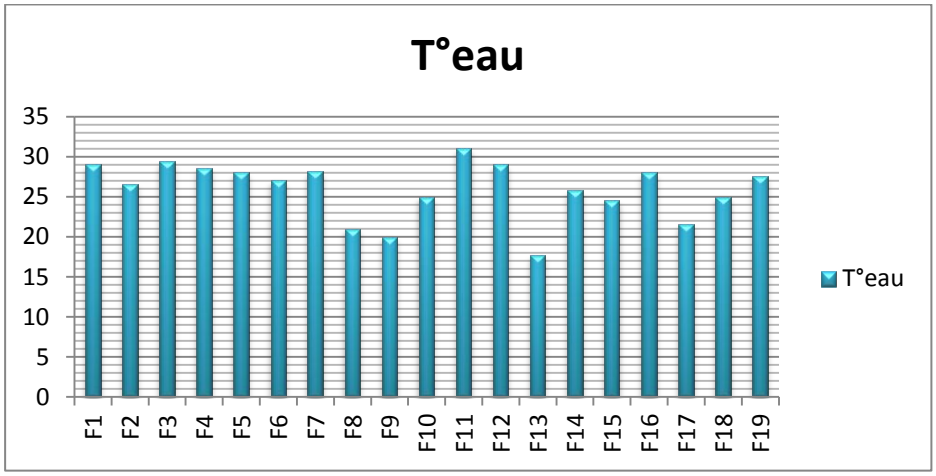



**Figure 16 : Variation spatiale de la température d'eau**

### *I.2 Turbidité*

La turbidité des eaux varie entre la valeur maximale de 0.65NTU pour F14 et la valeur minimum de 0.18 NTU pour F7. La turbidité des forages ne dépasse pas la valeur maximale admissible (VMA). Donc les eaux de la zone étudiée sont claires et elles sont de bonne qualité pour la consommation.

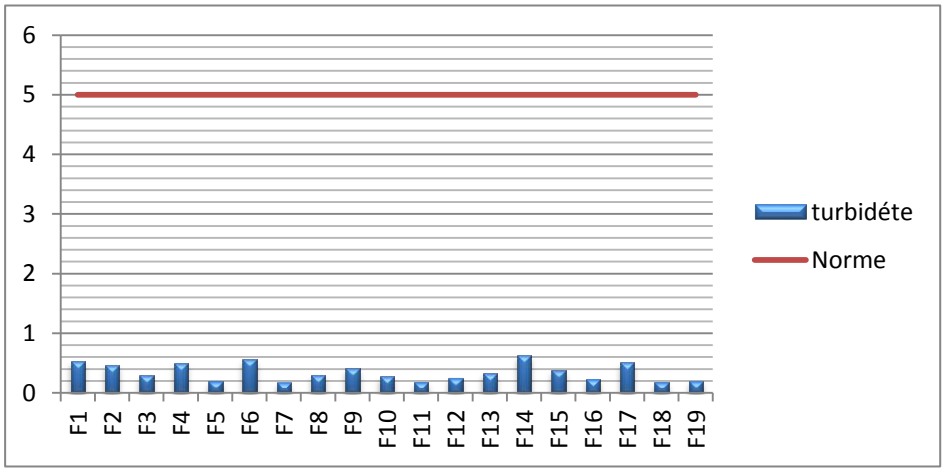



**Figure 17 : Variation spatiale de turbidité d'eau**

### *I.3 PH*

Les pH mesurés sont compris entre les valeurs de et 7.13 de 7.57 ce qui les qualifie comme de la neutralité. Le pH de la norme marocaine de 2006, indique que la valeur de pH doit être compris entre 6,5<pH<8,5. Les résultats de notre analyse donnent des valeurs de pH dans l'intervalle des normes. Donc on remarque que le 100%des eaux analyses peuvent être utilisée par le consommateur. Ces valeurs s'expliquent par l'abondance du $CO_2$ dissout dans l'aquifère de la formation calcaire liasique.

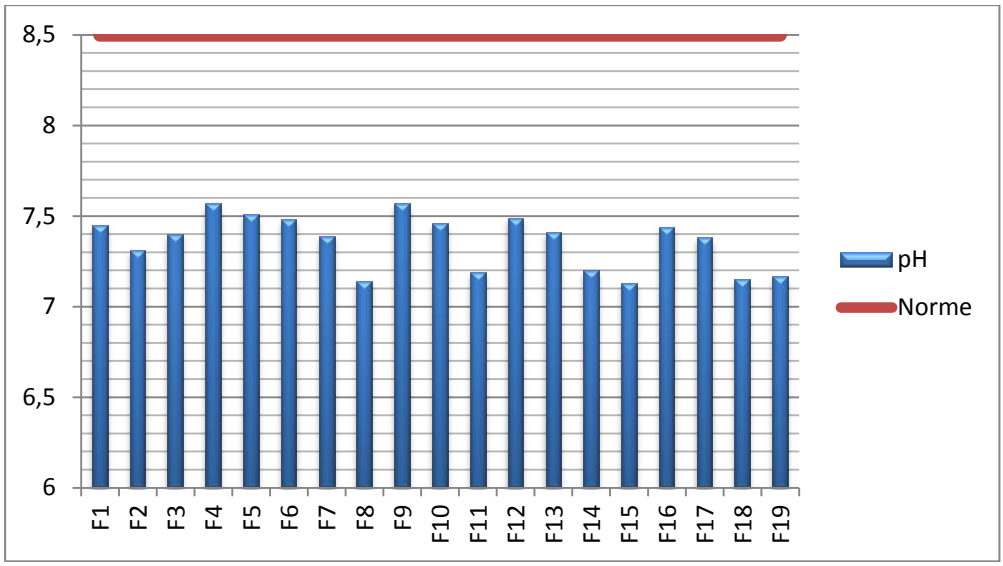



**Figure 18 : Variation spatiale du pH**

### *I.3 Oxygène dissout*

Dans la zone d'étude, l'ensemble des prélèvements montre que l'oxygène dissout varie entre 8.8mg/L et 5mg/L. Le forage le plus oxygéné est F9 et le moins oxygéné est F18. Daurat la période d'étude les résultats obtenus montrent que les forages sont légèrement sous oxygène. D'après les résultats obtenus la concentration d'oxygène dissout est liée avec l'oxydation des éléments chimiques comme le fer et le manganèse. Le teneur faible d'oxygène dissout indique que l'oxydation des ions est plus élevée dans l'eau. Une teneur forte de l'oxygène dissout s'explique par l'absence de ces ions dans les eaux souterraines.

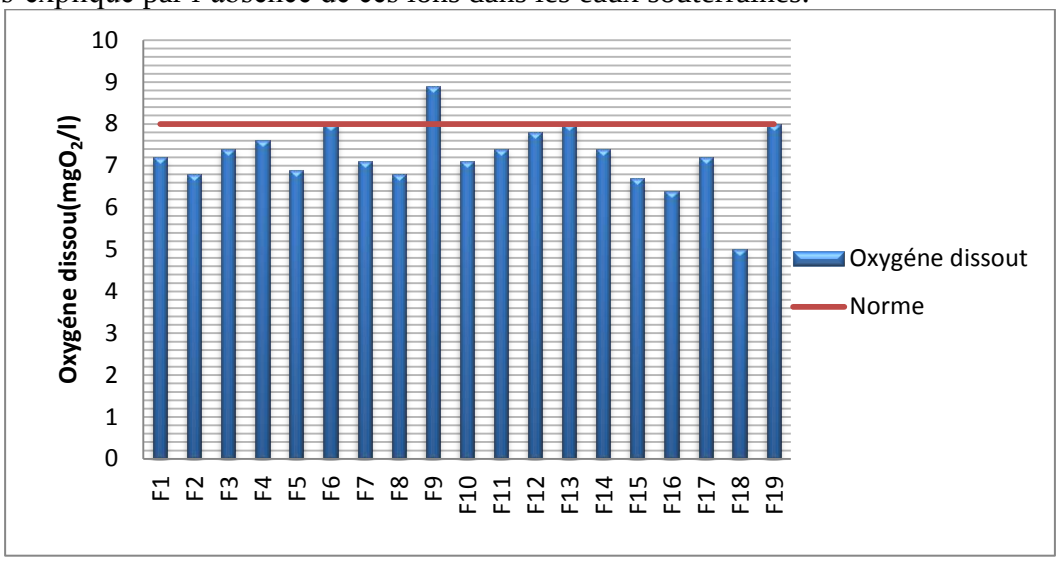



**Figure 19 : Variation spatiale de l'oxygène dissout**

### *I.5 Conductivité*

Les résultats obtenus présentent des variations assez importantes et oscillent entre 500 µS/cm et7340 µS/cm. On constate que 90%des résultats analysés sont des valeurs relativement moyennes. Le forage F11 à enregistré une teneur supérieur à la norme (7340 µS/cm). En effet, la forte conductivité des eaux analyses résulte particulièrement des teneurs des ions en chlorure de sodium. Donc il existe une relation entre la conductivité et la salinité de l'eau.

