

# الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Ibn Khaldoun –Tiaret-

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Nutrition et Technologie Agro-Alimentaire



Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master académique

Domaine: "Sciences de la Terre et de l'Univers"

Filière: "Géologie"

Spécialité: "Hydrogéologie et Environnement"

Thème :

**Etude Hydrogéologique et Caractéristiques Hydrochimiques des  
Eaux Souterraines de la Région de Sougueur (Wilaya de Tiaret)**

Présentés et soutenus publiquement par :

1- ARARIA Nasreddine

2- KHELIFA Kheireddine

**JURY:**

**-Président:** ZERARKA Abdelkader, Maitre de conférences A

**-Promoteur:** MOUCHARA Nabil, Maitre assistant A

**-Examineur:** SABBOUA Toufik, Maitre assistant B

Année universitaire: 2014-2015

# Remerciements

*On remercie notre dieu miséricorde de nous avoir amené à réaliser ce projet et de nous avoir donné la possibilité de poursuivre nos études supérieures et de les réussir et d'avoir la chance d'atteindre le niveau **MASTER II**.*

*On tient à exprimer nos vifs remerciements :*

*A notre encadreur monsieur le chef de département des Sciences de la Terre et de l'Univers **M.MOUCHARA.N** pour sa prise en charge et pour avoir dirigé notre travail durant l'élaboration de ce mémoire.*

*Nos remerciements vont également à tous les enseignants du notre département.*

*Nos remerciements vont aussi à messieurs les membres du jury pour avoir accepté de juger notre travail.*

*Enfin, A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet de fin d'études.*

**Merci**

# *Dédicace*

*Tout d'abord, nous sommes fidèlement reconnaissants*

*à Allah que*

*Cette recherche a été menée avec succès.*

*Je dédie ce modeste mémoire :*

*A ma très chère mère,*

*A mon très cher père,*

*A ma deuxième mère,*

*qui a été toujours là pour moi, et qui m'a aidé*

*A mon frère,*

*A ma sœur,*

*A toute ma famille de près ou de loin,*

*A tous mes amis,*

*Pour m'avoir constamment soutenu moralement*

*et encouragé à aller de l'avant, face aux difficultés*

*rencontrées.*

*ARARIA Nasreddine*

# *Dédicace*

*Tout d'abord, nous sommes fidèlement reconnaissants*

*à Allah que*

*Cette recherche a été menée avec succès.*

*Je dédie ce modeste mémoire :*

*A ma très chère mère.*

*qui a été toujours là pour moi, et qui m'a aidé*

*A mon très cher père.*

*A mes frères,*

*A mes sœurs,*

*A toute ma famille de près ou de loin,*

*A tous mes amis,*

*Pour m'avoir constamment soutenu moralement  
et encouragé à aller de l'avant, face aux difficultés  
rencontrées.*

*KHELIFA Kheïreddine*

## **Résumé :**

La vallée d'Oued Soussalem située au Sud-Est de la wilaya de Tiaret à l'Ouest d'Algérie, caractérisée par une potentialité hydrogéologique et dynamique agricole importante avec un climat semi-aride qui l'entrave, et qui accrois la demande en besoins en eaux. Or dans cette zone, les eaux souterraines constituent la principale ressource en eau potable et en eau d'irrigation pour la population rurale et urbaine.

L'objectif de ce travail est, d'une part, d'évaluer la qualité physico-chimique des eaux souterraines dans la période des hautes eaux (Mai 2015) de la zone d'étude et de les comparer aux normes algériennes de potabilité. D'autre part de connaitre le potentiel hydrique sur le plan hydrogéologique de cette région, qui montre la présence de deux nappes superposées, l'une superficielle et l'autre profonde.

Les résultats obtenus, montrent que les concentrations des éléments majeurs ne dépassent pas les normes algériennes de potabilité seulement pour le calcium ( $\text{Ca}^+$ ) qui dépasse les valeurs recommandées surtout le point F14.

Aussi, les valeurs des anions ne dépassent pas les normes recommandées seulement pour les sulfates ( $\text{SO}_4$ ) et les nitrates ( $\text{NO}_3$ ) qui dépassent ces normes.

**Mots-clés :** *eaux souterraines, qualité, piézométrie, vallée d'oued Soussalem.*

## **Abstract :**

Sousselem Valley area located to the southeast of the province of Tiaret in western Algeria, which is characterized by the possibility of the hydrogeology and important agricultural dynamic with a semi-arid climate, which raises the demand in the water needs. However, in this region, groundwater is the main source of potable water for drinking and irrigation water for rural and urban residents.

The objective of this work is, firstly, to evaluate the physical and chemical quality of groundwater in the period of high water (May 2015) of the study area and to compare these waters in reference to Algerian drinking water standards. In addition to know the water potential on the hydrogeological map of the region, which shows the presence of two plies that are superimposed, one shallow and one deep.

The results show that the concentrations of the major elements do not exceed the Algerian drinking water standards only for calcium ( $\text{Ca}^+$ ) that exceeds the recommended values above the point F14.

In addition, the values of the anions do not exceed the standards recommended only for sulphate ( $\text{SO}_4$ ) and nitrate ( $\text{NO}_3$ ) to exceed these standards.

**Key words:** quality, groundwater, piezometry, Valley of Oued Sousselem.

## ملخص:

منطقة وادي سوسلم (Sousselem) تقع في الجنوب الشرقي من ولاية تيارت في غرب الجزائر، والتي تتميز بإمكانية هيدروجيولوجي و ديناميكية زراعية مهمة مع مناخ شبه قاحل الذي يرفع الطلب في الاحتياجات المائية. ولكن في هذه المنطقة المياه الجوفية هي المصدر الرئيسي للمياه الصالحة للشرب ومياه الري لسكان الريف والحضر.

الهدف من هذا العمل هو، أولاً، لتقييم النوعية الفيزيائية والكيميائية للمياه الجوفية في فترة ارتفاع المياه (ماي 2015) لمنطقة الدراسة ومقارنتها مع معايير مياه الشرب الجزائرية . بالإضافة إلى معرفة إمكانات المياه على الخريطة الهيدروجيولوجية للمنطقة، مما يدل على وجود جيبين، واحد سطحي والآخر عميق .

وأظهرت النتائج أن تركيزات العناصر الكبرى لا تتجاوز معايير مياه الشرب الجزائرية فقط الكالسيوم ( $Ca^{+}$ ) التي تتجاوز القيم الموصى بها خاصة النقطة F14 .

أيضاً، قيم الأيونات لا تتجاوز المعايير الموصى بها فقط الكبريتات ( $SO_4$ ) و النترات ( $NO_3$ ) التي تتجاوز هذه المعايير.

**الكلمات المفتاحية** : النوعية ,المياه الجوفية , أنظمة قياس المياه الجوفية , وادي سوسلم ( Sousselem).

# SOMMAIRE

Remerciement

Dédicace

Résumé

Abstract

ملخص

SOMMAIRE

Liste des Figures

Liste des Tableaux

Liste des abréviations

Introduction Générale..... 1

## **Chapitre I : Présentation de la zone d'étude.**

1. Situation géographique.....	2
2. Aperçu géomorphologique.....	3
3. Le Réseau Hydrographique.....	4
4. Cadre Géologique.....	5
4.1. Litho-Stratigraphie de la zone d'étude.....	6
4.1.1. Plio-Quaternaire .....	6
4.1.1.1. Alluvions Modernes.....	6
4.1.1.2. Croutes Calcaires.....	6
4.1.2. Miocène Inférieur.....	6
4.1.3. Le Crétacé Supérieur.....	6
4.1.3.1. Sénonien.....	6
4.1.3.2. Turonien.....	6
4.1.3.3. Cénomaniens.....	6
4.1.4. Crétacé Inférieur Gréseux.....	6
4.1.5. Crétacé Inférieur Carbonaté.....	7
4.1.6. Jurassique Supérieur.....	7
4.1.6.1. Tithonique - Berriasien-Valanginien.....	7
4.1.6.2. Kimméridgien.....	7
5. Conclusion.....	9

## **Chapitre II : Hydroclimatologie.**

1. Introduction.....	10
2. Climatologie de la zone d'étude.....	10
3. Les facteurs climatiques.....	10
3.1 Les Précipitations.....	11
3.1.1 Les Précipitations moyennes mensuelles.....	11
3.1.2 Les variations interannuelles des précipitations.....	12
3.2 Températures.....	14
3.2.1 Températures moyennes mensuelles.....	14
3.2.2 Diagramme Pluvio-thermique.....	15
3.3 L'humidité.....	16
3.4 L'évaporation.....	16
4. Indices Climatiques.....	17
4.1. Climatogramme d'Emberger.....	17
4.2. L'indice climatique de DE MARTONNE.....	18
5. Bilan hydrique.....	19
5.1. Détermination des paramètres du bilan.....	19
5.1.1. Evapotranspiration.....	19
5.1.1.1. Evapotranspiration potentielle (ETP).....	19
5.1.1.2. Evapotranspiration Réelle (ETR).....	20
a. ETR selon la formule de « Turc ».....	20
b. ETR selon la formule «C.W.Thornthwaite».....	20
5.1.2. Ruissellement (R).....	21
5.1.3. Infiltration (I).....	21
5.2. Interprétation du bilan hydrique.....	24
6. Conclusion.....	25

## **Chapitre III : Hydrogéologie et Piézométrie.**

1. Introduction.....	26
2. Aperçu sur les aquifères.....	26
2.1 Limites et extension.....	26

2.2	Superficie des aquifères.....	26
3.	Les nappes de la vallée d'Oued Soussalem.....	30
3.1	La nappe superficielle (Alluviale) du Plio-Quaternaire.....	30
3.2	La nappe profonde.....	30
4.	Piézométrie.....	32
4.1	Généralités.....	32
4.2	Interprétation des cartes piézométriques.....	33
4.2.1	La carte piézométrique en période des basses eaux (Décembre 2014).....	33
4.2.1.1	La carte piézométrique de la nappe superficielle (Alluviale).....	33
4.2.1.2	L'interprétation de la carte piézométrique.....	34
	a. Niveau de l'eau par rapport au sol.....	34
	b. Sens d'écoulement général.....	34
	c. Gradient hydraulique.....	34
	d. Alimentation.....	34
4.2.1.3	La carte piézométrique de la nappe profonde (le Jurassique et Crétacé).....	35
4.2.1.4	Interprétation de la carte piézométrique.....	36
	a. Niveau de l'eau par rapport au sol.....	36
	b. Sens d'écoulement général.....	36
	c. Gradient hydraulique.....	36
4.2.2	La carte piézométrique en période des hautes eaux (Avril 2015).....	37
4.2.2.1	La carte piézométrique de la nappe superficielle (Alluviale).....	37
4.2.2.2	L'interprétation de la carte piézométrique.....	38
	a. Niveau de l'eau par rapport au sol.....	38
	b. Sens d'écoulement général.....	38
	c. Gradient hydraulique.....	38
	d. Alimentation.....	38
4.2.2.3	La carte piézométrique de la nappe profonde (le Jurassique et Crétacé).....	39
4.2.2.4	Interprétation de la carte piézométrique.....	40
	a. Niveau de l'eau par rapport au sol.....	40
	b. Sens d'écoulement général.....	40

c. Gradient hydraulique.....	40
5. Conclusion.....	40

## **Chapitre IV : Etude Hydrochimique.**

1. Introduction.....	41
2. Matériels et méthodes.....	41
2.1 Prélèvement et conservation des échantillons.....	41
2.2 Les méthodes d'analyses.....	43
2.3 Les méthodes d'interprétation.....	43
3. Résultats et discussions.....	43
3.1 Les paramètres physico-chimiques.....	43
3.1.1 La température (T).....	43
3.1.2 La conductivité électrique (CE).....	44
3.1.3 Potentiel Hydrogène (pH).....	45
3.1.4 Le taux des sels dissous (TDS).....	45
3.1.5 Turbidité.....	46
3.1.6 Salinité.....	47
3.1.7 Titre Hydrotimétrique (TH).....	47
3.1.8 Titre Alcalimétrique Complet (TAC).....	48
3.2 Les paramètres chimiques.....	49
3.2.1 Les ions majeurs.....	49
3.2.1.1 Le Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ).....	49
3.2.1.2 Le Magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ).....	49
3.2.1.3 Les Chlorure ( $\text{Cl}^-$ ).....	50
3.2.1.4 Les Bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ).....	51
3.2.1.5 Les Sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ).....	51
3.2.2 Les paramètres de pollution.....	52
3.2.2.1 Les Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ).....	52
3.2.2.2 Les Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ).....	52
3.2.2.3 L'Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ).....	52
3.2.2.4 Matière Organique (MO).....	53

4. Potabilité des eaux.....	54
4.1 Les normes de potabilité.....	54
5. Conclusion.....	55
Conclusion Générale.....	56
Références Bibliographiques	
Annexes	

# *Listes des figures*

<b>N°</b>	<b>Titre de figure</b>	<b>Page</b>
<b>Chapitre I : Présentation de la zone d'étude.</b>		
<b>Fig.1 :</b>	Localisation géographique de la zone d'étude. (La Carte Topographique de Sougueur 1/50.000, INC.1984).....	2
<b>Fig.2 :</b>	Réseau hydrographique de la zone d'étude (D'après : ARARIA N & KHELIFA K. 2015).....	4
<b>Fig.3 :</b>	Extrait de la Carte Géologique de Sougueur (EX-TREZEL) au 1/50.000 (SDG, 1980) .....	5
<b>Fig.4 :</b>	Coupe géologique (BB') dans la zone d'étude. (Carte géologique de Sougueur 1/50.000, SDG 1980).....	8
<b>Fig.5 :</b>	Coupe géologique (CC') dans la zone d'étude. (Carte géologique de Sougueur 1/50.000, SDG 1980).....	8
<b>Chapitre II : Hydroclimatologie.</b>		
<b>Fig. 6 :</b>	Répartition des précipitations moyennes mensuelles de la station d'Ain Bouchekif (1986-2013).....	11
<b>Fig. 7 :</b>	Répartition des précipitations interannuelles de la station d'Ain Bouchekif (1986-2013).....	14
<b>Fig. 8 :</b>	Les températures moyennes mensuelles de la station d'Ain Bouchekif (1986-2013).....	15
<b>Fig. 9 :</b>	Diagramme Ombro-thermique de la station d'Ain Bouchekif (1986-2013)...	15
<b>Fig. 10 :</b>	Position de la zone d'étude dans le climatogramme d'Emberger.....	18
<b>Fig.11 :</b>	Représentation graphique du bilan hydrique de C.W.Thornthwaite de la station d'Ain Bouchekif (1986-2013).....	23
<b>Chapitre III : Hydrogéologie et Piézométrie.</b>		
<b>Fig.12 :</b>	Corrélation des forages de la vallée d'Oued Sousselem.....	27

<b>Fig.13</b> : Corrélation des forages de la vallée d'Oued Sousselem.....	28
<b>Fig. 14</b> : Log hydrogéologique de la zone d'étude (D'après : ARARIA N & KHELIFA K. 2015).....	29
<b>Fig. 15</b> : Les ressources en eau souterraine de la zone d'étude (ABH-CZ).....	31
<b>Fig.16</b> : Carte piézométrique de la nappe alluviale de la vallée d'Oued Sousselem (Décembre 2014).....	33
<b>Fig.17</b> : Carte piézométrique de la nappe profonde de la vallée d'Oued Sousselem (Décembre 2014).....	35
<b>Fig.18</b> : Carte piézométrique de la nappe alluviale de la vallée d'Oued Sousselem (Avril 2015).....	37
<b>Fig.19</b> : Carte piézométrique de la nappe profonde de la vallée d'Oued Sousselem (Avril 2015).....	39

#### **Chapitre IV : Etude Hydrochimique.**

<b>Fig.20</b> : Carte de répartition géographique des points du prélèvement de la région d'étude.....	42
<b>Fig. 21</b> : Variation des Températures en (°C) des points de prélèvement de la zone d'étude.....	44
<b>Fig. 22</b> : Variation des concentrations de CE en ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) des points de prélèvement de la zone d'étude.....	44
<b>Fig. 23</b> : Variation des valeurs de pH des points de prélèvement de la zone d'étude.....	45
<b>Fig.24</b> : Variation des concentrations de TDS en ( $\text{mg}/\text{l}$ ) des points de prélèvement de la zone d'étude.....	46
<b>Fig.25</b> : Variation des valeurs de Turbidité en (NTU) des points de prélèvement de la zone d'étude.....	46
<b>Fig.26</b> : Variation des pourcentages de la salinité des points de prélèvement de la zone d'étude.....	47

<b>Fig.27</b> : Variation des concentrations de TH en (mg/l) des points de prélèvement de la zone d'étude.....	48
<b>Fig.28</b> : Variation des concentrations de TAC en (mg/l) des points de prélèvement de la zone d'étude.....	48
<b>Fig. 29</b> : Variation des concentrations de $\text{Ca}^{2+}$ en (mg/l) des points de prélèvement de la zone d'étude.....	49
<b>Fig. 30</b> : Variation des concentrations de $\text{Mg}^{2+}$ en (mg/l) des points de prélèvement de la zone d'étude.....	50
<b>Fig. 31</b> : Variation des concentrations de $\text{Cl}^-$ en (mg/l) des points de prélèvement de la zone d'étude.....	50
<b>Fig. 32:</b> Variation des concentrations de $\text{HCO}_3^-$ en (mg/l) des points de prélèvement de la zone d'étude.....	51
<b>Fig. 33</b> : Variation des concentrations de $\text{SO}_4^{2-}$ en (mg/l) des points de prélèvement de la zone d'étude.....	51
<b>Fig. 34</b> : Variation des concentrations de $\text{NO}_3^-$ en (mg/l) des points de prélèvement de la zone d'étude.....	52
<b>Fig. 35</b> : Variation des concentrations de MO en (mg/l) des points de prélèvement de la zone d'étude.....	53

# *Liste des Tableaux*

N°	Titre de tableau	Page
----	------------------	------

## **Chapitre II : Hydroclimatologie.**

<b>Tab 01</b> : Les caractéristiques de la station d'Ain Bouchekif (1986-2013).....	10
<b>Tab 02</b> : Les précipitations moyennes mensuelles de la station d'Ain Bouchekif (1986-2013).....	11
<b>Tab 03</b> : Précipitations interannuelles en (mm) de la station d'Ain Bouchekif (1986-2013).....	12
<b>Tab 04</b> : Coefficients pluviométriques de la station d'Ain Bouchekif (1986-2013).....	13
<b>Tab 05</b> : Les températures moyennes mensuelles de la station d'Ain Bouchekif (1986-2013).....	14
<b>Tab 06</b> : L'humidité relative moyenne mensuelle de la station d'Ain Bouchekif (1986-2013).....	16
<b>Tab 07</b> : L'évaporation moyenne mensuelle de la station d'Ain Bouchekif (1986-2013).....	16
<b>Tab 08</b> : Résultats de l'ETP obtenus par la formule de «C.W.Thornthwaite» de la station d'Ain Bouchekif (1986-2013).....	20
<b>Tab 09</b> : Résultats de l'ETR obtenus par les différentes méthodes d'estimation de la station d'Ain Bouchekif (1986-2013).....	21
<b>Tab 10</b> : Résultats du ruissellement par la formule de « Tixeront-Berkaloff » pour la station d'Ain Bouchekif (1986-2013).....	21
<b>Tab 11</b> : Estimation de l'infiltration par l'équation fondamentale du bilan hydrique de la station d'Ain Bouchekif (1986-2013).....	22
<b>Tab 12</b> : Le bilan hydrique de C.W.Thornthwaite de la station d'Ain Bouchekif (1986-2013).....	22

## **Chapitre IV : Etude Hydrochimique.**

<b>Tab 13</b> : Normes Algériennes de potabilité.....	54
<b>Tab 14</b> : Classification de la potabilité des eaux d'après les normes Algériennes.....	54

## ***LISTE DES ABREVIATIONS***

**ADE** : Algérienne Des Eaux.

**ABH-CZ** : Agence du Bassin Hydrographique Cheliff-Zahrez.

**AEP** : Alimentation en Eau Potable.

**ANRH** : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

**E.P.E.A.O.S** : Etude du Projet d'Exécution de l'Aménagement de l'Oued Sousselem.

**GPS** : Global Positioning System.

**INC** : Institut Nationale de Cartographie.

**OFEFP** : Office Fédéral de l'Environnement, des Forêts et du Paysage.

**SDG** : Sous-Direction de Géologie.

---

# **Introduction Générale**

## Introduction générale

L'eau souterraine cette composante du cycle de l'eau, joue un rôle majeur pour l'homme et les milieux. Elle représente la ressource en eau potable, une source majeure pour l'irrigation et usages industriels (AZLAOUI M, 2010).

Les eaux souterraines forment un milieu encore mal connu, mais unique. A la frontière entre sous sol et surface, les sources, puits et forages ont de tout temps exercé un vif attrait sur l'esprit humain. Ces eaux font partie de notre patrimoine et doivent être préservées.

L'importance économique et environnementale des eaux souterraines fait de leur préservation un facteur de développement durable. Cependant, le développement socio-économique et les exigences de la vie moderne exercent beaucoup de contraintes sur les ressources hydriques. La surexploitation des eaux souterraines engendrent souvent des déséquilibres écologiques pratiquement irréversibles (AZLAOUI M, 2010).

Notre région d'étude couvrant une superficie de 70 km<sup>2</sup>, appartenant à la vallée d'Oued Soussalem d'orientations Sud Ouest – Nord Est situé à une trentaine de kilomètres au Sud-Est de la localité de Tiaret. Les fluctuations saisonnières du niveau de la nappe ont des conséquences désastreuses sur le fonctionnement du système aquifère Plateau de Sersou-Oued Soussalem permet de préserver le potentiel des ressources en eau, leur qualité, leur évolution, notamment face aux risques des modes de gestion adaptées.

D'une part, on procède à une évaluation des nappes de cette unité hydrogéologique dans son contexte géologique, hydroclimatologique et hydrogéologique, on se réfère à l'historique des études hydrogéologiques réalisées dans la région et à l'actualisation des données à savoir la climatologie et la piézométrie.

L'étude hydrogéologique de ces nappes de la vallée d'Oued Soussalem n'a pas été étudiée d'une façon très large, Les documents existants concernant ces nappes fournissent uniquement les données des débits et des fiches techniques des forages.

D'autre part, est la contribution à la mise en évidence des caractéristiques hydrochimiques des aquifères de la région de Sougueur et par la même occasion l'estimation de sa qualité pour l'AEP.

---

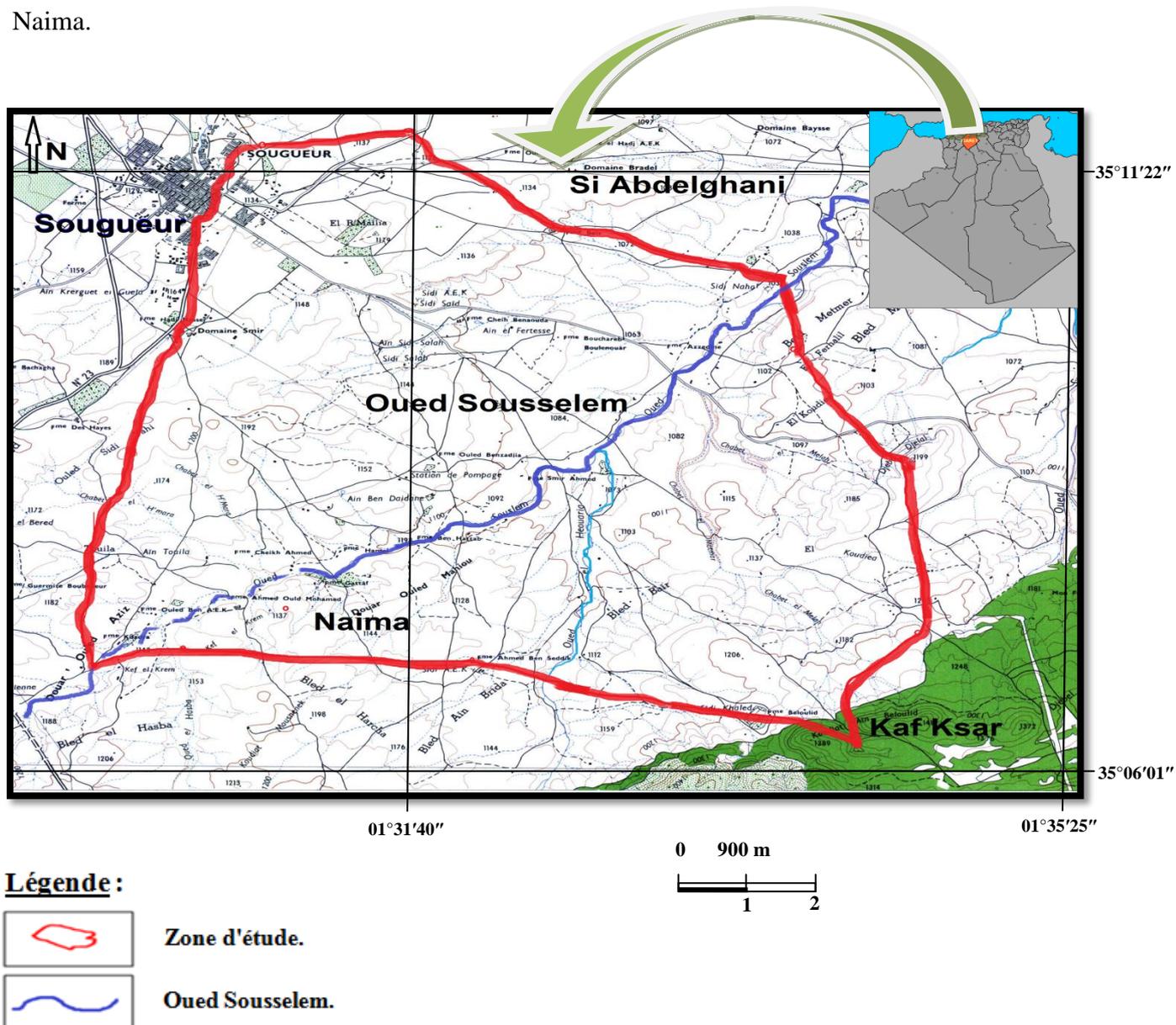
# **Chapitre I :** **Présentation de la zone** **d'étude**

## 1. Situation géographique

La vallée d'Oued Soussellem constitue la limite Sud du plateau du Sersou, qu'il traverse en partie suivant une direction SO-NE. Elle est donc limitée au Nord par le Plateau du Sersou, à l'Ouest par la région de Sougueur, au Sud par la chaîne du Nadhor, et l'Est par le Djebel Rechaïga. La superficie de l'impluvium est de **70 km<sup>2</sup>**.