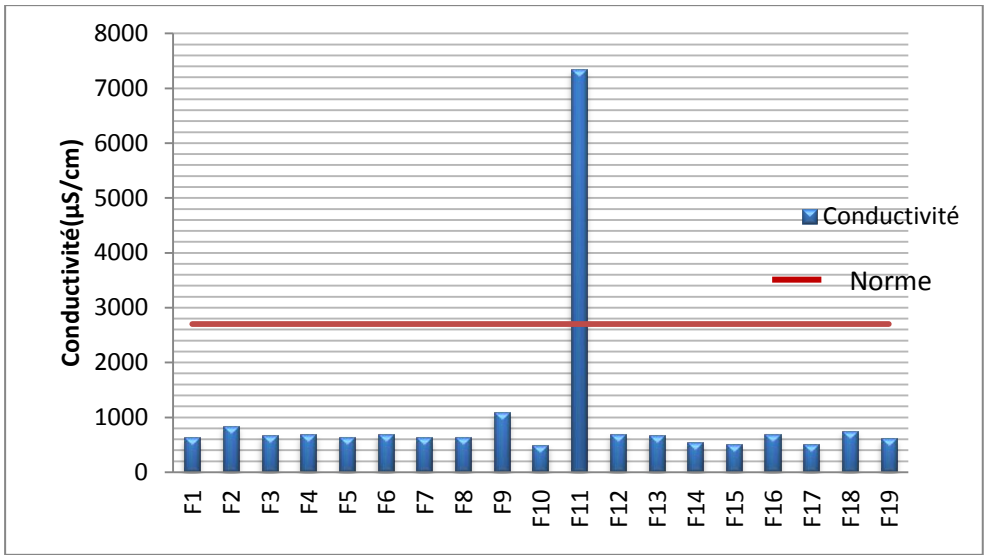



**Figure 20 : Variation spatiale de la conductivité**

## I.6 Paramètres chimiques

Les résultats mesurées des substances chimiques sont représentés sur le tableau suivant

**Tableau 3 : résultats analytiques des paramètres chimiques des eaux étudiées, 2019**

| les forages | Chlorure (mg/l) | Nitrate (mg/l) | HCO3 (mg/l) | Sulfate (mg/l) | Calcium (mg/l) | Magnésium (mg/l) | Sodium (mg/l) | Potassium (mg/l) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| F1 | 47,9 | 8,72 | 335,6 | 9,4 | 77 | 32 | 41 | 0,92 |
| F2 | 92,3 | 8,29 | 317,3 | 11,5 | 68,9 | 29,1 | 53 | 0,89 |
| F3 | 44,4 | 7,04 | 329,5 | 10,5 | 60,1 | 30,3 | 30 | 0,89 |
| F4 | 60,4 | 9,46 | 317,3 | 13,2 | 79,5 | 12 | 38 | 0,72 |
| F5 | 44,4 | 6,24 | 323,4 | 7,4 | 60,9 | 26,2 | 25 | 0,88 |
| F6 | 47,9 | 7,49 | 329,5 | 11,9 | 59,3 | 34 | 33 | 0,89 |
| F7 | 60,4 | 6,21 | 323,4 | 14,4 | 68,9 | 24,2 | 28 | 1 |
| F8 | 40,8 | 4,31 | 323,4 | 5,7 | 90,1 | 26,7 | 22 | 0,75 |
| F9 | 206 | 2,97 | 320,4 | 15,9 | 52 | 29 | 111 | 1,3 |
| F10 | 32 | 4,28 | 305,1 | 5,4 | 57,7 | 30,6 | 13 | 0,83 |
| F11 | 1790 | 7,12 | 350,9 | 125 | 62,5 | 38 | 1040 | 25 |
| F12 | 53,3 | 10 | 357,0 | 8,3 | 59,3 | 37,8 | 27 | 0,79 |
| F13 | 42,6 | 8,83 | 366,1 | 6,8 | 60,9 | 61,4 | 40 | 0,44 |
| F14 | 30,2 | 4,7 | 329,5 | 6,6 | 56,1 | 27,2 | 15 | 0,67 |
| F15 | 35,5 | 5,25 | 323,4 | 8,4 | 85 | 16,4 | 23 | 0,79 |
| F16 | 32 | 4,72 | 317,3 | 8,3 | 85 | 16,4 | 19 | 0,73 |
| F17 | 30,2 | 4,43 | 335,6 | 4,9 | 60,9 | 32,1 | 16 | 0,79 |
| F18 | 46,2 | 11 | 341,7 | 8 | 128 | 45 | 23 | 0,62 |
| F19 | 60,2 | 7,21 | 317,3 | 14 | 52,9 | 31,7 | 38 | 1,1 |

## I.6.1Cations

### I.6.1.1 Magnésiums

Les valeurs de $Mg^{2+}$dans les eaux étudiées se situent entre 12mg/L et 62.5 mg/L. La plus forte valeur est enregistrée sur le forage F13 et la valeur la plus faible sur le F4. Les valeurs sont inférieures à la norme du Maroc qui est limité à 50mg/L sauf le forage F13 dépasse à la norme. Les eaux étudiées sont de bonne qualité pour la consommation. Cette hausse des concentrations en $Mg^{2+}$ peut-être expliquée par la convergence des écoulements au niveau de l'aquifère, ce qui entraîne l'accumulation des sels magnésiums, et par la distance de la circulation des eaux qui favorisent un contact prolongé de l'eau avec la formation du réservoir et des dolomies du lias.

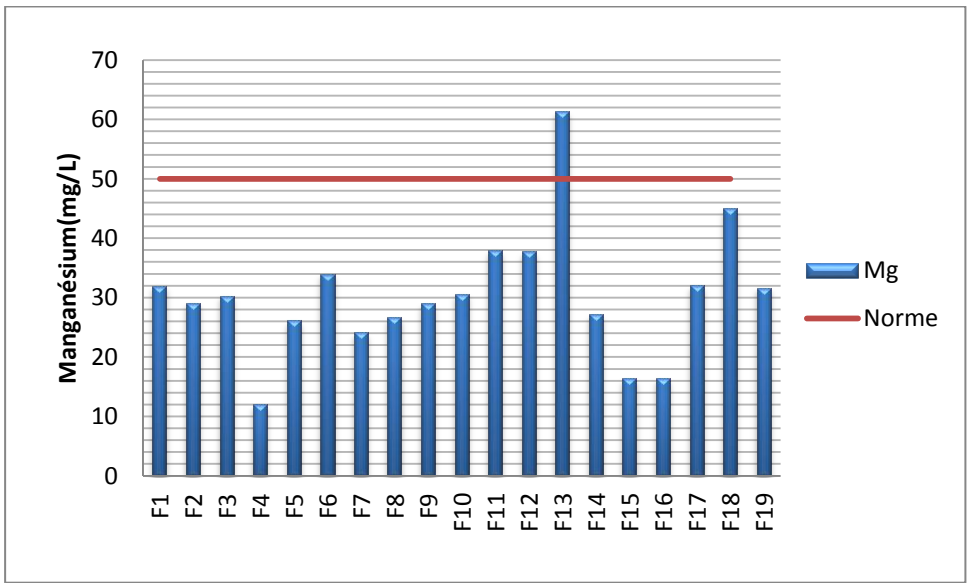



**Figure 21 : Variation spatiale du magnésium**

### I.6.1.2 Calcium

Le teneur en $Ca^{2+}$ varie entre 128mg/L et 52mg/L, elle est extrême pour le forage F11. Les valeurs les plus faibles sont enregistrées pour les forages F9, F19 avec 52mg/L. On constate que toutes les valeurs sont conformes à la norme marocaine qui est fixée à 200 mg/L. La quantité des $Ca^{2+}$qui existe dans l'eau est les résultats de l'interaction entre la roche et l'eau par la dissolution des faciès carbonatés ce qui favorise la karstification.

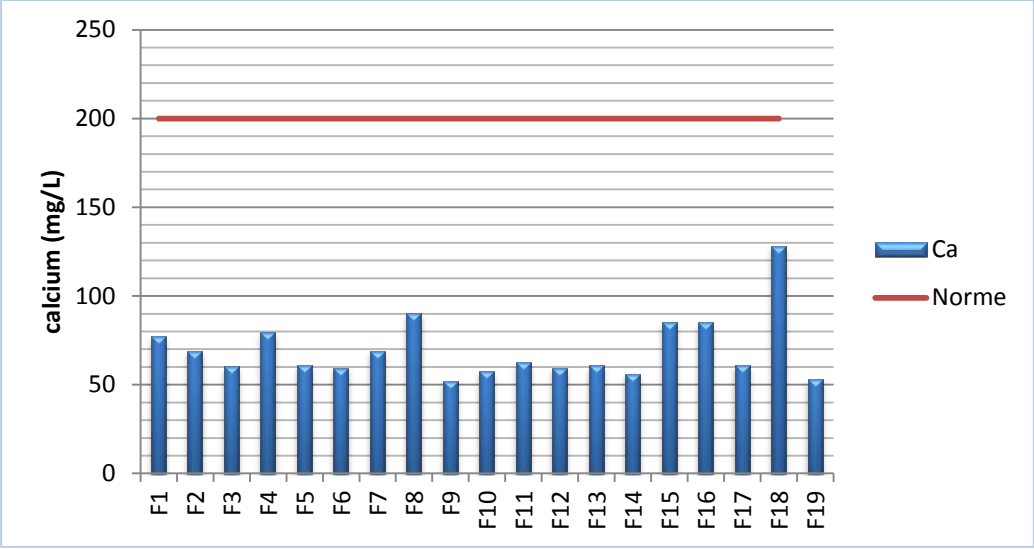



**Figure 22 : Variation spatiale du calcium**

### I.6.1.3 Sodium

Les analyses des échantillons montrent que les valeurs moyennes en sodium dans les eaux étudiées varient de 16mg/L à 1040 mg/L .On remarque que le forage situé à Ras Al Maa dépasse les normes de potabilité. L'augmentation du sodium dans l'eau souterraine à des teneurs supérieur à la norme peut indiquer la présence d'un risque de pollution on invasion d'eau salée depuis le Trias salifère. La concentration élevée en sodium accompagne généralement la pollution due aux chlorure (Pesson, 1976), il y a toujours une corrélation linéaire entre ces deux elle (Na Cl).