Elle s'étend de 35°06'4.8" au 35°11'38.1" de latitude Nord et du 01°29'00" au 01°35'00" de longitude Est.

De point de vue administratif, la vallée d'Oued Soussellem est bordée au Nord-Ouest par la commune de Sougueur, Nord-Est par la commune de Si Abdelghani, Sud par la commune de Naima.



**Fig.1** : Localisation géographique de la zone d'étude. (La Carte Topographique de Sougueur 1/50.000, INC.1984).

## 2. Aperçu géomorphologique

La zone d'étude s'étale sur deux domaines naturels bien distincts, les plaines au Nord et les hautes plaines au Sud et Sud-Est. Dans ce contexte, la région d'étude est délimitée sur le plan naturel au Nord et Nord-Est par le plateau du Sersou. À l'Ouest par les hautes plaines de Sougueur. Au Sud, la limite s'ouvrant sur les Monts de Nadhor (djebel Nadhor, djebel ben Nsour, djebel Safeh). Ce territoire n'a donc pas de caractère homogène : il se caractérise par une alternance de milieux très contrastés dont les grands ensembles sont au nombre de trois :

### **-Le milieu montagnard :**

Il est constitué par une série de djebels généralement orientés vers le Sud-Est, peu accentués et aux dénivellations peu importantes conférant à l'ensemble orographique une allure tabulaire ondulée. Ces domaines ondulés sont incisés par une série d'Oueds courants dans des fonds de vallées : il s'agit d'Oued El HOUARIA, et AIN BELOULID, LAKHNEG, MELAH et EL MATMAR qui débouchent sur les plaines via l'Oued Sousselem.

### **-Les plaines :**

Elles se localisent dans la partie Nord de la région d'étude à moins de 1040 m d'altitude et concernent principalement le centre. Il s'agit de la plaine du sidi Nahel et du Sud de la ville de Sougueur. Cette région est caractérisée par une agriculture intense.

### **-Le milieu steppique :**

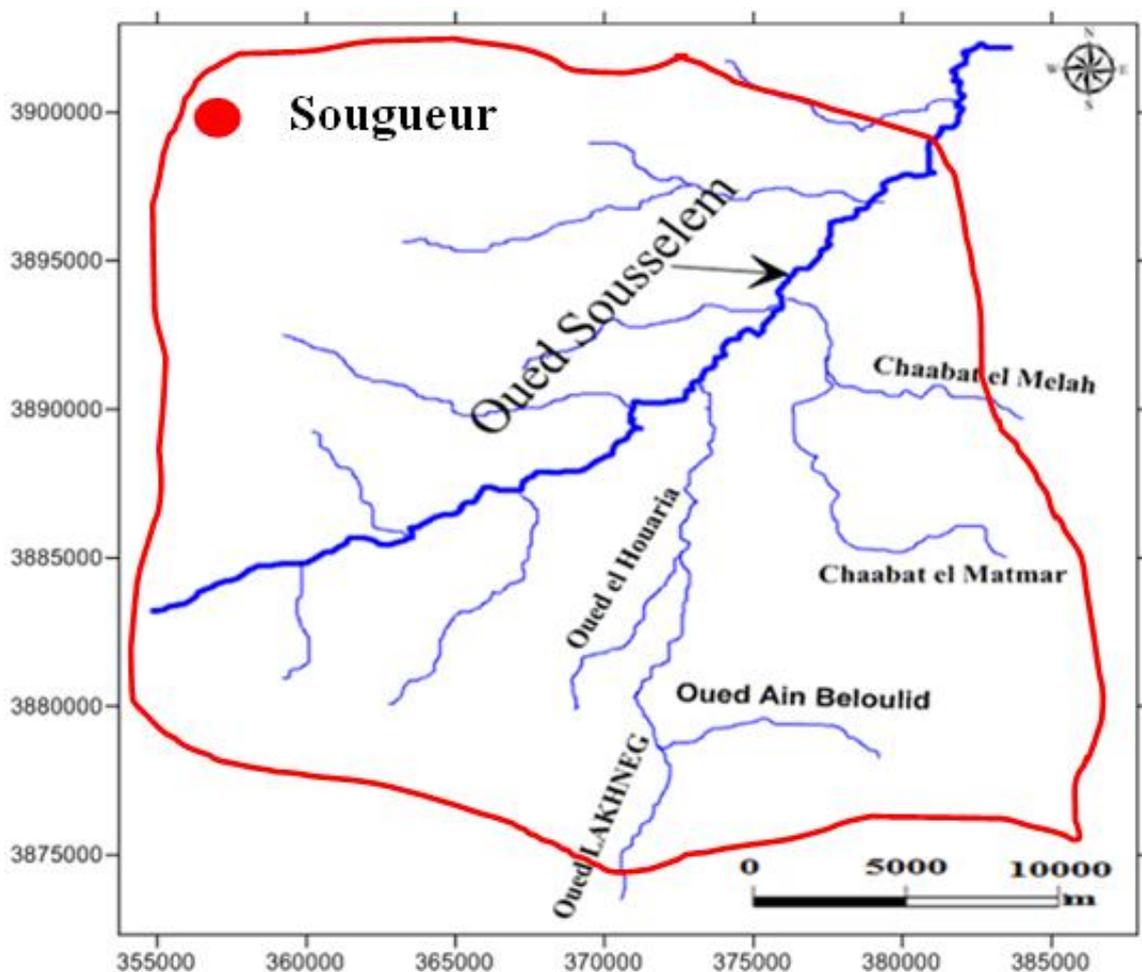
Il est caractérisé par des altitudes élevées (1170 m en moyenne), les plus hautes steppes atteignent 1240 m et les plus basses 1100 m. Cet espace est caractérisé par un climat semi-aride et la fortes des précipitations.

### 3. Le Réseau hydrographique

La vallée d'Oued Soussellem draine une superficie de 50 km<sup>2</sup> comprise depuis les hautes terres (monts de Nadhor) jusqu'à Douar Sid Nahel, Les principaux affluents prennent naissance à partir des montagnes et se déversant dans l'Oued Soussellem (le principal cours d'eau de la région) sont :

- Oued El HOUARIA, prend naissance à partir des monts de djebel Nadhor.
- Oued AIN BELOULID, prend naissance à partir d'Ain Bouloulid et Kef Ksar.
- Oued LAKHNEG draine les monts de djebel dar ben soitare et djebel Boutchicra.
- Chaabat MELAH, prend naissance à partir des monts de djebel Djellal.
- Chaabat EL MATMAR, prend naissance à partir des monts de kaf el Moudjahidine.

La surface du sol peut être unie pour une grande partie du lit de l'Oued ou alternativement d'un coté à l'autre du lit en fonction des méandres « terrasse de méandre » ou bien entailles par de petites incisions linéaires lorsque le ruissellement se concentre avec une pente plus forte et des débits plus importants.

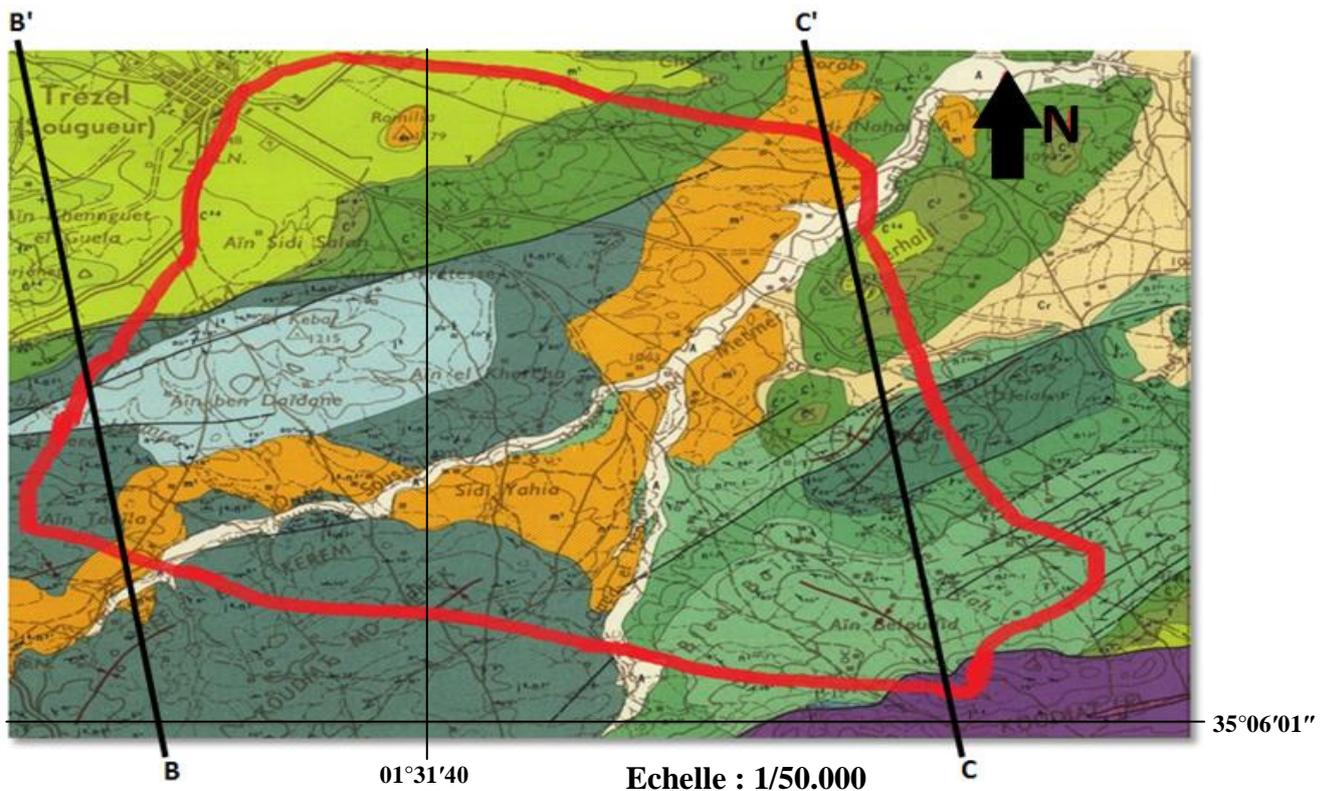


La légende :  Zone d'étude

Fig.2 : Réseau hydrographique de la zone d'étude (D'après: ARARIA N & KHELIFA K. 2015).

4. Cadre géologique

L'une des bases essentielle de l'inventaire des richesses naturelles d'une région est l'étude de sa géologie, pour les contrés arides et semi-arides en particulier, cette étude est indispensable à la recherche et à l'évaluation des ressources en eaux souterraines. L'observation de la carte géologique de Sougueur (EX-TREZEL) au 1/50.000 (SDG, 1980), met en évidence six formations géologiques principales (Plio-Quaternaire, Miocène Inférieur, Le Crétacé Supérieur, Crétacé Inférieur Gréseux, Crétacé Inférieur Carbonaté, Jurassique Supérieur) dans la vallée d'Oued Soussellem (Fig.3).



**La Légende :**

**TERRAINS SEDIMENTAIRES**

**DEPOTS CONTINENTAUX POST-MIOCENES**

A

Alluvions modernes.

Cr

Croutes Calcaires.

**MIOCENE INFÉRIEURE**

m<sup>1</sup>

Conglomérats et Grès.

**SENONIEN**

C<sup>3-6</sup>

Conglomérats et Grès.

**TURONIEN**

C<sup>2</sup>

Dolomies gréseux, Grès, Calcaires.

**CENOMANIEN**

C<sup>1</sup>

Marnes, Argillites, Calcaires et Dolomies. Conglomérats et Grès à la base.

**CRETACE INF. GRESO-CARBONATE (VALANGINIEN p.p. à ALBIEN)**

n<sup>2''-1</sup>

Grès, Calcaires et Dolomies gréseux, Argiles gréseuses, Sables.

 Zone d'étude

**CRETACE INF. CARBONATE (BERRIASIEN-VALANGINIEN p.p.)**

1  
2  
n<sup>1-2'</sup>

1 : Calcaires et Marnes.  
2 : Dolomies en gros

**TITHONIQUE-BERRIASIEN-VALANGINIEN p.p.**

j<sup>4-n'</sup>

Dolomies et Marnes dolomitisées.

**KIMMERIDGIEN**

j<sup>5</sup>

Dolomies, Grès, Argiles.

Fig.3 : Extrait de la carte Géologique de Sougueur (EX-TREZEL) au 1/50.000 (SDG, 1980).

**4.1. Litho-Stratigraphie de la zone d'étude :****4.1.1. Plio-Quaternaire :****4.1.1.1. Alluvions Modernes (A) :**

Régulièrement réparties le long des cours d'eau, elles sont constituées par des sables limoneux (D'après P.E.A.O.S, 1993).

**4.1.1.2. Croûtes Calcaires (Cr) :**

Les encroutements calcaires couvrent de grandes surfaces, leur épaisseur est souvent supérieur à 2 m (D'après P.E.A.O.S, 1993).

**4.1.2. Miocène Inférieur (m<sup>1</sup>) :**

Le Miocène Inférieur affleure dans la vallée d'Oued Soussalem et la colline d'Er-Rmalia. Il comporte des grés et des conglomérats en profondeur, sous les dépôts de remplissage du Plio-Quaternaire (D'après FEGHOUL A, 1987).

**4.1.3. Le Crétacé Supérieur :****4.1.3.1. Sénonien (C<sup>3-6</sup>) :**

Largement représenté au Nord-Ouest de notre zone d'étude, dans la région de Sougueur, le Sénonien montre un faciès très varié, il comprend des grés et des conglomérats de base.

**4.1.3.2. Turonien (C<sup>2</sup>) :**

Représenté par des dolomies gréseuses, des grés et des calcaires, le Turonien repose en concordance sur les terrains d'âge Cénomaniens et affleure essentiellement dans la partie Nord-Ouest de notre zone d'étude sous forme d'une étroite bande le long de l'Oued Soussalem et dans la partie Nord-Est (D'après FEGHOUL A, 1987).

**4.1.3.3. Cénomaniens (C<sup>1</sup>) :**

Il affleure sur la partie gauche de l'Oued Soussalem entre Douar Sidi Nahel et la ville de Sougueur. Il est formé de marnes, d'argilites, calcaires et dolomies, de grés et des conglomérats à la base.

**4.1.4. Crétacé Inférieur Gréseux (n<sup>2"-7</sup>) :**

Le Crétacé Inférieur s'étend de la partie inférieure du Valanginien jusqu'à l'Albien, outre les grés dont les caractéristiques physiques sont très variables, on y observe des bancs de dolomies plus ou moins gréseux, des argiles également gréseuses, des calcaires et des sables sur la rive droite d'Oued Soussalem (Sidi Yahia), Oued el Houaria et aussi sur Bled Bair-Ain Beloulid.

**4.1.5. Crétacé Inférieur Carbonaté (n<sup>1-2'</sup>) :**

Le Crétacé Inférieur Carbonaté repose sur les terrains d'âge Tithonien représenté par :

- des calcaires et des marnes, qui sont affleures essentiellement dans la partie Sud-Est de notre zone d'étude sous forme d'une étroite bande.
- des dolomies en gros bancs apparaissent au niveau du Djebel Djellal dans la partie Est de notre zone d'étude.

**4.1.6. Jurassique Supérieur (j) :**

Le Jurassique est constitué essentiellement de dolomies intercalés entre les calcaires, marnes du Berriasien-Valanginien et dolomies, marnes dolomitisées du Tithonique - Berriasien-Valanginien, ce qui coïncide avec la limite entre les étages Kimméridgien et Valanginien, autrement dit entre le Jurassique et le Crétacé, il affleure à l'Ouest, Sud-Ouest et au centre.

**4.1.6.1. Tithonique - Berriasien-Valanginien (j<sup>6-n2'</sup>) :**

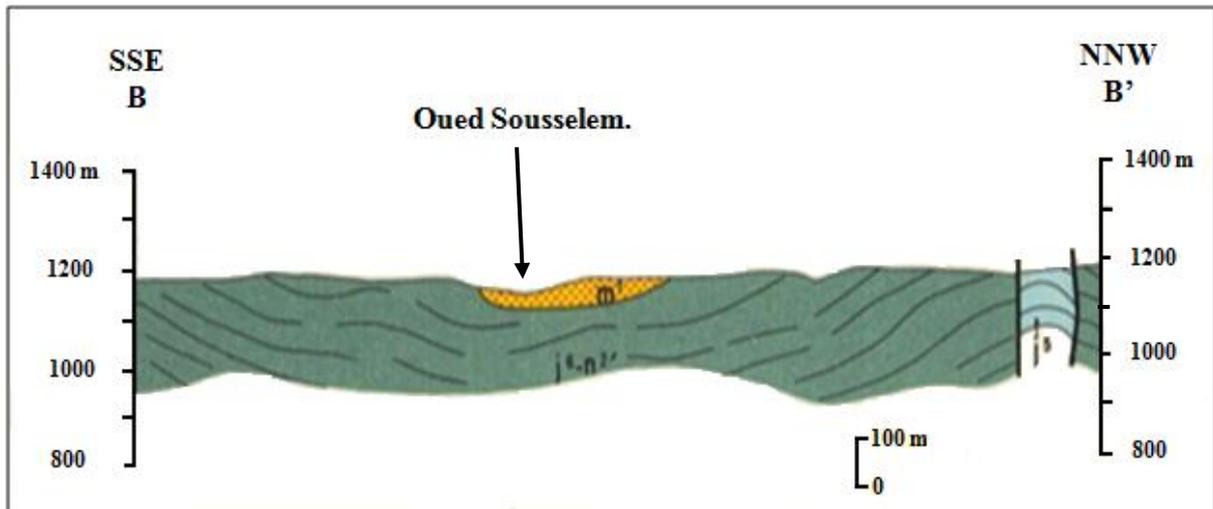
Cette série est localisée d'une part au Sud-Ouest (Kef El Kerem, Ain Touila et Koudiat Mo Snenek) entre Oued el Houaria et Oued Soussalem et d'autre part au centre (Ain el Khercha et Ain el Fartesse) où elle est constituée par dolomies et marnes dolomitisées.

**4.1.6.2. Kimméridgien (j<sup>5</sup>) :**

Il s'agit des terrains les plus anciens reconnus en position normale dans la vallée d'Oued Soussalem, il affleure au niveau d'Ain ben Daidane et Ain el Khercha à l'Ouest et au centre.

Il est entouré surtout par des formations datées d'âge Tithonique - Berriasien-Valanginien et en portion par le Miocène Inferieur.

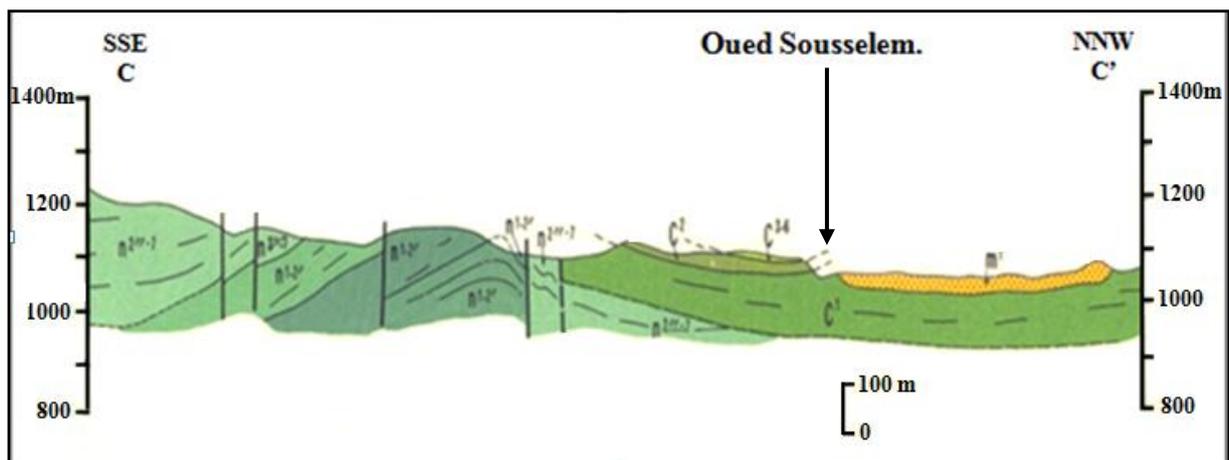
Il est représenté par des dolomies, des grés et des argiles.



**La légende :**

- $m^1$  Conglomérat et Grès.
- $j^5-n^{2'}$  Dolomies et Marnes dolomitisées.
- $j^5$  Dolomies, Grès, Argiles.

**Fig.4 :** Coupe géologique (BB') dans la zone d'étude. (Carte géologique de Sougueur 1/50.000, SDG 1980).



**La légende :**

- $m^1$  Conglomérats et Grès.
- $C^1$  Marnes, Argilites, Calcaires et Dolomies  
Conglomérats et Grès à la base.
- $C^{3-6}$  Conglomérats et Grès.
- $n^{2''-1}$  Grès, Calcaires et Dolomies gréseux,  
Argiles gréseuses, Sables.
- $C^2$  Dolomies gréseux, Grès,  
Calcaires.
- 1 : Calcaires et Marnes.  
2 : Dolomies en gros

**Fig.5 :** Coupe géologique (CC') dans la zone d'étude. (Carte géologique de Sougueur 1/50.000, SDG 1980).

### 5. Conclusion

La vallée d'Oued Sousselem est située dans le Sud-Est de la wilaya de Tiaret, elle est caractérisée par différents paysages géomorphologiques qui sont : les plaines, les montagnes, la steppe.

Du point de vue hydrologique, la région est parcourue par l'Oued Sousselem (le principal cours d'eau de la région).

La région d'étude est caractérisée par des formations sédimentaires, dont l'âge le plus ancien est le Jurassique Supérieur jusqu'au Plio-Quaternaire, constituées généralement par des calcaires, des grés, des dolomies, des marnes, des argiles et des alluvions. Ces formations sont susceptibles de stocker ou d'emmagasiner des eaux souterraines.

---

# **Chapitre II :** **Hydroclimatologie**

---

### 1. Introduction :

L'étude des caractéristiques hydroclimatologiques joue un rôle primordial dans la connaissance des comportements des cours d'eau, les variations des réserves, la compréhension des mécanismes d'alimentation et de la circulation des eaux naturelles. Elle permet également d'identifier les termes du bilan hydrique notamment les précipitations, les températures, l'évapotranspiration, le ruissellement et l'infiltration.

### 2. Climatologie de la zone d'étude :

La zone d'étude se situe à les hauts plateaux, elle est caractérisée par un climat de type semi aride, son régime climatique dépend de deux paramètres principaux :

La précipitation et la température.

#### Station de mesure :

L'étude climatologique sera basée sur l'interprétation des données météorologiques enregistrées au niveau de la station d'Ain Bouchekif (W.Tiaret).