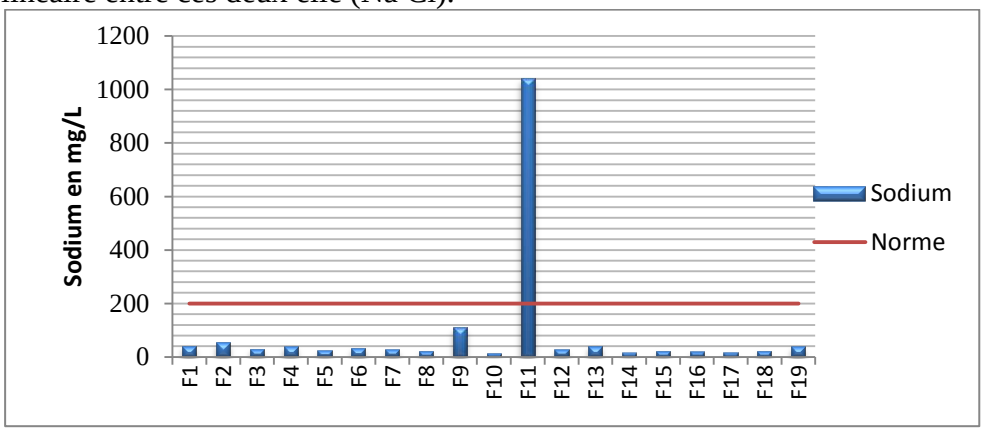



**Figure 23 : Variations spatiale du sodium**

### I.6.1.4 Potassium

Le potassium est un élément chimique très important pour la vie des organismes. Il est utilisé comme engrais sous forme de sulfate de potassium, de chlorure de potassium, ou encore de nitrate de potassium (Pesson, 1976). La concentration de $K^+$ dans les eaux étudiées sont inférieur de L'OMS qui est fixée à 12 mg/L sauf le forage F1qui présente une valeur de 25mg/L.

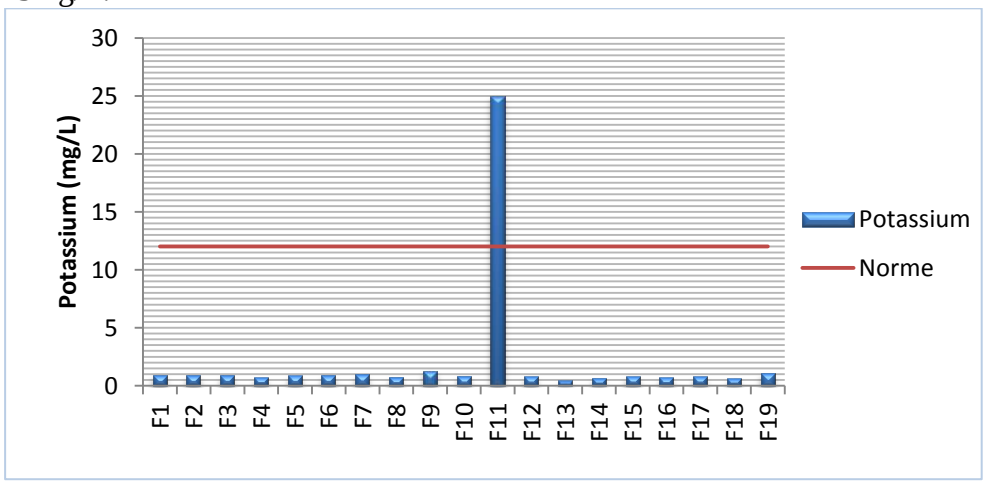
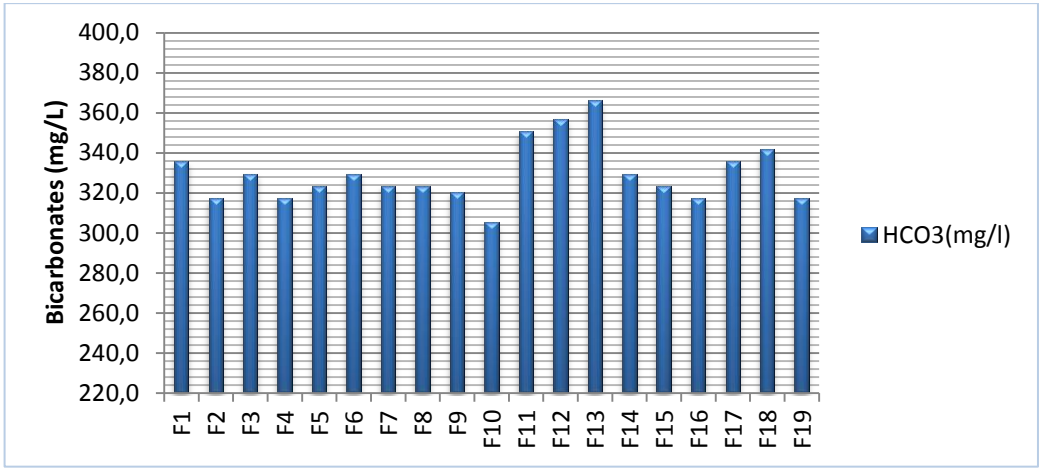



**Figure 24 : Variation spatiale du potassium**

## I.6.2Anions

### I.6.2.1Bicarbonates

Le taux des bicarbonates ($HCO_3^-$) dans les eaux étudiées de la nappe captive atteint un maximum de 365mg/L et un minimum de 310.5mg/L, avec des valeurs moyennes comprises entre 310.5mg/L et 349.5mg/L, alors l'évolution des éléments atteste d'origine commune varie semblablement par dissolution du calcaire dans les réservoirs Karstiques. La concentration élevée des bicarbonates dans l'eau est liée au réservoir liasique.




s

**Figure 25 : Variation spatiale des bicarbonates**

### I.6.2.2 Chlorures

Les concentrations en ions chlorures relevées dans les eaux souterraines de la nappe de Sais s'échelonnent entre 32mg/Let 1790mg/L. La valeur minimale est enregistrée sur les forages du Ras Al Maa et les valeurs un peu plus élèves sont les captages F2, F2, F4, F9 qui sont localisées à Ain Semane, à la Laababda, et Ras Al Maa. La valeur maximale des chlorures qui dépasse la norme est enregistrée sur le forage F11 par une concentration de 1790mg/L. on admet que la concentration des ions anorganiques « les chlorures » sont élevées à cause la dissolution des facies salifères triasiques.

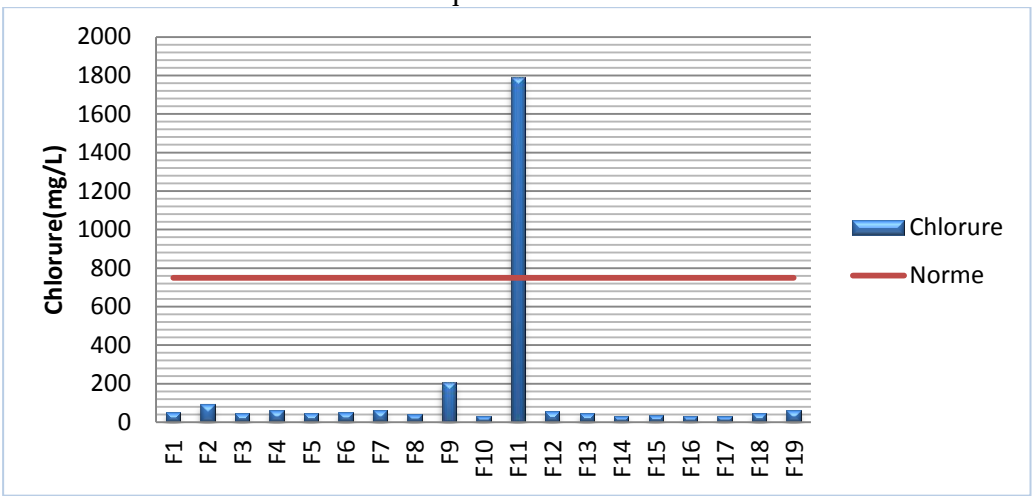



**Figure 26 : Variation spatiale des chlorures**

### I.6.2.3 Nitrates

Au niveau des eaux étudiées la concentration en nitrate est comprise entre 2.97mg/L et 11 mg/L. Ces résultats sont conformes à la norme de 50 mg/L fixée par SNIMO 2006, en terme de potabilité. La valeur élevée est enregistrée sur le forage F11. Le teneur faible en nitrate sur les eaux étudiées de la nappe de Saïs s'explique par l'absence du risque de pollution par le nitrate

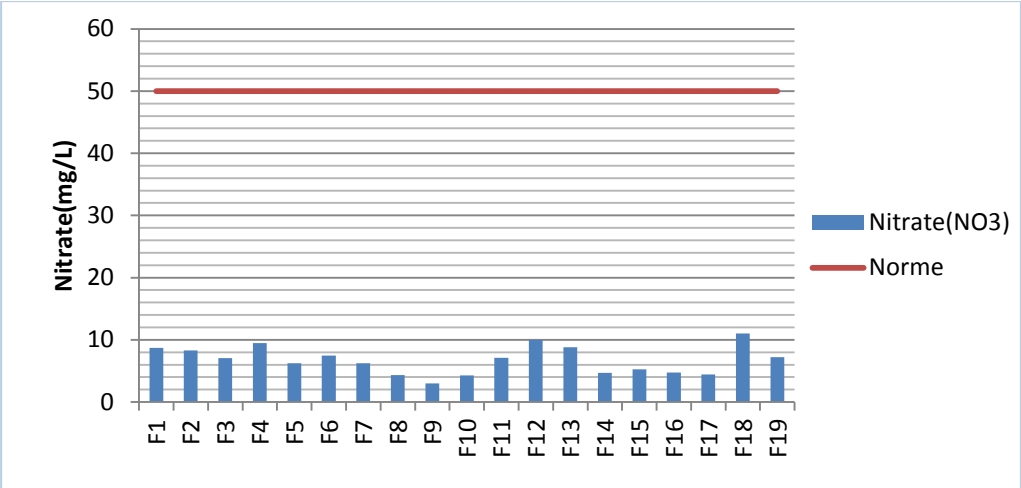



**Figure 27 : Variation spatiale du nitrate**

### I.6.2.4 Sulfates

Le teneur des sulfates dans les eaux souterraines oscillant entre 4.9mg/L(F11) et 125 mg/L(F19). Les résultats obtenus ne dépassant pas la norme marocaine, étant donné que la concentration en sulfate est inférieure à 400 mg/L. On remarque que 100% des eaux étudiées sont de bonne qualité pour la consommation. L'augmentation des teneurs en sulfates est sensiblement identique à celle obtenue pour la conductivité électrique et le calcium. Les sulfates contribuent fortement à la minéralisation des eaux souterraines. Leurs teneurs résultent de la dissolution des évaporites (gypse, anhydrite, halite, ….) présents dans les argiles rouges du Trias supérieur-Lias inférieur (Amrani, 2016).

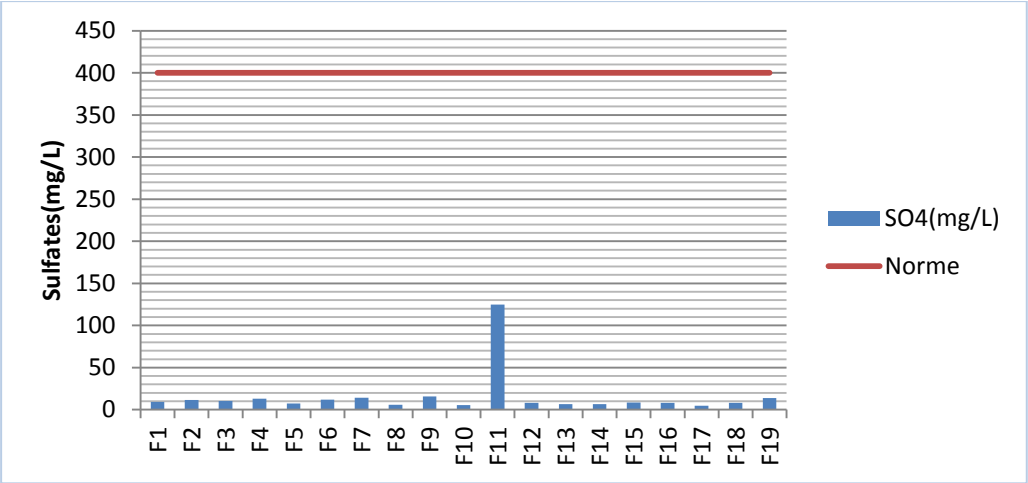



**Figure 24 : Variation spatiale des sulfates**

## I.7 Balance ionique :

Pour la fiabilité des résultats des analyses des eaux prélevées aux niveaux des différents forages. La méthode qu'on va utiliser est la balance ionique (BI). Il faut rappeler qu'en théorie, une eau naturelle est éclectiquement neutre. De ce fait, la somme (en équivalents chimiques) des cations devrait être égale à celle des anions (en équivalents chimiques). En réalité cette égalité est rarement obtenue. En générale La différence est attribuée aux incertitudes et la présence de certains ions non dosés ou a d'éventuelle erreurs d'analyse. Ainsi, une certaine marge de déséquilibre entre anions et cations est admise. Elle est exprimée sous forme d'un écart relatif formule

$$BI = \left|\frac{\sum cation - \sum anoin}{\sum cation + \sum anion}\right| .100$$

Le calcul de la balance ionique permet généralement de vérifier la fiabilité des résultats des analyses chimiques, cependant, les incertitudes sur les résultats, variables selon les techniques

d'analyse, peuvent expliquer les erreurs parfois élevées sur les balances ioniques à cause de la présence d'éventuels anions non pris en compte dans les calculs. D'une manière générale, des analyses chimiques sont considérées :

- Excellentes lorsque BI < 5 %
- Acceptables lorsque 5%≤ BI < 10%,
- Douteuse lorsque BI ≥ 10%

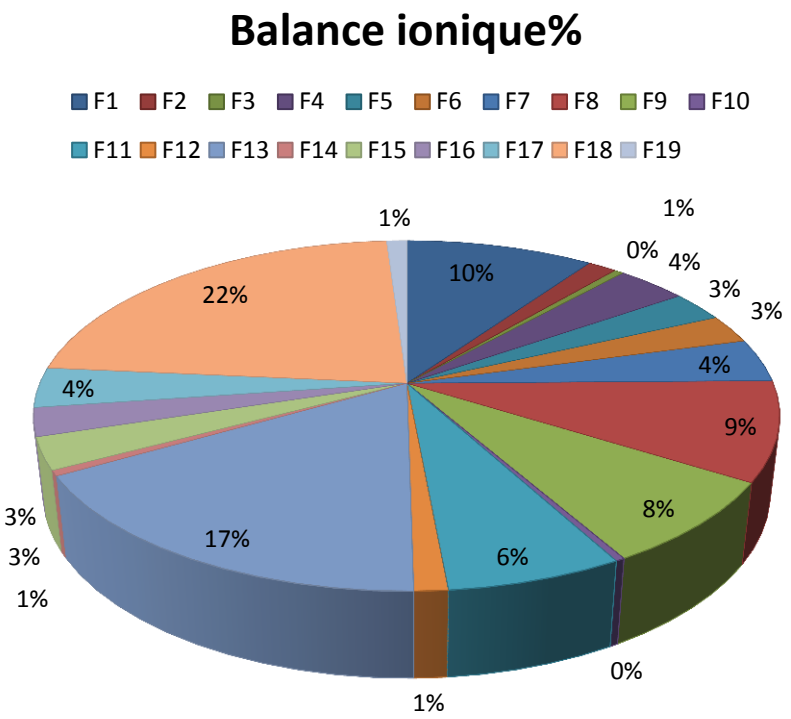



Figure 28 : Balance ionique des eaux souterraines

La balance ionique est excellente avec BI < 5 % enregistré sur les forages F2, F3, F4, F5, F6, F9, F10, F12, F14, F15, F16, F17et F19. Les analyses douteuses avec des BI ≥ 10%, sont enregistrés surF1, F8, F13et F18. Il est représenté par une conductivité faible <1000 µS/cm. Plus les eaux sont minéralisées plus les analyses sont de bonne qualité BI ≤ 10%. Ceci peut s'expliquer par l'effet amplificateur des incertitudes pour les eaux moins minéralisées. Ainsi, les erreurs s'expriment plus facilement dans une eau qui présente une minéralisation faible et elle est moins importante quand l'eau est d'une minéralisation élevée. Le calcul de la balance ionique en pourcentage met donc en relief les erreurs.