Dans cette station, on a des observations faites sur une période de **27 ans** (1986-2013).

Paramètres Station	Les coordonnées en UTM		Zone	Altitude Z (m)	Période d'observation
	X (UTM)	Y (UTM)			
Ain Bouchekif	361 514.01	3 912 160.19	31S	976	1986-2013

**Tab 01** : Les caractéristiques de la station d'Ain Bouchekif (1986-2013).

### 3. Les facteurs climatiques :

Les facteurs climatiques jouent un rôle déterminant dans l'alimentation des nappes souterraines par le biais de l'infiltration ; cette dernière dépend directement du taux des précipitations tombées sur la région.

### 3.1 Les précipitations :

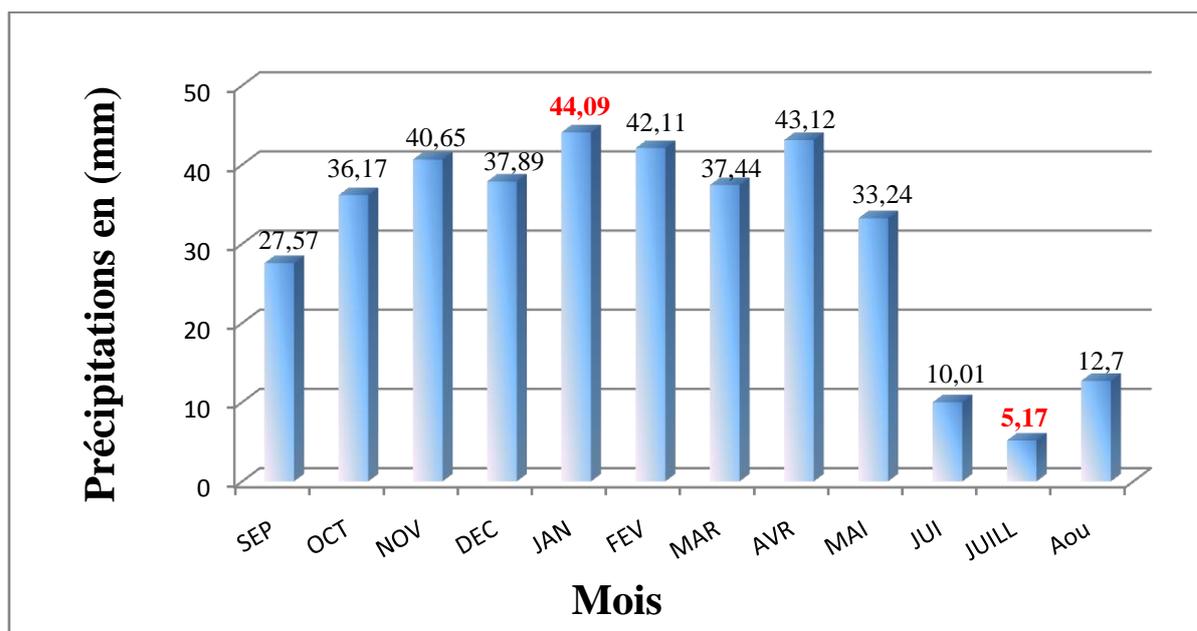
Les précipitations constituent le facteur primordial dans le comportement hydrologique du bassin, les mesures de celles-ci permettent d'évaluer la quantité d'eau tombée et surtout d'estimer la quantité destinée aux écoulements.

#### 3.1.1 Les Précipitations moyennes mensuelles :

Sur une période d'observation qui s'étale sur **27 ans**, les précipitations moyennes mensuelles dans la station d'Ain Bouchekif représentées sur le tableau n° (02).

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Totale
<b>P Moyenne Mensuelle en (mm)</b>	27,57	36,17	40,65	37,89	44,09	42,11	37,44	43,12	33,24	10,01	5,17	12,70	<b>370,17</b>

**Tab 02 :** Les Précipitations moyennes mensuelles de la station d'Ain Bouchekif (1986-2013).



**Fig. 6 :** Répartition des précipitations moyennes mensuelles de la station d'Ain Bouchekif (1986-2013).

Janvier est le mois le plus pluvieux où on a enregistré une moyenne de l'ordre de **44.09 mm**, tandis que Juillet est le mois le plus sec auquel on note une moyenne de l'ordre de **5.17 mm**.

### 3.1.2 Les variations interannuelles des précipitations :

Dans le tableau n° 03 sont mentionnées les précipitations annuelles de la station d'Ain Bouchekif (1986-2013).

Année	Lame Précipitée	Année	Lame Précipitée
1986/1987	360.3	2000/2001	343.7
1987/1988	327.2	2001/2002	346.6
1988/1989	344.8	2002/2003	325
1989/1990	254.8	2003/2004	455.5
1990/1991	388.1	2004/2005	272.5
1991/1992	350	2005/2006	437.3
1992/1993	247.8	2006/2007	314.3
1993/1994	208.7	2007/2008	300.5
1994/1995	407.8	2008/2009	568.2
1995/1996	494.5	2009/2010	594.6
1996/1997	353.2	2010/2011	393.3
1997/1998	458.1	2011/2012	351.6
1998/1999	230.4	2012/2013	587.4
1999/2000	278.3	<b>P moyennes interannuelles.</b>	<b>370.17</b>

**Tab 03 :** Précipitations interannuelles en (mm) de la station d'Ain Bouchekif (1986-2013).

On remarque que la moyenne interannuelle des précipitations est de **370.17** mm.

La variabilité des données des précipitations mensuelles est exprimée par un paramètre permettant de distinguer les années excédentaires de celles déficitaires. C'est le " coefficient pluviométrique " ( $C_p$ ) obtenu par le rapport de la pluviométrie d'une année à la pluviométrie moyenne de toute la série d'observation.

Il est donc en relation proportionnelle avec la pluviométrie et on a :

$$C_p = P / P_{moy}$$

Où :

Cp : Coefficient pluviométrique.

P : Pluviométrie annuelle de l'année en (mm).

P Moy : Pluviométrie moyenne annuelle en (mm).

- une année est dite excédentaire (AE) Si :  $C_p > 1$ .

- une année est dite déficitaire (AD) Si :  $C_p < 1$ .

Année	Lame Précipitée	Cp	Obs	Année	Lame Précipitée	Cp	Obs
1986/1987	360.3	0.97	AD	2000/2001	343.7	0.93	AD
1987/1988	327.2	0.88	AD	2001/2002	346.6	0.94	AD
1988/1989	344.8	0.93	AD	2002/2003	325	0.88	AD
1989/1990	254.8	0.69	AD	2003/2004	455.5	1.23	AE
1990/1991	388.1	1.05	AE	2004/2005	272.5	0.74	AD
1991/1992	350	0.95	AD	2005/2006	437.3	1.18	AE
1992/1993	247.8	0.67	AD	2006/2007	314.3	0.85	AD
1993/1994	208.7	0.56	AD	2007/2008	300.5	0.81	AD
1994/1995	407.8	1.10	AE	2008/2009	568.2	1.53	AE
1995/1996	494.5	1.34	AE	2009/2010	594.6	1.61	AE
1996/1997	353.2	0.95	AD	2010/2011	393.3	1.06	AE
1997/1998	458.1	1.24	AE	2011/2012	351.6	0.95	AD
1998/1999	230.4	0.62	AD	2012/2013	587.4	1.59	AE
1999/2000	278.3	0.75	AD				

**Obs** : Observation

**Tab 04** : Coefficients pluviométriques de la station d'Ain Bouchekif (1986-2013).

D'après le tableau ci-dessus concernant les résultats du coefficient pluviométrique, nous remarquons que :

- Il y a 17/27 années déficitaires et 10/27 années excédentaires.

- Il y a une alternance entre les années excédentaires (AE) et celles déficitaires (AD).

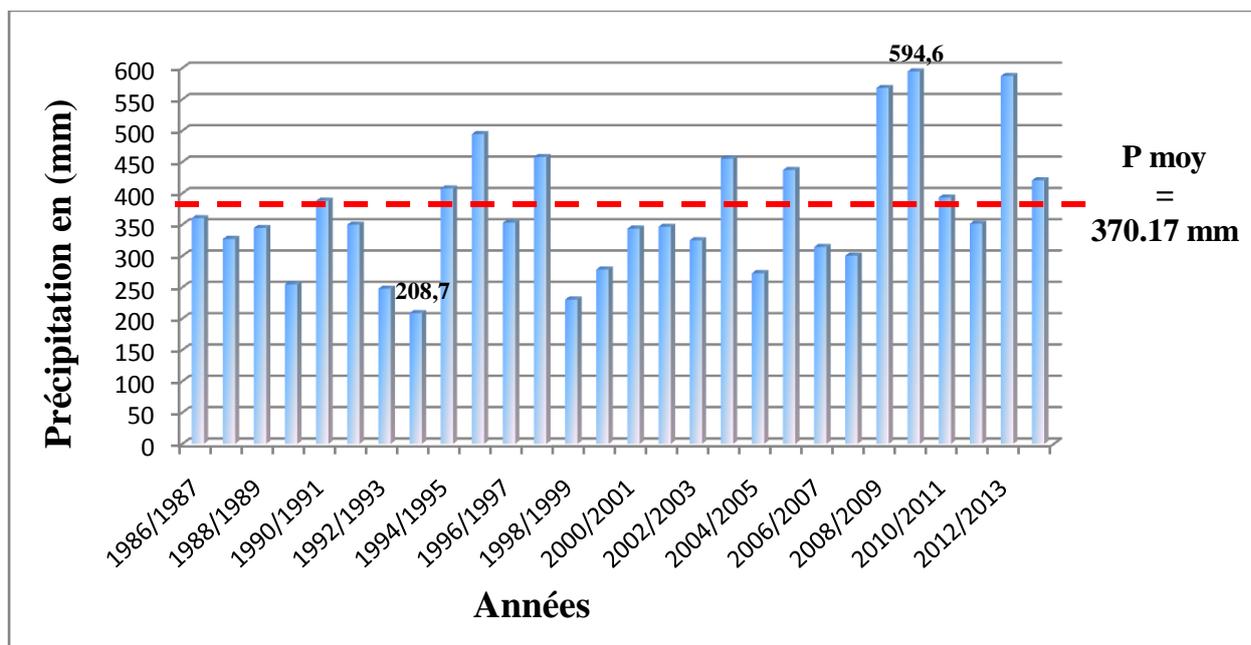


Fig. 7 : Répartition des précipitations interannuelles de la station d'Ain Bouchekif (1986-2013).

L'analyse de la courbe des variations interannuelles des précipitations sur une période de 27 ans, montre que l'année 2009/2010 est l'année la plus arrosée avec 594.6 mm/an par contre l'année 1993/1994 est la plus sèche avec 208.7 mm/an.

### 3.2 Températures :

Si les précipitations constituent l'apport en eau, les températures jouent un rôle important dans les pertes en eau par le phénomène d'évaporation.

Elles constituent l'autre élément majeur conditionnant le climat de la région.

#### 3.2.1 Températures moyennes mensuelles :

L'analyse des données des températures moyennes mensuelles est basée sur les données relevées au niveau de la station d'Ain Bouchekif de l'année 1986 jusqu'à 2013. Elles sont présentées dans le tableau n° (05).

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Moy
T Moyenne Mensuelle en (°C)	23.3	18.4	11.5	7.7	8.1	9.4	12.7	15.9	22.5	26	30.2	29.5	17.9

Tab 05 : Les températures moyennes mensuelles de la station d'Ain Bouchekif (1986-2013).

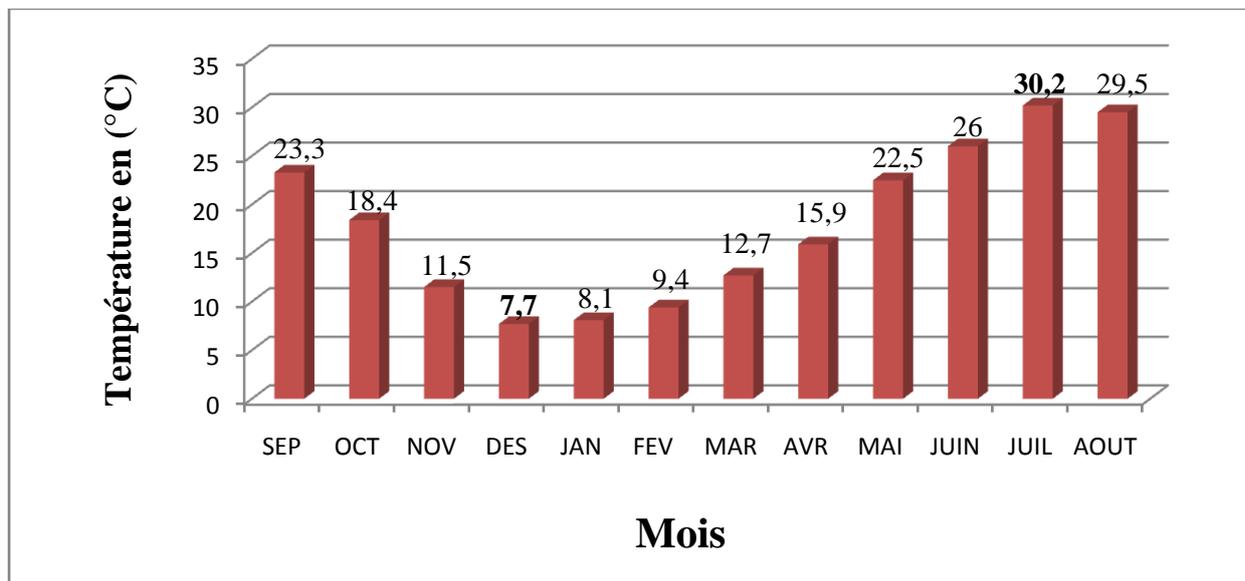


Fig. 8 : Les températures moyennes mensuelles de la station d'Ain Bouchekif (1986-2013).

On remarque que le mois le plus froid est le mois de Décembre avec une température moyenne mensuelle de 7.7 °C par contre le mois le plus chaud est le mois de Juillet avec une température moyenne mensuelle qui atteint 30.2 °C.

### 3.1.1 Diagramme Pluvio-thermique (Ombro-thermique) :

Le diagramme Pluvio-thermique est la combinaison des températures et des précipitations mensuelles moyennes, il permet de déterminer les périodes véritablement sèches et humides.

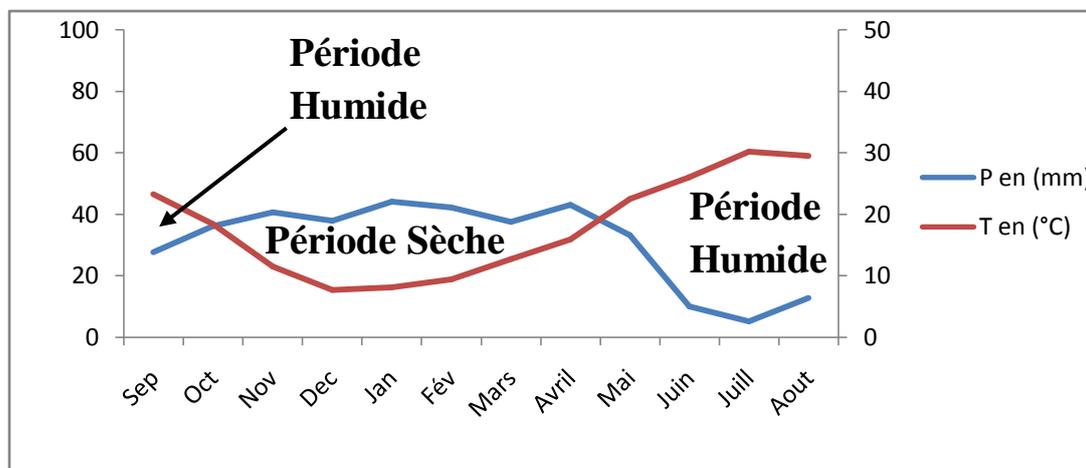


Fig. 9 : Diagramme Ombro-thermique de la station d'Ain Bouchekif (1986-2013).

D'après le diagramme mentionné en Fig. (9), on peut déterminer deux périodes bien distinctes :

- Une période Sèche qui s'étend de mois d'Octobre jusqu'à le mois de Mai.
- Une période Humide qui d'étalant de le mois de Mai jusqu'à le mois d'Octobre.

### 3.2 L'humidité :

L'humidité relative de l'air est le rapport, exprimé en pourcentage, de la tension de vapeur d'eau à la tension de vapeur d'eau saturante.

Les données d'humidité relative moyenne à la station d'Ain Bouchekif durant la période d'observation allant de l'année 1986 à 2013 sont reportées dans le tableau suivant :

Mois	SEPT	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOUT
Humidité (%)	53	62	72	77	79	77	67	64	58	44	36	39

**Tab 06 :** L'humidité relative moyenne mensuelle de la station d'Ain Bouchekif (1986-2013).

On remarque que le mois le plus humide c'est Janvier, il est de l'ordre de **79 %** et le mois le moins humide c'est Juillet il est de **36 %**.

### 3.3 L'évaporation :

C'est le processus physique de la transformation de l'eau en vapeur. Elle est un paramètre essentiel, car il représente une partie de la fonction de « sortie » dans le bilan hydrologique d'une région donnée. Cependant il est difficile de le mesurer, car il dépend de plusieurs facteurs qui sont variables dans l'espace et dans le temps, tels que la température, les précipitations, la vitesse des vents, l'humidité de l'air, l'état du sol et la végétation. Les mesures de l'évaporation à la station d'Ain Bouchekif sont mentionnées dans le tableau suivant :

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juillet	Aout	Totale
Evaporation en (mm)	54	38	21	15	18	18	25	29	43	64	96	88	<b>509</b>

**Tab 07 :** L'évaporation moyenne mensuelle de la station d'Ain Bouchekif (1986-2013).

On remarque que l'évaporation maximale est observée au mois de Juillet, elle est de l'ordre de **96 mm** et l'évaporation minimale est observée au mois de Décembre qui est de **15mm**. L'évaporation annuelle est de **509 mm**.

## 4. Indices Climatiques :

### 4.1 Climatogramme d'Emberger :

En vue de classer le bioclimat de notre région d'étude, nous avons utilisé la méthode d'EMBERGER (1955).

Les précipitations exercent une action prépondérante pour la définition de la sécheresse globale du climat.

Les limites de séparation entre les différents étages climatiques restent encore imprécises. Il est intéressant de signaler qu'il ne s'agit pas de lignes au sens géométrique du mot, mais plutôt de bandes de transition mixte. À ce titre, Emberger a bien précisé que, sur le diagramme, les limites ont été tracées là où le changement de la végétation a été observé (EMBERGER L, 1955).

Le quotient d'Emberger est spécifique au climat méditerranéen, il est le plus fréquemment utilisé en Afrique du Nord. Le quotient Q2 a été formulé de la façon suivante :

$$Q_2 = [2000P / M^2 - m^2]$$

La valeur  $(M + m)/2$  du fait de son expression en degrés Kelvin ( $K^\circ$ ) varie peu, Stewart (1969) l'assimile à une constante  $k = 3.43$ , d'où le quotient Q3.

$$Q_3 = 3,43 \times [P / M - m] = 56.43$$

**P** : Pluviosité moyenne annuelle (en mm).

**M** : Moyenne des températures maximales quotidiennes du mois le plus chaud (en °C)

**m** : Moyenne des températures minimales quotidiennes du mois le plus froid (en °C).

**Q2** : Quotient d'Emberger.

**Q3** : Quotient d'Emberger.

Le quotient **Q3** de la zone d'étude est égal à **56.43** calculé à partir des données climatiques obtenues durant une période de **27 ans** (1986-2013).

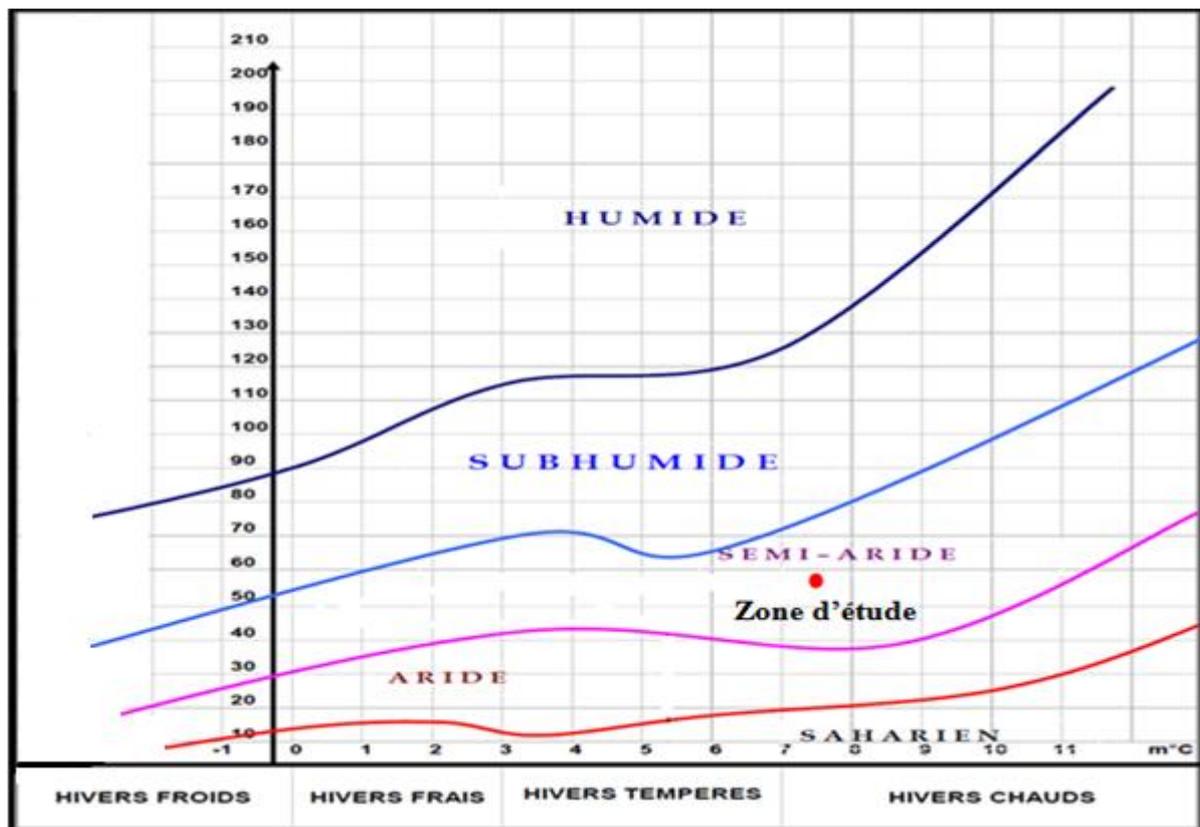


Fig. 10 : Position de la zone d'étude dans le climatogramme d'Emberger.

#### 4.2 L'indice climatique de DE MARTONNE (1923) :

La formule climatique de De Martonne est appelée indice d'aridité, il est en fonction de la température et de la précipitation :

Avec :

$$A = P / (T+10)$$

**A** : indice d'aridité annuelle.

**P** : précipitation moyenne annuelle en (mm).

**T** : température moyenne annuelle en (°C).

Si :

- $A < 5 \implies$  le climat est hyperaride.
- $5 < A < 7.5 \implies$  le climat est désertique.
- $7.5 < A < 10 \implies$  le climat est steppique.
- $10 < A < 20 \implies$  le climat est semi-aride.
- $20 < A < 30 \implies$  le climat est tempéré.
- $A > 30 \implies$  le climat est humide.

$P = 370.17$  mm et  $T = 17.9$  °C et  $A = 13.26$

Donc d'après l'indice de De Martonne, le climat de notre région est du type semi-aride.

## 5. Bilan Hydrique :

L'étude du bilan hydrique de l'eau est un aspect important de l'hydrologie et elle devient particulièrement intéressante pour l'hydrogéologie, dont le but pratique est la détermination des ressources en eaux souterraines utilisables, elle peut être entreprise sur de très vastes étendues, dans lesquelles la contribution fournie par l'eau souterraine ainsi superficielle peut être estimée, soit pour des régimes plus petites dans lesquelles on peut calculer les ressources développables en matière d'eaux souterraines.

Le bilan hydrologique naturel peut se calculer par la formule suivante (**Castany G. 1982**) :

$$P = ETR + R + I$$

Avec :

**P** : Précipitations moyennes mensuelles en (mm).

**ETR** : l'Evapotranspiration Réelle en (mm).

**I** : infiltration. Si  $I > 0$  les entrées sont supérieures aux sorties.

Si  $I < 0$  les entrées sont inférieures aux sorties.