## II. DETERMINATION DES FACIES CHIMIQUES

Les faciès chimiques sont couramment utilisés en hydrogéologie pour la detérmination de la composition des eaux souterraines . L'importance d'une comparaison aisée voire une classification des eaux naturelles nécessite l'utilisation des représentations graphiques. Dans notre étude, deux graphiques sont retenues et utilisés : le diagramme de Piper et le diagramme semi-logarithmique de Schöeller-Berkaloff

II.1 Diagramme de piper

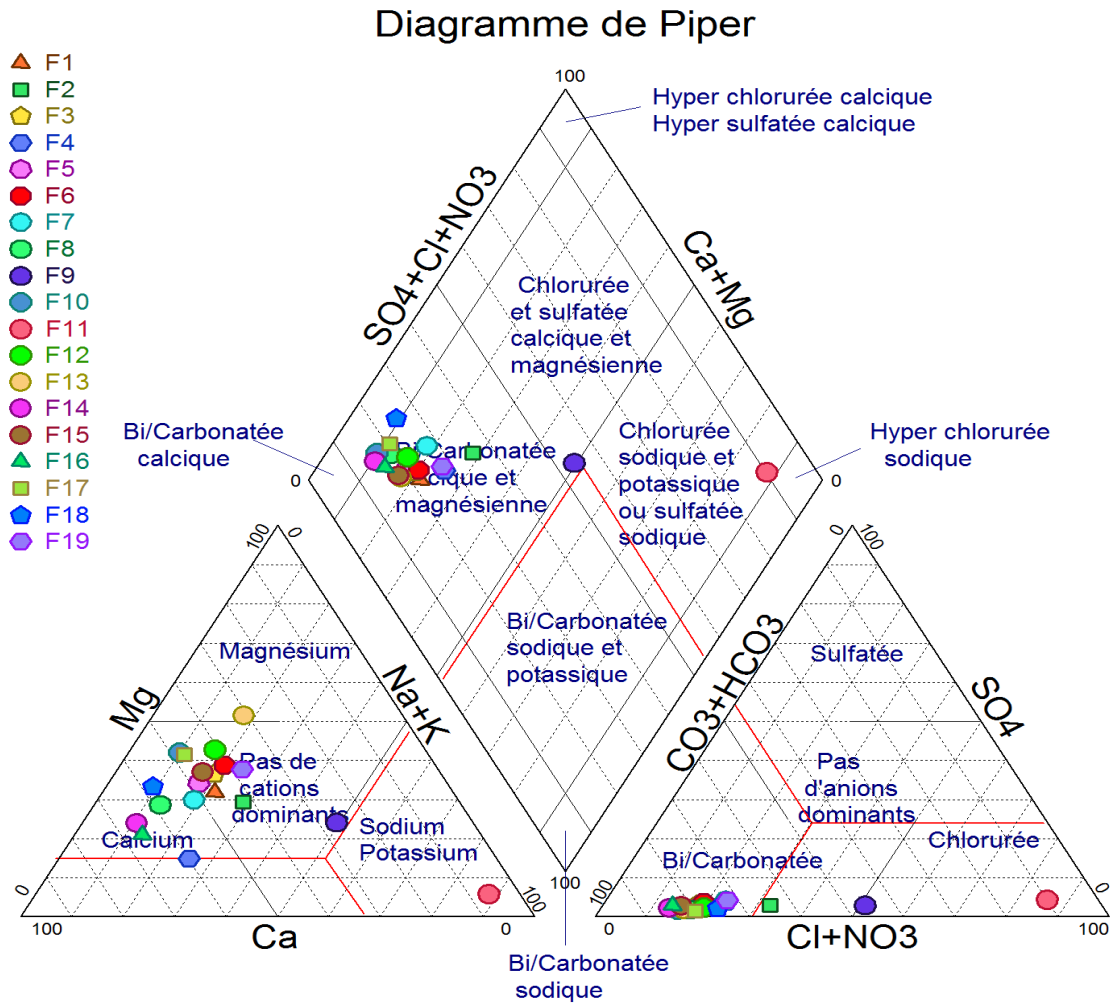



Figure 29 : Diagramme triangulaire de Piper des eaux de la nappe Liasique de la région Fès-Saïs

Le Diagramme de Piper est l'une des représentations les plus classiques pour comparer les compositions chimiques des eaux naturelles. Il permet une représentation des cations et des anions sur deux triangles spécifiques dont les côtés témoignent des concentrations relatives de chacun des ions majeurs par rapport au total des ions. La position relative d'un résultat analytique sur chacun de ces Triangles permet de préciser en premier lieu la dominance cationique et anionique. A ces deux Triangles, est associé un losange sur lequel est reportée l'intersection des deux lignes issues des Points identifiés sur chaque triangle. Ce point d'intersection représente l'analyse globale de L'échantillon. Cette position permet de préciser le faciès de l'eau naturelle concernée

L'analyse de diagramme de Piper (Fig. 29) montre que les eaux de la région de Fès-Saïs présentent un faciès bicarbonaté calcique et magnésien alors 85% des eaux sont moins minéralisées. La conductivité varie entre 500µS/cm et 837µS/cm. Le forage F9 représenté entre le faciès chloruré, sulfaté, calcique et magnésien et le faciès chloruré sodique et potassique ou sulfaté sodique. Pour le forage F11 présente un faciès chimique chloruré sodique et potassique ou sulfaté sodique. Les conductivités des forges F9, F11 ont des teneurs supérieurs à 1000µS/cm alors que F11 atteint 7430µS/cm. Donc ils content des minimalisations très importantes. Pour les eaux de faciès bicarbonatée, calcique et magnésienne elles sont issues des infiltrations à partir des roches carbonatées liasiques. Les forages F9, F11 présentent des faciès généralement en liaison avec l'interaction des eaux avec la lithologie ou les infiltrations latérales des eaux de l'alimentation de la nappe profond.

## II.2 Diagramme de Schöeller – Berkaloff

Le diagramme Schöeller – Berkaloff (Fig. 30), est une représentation graphique semi logarithmique. Sur l'axe des abscisses sont représentés les ions ou groupements d'ions dont la concentration (en meq/L) est reportée sur l'axe des cordonnées. Les points obtenus sont reliés par des droites et l'allure du graphique permet de visualiser le faciès de l'eau concernée (Rabiet, 2006).

A partir de la projection du diagramme de Sohoêller_Berkallof (Fig. 30), on peut déduire que les courbes présentent deux catégories, la première catégorie présente les points au magnésium, au calcium et aux bicarbonates (F2, F3, F4, F5, F6, F8, F10, F12, F13, F14, F15, F16, F17, F18, F19). La deuxième catégorie correspond aux points F9, F11qui montre que la projection correspond au chlorure, au sodium et au potassium.

On peut conclure que les eaux dans l'aquifère de Saïs de la zone étudiée sont subdivisées en deux types : Le premier type correspond à une eau bicarbonatée calco-magnésiénne caractérisant les eaux de faible minéralisation et pour le deuxième type il correspond à une eau chlorurée bicarbonatée calco-magnésienne ou chlorurée sulfato-calco-magnésienne caractérisant des eaux à minéralisation élevée.

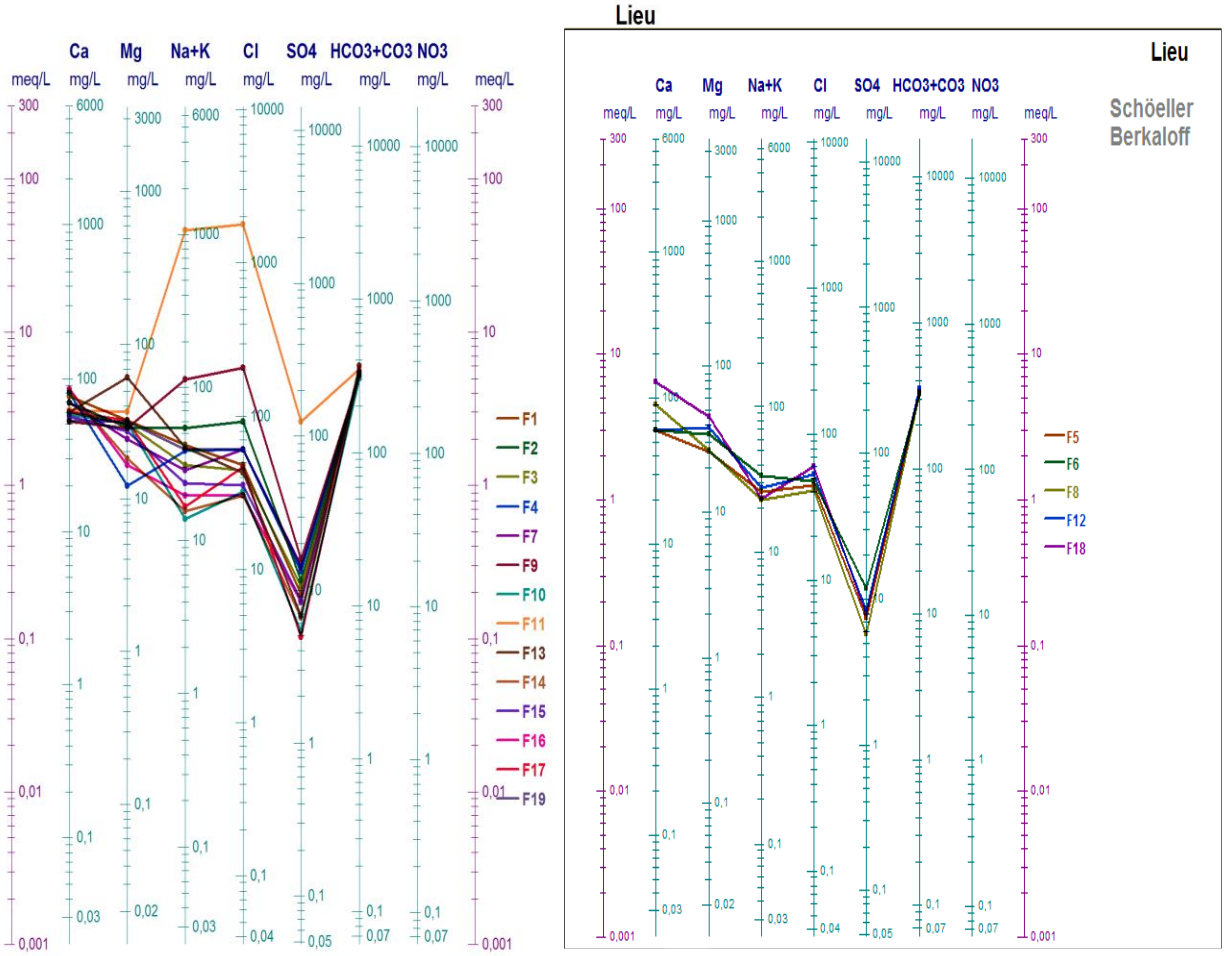



Figure 30 : Diagramme logarithmique de Scheöller-Berkaloff des eaux souterraines de la nappe Fès-Saïs