**R** : Ruissellement moyen annuel en (mm).

### 5.1 Détermination des paramètres du bilan :

#### 5.1.1 Evapotranspiration :

L'évapotranspiration est l'ensemble des phénomènes d'évaporation et de transpiration. Le principal facteur réagissant sur l'évaporation est la radiation solaire. Le terme évapotranspiration englobe deux types :

##### 5.1.1.1 Evapotranspiration potentielle (ETP) :

C'est la somme des quantités d'eau qui peuvent s'évaporer et transpirer sur une surface donnée et pendant une période bien définie en considérant des apports d'eau suffisants. ETP est estimée par la formule de «**C.W.Thornthwaite**» proposée en 1948 et basée essentiellement sur les températures de l'air.

$$ETP = 16 \times (10t / I)^a \times K$$

Avec:  $a = 0.016I + 0.5$   $I = \sum i$   $i = (t / 5)^{1.514}$

Où : **ETP** : Evapotranspiration Potentielle mensuelle en (mm).

**t** : température moyenne mensuelle en (°C).

**i** : indice thermique mensuel.

**I** : la somme des indices mensuels de l'année.

**K** : facteur correctif intégrant la durée d'insolation.

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juillet	Aout	Total
<b>i</b>	10.27	7.18	3.52	1.92	2.07	2.6	4.1	5.76	9.74	12.13	15.22	14.69	<b>89.20</b>
<b>ETP (mm)</b>	104.13	62.32	22.41	9.77	11.56	15.03	32.47	53.39	114.39	152.23	206.27	184.47	<b>968.44</b>

**Tab 08 :** Résultats de l’ETP obtenus par la formule de «C.W.Thornthwaite» de la station d'Ain Bouchekif (1986-2013).

**5.1.1.2 Evapotranspiration Réelle (ETR) :**

C’est la somme de l’évapotranspiration et de la transpiration réelle pour une surface donnée et une période définie. Elle peut être déterminée par différents méthodes.

**a. ETR selon la formule de « Turc » :**

Cette formule est basée sur les températures et les précipitations moyennes annuelles et on a :

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

Avec : **ETR** = Evapotranspiration réelle en (mm).

**P** = précipitation moyenne annuelle en (mm).

**L** = pouvoir évaporant, est une limite vers laquelle tend l’ETR lorsque P devient grande : **L = 300 + 25t + 0.05t<sup>3</sup>**

Où : **t** = la température moyenne annuelle en (°C).

**b. ETR selon la formule «C.W.Thornthwaite» :**

L’estimation de l’ETR en (mm) avec cette méthode est liée au volume des précipitations. Trois cas peuvent se présenter :

- **1<sup>er</sup> cas : P > ETP ⇒ ETR = ETP :**

Il y a une reconstitution des réserves du sol jusqu’à la saturation, le surplus va représenter l’écoulement superficiel.

- **2<sup>ème</sup> cas : P < ETP ⇒ ETR = P + RFU :**

Dans ce cas, la RFU (réserve facilement utilisable) va s’épuiser jusqu’à la satisfaction de l’ETP.

- **3<sup>ème</sup> cas : P < ETP et RFU = 0 ⇒ ETR = P :**

Il y a donc un déficit agricole (DA) représenté par la quantité d’eau qui doit être apportée pour l’irrigation.

ETR Station	Selon « Turc » (mm/an)	Selon «C.W.Thornthwaite» (mm/an)
Ain Boucekif	365.08	309.22

**Tab 09 :** Résultats de l’ETR obtenus par les différentes méthodes d’estimation de la station d'Ain Boucekif (1986-2013).

Les valeurs de l’ETR dans le tableau ci-dessus sont variables selon chaque méthode d’estimation, donc l’évapotranspiration réelle moyenne est égale **309.22 mm/an** pour la méthode de «C.W.Thornthwaite».

**5.1.2 Ruissellement (R) :**

Le ruissellement de surface est la quantité d’eau, qui au cours d’une précipitation échappe à l’infiltration et l’évapotranspiration. Il est calculé par la formule de « **Tixeront-Berkaloff** » (Tableau n° 10).

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

Avec :

- **R** : Ruissellement en (m).
- **P** : Précipitation moyenne annuelle en (m).
- **ETP** : Evapotranspiration potentielle en (m).

Paramètres Station	P (mm)	R (mm)
Ain Boucekif	370.17	18.02

**Tab 10 :** Résultats du ruissellement par la formule de « **Tixeront-Berkaloff** » pour la station d'Ain Boucekif (1986-2013).

**5.1.3 Infiltration (I) :**

C’est la quantité d’eau franchissant la surface du sol. Elle renouvelle les réserves d’eaux souterraines et entretient le débit de l’écoulement souterrain des sorties après circulation dans les formations hydrogéologiques perméables du sous-sol (**Castany G. 1982**). Elle est déduite de l’équation fondamentale du bilan hydrique :

$$P = ETR + R + I \implies I = P - (ETR + R)$$

Avec :

- **I** : Infiltration en (mm).
- **P** : Précipitation moyenne annuelle en (mm).
- **R** : Ruissellement en (mm).
- **ETR** : Evapotranspiration réelle annuelle en (mm) selon la méthode de « C.W.Thornthwaite ».

Paramètres Station	P (mm)	ETR (mm)	R (mm)	I (mm)
Ain Boucekif	370.17	309.22	18.02	42.93

**Tab 11** : Estimation de l'infiltration par l'équation fondamentale du bilan hydrique de la station d'Ain Boucekif (1986-2013).

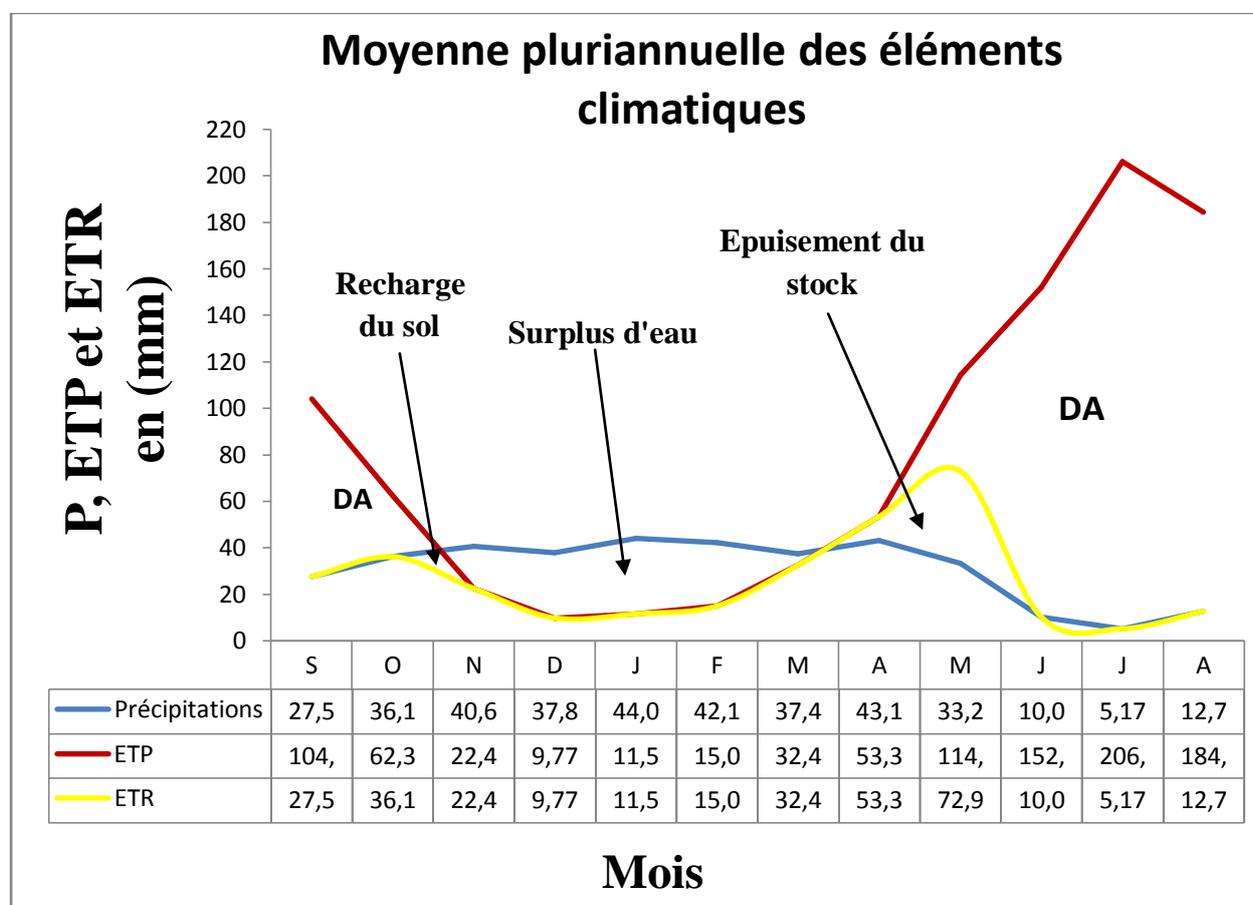
En admettant que la réserve facilement utilisable (RFU) est égale à **50 mm** (saturation), les résultats précédemment obtenus nous ont permis d'établir le bilan hydrique et la synthèse finale de l'étude climatique.

Mois	T (°C)	i	K	ETP	P (mm)	BH	RFU	ETR	DA	Exc
Sep	23,3	10,3	1,03	104,13	27,57	-76,6	0,0	27,57	76,56	0,0
Oct	18,4	7,2	0,97	62,32	36,17	-26,2	0,0	36,17	26,15	0,0
Nov	11,5	3,5	0,86	22,41	40,65	18,2	18,2	22,41	0,00	0,0
Dec	7,7	1,9	0,81	9,77	37,89	28,1	46,4	9,77	0,00	0,0
Jan	8,1	2,1	0,87	11,56	44,09	32,5	50,0	11,56	0,00	28,9
Fév	9,4	2,6	0,85	15,03	42,11	27,1	50,0	15,03	0,00	27,1
Mars	12,7	4,1	1,03	32,47	37,44	5,0	50,0	32,47	0,00	5,0
Avril	15,9	5,8	1,10	53,39	43,12	-10,3	39,7	53,39	0,00	0,0
Mai	22,5	9,7	1,21	114,39	33,24	-81,2	0,0	72,97	41,42	0,0
Juin	26	12,1	1,22	152,23	10,01	-142,2	0,0	10,01	142,22	0,0
Juillet	30,2	15,2	1,24	206,27	5,17	-201,1	0,0	5,17	201,10	0,0
Aout	29,5	14,7	1,16	184,47	12,7	-171,8	0,0	12,70	171,77	0,0
Annuel	17,9	89,3	/	968.44	370,16	-598,3	/	309,22	659,22	60,9

**Tab 12** : Le bilan hydrique de C.W.Thornthwaite de la station d'Ain Boucekif (1986-2013).

Avec :

- **P** : précipitation moyenne mensuelle en (mm).
- **T** : température moyenne mensuelle en (°C).
- **i** : indice thermique mensuel.
- **K** : facteur de correction intégrant la durée d’insolation, le nombre des jours de mois et la température.
- **ETP** : évapotranspiration potentielle en (mm).
- **ETR** : évapotranspiration réelle en (mm).
- **RFU** : réserve facilement utilisable en (mm).
- **EXD** : excédent en (mm).
- **DA** : déficit agricole en (mm).



**Fig.11** : Représentation graphique du bilan hydrique de C.W.Thornthwaite de la station d'Ain Bouchekif (1986-2013).

**5.2 Interprétation du bilan hydrique :**

Les résultats obtenus du bilan hydrique de C.W.Thornthwaite pour la station d'Ain Bouchekif illustrés dans le tableau n°12 et la figure précédente, nous ont permis de tirer les observations suivantes :

- La région d'étude reçoit des précipitations moyennes annuelles de l'ordre 370.17 mm et une température moyenne annuelle de 17.9°C.
- L'évapotranspiration potentielle (ETP) atteint son maximum au mois de Juillet avec 206.27 mm, son minimum au mois de Décembre avec 9.77 mm. L'ETP totale est de l'ordre de 968.44 mm.
- L'évapotranspiration réelle (ETR) totale est de 309.22 mm.
- Lorsque la réserve facilement utilisable (RFU) est pleine, il y a un surplus d'eau accompagné d'un ruissellement et quand elle a la tendance à se diminuer et au point qu'il sera carrément vide, il y aura un épuisement du stock et par conséquent un déficit agricole s'étalant du mois de Mai jusqu' au mois d'Octobre avec une moyenne annuelle de 659.22 mm.
- La reconstitution de RFU atteint son maximum (saturation : 50 mm) au mois de Janvier et reste ainsi jusqu' au mois de Mars puis elle commence à épuiser pour se vider complètement au mois de mai.
- L'écoulement débute après le remplissage de la RFU (50 mm), au mois de Janvier et se termine à la fin du mois de Mars avec un maximum au mois de Janvier de l'ordre 28.9 mm et un minimum au mois de Mars de l'ordre 5 mm.
- L'excédent annuel est égal à 60.9 mm.

### 6. Conclusion :

Le climat qui règne dans notre région d'étude est semi-aride, il est caractérisé par un hiver froid et pluvieux et un été chaud et sec.

Le secteur appartient à une zone peu pluvieuse, avec une précipitation moyenne annuelle de l'ordre de 370.17 mm.

La température moyenne annuelle est de l'ordre de : 17.9 C°.

L'évapotranspiration potentielle et l'évapotranspiration réelle moyenne sont respectivement de 968.44 mm, soit 259.82 % des précipitations et 309.22 mm, soit 83.53 % des précipitations.

Le déficit agricole estimé est de 659.22 mm étalé sur la période allant de Juin jusqu'à Octobre, soit 178.08 % des précipitations.

Le ruissellement et l'infiltration représentent respectivement 04.86 % et 11.59 % des précipitations.

---

# **Chapitre III :** **Hydrogéologie et** **Piézométrie**

## 1. Introduction

Les données géologiques de différentes régions ont permis de délimiter et de définir les formations géologiques susceptibles de présenter un intérêt hydrogéologique, certaines compte tenu de leur nature, leur structure et les propriétés lithologiques qui les caractérisent.

## 2. Aperçu sur les aquifères

Les forages de Sougueur (Hamel, F5, F4), le forage de Cheikh El Ghali et le forage de Benameur (Sidi Nahel) et de nombreuses ouvrages de mobilisation (Puits, Forages, Sources) existants et réalisés dans la zone ainsi que sur les données géophysiques mettant en évidence la présence de deux aquifères :

**Aq 1.** L'aquifère libre des dépôts alluviaux l'Oued Soussalem (ANRH, 2008 Région Centre).

**Aq 2.** Un aquifère aux calcaires dolomitisés du Jurassique Supérieur (Tithonien) et du Crétacé

(ANRH, 2008 Région Centre).

Ces aquifères contenues dans les alluvions et les calcaires dolomitisés qu'on peut atteindre à différentes cotes suivant les endroits, les débits varient de 1 à 40 l/s en fonction de la profondeur atteinte comme cela a été remarqué au niveau de différents points d'eau visités.

### 2.1. Limites et extension :

Plateau de Sersou, Oued Soussalem, Djebel Ben Hammade et Oued Touil constituent un complexe d'unité hydrogéologique.

### 2.2. Superficie des aquifères :

**Aq 1.** 58.20 km<sup>2</sup> (ANRH, 2008 Région Centre).

**Aq 2.** Il se trouve dans la partie Sud de l'unité hydrogéologique du plateau Sersou (2215.02 km<sup>2</sup>),

(ANRH, 2008 Région Centre).

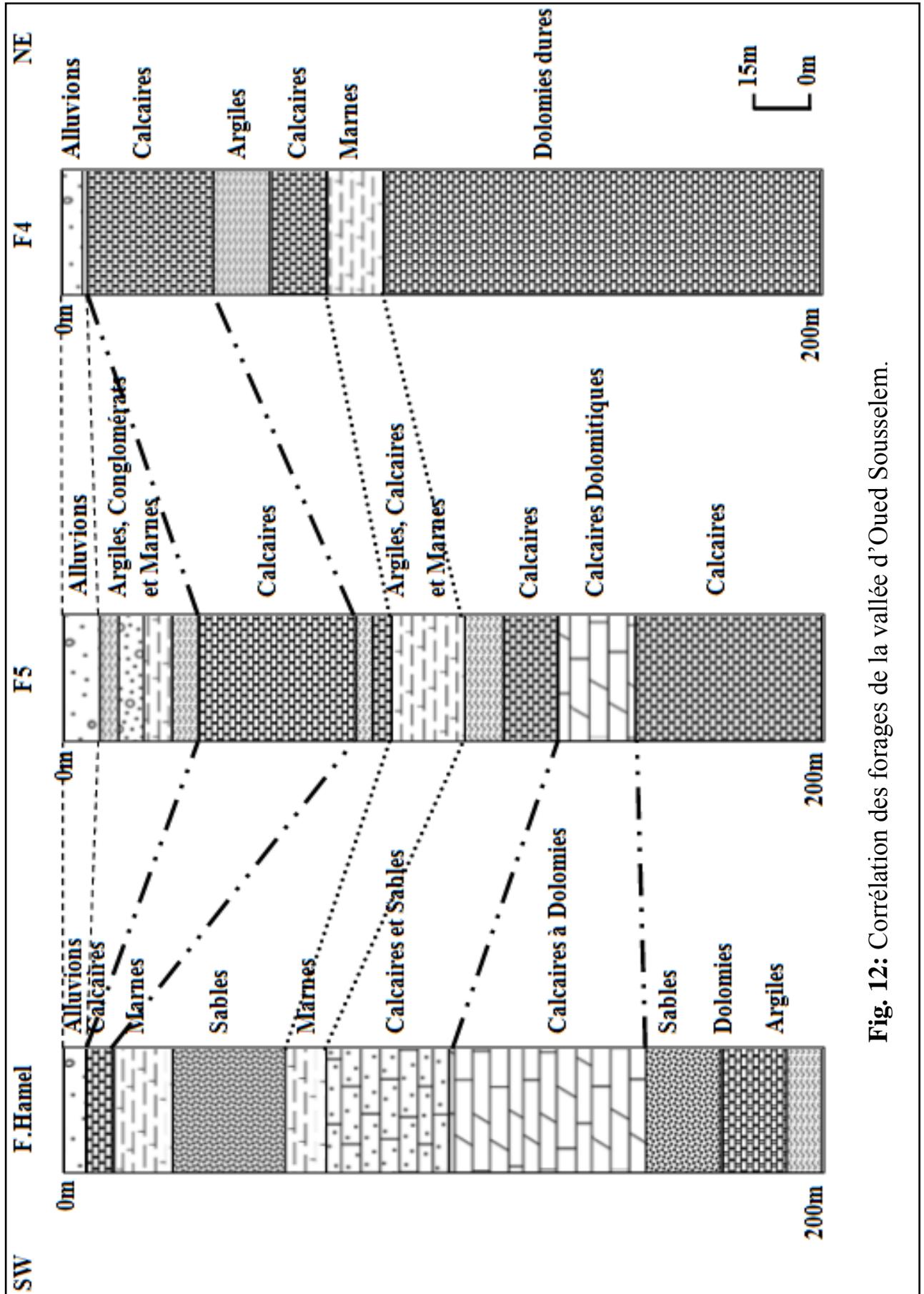


Fig. 12: Corrélation des forages de la vallée d'Oued Sousselem.

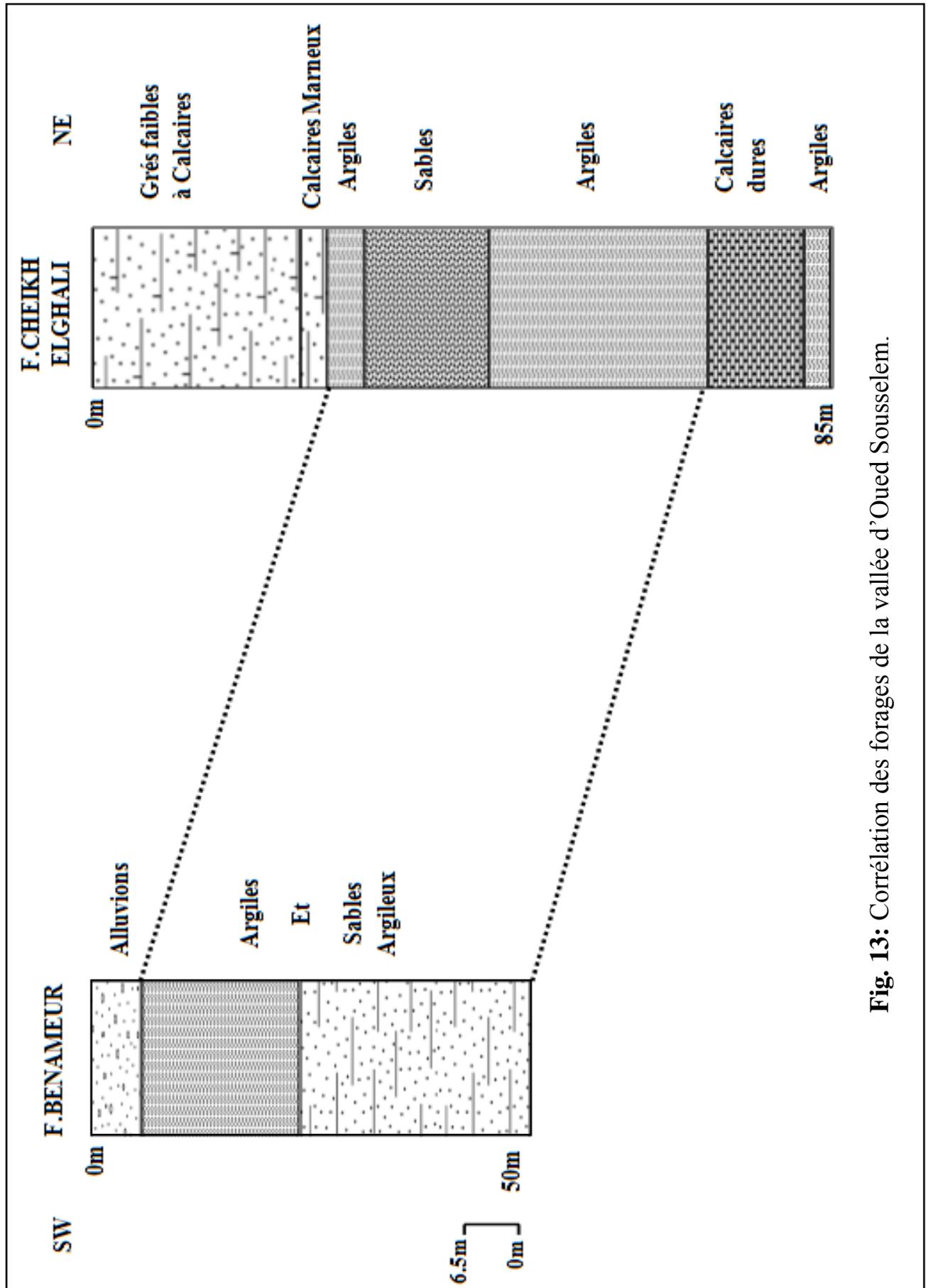


Fig. 13: Corrélation des forages de la vallée d'Oued Sousselem.

Stratigraphie	Lithologie	Hydrogéologie
Plio-Quaternaire	Sables limoneux et Croute calcaire	Bonne perméabilité
Miocène Inférieur	Grés et Conglomérat	Bonne perméabilité
Sénonien	Grés et Conglomérat	Bonne perméabilité
Turonien	dolomies gréseuses, des grés et des calcaires	Semi-perméable
Cénomanién	marnes, argilites, calcaires et dolomies	Perméabilité faible
Crétacé Inférieur Gréseux	Dolomie, argiles Gréseux, calcaires et des sables.	Semi-perméable
Crétacé Inférieur carbonaté	Calcaires, des marnes et dolomies	Semi-perméable
Tithonien - Berriasien-Valanginien	dolomies et marnes dolomitisées	Imperméable
Kimméridgien	dolomies, des grés et des argiles	Semi-perméable

**fig. 14 :** Log hydrogéologique de la zone d'étude (D'après: ARARIA N & KHELIFA K. 2015).

A partir de cette analyse hydrogéologique de la vallée et ces environnants permet de constater qu'on a deux nappes :

- L'une superficielle ; qui est le Plio-Quaternaire.
- L'autre profonde ; qui est du Jurassique Supérieure et du Crétacé.

### 3. Les Nappes de la Vallée d'Oued Sousselem

#### 3.1. La Nappe Superficielle (Alluviale) du Plio-Quaternaire :

La nappe superficielle circule dans les Alluvions du Plio-Quaternaires (sables et graviers), et les calcaires.

La puissance de la nappe varie de 5 à 35m.

La nappe est dans l'ensemble de la vallée peu profonde et se situe à 5 mètres.

#### 3.2. La Nappe Profonde :

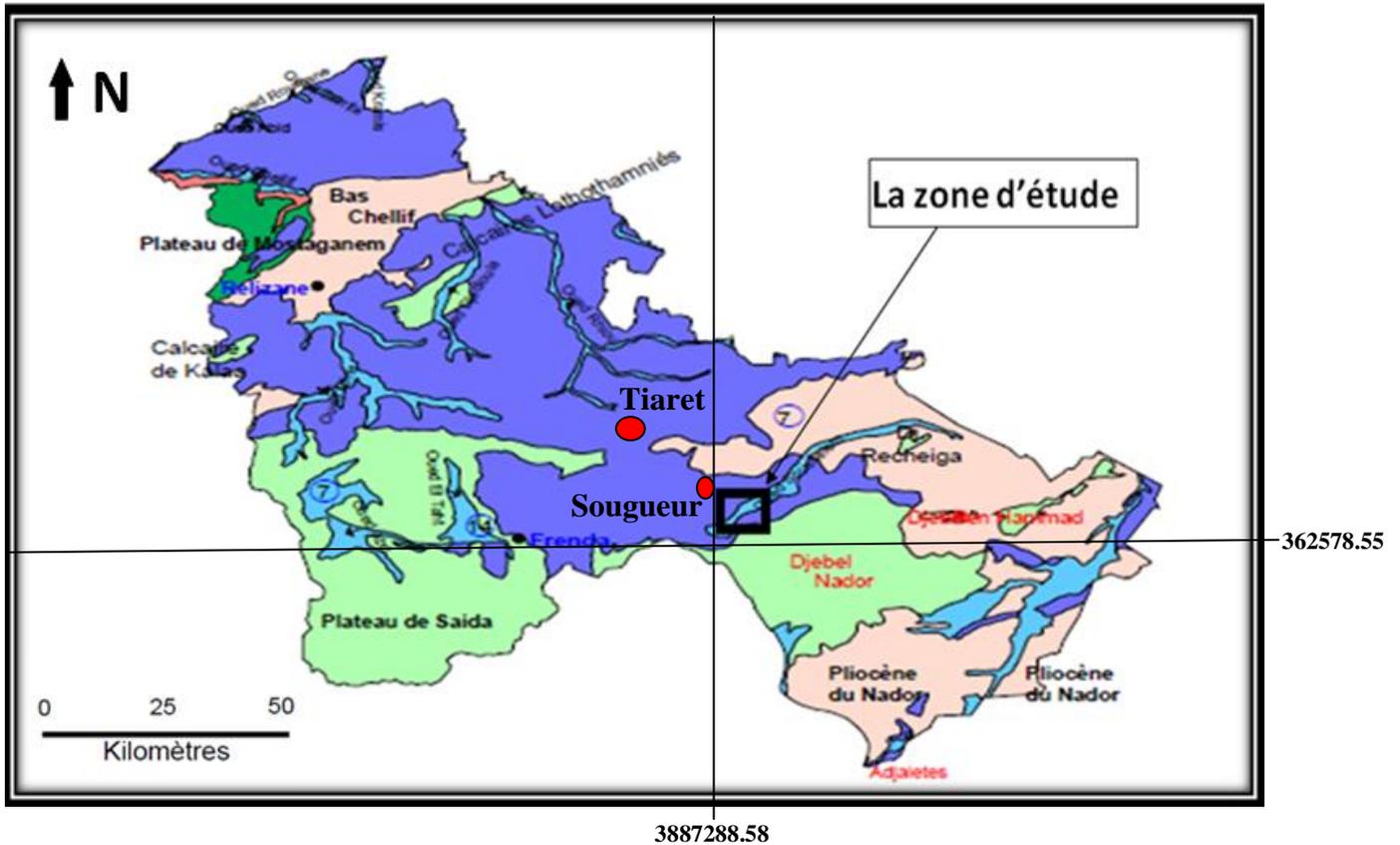
On appelle nappes profondes tous les aquifères contenus dans les formations grossières du Kimméridgien-Tithonien - Berriasien-Valanginien.

Ces nappes superposées sur des profondeurs qui atteignent 100 m et plus, circulent dans des calcaires, grés et sables, séparées par des couches d'argile, dolomies et marnes.

L'inventaire sur terrain montre que ces nappes profondes sont captées par une dizaine de forages dont la profondeur varie de 60 à 200 m. Leur aire d'alimentation se situe au Sud-Ouest sur le flanc septentrional du massif du Djebel Nadhor.

Les ouvrages de captages possèdent de bons débits qui varient de 03 l/s à 40 l/s.

Le meilleur forage captant cette nappe est celui de Sougueur (F3) au Sud-Ouest de Douar el Abid (la rive gauche d'Oued Sousselem par rapport à son amont), a recoupé sur 200 mètres des formations de remplissages grossiers, avec un débit de 40 l/s.



- Systèmes aquifères alluviaux monocouches des vallées fluviales à nappe libre ou localement captive, liés à des cours d'eau. Réalimentation induite possible, puissance et réserves faibles à moyennes.
- Systèmes aquifères monocouches étendus à nappe généralement libre en formation gréseuses, sableuses ou carbonatées non karstiques. Réserves et capacités de régulation moyennes à fortes.
- Systèmes aquifères karstique à surface libre, à structure tabulaire ou plissée et/ou fracturée, plus ou moins compartimentés, capacités de régulation variées suivant la hauteur noyée
- Systèmes aquifères multicouches à nappe libre et un ou plusieurs aquifères profonds captifs parfois plus productifs. Notamment : systèmes des pains & fossés de subsidence à remblayage alluvial épais. Fortes réserves
- Systèmes aquifères multicouches Sans nappe libre significative ( couverture imperméable ou semi-perméable ) avec un ou plusieurs aquifères profonds captifs, y compris des paléo-karsts à forte capacité et productivités.
- Domaines sans aquifères ( socle, flysh....)
- Chott

Fig. 15 : Les ressources en eau souterraine de la zone d'étude (ABH-CZ, 2007).

### 4. Piézométrie

#### 4.1. Généralités

Les études piézométriques nécessitent de disposer d'un nivellement très précis des points d'observation (puits, forages, piézomètres, sources) qui permet de garantir la précision dans l'établissement d'une carte piézométrique. Celle-ci est tracée par interpolation entre les cotes relevées, sur la base de courbes hydroisohypses (lignes d'égale altitude de la surface piézométrique) dont la qualité et l'équidistance dépendront de la densité des points de mesure et de l'échelle d'étude adoptée.

La carte piézométrique d'une nappe permet une vision instantanée de son état à un moment précis. Elle sera donc établie durant une période très courte, pour être représentative sur l'ensemble du secteur couvert de conditions identiques vis-à-vis des influences locales et des événements périphériques (débit des vallons et pluviométrie, en particulier).

Deux campagnes piézométriques ont été réalisées, l'une en période des basses eaux "Décembre 2014" et l'autre en période des hautes eaux "Avril 2015".

Des prélèvements d'échantillons pour l'analyse chimique ont été réalisés en même temps sur certains ouvrages sélectionnés.

Quatre (04) cartes piézométriques ont été dressées, donc l'élaboration de tels documents est très importante pour la compréhension du comportement de la nappe, et contribuent aussi à définir : le sens d'écoulement, le gradient hydraulique, les zones d'alimentations, de drainage et la profondeur de la nappe.

4.2. Interprétation des Cartes Piézométriques

4.2.1. La carte piézométrique en période des basses eaux (Décembre 2014).

4.2.1.1. La carte piézométrique de la nappe superficielle (Alluviale) :

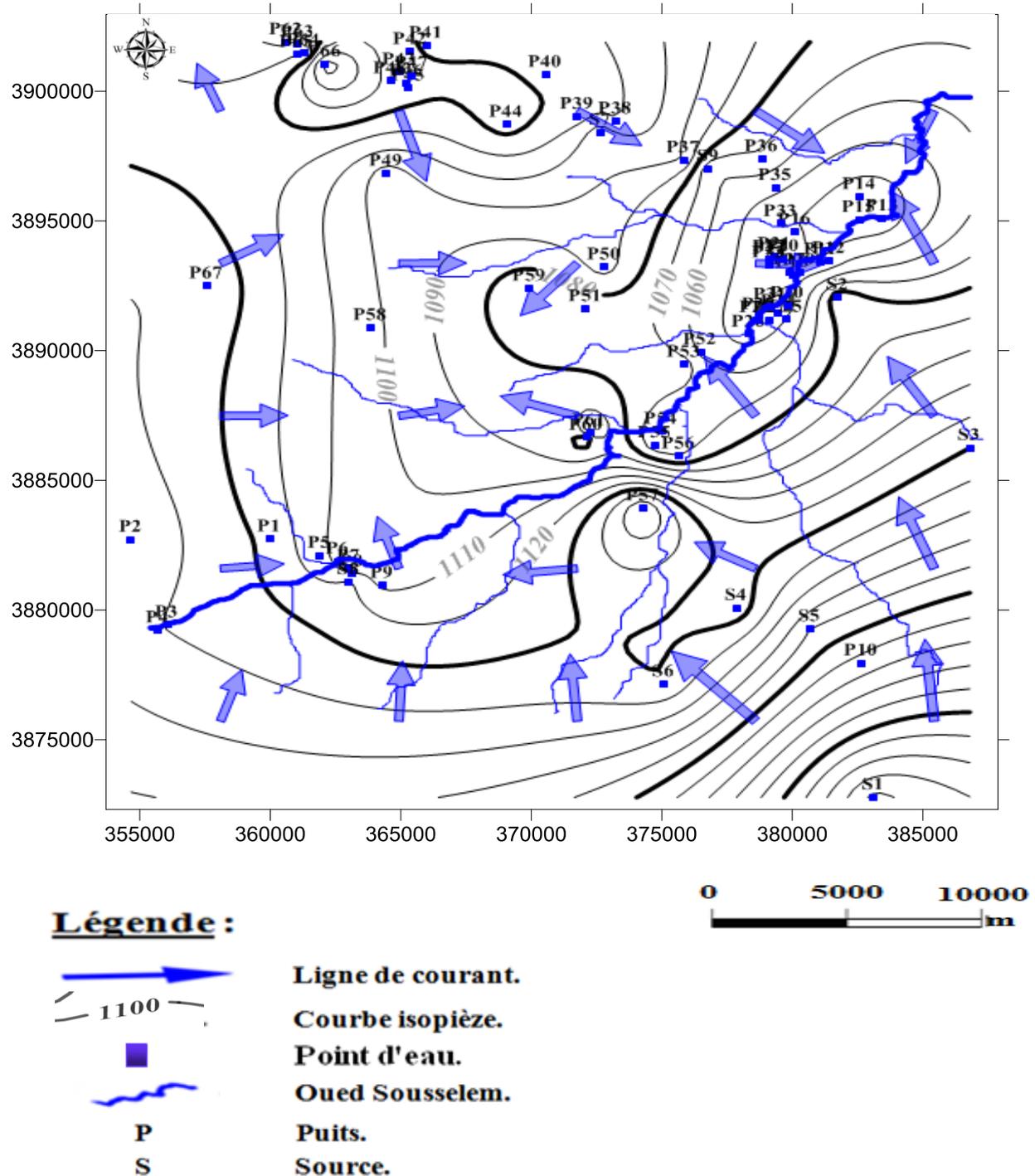


Fig.16 : Carte piézométrique de la nappe alluviale de la vallée d'Oued Soussalem (Décembre 2014).

### 4.2.1.2. L'interprétation de la Carte Piézométrique

#### a. Niveau de l'eau par rapport au sol :

La nappe se situe en moyenne à 5.7 m sous la surface du sol, avec un minimum à 0.3 m et un maximum à 16.1 m.

#### b. Sens d'écoulement général :

Globalement, les écoulements au sein de la vallée sont tous orientés vers l'Oued Sousselem, puis dirigés ensuite vers l'Est. Ainsi dans le Nord de la Vallée, l'eau s'écoule vers le Nord-Ouest. Dans l'Est de la vallée, les écoulements ont une direction Ouest-Est. Enfin, au Sud de la vallée, l'eau souterraine s'écoule vers le Sud-Nord et Sud-Ouest.

#### c. Gradient hydraulique :

Le gradient hydraulique est fort au Centre (12%) de notre zone d'étude se qui traduit un bon écoulement de l'eau souterraine. Au Sud-Ouest de la vallée, le gradient hydraulique est plus faible il varie entre 0.6% et 0.75%. Donc la nappe est très transmissive et constitue un réservoir important.

#### d. Alimentation :

Un autre élément qui ressort de la carte établie est l'existence d'un axe de drainage correspondant au centre de la vallée d'Oued Sousselem. La nappe superficielle du Plio-Quaternaire alimente l'Oued. Ponctuellement des relations peuvent exister entre d'autres cours d'eau secondaire de la vallée et les systèmes aquifères. Sur l'ensemble de la vallée, les échanges nappe-oueds sont donc moyens.

4.2.1.3. La carte piézométrique de la nappe profonde (le Jurassique et Crétacé) :

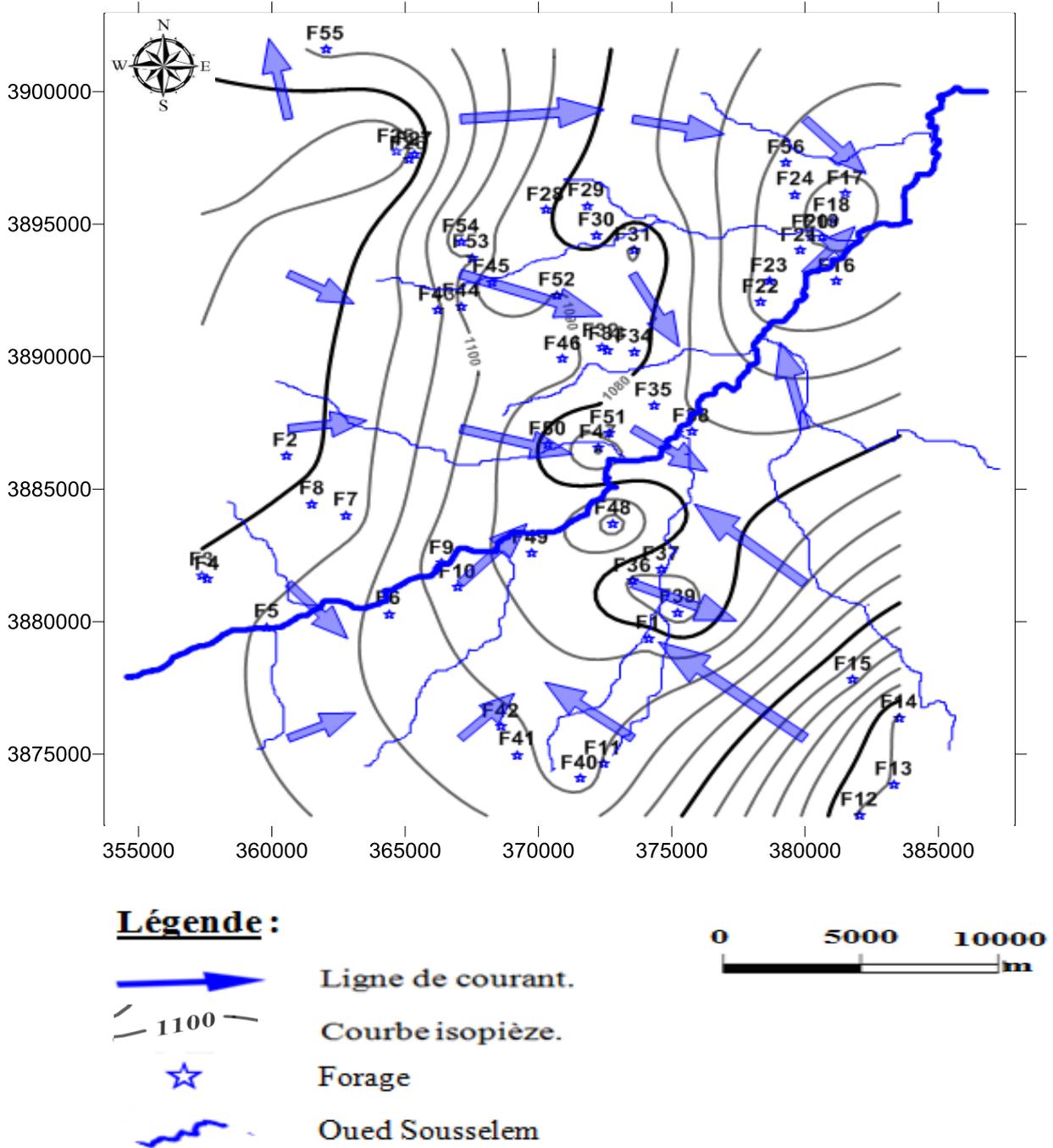


Fig.17 : Carte piézométrique de la nappe profonde de la vallée d'Oued Soussellem (Décembre 2014).

### 4.2.1.4. Interprétation de la carte piézométrique

#### a. Niveau de l'eau par rapport au sol :

La nappe se situe en moyenne à 14.6 m sous la surface du sol, avec un minimum à 0.0 m (Artésien) et un maximum à 47.50 m.

#### b. Sens d'écoulement général :

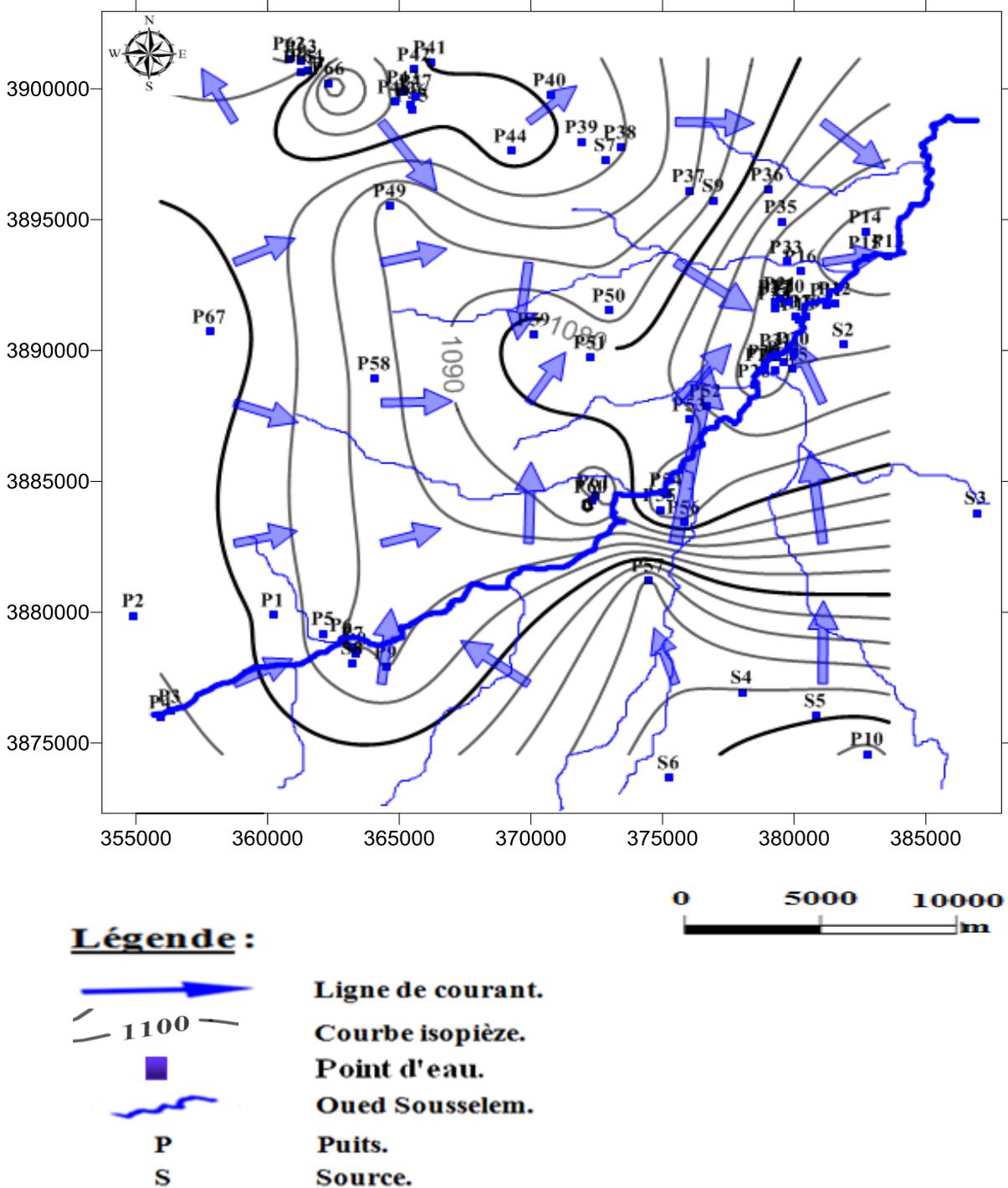
Globalement, les écoulements au sein de la vallée d'Oued Sousselem sont orientés vers l'Oued Sousselem. Ainsi dans le Nord de la vallée, l'eau s'écoule vers le Nord. Dans l'Est de la vallée, les écoulements ont une direction Sud-Est et Nord-Ouest. Enfin, au Sud de la vallée, l'eau souterraine s'écoule vers le Sud-Ouest, Nord-Est.

#### c. Gradient hydraulique :

Le gradient hydraulique est assez fort au centre (5.1%) de notre zone d'étude se qui traduit un bon écoulement de l'eau souterraine. Au Sud-Ouest de la vallée, le gradient hydraulique est plus faible il varie entre 0.58% et 0.62%. Cette nappe est très transmissive et constitue un réservoir important de point de vue quantitatif et qualitatif.

4.2.2. La carte piézométrique en période des hautes eaux (Avril 2015).

4.2.2.1. La carte piézométrique de la nappe superficielle (Alluviale) :



**Fig.18 :** Carte piézométrique de la nappe alluviale de la vallée d'Oued Soussalem (Avril 2015).

### 4.2.2.2. L'interprétation de la Carte Piézométrique

#### a. Niveau de l'eau par rapport au sol :

La nappe se situe en moyenne à 4.6 m sous la surface du sol, avec un minimum à 0.0 m et un maximum à 12.55 m.

#### b. Sens d'écoulement général :

Globalement, les écoulements au sein de la vallée sont tous orientés vers l'Oued Sousselem, puis dirigés ensuite vers l'Est. Ainsi dans le Nord de la Vallée, l'eau s'écoule vers le Nord-Ouest. Dans l'Est de la vallée, les écoulements ont une direction Ouest-Est. Enfin, au Sud de la vallée, l'eau souterraine s'écoule vers le Sud-Nord et Sud-Ouest.