## III. Les métaux lourds

Les éléments les plus étudiés dans les eaux sont Al, As, Se, Ni, Fe, Cu, Mn et Pb, mais dans les eaux souterraines de la nappe Fès Saïs nous avons analysé Al, As, Cd, Se et Ni et parce que les autres métaux ont des teneurs nul dans les eaux profond. La présence de ces métaux même à de faibles concentrations dans les eaux souterraines peut avoir des impacts écologiques et sanitaires pour l'Homme (OMS, 1993).

Les analyses de ces métaux montrent que les eaux de la nappe Fès-Saïs contiennent des éléments trace avec des teneurs négligeables ne dépassant pas la valeur maximale admissible. La valeur maximale de Al est 0.14mg/L au forage F11 et la valeur minimale est <0.03 mg/L aux forages F3, F4, F10, F11. Les valeurs de As, Se, Ni sont <0.002mg/L. par conséquent, ces concentration ne présentent aucun problèmes quant à la qualité des eaux souterraines.

On peut conclure que les eaux de la nappe captive contiennent des éléments traces avec des teneures très faible vue la grande profondeur par apport la surface (145m et 1468m). Donc elle est loin de la contamination par des déchets industrielles.

Tableau 4 : Teneurs des métaux lourds dans les eaux souterraines (2019)

| LES METAUX LOURDS DANS LES EAUX SOUTERRAINES | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **forage** | AL en mg/L | As en mg/L | Se en mg/L | Cd en mg/L | Ni en mg/L |
| **F1** | 0,029 | <0,002 | 0,0021 | <0,0005 | <0,002 |
| **F2** | 0,14 | <0,002 | <0,002 | <0,0005 | <0,002 |
| **F3** | 0,028 | <0,002 | <0,002 | <0,0005 | <0,002 |
| **F4** | <0,03 | <0,002 | <0,002 | <0,0005 | <0,002 |
| **F5** | 0,05 | <0,002 | <0,002 | <0,0005 | <0,002 |
| **F6** | 0,05 | <0,002 | <0,002 | <0,0005 | <0,002 |
| **F7** | <0.03 | <0,002 | <0,002 | <0,0005 | <0,002 |
| **F8** | 0,08 | <0,002 | <0,002 | <0,0005 | <0,002 |
| **F9** | 0,04 | <0,002 | <0,002 | <0,0005 | <0,002 |
| **F10** | 0,025 | <0,002 | <0,002 | <0,0005 | <0,002 |
| **F11** | 0,03 | <0,002 | <0,002 | <0,0005 | <0,002 |
| **F12** | 0,11 | <0,002 | <0,002 | 0,0009 | <0,002 |
| **F13** | 0,07 | <0,002 | <0,002 | <0,0005 | <0,002 |
| **F14** | <0.03 | <0,002 | <0,002 | <0,0005 | <0,002 |
| **F15** | 0.04 | <0,002 | <0,002 | <0,0005 | <0,002 |
| **F16** | 0,06 | <0,002 | <0,002 | 0,0008 | <0,002 |
| **F17** | 0,027 | <0,002 | <0,002 | <0,0005 | <0,002 |
| **F18** | 0,13 | <0,002 | <0,002 | 0.0006 | <0,002 |
| **F19** | <0.03 | <0.002 | <0.002 | <0.0005 | <0.002 |

## *Conclusion*

Ce travail a été réalisé dans la région Fès-Saïs située dans la partie nord-ouest et elle localisée entre le pré-Rif au nord, le moyen Atlas au sud, l'oued Behat à l'ouest et l'oued Sebou à l'est. La nappe profonde se présente sous forme des cuvettes synclinales avec une épaisseur qui varie entre 400 m au sud et 1468 m au nord. L'aquifère liasique présente un toit imperméable constitué par des marnes, des grés et des calcarénites du Miocène inférieur, le substratum est formé par les dépotes détritiques, il s'agit des agriles rouges salifères et des basaltes doléritiques d'âge Triasique et le réservoir est composé par des roche carbonatées les calcaires, les dolomites et les calcaires dolomitiques. Les précipitations moyennes sur les années 2016, 2017et 2018 sont de 205mm et la température moyenne annuelle est de 17.5°C.

Les analyses physico-chimiques effectuées dans ce travail, ont montré que le pH est presque neutre entre 7.13 et 7.57, la conductivité électrique oscille entre 500 et 7340µS/cm, la température des eaux varie entre 31 et 17.7°C, la concentration d'oxygène dissout est entre 8.8 et 4.5mg$O_2$/L et la turbidité varie entre la valeur maximale de 0.65NTU et la valeur minimale de 0.18NTU.

Les résultats analytiques des paramètres chimiques montrent que la teneur en nitrate est entre.2.97 et 11mg/L, le magnésium présente une concentration comprise entre 12 et 65.2 mg/L, la teneur du calcium varie entre 52 et 128mg/L, le potassium oscille entre 0.89 et25mg/L, le sodium varie entre 111et 1040mg/L, le sulfate varie entre 4.9 et 125mg/L et le chlorure varie entre 30 et 1790mg/L et les bicarbonates sont compris entre 310.5 et 365 mg/L. Toutes ces teneurs sont conformes aux normes marocaines pour la consommation de l'eau potable.

Les eaux de la nappe Fès Saïs contiennent des éléments trace Al, As, Se et Ni avec des teneurs négligeables ne dépassant pas la valeur maximale admissible. Le Al est enregistré entre0.14mg/L et <0.03mg/L et les éléments trace sont enregistrées inférieure à <0.002mg/L. De ce fait ils ne présentent aucune pollution des eaux. Néanmoins, il existe un forage F11 qui dépasse la norme pour la conductivité, le chlorure et le sodium, le F9 qui dépasse la norme pour l'oxygène dissoute et le F13 qui dépasse la norme pour le $Mg^{2+}$ pour remédier à ce problème les eaux feront l'objet d'une dilution en les mélangeant avec celles des autres captages.

Les résultats des analyses chimiques, nous a permis de distinguer les faciès chimiques des eaux souterraines de la nappe ; une eau bicarbonatée calco-magnésienne caractérisant les eaux de faible minéralisation et le deuxième type correspond à une eau chlorurée bicarbonatée calco-magnésienne ou chlorurée sulfato-calco-magnésienne caractérisant des eaux à minéralisation élevée.

**ABHS 2006a**. Étude de synthèse hydrogéologique de la plaine de Fès-Meknès: Synthèse hydrogéologique des deux unités aquifères du Bassin du Fès- Mèknés, Fès: Agence de Bassin Hydraulique du Sebou.

**ABHS 2006b.** Plan Directeur d'Aménagement Intégré des Ressource en Eau dans le bassin du Sebou: Évaluation des ressources en eau souterraines de la nappe de Fès-Meknès, FÈS: Agence de Bassin Hydraulique du Sebou

**AHARIK. K ET EL GAROUANI. A. 2016**. L'application du SIG pour la gestion des ressources en eau dans la région de Saïs (Maroc) .3èmeEdition du Colloque International des utilisateurs du SIG. Oujda 22-23.

**AMRANI S., 2016**.Hydrodynamisme, Hydrogéologchimie et vulnérabilité de la nappe d'eau superficielle et leur relation avec la zone effondrée Timahdite – Almis Guigon (Moyen Atlas. Maroc).Thèse d'Etat en hydrogéologie, univ S MB A –FES, Fès, 163p.

**AMRAOUI.F, juillet 2005**.Contribution à la connaissance des aquifères karstiques : Cas du Lias de la plaine du Saïs et du Causse Moyen Atlasique tabulaire (Maroc). Thèse d'Etat en Hydrogéologie, 452p.

**CHAMAYOU. J, COMBE. M, GENETIER. B & LECLERC. C, 1967**.le bassin de Meknès-Fès et le couloir de Fès-Taza, PDF.p.56.

**CHARRIERE A. 1990.** Héritage hercynien et évolution géodynamique alpine d'une chaine intracontinentale : le Moyen Atlas au SE de Fès (Maroc), Thèse de doctorat d'Etat, Toulouse, 589p.