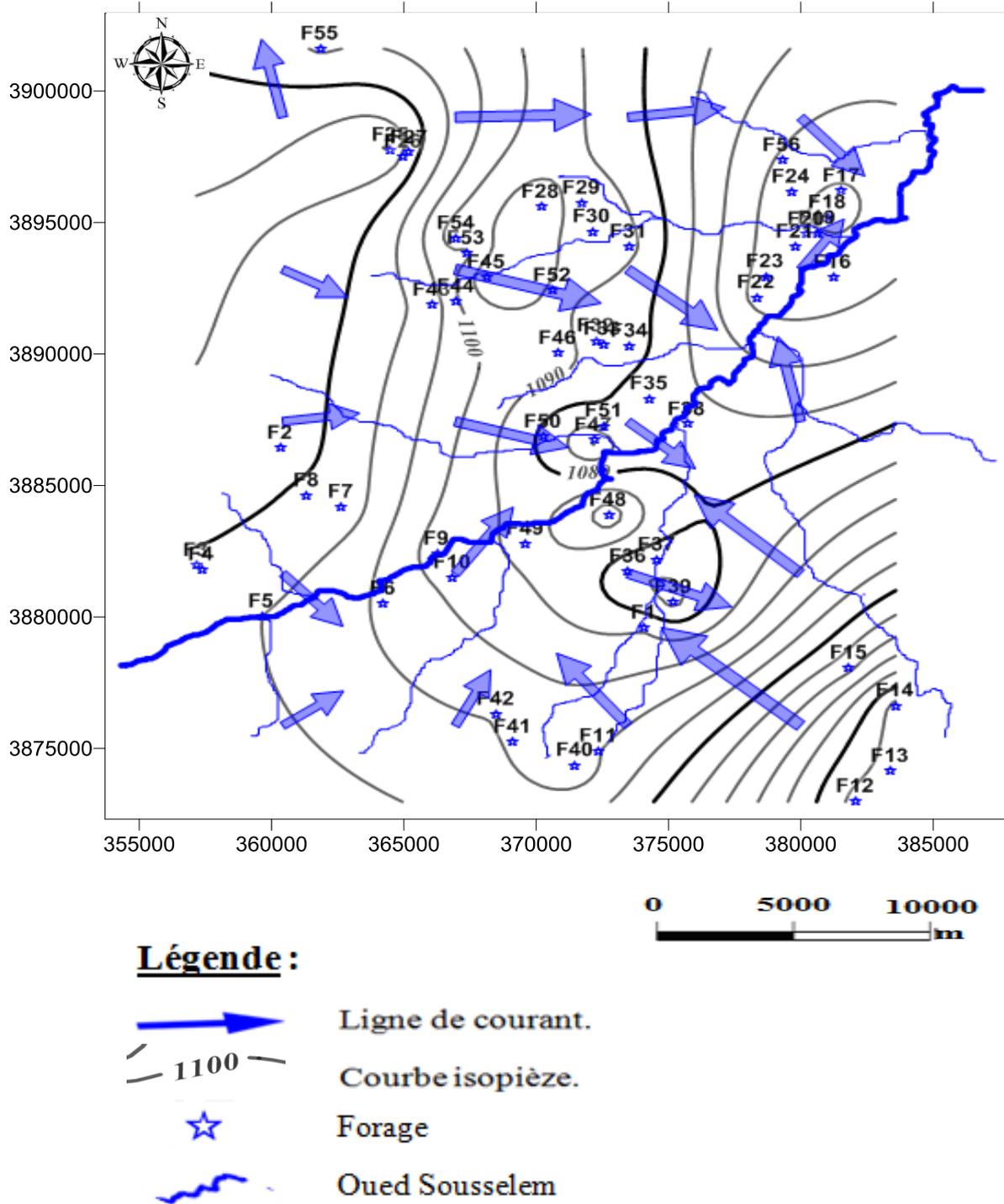
#### c. Gradient hydraulique :

Le gradient hydraulique a une faible variation par rapport à la période des basses-eaux.

#### d. Alimentation :

Un autre élément qui ressort de la carte établie est l'existence d'un axe de drainage correspondant au centre de la vallée d'Oued Sousselem. La nappe superficielle du Plio-Quaternaire alimente l'Oued. Ponctuellement des relations peuvent exister entre d'autres cours d'eau secondaire de la vallée et les systèmes aquifères. Sur l'ensemble de la vallée, les échanges nappe-oueds sont donc moyens.

4.2.2.3. La carte piézométrique de la nappe profonde (le Jurassique et Crétacé) :



**Fig.19 :** Carte piézométrique de la nappe profonde de la vallée d'Oued Soussalem (Avril 2015).

### 4.2.2.4. Interprétation de la carte piézométrique

#### a. Niveau de l'eau par rapport au sol :

La nappe se situe en moyenne à 12.6 m sous la surface du sol, avec un minimum à 0.0 m (Artésien) et un maximum à 49.30 m.

#### b. Sens d'écoulement général :

Globalement, les écoulements au sein de la vallée d'Oued Soussalem sont orientés vers l'Oued Soussalem. Ainsi dans le Nord, l'eau s'écoule vers le Nord et vers l'Est. Dans l'Est, les écoulements ont une direction de SE-NO. Enfin, au Sud de la vallée, l'eau souterraine s'écoule vers le SO-NE et SE-NO.

#### c. Gradient hydraulique :

Le gradient hydraulique a une faible variation par rapport à la période des basses-eaux.

## 5. Conclusion

Les seules ressources hydriques disponibles dans notre zone d'étude sont les eaux souterraines et les eaux superficielles (Oued Soussalem).

Les aquifères de la vallée d'Oued Soussalem sont contenus dans des formations de nature différente. Dans cette étude, il ressort que la vallée d'Oued Soussalem est occupée par un matériau alluvionnaire hétérogène fin formé essentiellement par les sables limoneux et Croute Calcaire.

Sur le plan hydrogéologique, la région d'étude présente une série stratigraphique qui s'échelonne du Jurassique au Quaternaire, comportant deux nappes qui se superposent, l'une superficielle est exploitée par des puits traditionnels à une profondeur moyenne de 10 m, ainsi la nappe profonde est exploitée aussi par des forages peu profonde variés de 50 m à 140 m.

Le substratum, est représenté par des formations dolomitisées, marnes dolomitisées et argiles.

Le massif de Djebel Nadhor, assurent l'alimentation de la vallée, et orientés les écoulements vers le Nord-Est de la vallée, où on rencontre des oueds secondaires qui jouent le même rôle de toutes les eaux du système aquifère. Les cartes piézométriques de la vallée d'Oued Soussalem montrent bien cette situation.

L'alimentation des nappes se fait de deux manières, directe par les eaux de pluie et indirecte par l'existence des échanges inter-nappes ou par drainance.

---

# **Chapitre IV :** **Etude Hydrochimique**

### 1. Introduction

L'hydrochimie est l'étude des caractéristiques physiques et chimiques de l'eau. Du fait de la spécificité des caractéristiques physico-chimiques des eaux, leur analyse s'avère un outil nécessaire à l'hydrogéologie. En effet, ce sont la température, le pH, la conductivité et les teneurs en éléments chimiques dissous qui vont donner aux eaux leurs caractères spécifiques.

La composition chimique d'une eau joue un rôle important dans la détermination de sa qualité, donc la possibilité de son utilisation pour l'alimentation en eau potable ou d'autres usages (irrigation, industrie...etc.).

### 2. Matériels et méthodes

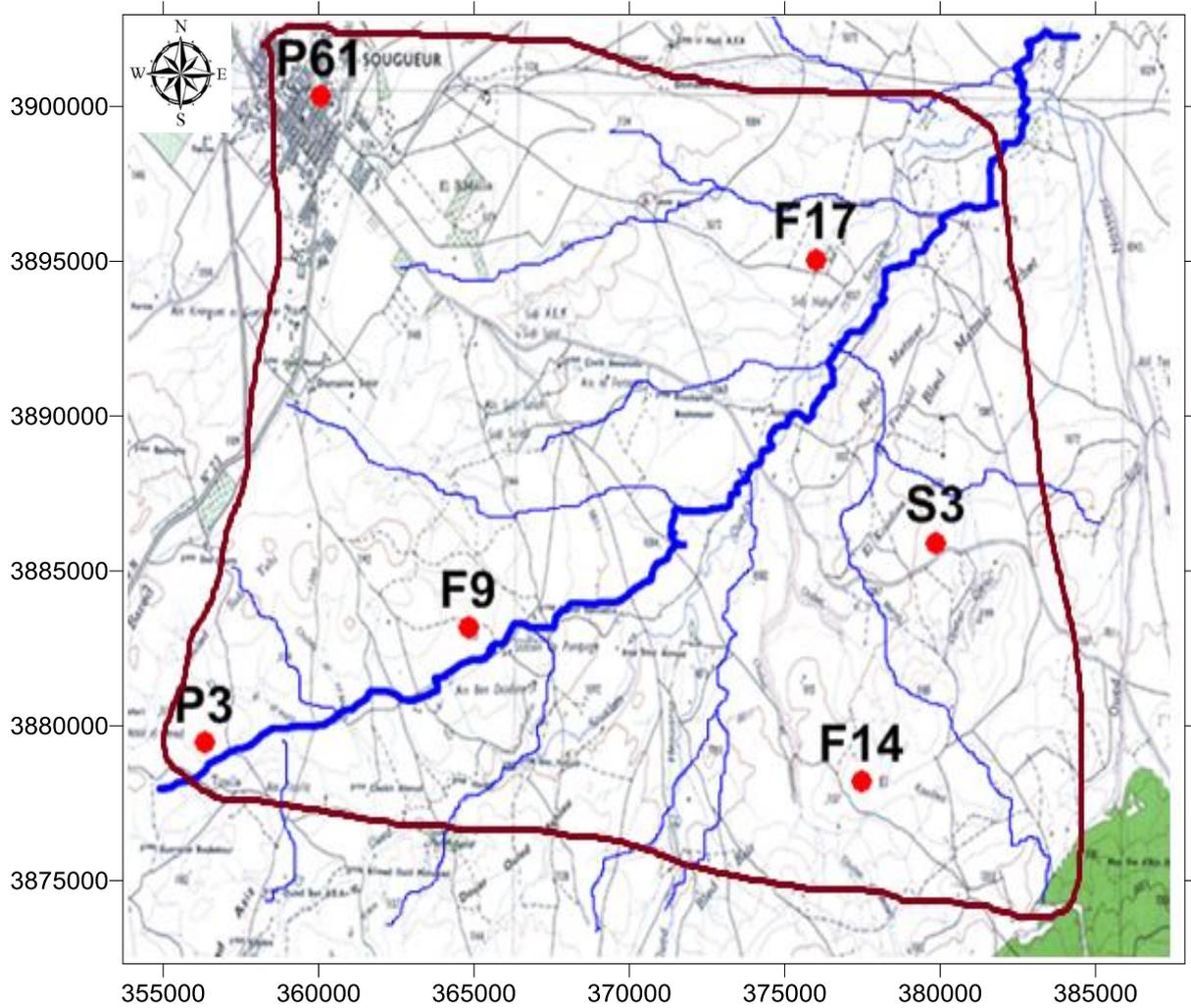
#### 2.1 Prélèvement et conservation des échantillons

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à la quelle le plus grand soin doit être apporté. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modification de ses caractéristiques physico-chimiques, raison pour laquelle le préleveur doit avoir une connaissance précise des conditions du prélèvement très importantes pour la qualité des résultats des analyses (**Rodier J. 2009**).

Pour l'étude hydrochimique de la nappe superficielle et profonde, une campagne de terrain a été réalisée en mois d'Avril. Six points d'eau bien répartis sur le terrain ont été choisis (figure 20) et dont les coordonnées ont été déterminées à l'aide d'un GPS.

Au cours de cette campagne, les échantillons ont été prélevés jusqu'à débordement dans des bouteilles en plastiques, préalablement rincés avec de l'eau de la nappe, puis bouchonnés.

Tous les échantillons sont conservés à basse température (2-5 °C) jusqu'au moment de l'analyse qui ne doit pas dépasser 12 h pour le pH et  $\text{NH}_4$  ; 24 h pour le Ca, les  $\text{NO}_2$ , la dureté totale, les  $\text{PO}_4$ , les  $\text{NO}_3$  et les  $\text{HCO}_3$  ; 7 jours pour la CE, les  $\text{SO}_4$ , le Na et le K, entre 1-7 jours pour le Mg et enfin 1 mois pour le Cl (**OFEFP. Berne 2003**).



**Légende**

-  Point du prélèvement.
-  Zone d'étude.
-  Oued Soussalem.
- F :** Forage.
- P :** Puits.
- S :** Source.



**Fig.20 :** Carte de répartition géographique des points du prélèvement de la région d'étude.

## **2.2 Les méthodes d'analyses**

Les paramètres physico-chimiques caractéristiques ont été mesurés pour tous les prélèvements et les analyses ont été faites au sein du laboratoire de chimie des eaux de l'ADE de Tiaret (Avril 2015). Le dosage des différents ions a été fait par deux méthodes d'analyses :

- **par titrimétrie.**
- **par spectrophotométrie.**

## **2.3 Les méthodes d'interprétation**

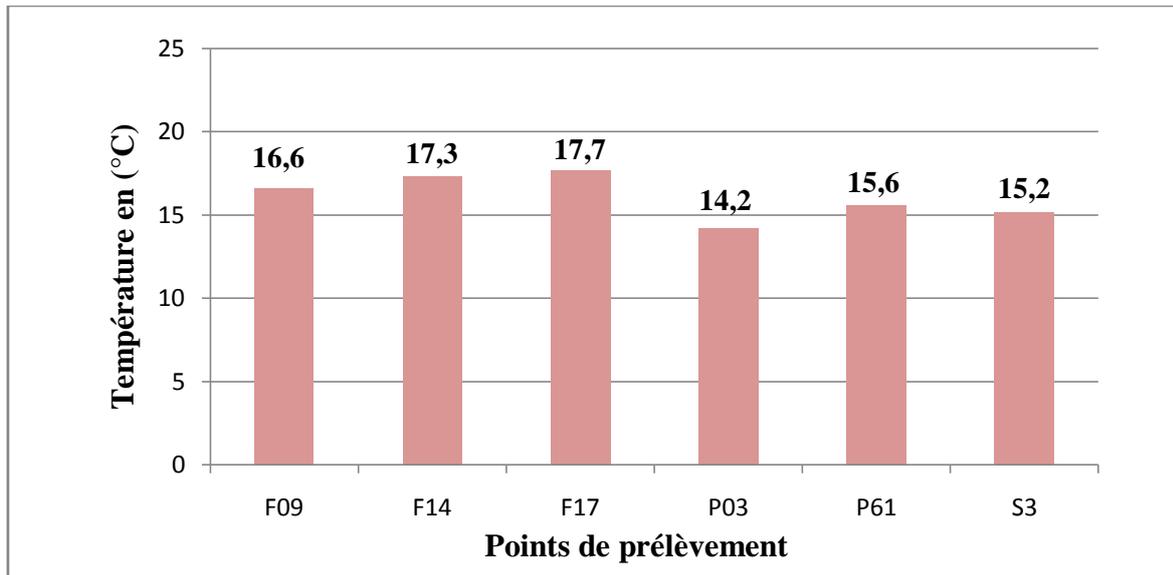
L'interprétation des analyses chimiques a pour but d'établir la genèse et l'origine des éléments chimiques et d'identifier d'éventuels problèmes de pollutions ( $\text{NO}_3$ , MO,  $\text{Cl}^-$  ...etc.). Dans cette étude pour l'interprétation des résultats d'analyses, nous avons fait recours aux représentations graphiques de l'évolution des paramètres chimiques au niveau des points d'eau.

## **3. Résultats et discussions**

### **3.1 Les paramètres physico-chimiques**

#### **3.1.1 La Température (T)**

La température de l'eau [ $^{\circ}\text{C}$ ] est un paramètre d'une grande utilité pour le diagnostic hydrogéologique. Elle est nécessaire pour déterminer les équilibres chimiques entre les diverses espèces en présence (ions, molécules non dissociées, gaz, solides). On peut en déduire des informations sur la profondeur de l'écoulement souterrain, le temps de résidence de l'eau dans l'aquifère, son origine et la présence d'éventuelles pollutions ou influences humaines. Habituellement, on mesure également la température de l'air (ou mieux encore, on donne une indication de la température moyenne du jour de mesure) qui permet de vérifier après coup les conditions climatiques dans lesquelles l'échantillonnage s'est déroulé et d'expliquer d'éventuelles anomalies dans les résultats.

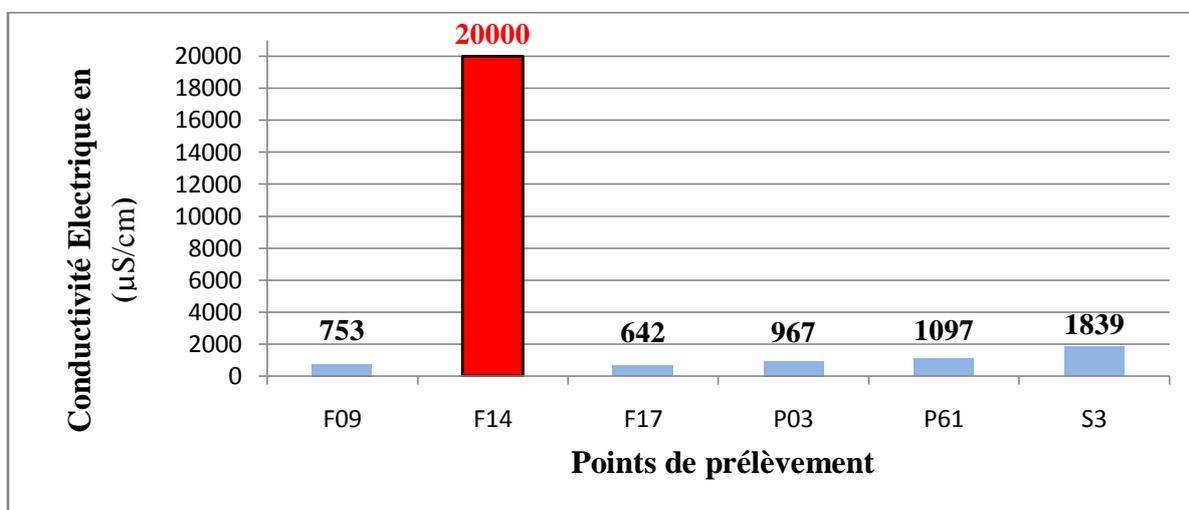


**Fig. 21 :** Variation des Températures en (°C) des points de prélèvement de la zone d'étude.

Les résultats des mesures de la température des eaux de deux nappes montrent une valeur maximale de 17.7 °C au forage F17 et la température minimale de 14.2 °C au puits P03.

### 3.1.2 La Conductivité Electrique (CE) :

La mesure de la conductivité électrique [ $\mu\text{S}/\text{cm}$  à une température de référence] permet d'évaluer la minéralisation globale d'une eau du fait que les ions présents rendent celle-ci électriquement conductrice. La conductivité dépend de la température et doit toujours être corrigée par rapport à une température de référence.

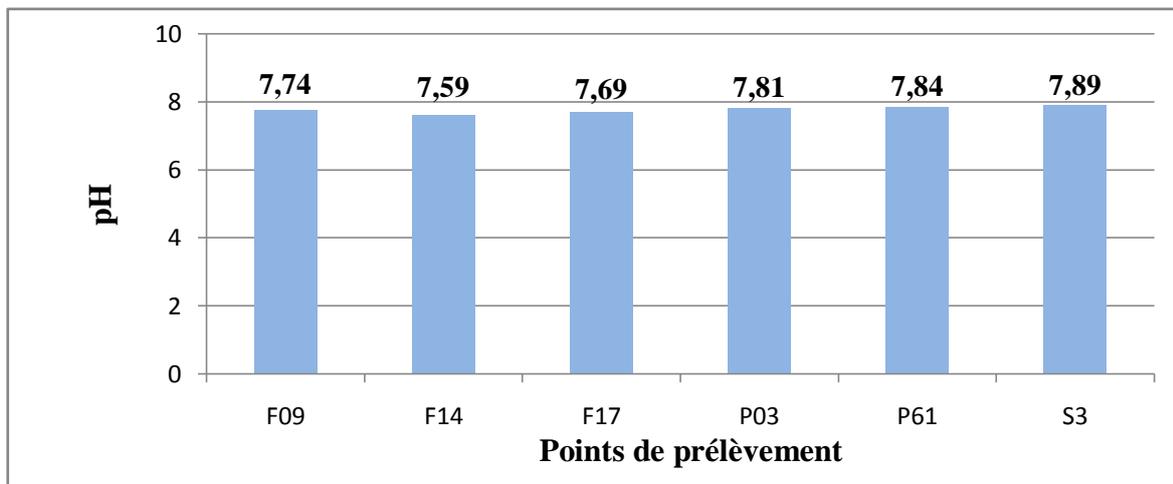


**Fig. 22 :** Variation des concentrations de CE en ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) des points de prélèvement de la zone d'étude.

Les mesures de la conductivité montrent que les eaux des nappes de la vallée d'oued Soussalem de la région de Sougueur ont une conductivité électrique qui varie entre 640 et 1900  $\mu\text{S}/\text{cm}$  aux différents points d'eau avec un excès de 20000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  au forage F14.

### 3.1.3 Le potentiel Hydrogène (pH) :

Le pH caractérise l'acidité ou la basicité d'une solution aqueuse ( $\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$ ,  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  étant exprimé en moles par litre). Il s'agit d'un paramètre capital pour le calcul des équilibres thermodynamiques, mais délicat à mesurer et sensible à de nombreux phénomènes comme les variations de température, le dégazage, l'oxydation, la précipitation de composés insolubles, etc. Si le pH n'est pas mesuré au moment du prélèvement et sur le site même de l'émergence, la valeur obtenue ultérieurement en laboratoire risque de perdre en signification.

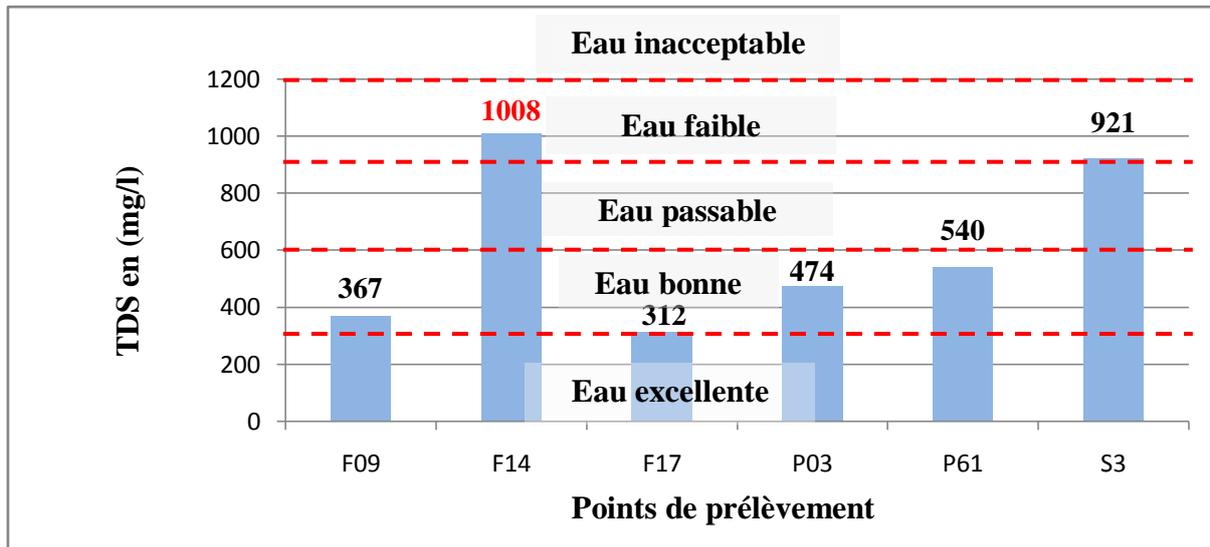


**Fig. 23 :** Variation des valeurs de pH des points de prélèvement de la zone d'étude.

Les valeurs du pH dans la région d'étude varient de 7.59 au forage F14 à 7.89 au S3. C'est une eau qui est légèrement neutre.

### 3.1.4 Le Taux des Sels Dissous (TDS) :

TDS signifie total des solides dissous et représente la concentration totale des substances dissoutes dans l'eau. Le TDS est composé de sels inorganiques et de quelques matières organiques. Les sels inorganiques communs trouvés dans l'eau incluent le calcium, le magnésium, le potassium et le sodium qui sont tous des cations et des carbonates, nitrates, bicarbonates, chlorures et sulfates qui sont tous des anions.



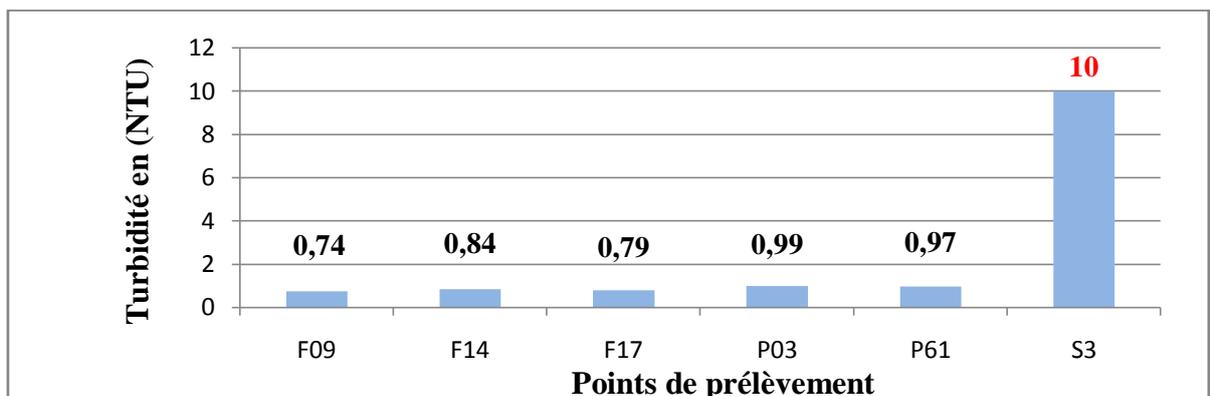
**Fig.24 :** Variation des concentrations de TDS en (mg/l) des points de prélèvement de la zone d'étude.

D'après la figure ci-dessus on constate que les eaux des points de prélèvement sont généralement de bonne qualité avec une concentration qui varie entre 310 mg/l et 540 mg/l, par contre, une forte concentration de TDS (F14, S3) qui peut être due aux formations géologies traversées.

**3.1.5 La Turbidité :**

La turbidité de l'eau est liée à sa transparence elle donne une idée de la teneur en matières en suspension, les eaux troubles chargées de substance finement divisées (grains de silice, matière organique,...) forment parfois d'importants dépôts dans les tuyauteries et dans les réservoirs.

Pour sécurité de l'eau de boisson il faut maintenir une turbidité inférieure à 5 NTU.



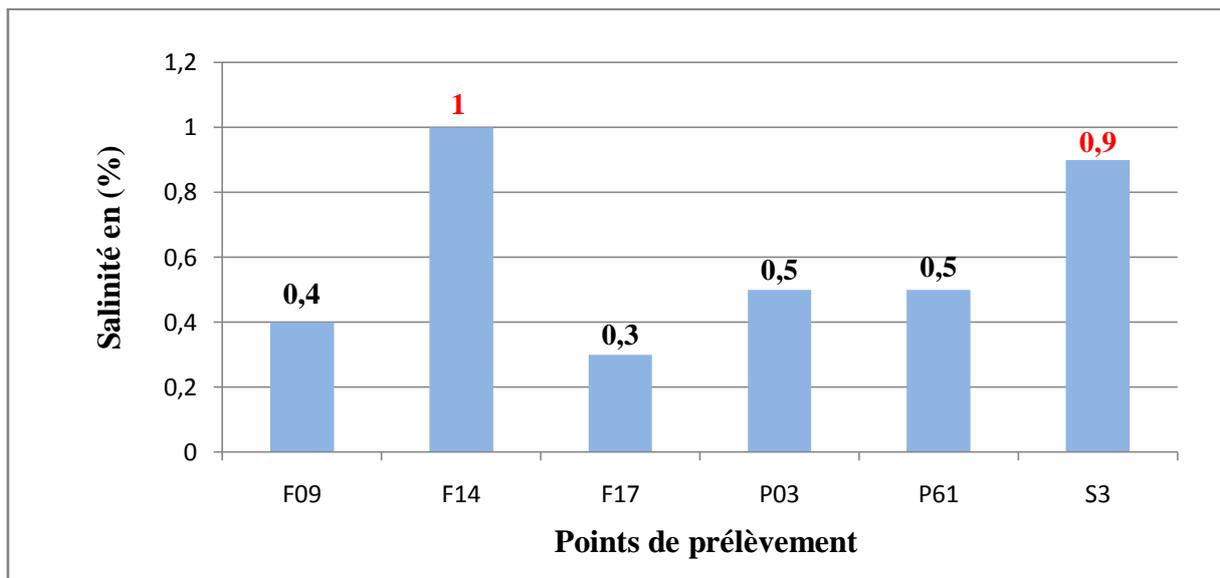
**Fig.25 :** Variation des valeurs de Turbidité en (NTU) des points de prélèvement de la zone d'étude.

D'après le graphe les valeurs de la Turbidité varient entre 0.74 NTU comme valeur minimale aux niveaux du F09 et F10, et la valeur maximale au niveau de la source S3, cette dernière elle n'est pas aménagée, à cet effet elle peut être contaminée facilement.

### 3.1.6 La Salinité :

La Salinité offerte d'une eau au passage du courant électrique est fonction directe de la concentration ionique de la solution. Sa détermination donne donc une mesure indirecte des substances dissoutes

Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), de magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), de sodium ( $\text{Na}^+$ ), les chlorures ( $\text{Cl}^-$ ), les sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) et les bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ).



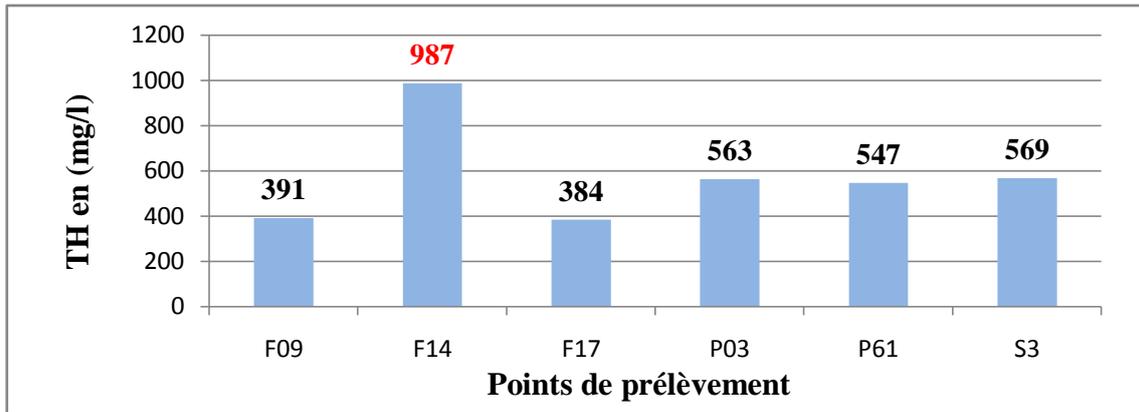
**Fig.26 :** Variation des pourcentages de la salinité des points de prélèvement de la zone d'étude.

Une valeur élevée de la salinité est enregistrée au niveau du forage (F14) et la source (S3) probablement est due aux formations géologiques traversées.

### 3.1.7 Le Titre Hydrotimétrique (TH) :

Le titre hydrotimétrique ou la dureté a un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés et correspond à la teneur en calcium ( $\text{Ca}^{+2}$ ) et en magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ).

L'unité employée est le degré Français ( $^{\circ}\text{F}$ ). Il correspond à une concentration de 10 mg/l de carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ).



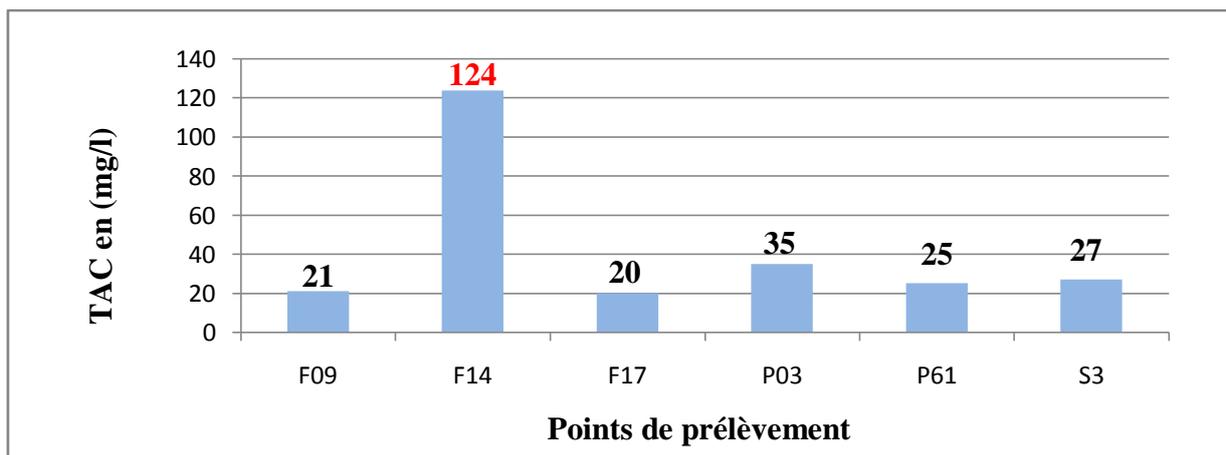
**Fig.27 :** Variation des concentrations de TH en (mg/l) des points de prélèvement de la zone d'étude.

D'après les normes de potabilité des eaux établies par l'Algérie, on remarque que pour la plus part des échantillons prélevés, le titre hydrotimétrique dépasse 500 mg/l, ce qui montre que les eaux de ces points sont dures à très dures.

### 3.1.8 Le Titre Alcalimétrique Complet (TAC) :

Le titre alcalimétrique complet (TAC) correspond à la somme des teneurs en ions hydroxyde, bicarbonate et carbonate exprimé en degré français (°F).

$$\text{TAC} = [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-]$$



**Fig.28 :** Variation des concentrations de TAC en (mg/l) des points de prélèvement de la zone d'étude.

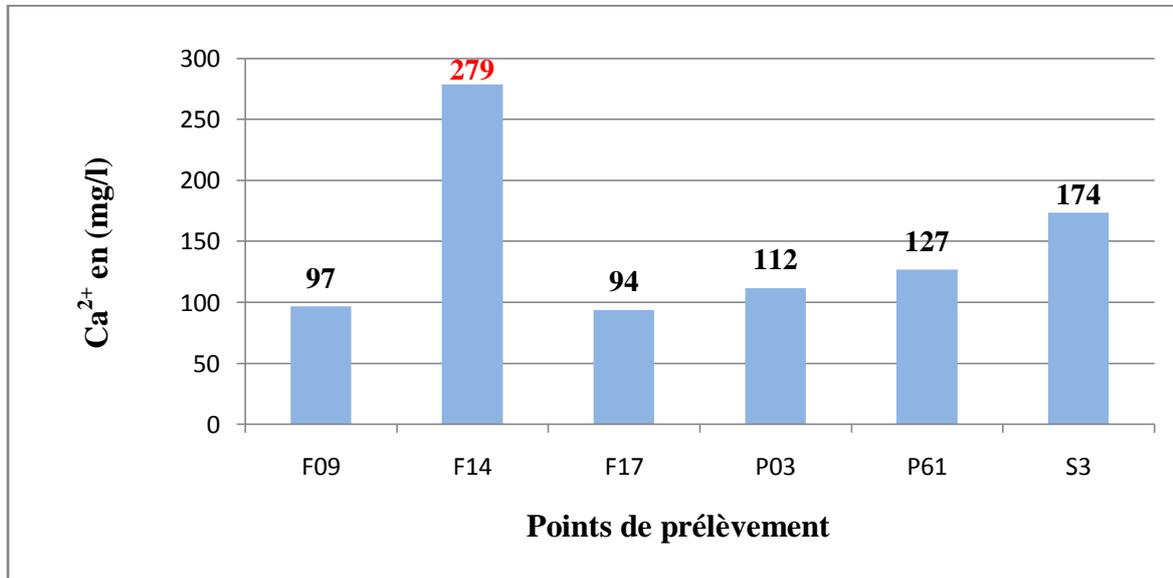
Pour les eaux étudiées, le TAC varie de 20 mg/l au forage F17 à 124 mg/l au forage F14.

## 3.2 Les Paramètres Chimiques

### 3.2.1 Les ions majeurs

#### 3.2.1.1 Le Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ )

La présence des ions  $\text{Ca}^{2+}$  dans l'eau indique, soit une dissolution des formations carbonatées, calcite ( $\text{CaCO}_3$ ), dolomie [ $(\text{Ca}, \text{Mg}) \text{CO}_3$ ] ou bien la dissolution des formations évaporitiques, gypse [ $\text{CaSO}_4, 2(\text{H}_2\text{O})$ ] et anhydrite ( $\text{CaSO}_4$ ).

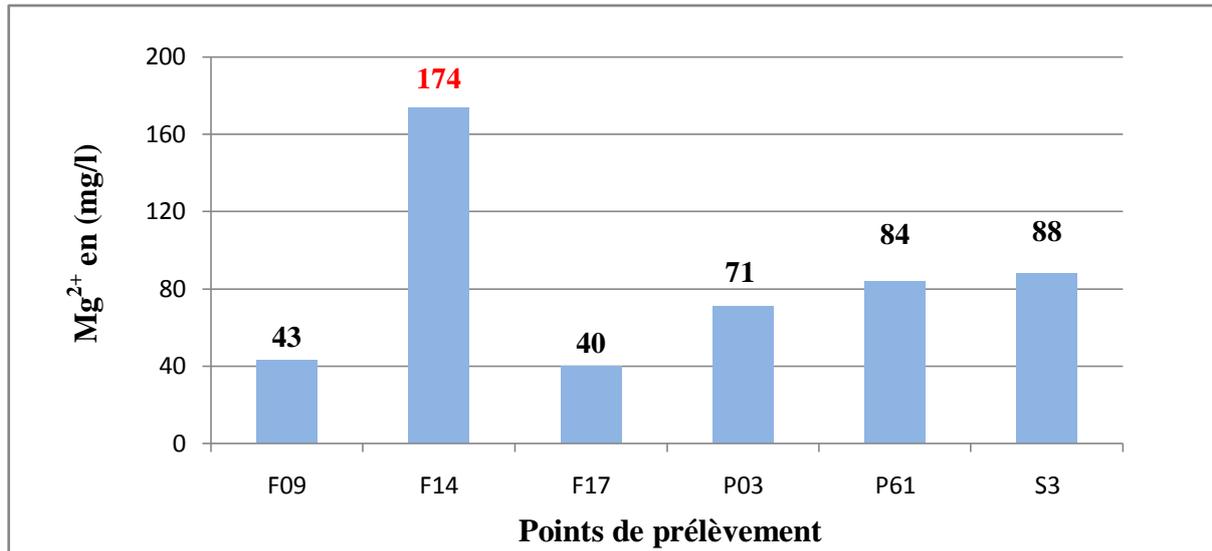


**Fig. 29 :** Variation des concentrations de  $\text{Ca}^{2+}$  en (mg/l) des points de prélèvement de la zone d'étude.

D'après la figure ci-dessus les concentrations en  $\text{Ca}^{2+}$  dans les eaux souterraines sont comprises entre 94 mg/l comme valeur minimale au forage F14, elles vont atteindre la valeur maximale 279 mg/l existe au forage F17.

#### 3.2.1.2 Le Magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ )

Le magnésium est un élément très abondant, il est souvent présent dans les roches évaporitiques (sel de Mg), la carnallite ( $\text{KMgCl}_3, 6\text{H}_2\text{O}$ ), la kiesérite ( $\text{MgSO}_4, \text{H}_2\text{O}$ ), et carbonatés, la dolomie [ $(\text{Ca}, \text{Mg}) \text{CO}_3$ ].

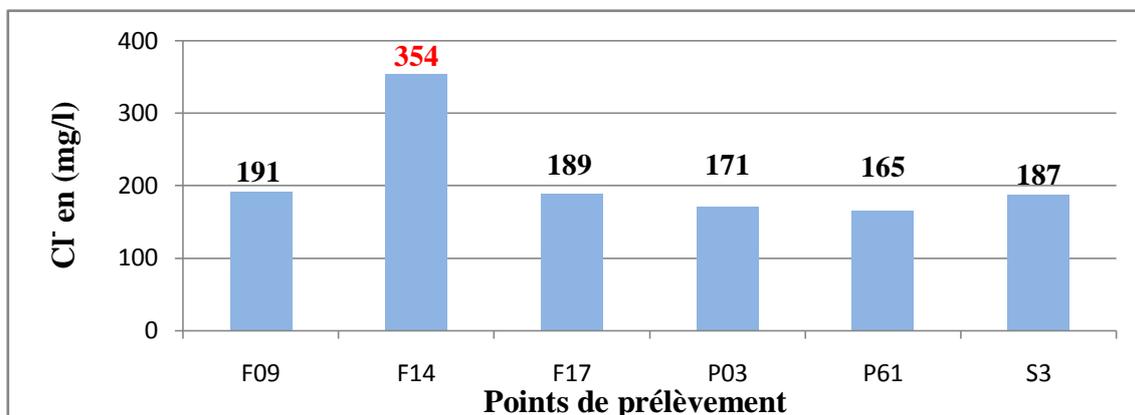


**Fig. 30 :** Variation des concentrations de Mg<sup>2+</sup> en (mg/l) des points de prélèvement de la zone d'étude.

Les teneurs en magnésium dans la région varient de 40 mg/l au forage F17 à 174 mg/l au forage F14. Il est possible que ces valeurs dues aux terrains traversés.

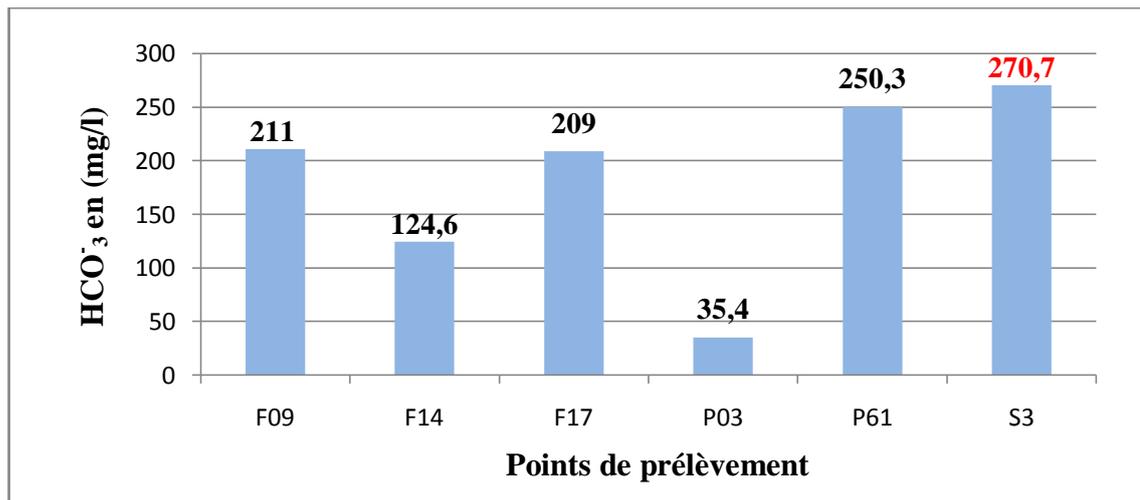
### 3.2.1.3 Les Chlorures (Cl<sup>-</sup>)

Ils sont toujours présents dans les eaux naturelles en proportions très variables, leur présence dans l'eau souterraine résulte de la dissolution des sels naturels par la dissolution de la sylvite (KCl) et de l'halite (NaCl).



**Fig. 31 :** Variation des concentrations de Cl<sup>-</sup> en (mg/l) des points de prélèvement de la zone d'étude.

Les teneurs en chlorures varient de 165 mg /l au puits P61 à 354 mg/l au forage F14.

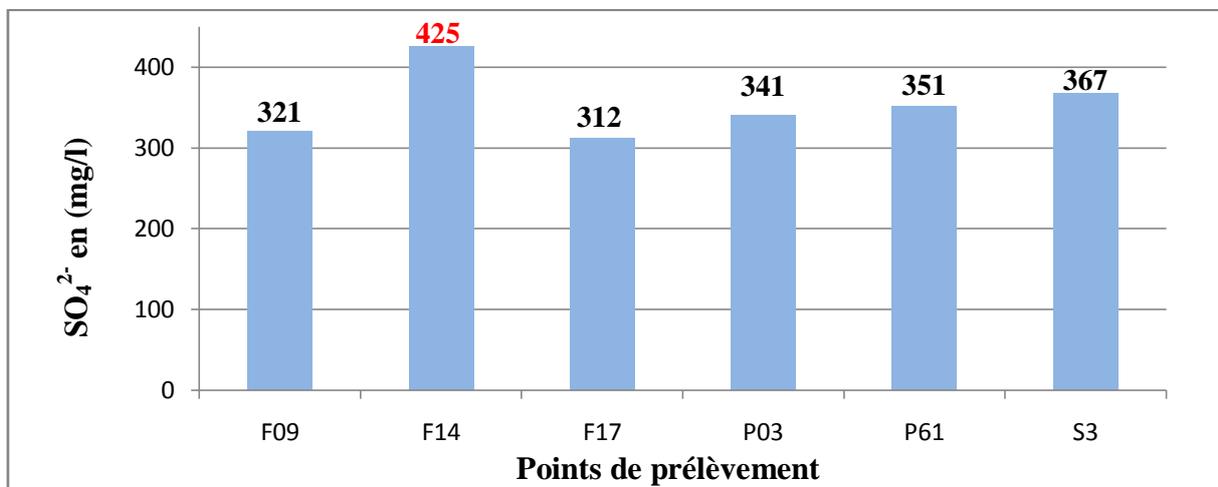
3.2.1.4 Les Bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ )

**Fig. 32:** Variation des concentrations de  $\text{HCO}_3^-$  en (mg/l) des points de prélèvement de la zone d'étude.

Les ions bicarbonates se forment à partir de la dissolution des minéraux carbonatés. Les teneurs en bicarbonates dans les eaux de la zone d'étude varient de 35.4 mg /l au puits P03 à 270.7 mg/l à la source S3.

3.2.1.5 Les Sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ )

La présence des sulfates est généralement liée au lessivage des formations évaporitiques, tel que le gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$ ) et l'anhydrite ( $\text{CaSO}_4$ ), ils peuvent provenir également de l'oxydation du baryum.



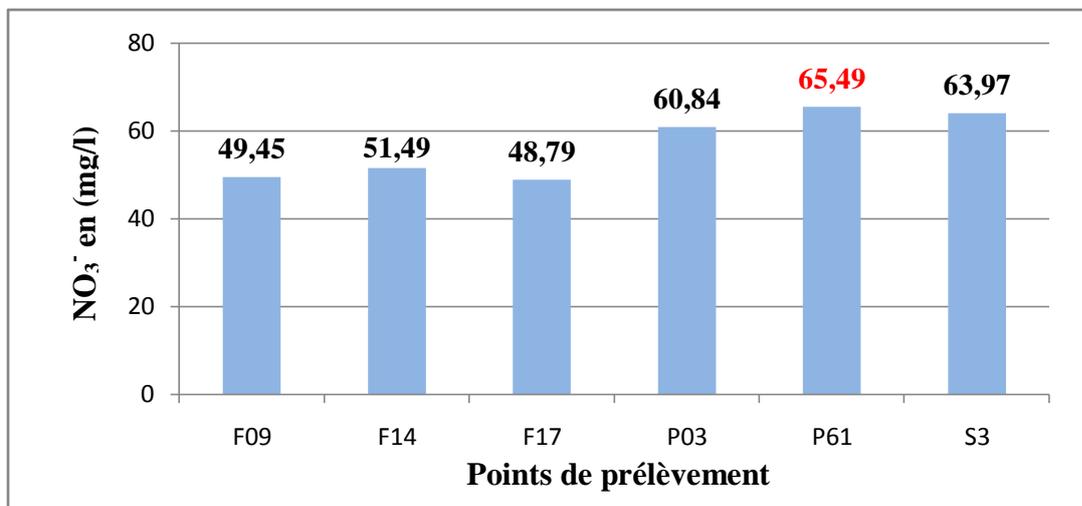
**Fig. 33 :** Variation des concentrations de  $\text{SO}_4^{2-}$  en (mg/l) des points de prélèvement de la zone d'étude.

Les teneurs des sulfates dans les eaux de la région sont moyennes et varient de 312 mg /l au forage F17 à 425 mg/l au forage F14.

### 3.2.2 Les Paramètres de Pollution

#### 3.2.2.1 Les Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )

L'ion nitrate est la forme oxydée de l'azote, les sources naturelles de nitrate sont principalement la pluie et les interactions avec le sol et la végétation, l'origine artificielle des nitrates sont les contaminations par des engrais et les rejets domestiques.



**Fig. 34 :** Variation des concentrations de  $\text{NO}_3^-$  en (mg/l) des points de prélèvement de la zone d'étude.

Les concentrations des nitrates dans les eaux souterraines de notre zone sont élevées, elle varie de 48.79 mg /l au forage F17 à 65.49 mg/l au puits P61. Ces valeurs élevées sont dues peut être à une utilisation excessive des engrais agricoles.

#### 3.2.2.2 Les Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ )

Les nitrites représentent la forme du passage entre les nitrates et l'ammonium. Il s'agit d'une forme toxique, dans l'ensemble, les teneurs en nitrites dans les nappes sont inférieures à 0.02 mg/l.

#### 3.2.2.3 L'Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ )

L'Ammonium est la forme d'azote la plus toxique, sa présence dans l'eau est liée à une contamination urbaine ou industrielle, les teneurs en ammonium dans les eaux souterraines de la zone d'étude sont inférieures à 0.02 mg/l.