**COGNEY G. et FAUGERES J. C. 1975.** Précisions sur la mise en place des épanchements basaltiques des formations triasiques de la bordure septentrionale du Maroc. Bull. Soc. Géol. France, XVII, n°5, pp. 721 – 733.

**COGNEY G., TERMIER H. et TERMIE G. 1971.** Sur la présence de ‹‹ pillow-lavas›› dans le basalte du Permo-Triasau Maroc central. C. R. Acad. Sc. Paris, t. 273, sér. D, 446 – 449p.

**DEGREMONT G., 2005**.Mémento technique de l'eau. Tome 1, 10eme édition : Tec et doc. 3- 38p.

**Direction de la Région Hydraulique du Sebou (DRHS), 1989**. Historique des sources du piémont du causse moyen atlasique septentrional : Sources du secteur Ribaa-Bittit, Sources Boujaoui-Maarouf et Aghbal".

**EL ARABI H. 1987.** Etude stratigraphique et sédiment logique du lias aux confins du causse moyen atlasique et du moyen atlas plissé (Maroc).Thèse 3° cycle, Touleuse, 192p.

**EZZIANE S., 2007** : Traitement des eaux de rejets de l'unité CERAMIT « TENES », Mémoire de Magister, Département de génie des procédés, Faculté des sciences et sciences de l'ingénieur ; Université Hassiba Ben Bouali, Chlef. http://www.ing-dz.com.

**GAUJOUR D., 1995**. La pollution des milieux aquatiques : Aide mémoire. 2eme édition : Lavoisier. 49p.

**JEAN-CLAUDE B., 1983**. Contrôle des Eaux Douces et de Consommation Humaine, Edition Ed. Techniques Ingénieur, 2-8pp.

**KEMMER F., 1984**. Manuelle de l'eau .Edition : Lavoisier technique et documentation. 95-96-112p.

**LEYNAUD G., 1968**. Les pollutions thermiques, influence de la température sur la vie aquatique. B.T.I. Ministère de l'agriculture, 224-881p

**LUCAS J., 1962**. La transformation des minéraux argileux dans la sédimentation. Etude sur les argiles du Trias. Mém. Serv. Crte géol. Alsace – Lorraine, n°23, 202p.

**MAZZOUJI M., >1996**. La plate forme carbonatée liasique (Lias inférieur et moyen) aux abords de Michlifen, Ifrane et Immouzzer : lithostratigraphie, biostratigraphie, sédimentologie et stratigraphie séquentielle. Thèse de 3 ème cycle. Univ Mohamed V, Rabat.

**MERCIER J., 2000**. Le grand livre de l'eau. Edition: La reconnaissance du livre. Collecte art de vivre. 91p.

**N'DIAYE ABDOULAYE DEMBA, KHADIJETTOU MINT MOHAMED SALEMA, MOHAMED BRAHIM EL KORYA, MOHAMED OULD SID'AHMED OULD KANKOU ET MICHEL BAUDU ,2014.** Contribution à l'étude de l'évolution Spatio-temporelle de la qualité physicochimique de l'Eau de la Rive droite du fleuve Sénégal. J. Mater. Environ. Sci. 5 (1) ISSN : 2028-2508 CODEN: JMESCN, 325p.

**NICODJ., 1973**. Relation débit teneur et débit érosion les Karsts méditerranéens, VIème congrès International de Sépéléogie.

**ONEE, 2006** Office Nationale de l'Electricité et de l'Eau Potable –Branche Eau- .

**OUARHACHE D., 2002**. Sédimentation et volcanismes (effusif et explosif) associes au Rifting triasique et infra-liasique dans le Moyen Atlas sud-occidental et la haute Moulouya (Maroc). Fac. Sci., Rabat. 283p

**PESSON P., 1976.** Pollution des eaux continentales, incidences sur les biocénoses aquatiques, gauthier villars, ISBN: 2-04-008704-4, 97-101p.

**RABIET M., 2006**. Contamination de la ressource en eau par les eaux usées dans un bassin versant méditerranéen apport des éléments majeurs, traces et terres rares. Doctorat de l'université Montpellier 2. 368p

.**ROCHE M. 1950**. Histoire stratigraphique du Maroc .Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc n°80,400p.

**RODIER J. LEGUBE.B, MERLET.N et Coll. 2009** .Paris. L'analyse de l'eau. 9$^{e}$ Edit. Dunod, 1965p.

**SNIMA ,2006.** Elaborée par le comité technique de normalisation des eaux d'alimentation humaine Editée et diffusée par le Service de Normalisation Industrielle Marocaine.

**TALTASS.P, 1953**. Recherche géologique et hydrogéologie dans le bassin lacustre de Fès-Meknès. Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc115.300p.

**TOUHARI F., 2015**.Etude de la Qualité des Eaux de la vallée du Haut Cheliff, Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique.

**CIRAC P., 1978**. Lithofaciés et environnements sédimentaires du plio-quaternaire des zemmours (Bordure méridionaledu Gharb Marc Occidental. Notes. Ser. Géol. Maroc T 39 n° 272p.

Sites web :

https:///ww.infoclimat.fr/climatologie/annee/2016.2017.2018/fes-sais/valeurs/60141.html.
http://www.geojamal.com/2014/12/cartestopographiquesmaroc50000.html
http://www.mapnall.com/fr/google/Google-Carte-g%C3%A9ographiqueProvince-dEl-Kela%C3%A2-des-Sraghna_1111528.html

## *Annexes*

Tableau des normes marocaines de potabilité des eaux

| | PARAMETRES | EXPRESSION DES RESULTATS | VALEUR MAXIMALE ADMISSIBLE |
|---|---|---|---|
| **Substances minérales** | Nitrites | NO2:mg/l | 0,5 |
| | Nitrates | NO3:mg/l | 50 |
| | Arsenic | As : µg/l | 10 |
| | Baryum | Ba : mg/l | 0,7 |
| | Cadmium | Cd : µg/l | 3 |
| | Cyanures | CN : µg/l | 70 |
| | Chrome | Cr : µg/l | 50 |
| | Manganèse | Mn : mg/l | 0,5 |
| | Cuivre | Cu : mg/l | 2 |
| | Fluorures | F : mg/l | 1,5 |
| | Mercure | Hg : µg/l | 1 |
| | Plomb | Pb : µg /l | 10 |
| | Sélénium | Se : µg/l | 10 |
| | Bore | B: mg/l | 0,3 |
| | Nickel | Ni : µg/l | 20 |
| **paramètres physico-chimiques** | Potentiel hydrogène | Unités pH | 6,5<pH<8,5 |
| | Conductivité | µS/cm à 20°C | 2700 |
| | Chlorures | Cl:mg/l | 750 |
| | Sulfates | SO4:mg/l | 400 |
| | Aluminium | Al : mg/l | 0,2 |
| | Ammonium | NH4: mg/l | 0,5 |
| | Fer | Fe:mg/l | 0,3 |
| | Zinc | Zn: mg/l | 3 |

**Tableau 5 : Balance ionique des eaux souterraines de la nappe captive de Fès-Saïs**

| | Cations en (%) | | | Anions en (%) | | | Balance |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **forage** | **$Na^+$+$k^+$** | **$Mg^{2+}$** | **$Ca^{2+}$** | **$HCO_3^-$** | **$SO_4^{2-}$** | **$CL^-$** | **En(%)** |
| **F1** | 21,71 | 32,01 | 46,28 | 78,73 | 1,68 | 19,59 | 8,71 |
| **F2** | 28,39 | 29,58 | 42,03 | 65,16 | 1,80 | 33,04 | 1,34 |
| **F3** | 19,35 | 36,83 | 43,82 | 79,42 | 1,93 | 18,66 | 0,43 |
| **F4** | 25,15 | 15,01 | 59,84 | 73,34 | 2,32 | 24,34 | 3,26 |
| **F5** | 17,51 | 34,43 | 48,06 | 79,57 | 1,39 | 19,04 | 2,50 |
| **F6** | 20,10 | 39,02 | 40,88 | 78,07 | 2,15 | 19,79 | 2,37 |
| **F7** | 18,53 | 30,11 | 51,36 | 73,56 | 2,49 | 23,95 | 3,58 |
| **F8** | 12,67 | 28,85 | 58,48 | 81,08 | 1,09 | 17,83 | 8,19 |
| **F9** | 49,34 | 24,26 | 26,40 | 46,32 | 1,75 | 51,93 | 7,01 |
| **F10** | 9,75 | 42,31 | 47,94 | 83,59 | 1,13 | 15,28 | 0,30 |
| **F11** | 88,09 | 5,90 | 6,00 | 9,84 | 2,67 | 87,49 | 5,79 |
| **F12** | 16,33 | 43,13 | 40,54 | 78,25 | 1,39 | 20,37 | 1,10 |
| **F13** | 17,66 | 51,63 | 30,72 | 82,17 | 1,16 | 16,67 | 15,17 |
| **F14** | 10,64 | 24,07 | 65,28 | 85,10 | 1,30 | 13,60 | 0,45 |
| **F15** | 16,76 | 37,17 | 46,07 | 82,57 | 1,63 | 15,80 | 2,65 |
| **F16** | 13,07 | 21,15 | 65,77 | 84,33 | 1,68 | 13,99 | 2,34 |
| **F17** | 11,12 | 41,59 | 47,29 | 79,93 | 0,89 | 19,18 | 3,32 |
| **F18** | 9,10 | 33,56 | 57,34 | 75,47 | 1,35 | 23,18 | 20,14 |
| **F19** | 24,13 | 37,88 | 37,99 | 73,29 | 2,46 | 24,24 | 0,94 |

Annexe 3 : Normes de l'OMS sur l'eau potable

| **Elément/substance** | Symbole/formule | Concentration normalement trouvée dans l'eau de surface et d'eau souterraine | Lignes directrices fixée par l'OMS |
|---|---|---|---|
| **Aluminium** | Al | | 0.2mg/L |
| **Ammonium** | NH4+ | <0.2mg/L (aller jusqu'à 0.3mg/L dans une eau anaérobique) | Pas de contraintes |
| **Antimoine** | | | 0.02mg/L |
| **Arsenic** | Sb | | 0.01mg/L |
| **Baryum** | Ba | | 0.7mg/L |
| **Béryllium** | Be | <1µg/L | Pas de valeur |
| **Bore** | B | <1µg/L | 0.5mg/l |
| **Cadmium** | Cd | <1µg/L | 0.003mg/L |
| **Chlore** | Cl | | Pas de valeur |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | | 250mg/l |
| **Chrome** | Cr Cr | <2µg/l | Chrome total : 0,05mg/l |
| **Couleur** | | | Pas de valeur guide |
| **Cuivre** | Cu2+ | | 2mg/l |
| **Cyanure** | $CN^-$ | | 0,07mg/l |
| **Oxygène dissous** | O2 | | Pas de valeur guide |
| **Fluorure** | $F^-$ | <1,5mg/l(up to 10) | 1,5mg/l |
| **Dureté** | mg/l CaC03 | | 200ppm |
| **Sulfate d'hydrogène** | H2S | | 0,05 à 1 mg |
| **Fer** | Fe | 0,5-50mg/l | Pas de valeur guide |
| **Plomb** | Pb | | 0,01mg/l |
| **Manganèse** | Mn | | 0,4mg/l |
| **Mercure** | Hg | <0,5µg/l | Inorganique : 0,006mg/l |
| **Molybdène** | Mb | <0,01mg/l | 0,07mg/l |
| **Nikel** | Ni | <0,02mg/l | 0,07mg/l |
| **Nitrate et nitrite** | NO3,NO2 | | 50 et 3mg/l(exposition à court terme)<br>0,2mg/l(exposition à long terme) |
| **Turbidité** | | | Non mentionnée |
| **pH** | | | Pas de valeur guide mais en optimum entre 6,5 et 9,5 |
| **Sélénium** | Se | <0,01mg/l | 0,01mg/l |
| **Argent** | | 5-50µg/l | Pas de valeur guide |
| **Sodium** | Ag | <20mg/l | Pas de valeur guide |
| **Sulfate** | SO4 | | 500mg/l |
| **Etain inorganique** | Sn | | Pas de valeur guide :peu toxique |
| **TDS** | | | Pas de valeur guidé mais optimum en dessous de 1000mg/l |
| **Uranium** | U | | 0,0015mg/l |
| **zinc** | Zn | | 3mg/l |

**Paramètres avec valeurs indicatives ( L'OMS, 2012)**

| Groupe de paramètre | Paramètres | Unités | Valeurs indicatives |
|---|---|---|---|
| **Paramètres organoleptiques** | Couleur | Mg/l | 15 |
| | Turbidité | NTU | 5 |
| | Odeur à 12°C | Taux dilution | 4 |
| | Saveur à 25°C | Taux dilution | 4 |
| **Paramètres Physico-chimiques en Relation avec la structure naturelle des eaux** | Alcalinité | Mg/l en CaCO3 | 500 |
| | Calcium | Mg/l en CaCO3 | 500 |
| | Magnésium | Mg /l | 200 |
| | Chlorure | Mg/l | 50 |
| | Concentration en ions hydrogène | Unité pH | ≥6.5et≤9 |
| | Conductivité à20°C | µS/cm | 2700 |
| | Dureté | Mg/l en CaCO3 | 200 |
| | Potassium | Mg/l | 12 |
| | Sodium | Mg/l | 200 |
| | Sulfates | Mg/l | 400 |
| | résidu sec | Mg/l | 1500 |
| | température | °C | 25 |

Présentation de l'ONEE

I.1 Définition

L'office national de l'eau potable est un organisme gouvernemental servant à assurer l'essentiel de la gestion et de la production de la ressource en eau consomme au Maroc. C'est un établissement public à caractère industriel et commercial [1], il représente l'un des véritables piliers de l'économie Marocaine.

I.2 Historique

1929 : date de création de REIP (Régie d'Exploitation Installation et Planification)
1963 : l'Office National de l'Eau Potable (ONEP) crée en 1972 suite à ce regroupement L'Office National de l'Electricité et de l'Eau potable (ONEE) a été créé le 24/04/2012
1972 : date de prise du nom l'Office National de l'Eau Potable ONEP
2012 : date du regroupement entre l'Office National de l'Électricité (ONE) qui a été crée en

I.3 Missions principales :

- Planifier l'approvisionnement en eau potable du Royaume et la programmation des projets.
- Etudier l'approvisionnement en eau potable et assurer l'exécution des travaux des unités de productions et de distribution.
- Gérer la production d'eau potable et assurer sa distribution.
- Contrôler la qualité des eaux produites et distribuées.
- Participer aux études des projets de textes législatifs et réglementaires nécessaires à l'accomplissement de sa mission.

Direction régionale de l'ONEE

II.2Description du laboratoire régional

Le laboratoire est constitué de sept salles, que lui permettent d'effectuer des différentes analyses à savoir le TH, TAC, pH, les analyses bactériologiques etc.:

- Une salle des analyses physico-chimiques
- Une salle des analyses par spectrométrie d'absorption moléculaire
- Une salle pour les analyses des paramètres par spectrométrie d'absorption atomique
- Une salle pour les analyses bactériologiques
- deux salles de lavage et de stérilisation
- une salle pour la préparation des milieux de cultures

كلية العلوم و التقنيات فاس
Faculté des Sciences et Techniques de Fès

جامعة سيدي محمد بن عبد الله
Université Sidi Mohamed Ben Abdellah

Licence Géoressources et Environnement

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques

**Présenté Par : ES-SBAGHI Fatima Zahrae**

**Titre: Etude de la qualité des eaux souterraines de la nappe captive Fès-Saïs**

**Année Universitaire: 2018/2019**


# Résumé

La zone que nous avons choisi d'étudier est située dans la plaine Fès-Saïs avec une superficie est d'environ 2100km$^2$. Elle est limitée par l'oued Sebou à l'est, l'oued Beht à l'ouest, les rides pré rifaines au nord- est et le causse Moyen – Atlasique au sud. La nappe captive de Fès-Saïs se situe au niveau des formations carbonatées du calcaire, du calcaire dolomitique et des dolomites liasiques et elle a pour substratum les formations triasiques et comme toit les grès et les marnes du Miocène.

L'étude des paramètres physico-chimiques concerne 19 forages réparties à Ras Al Maa, à Ain Baidda, à Ain Chkkaf et à l'ouest de Fès. Les résultats des analyses des échantillons montrent que le pH est presque neutre entre 7.13et7.65, que la °T oscille entre 17.7°C et 31°C, que la conductivité varie entre 500 et 7430µS/cm, que la concentration d'oxygène dissout varie entre 4.5 et 8.8mg/L et que la turbidité varie entre 0.18 et 0.68 NTU. Les paramètres chimiques $Mg^{2+}$, $Ca^{2+}$, $K^+$, $Na^+$, $HCO^-_3$, $Cl^-$, $SO^{2-}_4$, $NO_3^-$ sont conformes aux normes marocaines pour tous les échantillons des captages sauf le forage F11 qui dépasse la norme pour les chlorures (1790mg/L), la conductivité (7430µS/cm), le sodium (1040mg/L), le forage F9 qui est non conforme à la norme par une valeur de 8.8mg$O_2$/L pour l'oxygène dissout et le F13 qui dépasse la norme pour le $Mg^{2+}$(61.4mg/L). Ces forages avec des teneurs élevées feront l'objet d'une dilution des eaux avec celles d'autres captages. Pour les métaux lourds (Al, Se, As, Ni, Cd) leurs teneurs sont conformes aux normes marocaines et présentant ainsi une bonne qualité d'eau.

Les résultats des analyses chimiques, nous a permis de distinguer les faciès chimiques des eaux souterraines de la nappe. Il s'agit d'une eau bicarbonatée calco-magnésienne caractérisant les eaux de faible minéralisation et un deuxième type correspond à une eau chlorurée bicarbonatée calco-magnésienne ou chlorurée sulfato-calco-magnésienne caractérisant des eaux à minéralisation élevée.



**Mots clés :** nappe captive Fès-Saïs, Hydrogéologie, Eléments trace, Faciès chimiques



*Faculté des Sciences et Techniques - Fès*
*B.P. 2202 – Route d'Imouzzer – FES*
*212 (0) 535 60 29 53 Fax : 212 (0) 535 60 82 14*