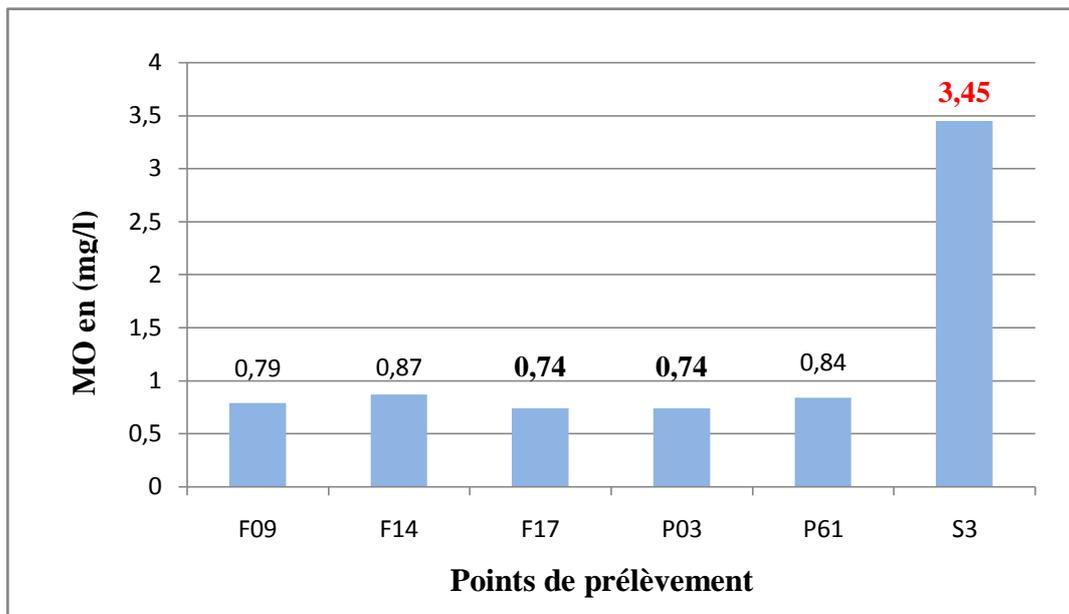
### 3.2.2.4 La Matière Organique (MO)

Matière organique est principalement issue de la décomposition des végétaux, des animaux et des microorganismes.

Il est donc difficile d'en donner une description précise ou une composition moyenne. Elle participe à beaucoup de paramètres de qualité de l'eau : couleur, sous produits de désinfection, odeurs, saveurs...

Il est cependant possible de donner des valeurs moyennes de concentrations de MO rencontrées dans les eaux utilisées pour la production d'eau potable.

La matière organique est à l'origine de dégradations de la qualité de l'eau, ainsi elle influence directement les propriétés organoleptiques de l'eau (odeur et goût).



**Fig. 35 :** Variation des concentrations de MO en (mg/l) des points de prélèvement de la zone d'étude.

D'après le graphe les concentrations de la MO sont variées entre 0.74 comme la valeur minimale aux niveaux du F17 ; P03 et 3.45 comme la valeur maximale au niveau de la source S3, cette dernière elle n'est pas aménagée, à cet effet elle peut être contaminée facilement.

## 4. Potabilité des eaux :

## 4.1 Les normes de potabilité :

On a examinée dans cette partie la qualité physico-chimique des eaux de notre zone d'étude, en le comparant aux normes Algériennes de potabilité.

Paramètres	Valeur	Unité
<i>Les Paramètres Physico-chimiques</i>		
Température	25	°C
pH	6.5-8.5	-
Conductivité	2500	μS/cm
Turbidité	5	NTU
Dureté (TH)	500	mg/l (CaCO <sub>3</sub> )
<i>Les paramètres chimiques</i>		
Calcium	200	mg/l
Magnésium	150	mg/l
Chlorures	600	mg/l
Sulfates	400	mg/l
<i>Les paramètres de pollution</i>		
Nitrates	50	mg/l
Nitrites	0.1	mg/l

**Tab 13 :** Normes Algériennes de potabilité.

Nom	Norme	F09	F14	F17	P3	P61	S3
T (°C)	25	16.6	17.3	17.7	14.2	15.6	15.2
pH	6.5-8.5	7.74	7.59	7.69	7.81	7.84	7.89
CE	2500	753	20000	642	967	1097	1839
Turbidité	5	0.74	0.84	0.79	0.99	0.97	10
TH	500	391	987	384	563	547	569
Ca <sup>2+</sup>	200	97	279	94	112	127	174
Mg <sup>2+</sup>	150	43	147	40	71	84	88
Cl <sup>-</sup>	600	191	354	189	178	165	187
So <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	400	321	425	312	341	351	367
No <sub>3</sub> <sup>-</sup>	50	49.45	51.49	48.79	60.84	65.49	63.97
No <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.1	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02

**Tab 14:** Classification de la potabilité des eaux d'après les normes Algériennes.

Donc le tableau ci-dessus il montre que :

- Dans la région de Sougueur on a des eaux potables et à bonne qualité dans les forages de F09 et F17.
- Dans les autres points d'eau les eaux ils signalent comme moyennement potable à non potable parce que les concentrations de quelques éléments chimiques sont dépassé la norme ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) ce qui implique l'utilisation des méthodes de traitements de ces eaux avant qu'ils sont consommés par les êtres humains.

### 5. Conclusion

L'étude hydrochimique des eaux souterraines de la région d'étude montre que l'eau est dans l'ensemble de qualité bonne à admissible avec une conductivité électrique qui varie entre 640 et 1900  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et qui atteint au niveau du point d'eau F14 20000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Un excès est observé au niveau du forage F14 presque dans tous les paramètres mesurés en comparaison avec les autres points d'eau.

La comparaison des résultats des analyses des six (06) points d'eau avec les normes algériennes montre que 02 forages seulement : F09 et F17 présente une eau de bonne qualité et pouvant être destinée à AEP car ils captent la nappe captive profonde donc ils sont plus au moins non vulnérables à la pollution (l'existence d'un toit imperméable à semi imperméable) ; à l'inverse des autres points de prélèvement : P03, P61 et S3 qui exploite la nappe libre superficielle qui est plus vulnérable à la pollution de surface.

---

# **Conclusion Générale et Recommandations**

---

### Conclusion Générale

L'étude des caractéristiques des eaux de la vallée d'Oued Sousselem (région de Sougueur, wilaya de Tiaret) nous a permis d'arriver aux conclusions suivantes :

- De point de vue géomorphologique, la région étudiée se présente comme une surface plane parsemée de quelques reliefs, elle est entourée par les monts de djebel Nadhor au Sud-Est et la colline d'Er-Rmalia au Nord-Ouest. Elle est caractérisée par un réseau hydrographique peu dense.
- L'étude géologique a révélé la présence de six (06) grandes formations différentes (Plio-Quaternaire, Miocène Inférieur, Le Crétacé Supérieur, Crétacé Inférieur Gréseux, Crétacé Inférieur Carbonaté, Jurassique Supérieur). Les Monts de djebel Nadhor qui représentent la limite Sud-Est de notre zone d'étude favorisent l'écoulement des eaux de ruissellement vers la vallée, mais l'infiltration est faible.
- La vallée d'Oued Sousselem est caractérisée par un climat semi-aride, où les variations interannuelles sont très importantes, dont la moyenne des précipitations annuelles (1986-2013) est de l'ordre de 370.17 mm.
- Les valeurs de températures et de précipitations enregistrées pour notre zone d'étude, montrent une succession de périodes humides et sèches. Ces dernières, s'étalent sur de longues durées et peuvent atteindre sept (07) mois de l'année.
- Les connaissances hydrogéologiques de la région d'étude ont mis en exergue deux formations aquifères majeures : Les calcaires du Jurassique Supérieur (Tithonien) et du Crétacé qui sont considérés comme étant l'aquifère le plus important de la région, et les formations récentes de la vallée (Dépôts Alluviaux) qui recèlent une nappe superficielle Alluviale, cette nappe présente un intérêt moindre du point de vue qualitatif et quantitatif.
- L'établissement des cartes piézométriques relatives aux deux nappes : superficielle et profonde, a montré la présence d'un écoulement souterrain de direction générale Sud-Est (de l'amont vers l'aval d'Oued Sousselem).
- L'alimentation de la nappe superficielle se fait par l'infiltration directe au niveau des formations Plio-Quaternaires. Les cartes piézométriques montrent aussi la relation nappe-Oued, où les nappes alimentent Oued Sousselem, dans les deux (02) périodes, des basses eaux (Décembre 2014) et des hautes eaux (Avril 2015).

## Conclusion Générale et Recommandations

---

- L'étude hydrochimique des eaux souterraines de la nappe profonde (F09 et F17) de la région de Sougueur fait ressortir une qualité bonne à admissible, en comparaison avec les normes Algérienne de potabilité à l'exception le point F14 qui a dépassé les normes admises.

### Recommandations :

Dans le cadre des nouvelles approches de la gestion des ressources en eau d'une manière plus concrète, il faut repenser en profondeur les approches qui permettront de satisfaire les besoins de l'homme tout en maintenant la qualité des systèmes naturels qui supportent l'existence même de la collectivité humaine. La mise en valeur et la gestion de l'eau doivent avoir un caractère participatif et associer aussi bien les utilisateurs, que les planificateurs et les décideurs à tous les niveaux.

Il est recommandable :

- D'élaborer une stratégie de l'eau préférant la mobilisation des eaux de surface (barrages et retenues collinaires) et l'exploitation rationnelle des eaux souterraines.
- D'augmenter la productivité de l'eau dans l'agriculture en limitant le gaspillage par l'introduction de nouvelles techniques d'irrigations (irrigation par le système goutte à goutte) et l'emploi des eaux usées récupérées et traitées.
- La surveillance quasi-permanente de la qualité des eaux au niveau d'oued Soussalem après un traitement préalable des rejets urbains et industriels rencontrés sur leurs parcours.
- L'aménagement de zones de protections autour des ouvrages de captage pour la préservation des ressources en eau.

---

# **Références Bibliographiques**

---

## *Références Bibliographiques*

**ABH-CZ (2007)** : Cadastre Hydraulique du bassin hydrographique de Cheliff-Amont Boughzoul 51p.

**ANRH (2008)** : Cartes des ressources en eau souterraines du nord de l'Algérie région centre 100 p.

**AZLAOUI M. (2010)** Contribution à l'étude hydrogéologique et modélisation du synclinal d'AIN BEL Wilaya DE DJELFA. Mémoire de Magister, Université d'OUERGLA. 94 p.

**BELLAREDJ A. (2013)**, Caractérisation des eaux souterraines de la plaine de la M'leta (Algérie, Nord-Ouest) par application de méthodes statistiques multivariées et modélisation géochimique. Mémoire de Magister, Université d'ORAN. 144 p.

**BOUAICHA F. (2009)**, Etude Géophysique et Hydrogéologique dans la région de KHENCHELA, cas de Kheirane et Touazient, Impact socio-économique. Mémoire de Magister, Université de CONSTANTINE. 166 p.

**BOUASLA R. (2014)**, Etude de Pollution Organique des Eaux dans la plaine Alluviale de Collo (SKIKDA). Mémoire d'ingénieur d'état, Université d'ANNABA. 73 p.

**Castany G. (1982)**, Hydrogéologie. Objets, méthodes, application PARIS.

**DAHALI S. (2013)**, Etude Hydrogéologique et Hydrochimique de la nappe du Continentale Intercalaire de la région de Touat (Wilaya d'ADRAR). Mémoire de Master, Université d'OUARGLA. 78 p.

**E.P.E.A.O.S (1993)** : Etude de Projet d'Exécution d'Aménagement d'Oued Sousselem (Subdivision de la Direction des Ressources en Eau), Sougueur.

**FEGHOUL A. (1987)**, Etude Hydrogéologique du Bassin Versant d'Oued Sousselem. Mémoire d'ingénieur d'état, Université d'ORAN. 130 p.

**FENAZI L. (2014)**, Qualité des eaux de surfaces des barrages de W-SKIKDA (Bénizid, Zerdazas et Emba). Mémoire d'ingénieur d'état, Université d'ANNABA. 82 p.

**Eric Gilli et al, (1999)** : Hydrogéologie. Objets, méthodes, application PARIS.

**OFEFP. (2003)**, Office Fédéral de l'Environnement, des Forêts et du Paysage (Berne, SUISSE).

**Rodier J. (2005)**, l'Analyse de l'Eau 9<sup>e</sup> édition, Dunod, Paris 1579 p.

**SAOUD I. (2014)**, Contribution à l'étude hydrochimique de la nappe du Sénonien dans la région de Guerrara (Ghardaïa). Mémoire de Master, Université d'OUARGLA. 59 p.

---

# **Annexes**

## Annexe 01 : Les données climatiques de la station d'Ain Bouchekif (1986-2013)

Paramètres	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avril	Mai	Juin	Juill	aout	Total	Moy
<b>P Moy Mensuelles en (mm)</b>	27,57	36,17	40,65	37,89	44,09	42,11	37,44	43,12	33,24	10,01	5,17	12,70	370,17	30,85
<b>T Moy Mensuelles en (°C)</b>	23,3	18,4	11,5	7,7	8,1	9,4	12,7	15,9	22,5	26	30,2	29,5	215,2	17,90
<b>Humidité en (%)</b>	53	62	72	77	79	77	67	64	58	44	36	39	728	60,67
<b>Evaporation en (mm)</b>	54	38	21	15	18	18	25	29	43	64	96	88	509	42,42

Année	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout
<b>1986</b>	15,7	31,7	30,9	20,2	92,8	77	91	19	7	5,6	0	13
<b>1987</b>	6,4	59,2	49,9	32,7	115,6	77,5	20	7,4	15,1	7,2	16,8	2,2
<b>1988</b>	5,1	30	49,7	24,9	34,9	21,9	25	30,8	33,4	31,6	0	1,4
<b>1989</b>	13,1	2,2	24,7	20,6	15,4	28,4	32	47,1	33,7	17,8	5,8	54,9
<b>1990</b>	23,1	11,2	39,5	60,1	50,9	0,1	23,1	34,6	42,1	34,5	8,7	0,2
<b>1991</b>	19,5	70,8	12,4	13,9	29,7	40,8	119	12,8	24,3	7,1	8	13
<b>1992</b>	13	21,1	19,5	30,8	22,7	18,9	48,6	50,9	58,3	11,2	18,3	4,5
<b>1993</b>	30,6	12	27,8	33,8	1,5	30,3	23,2	35,7	59	0	0	13,7
<b>1994</b>	117,9	88,1	13,5	10,3	29,5	32,5	2,9	23	8,2	0	2,2	6,2
<b>1995</b>	26,5	20,4	22,8	43,1	49,9	12,9	63,5	20,5	3,4	22,5	0	5,3
<b>1996</b>	10,9	15,3	5,7	43,2	59,9	128,1	41,5	63,5	26,1	23,3	29,6	9,7
<b>1997</b>	87,7	32,8	105,8	38	55,5	7	0	130	30	0,9	1,9	52,8
<b>1998</b>	12,4	7,7	8,8	29,8	25,7	29,2	17,2	50,4	65,9	1,5	0	3,9
<b>1999</b>	31,9	55,8	25,3	78,7	56,5	22,1	67	0	11,5	0,5	0,3	13,8
<b>2000</b>	17,5	21,7	61,6	55,4	0,5	0	39	22,4	22	0	0,6	2,1
<b>2001</b>	46,5	19,6	25,1	38,6	96,3	33,2	5,1	33,8	12,4	0,1	1	5,6
<b>2002</b>	0,5	16,2	60,4	28,3	56	14,8	17,9	39,3	49,5	8,1	0,7	30,5
<b>2003</b>	24	85,2	68	69,9	58,2	59,7	6,3	50	12,6	4,3	2,1	26,4
<b>2004</b>	34	35,8	19,4	63,6	11,7	38,9	17,3	39,1	66,1	19	5,8	10,5
<b>2005</b>	25,6	49,4	54,5	23,3	15,7	29,4	41,8	7,1	1,6	18,7	5,4	0
<b>2006</b>	10,3	12,3	6,4	45,8	63,2	61,2	14,2	40,4	75,2	2,4	4,1	23,8
<b>2007</b>	27,7	50,7	38,9	5,9	21,1	56,5	41,3	91,7	15,5	0,5	5,1	7,8
<b>2008</b>	33,6	78,9	50,3	78,8	20,2	29,7	26,9	12,3	62,3	13,4	10,6	1,9
<b>2009</b>	90,4	10,3	50	81,3	100,1	32,5	80,4	79,5	21,1	6,9	1,3	4,8
<b>2010</b>	7,5	47,6	52	22,4	57,4	138,6	66,6	14,6	44,1	5,8	0,2	35,3
<b>2011</b>	0,1	38,2	75,4	10	42,4	73,5	26,8	41,6	44,2	32	3,1	0,2
<b>2012</b>	12,9	52,3	99,3	19,7	11,7	48,7	54,9	89,6	16,2	0,9	0,7	5,2
<b>2013</b>	11,8	0,1	67,3	57,5	88,2	70,6	89,8	96,2	43,6	0,1	7,4	7,3

**Annexe 02 : L'inventaire des Puits, des Forages et des Sources de notre zone d'étude.**

- **P** : Puits.      - **F** : Forage.      - **S** : Source.

<b>Notation</b>	<b>X (UTM)</b>	<b>Y (UTM)</b>	<b>Z (m)</b>	<b>Niveau Piézométrique (Décembre 2014)</b>	<b>Niveau Piézométrique (Avril 2015)</b>
<b>P1</b>	363 727,30	3 888 417,55	1139	1 127,50	1 127,70
<b>P3</b>	362 578,55	3 887 288,58	1145	1 139,33	1 141,30
<b>P4</b>	362 471,15	3 887 219,34	1145	1 141,30	1 142,60
<b>P5</b>	364 291,17	3 888 202,64	1116	1 113,00	1 114,80
<b>P6</b>	364 495,09	3 888 125,64	1113	1 107,79	1 110,50
<b>P7</b>	364 617,74	3 888 031,37	1113	1 104,00	1 108,75
<b>P8</b>	364 652,11	3 887 959,98	1116	1 112,00	1 113,55
<b>P9</b>	364 991,58	3 887 803,93	1111	1 108,20	1 109,45
<b>P10</b>	370 372,20	3 886 785,64	1196	1 193,70	1 193,35
<b>P11</b>	369 916,24	3 892 064,38	1046	1 041,40	1 042,20
<b>P12</b>	370 012,60	3 892 078,40	1050	1 042,32	1 043,20
<b>P13</b>	370 607,66	3 892 636,85	1036	1 032,75	1 033,50
<b>P14</b>	370 351,05	3 892 917,85	1037	1 033,80	1 035,50
<b>P15</b>	370 346,73	3 892 615,93	1039	1 034,75	1 035,40
<b>P16</b>	369 625,81	3 892 456,81	1045	1 041,28	1 042,00
<b>P17</b>	369 565,10	3 891 930,76	1049	1 046,30	1 047,20
<b>P18</b>	369 602,52	3 891 893,25	1051	1 046,30	1 047,10
<b>P19</b>	369 678,82	3 891 919,88	1053	1 046,60	1 047,30
<b>P20</b>	369 491,69	3 892 104,38	1049	1 045,00	1 045,80
<b>P21</b>	369 401,01	3 892 133,42	1051	1 044,10	1 046,70
<b>P22</b>	369 344,41	3 892 069,52	1050	1 044,40	1 045,90
<b>P23</b>	369 336,07	3 892 017,26	1050	1 044,63	1 045,95
<b>P24</b>	369 435,71	3 891 381,06	1053	1 045,35	1 047,30
<b>P25</b>	369 530,84	3 891 308,82	1056	1 050,85	1 051,50
<b>P26</b>	369 107,89	3 891 111,55	1056	1 046,25	1 047,00
<b>P27</b>	369 343,43	3 891 299,19	1052	1 044,80	1 046,00
<b>P28</b>	369 196,67	3 891 301,31	1052	1 044,60	1 045,80
<b>P29</b>	369 222,55	3 891 340,99	1051	1 044,23	1 045,20
<b>P30</b>	369 543,53	3 891 487,35	1052	1 046,00	1 047,20
<b>P31</b>	369 350,93	3 891 468,56	1052	1 046,93	1 047,10
<b>P32</b>	369 344,86	3 892 100,33	1052	1 045,10	1 046,20
<b>P33</b>	369 467,99	3 892 566,93	1046	1 039,50	1 041,00
<b>P34</b>	369 467,99	3 892 566,93	1056	1 047,40	1 048,00
<b>P35</b>	369 406,43	3 893 036,19	1055	1 052,60	1 053,10
<b>P36</b>	369 252,53	3 893 417,42	1070	1 068,10	1 069,50
<b>P37</b>	368 376,87	3 893 402,37	1107	1 100,00	1 101,40
<b>P38</b>	367 612,63	3 893 912,71	1121	1 120,00	1 121,00
<b>P39</b>	367 180,94	3 893 977,58	1134	1 126,00	1 126,85
<b>P40</b>	366 822,14	3 894 525,18	1134	1 127,00	1 128,60
<b>P41</b>	365 486,99	3 894 908,54	1140	1 128,55	1 129,30

<b>P42</b>	365 308,71	3 894 827,99	1141	1 131,85	1 132,70
<b>P43</b>	365 185,79	3 894 558,65	1136	1 131,40	1 133,10
<b>P44</b>	366 384,91	3 893 869,11	1148	1 134,80	1 135,45
<b>P45</b>	365 288,95	3 894 350,66	1146	1 133,80	1 134,60
<b>P46</b>	365 269,54	3 894 406,41	1144	1 132,45	1 133,20
<b>P47</b>	365 324,27	3 894 513,45	1144	1 132,70	1 133,35
<b>P48</b>	365 085,40	3 894 443,05	1148	1 137,00	1 139,00
<b>P49</b>	365 039,39	3 893 223,48	1099	1 094,80	1 095,80
<b>P50</b>	367 485,90	3 891 994,84	1097	1 094,00	1 095,50
<b>P51</b>	367 277,94	3 891 446,31	1077	1 073,70	1 075,60
<b>P52</b>	368 562,88	3 890 876,01	1062	1 057,35	1 058,20
<b>P53</b>	368 383,38	3 890 715,30	1078	1 075,25	1 076,50
<b>P54</b>	368 125,02	3 889 831,61	1068	1 061,50	1 062,70
<b>P55</b>	368 051,52	3 889 650,88	1067	1 063,16	1 064,60
<b>P56</b>	368 322,82	3 889 508,27	1075	1 070,30	1 071,65
<b>P57</b>	367 923,08	3 888 826,94	1163	1 162,70	1 162,70
<b>P58</b>	364 862,38	3 891 195,44	1113	1 103,00	1 105,30
<b>P59</b>	366 646,67	3 891 714,42	1075	1 072,40	1 074,00
<b>P60</b>	367 283,54	3 889 754,53	1074	1 071,90	1 073,70
<b>P61</b>	367 319,83	3 889 812,55	1110	1 103,50	1 104,10
<b>P62</b>	363 914,12	3 894 953,62	1111	1 107,00	1 107,80
<b>P63</b>	364 045,18	3 894 920,84	1118	1 113,40	1 114,60
<b>P64</b>	364 109,32	3 894 812,02	1114	1 111,85	1 113,40
<b>P65</b>	364 035,70	3 894 794,64	1124	1 119,95	1 121,00
<b>P66</b>	364 349,96	3 894 663,58	1177	1 167,10	1 168,00
<b>P67</b>	363 020,66	3 891 746,95	1141	1 138,00	1 139,20
<b>F1</b>	367 980,15	3 887 704,48	1090	1 088,10	1 089,20
<b>F2</b>	364 093,55	3 889 881,91	1175	1 135,60	1 136,50
<b>F3</b>	363 193,75	3 888 459,48	1137	1 127,85	1 128,20
<b>F4</b>	363 251,22	3 888 409,31	1136	1 128,00	1 130,00
<b>F5</b>	363 890,81	3 887 841,95	1125	1 118,30	1 119,96
<b>F6</b>	365 191,95	3 887 998,16	1112	1 106,40	1 108,00
<b>F7</b>	364 741,09	3 889 172,74	1134	1 125,75	1 127,25
<b>F8</b>	364 376,05	3 889 307,61	1145	1 125,00	1 126,80
<b>F9</b>	365 767,96	3 888 599,74	1102	1 093,90	1 094,60
<b>F10</b>	365 933,35	3 888 313,80	1118	1 096,43	1 097,70
<b>F11</b>	367 494,99	3 886 207,83	1115	1 100,70	1 109,80
<b>F12</b>	370 241,24	3 885 595,03	1239	1 191,47	1 193,50
<b>F13</b>	370 611,13	3 885 962,59	1242	1 190,60	1 192,70
<b>F14</b>	370 665,50	3 886 756,80	1206	1 192,90	1 193,90
<b>F15</b>	370 170,70	3 887 213,74	1167	1 146,55	1 147,20
<b>F16</b>	369 998,23	3 891 958,43	1054	1 042,40	1 044,00
<b>F17</b>	370 094,21	3 893 004,72	1045	1 037,65	1 039,00
<b>F18</b>	369 945,37	3 892 683,31	1045	1 036,80	1 038,00
<b>F19</b>	369 831,27	3 892 490,83	1042	1 039,90	1 041,00
<b>F20</b>	369 717,25	3 892 480,14	1043	1 039,60	1 040,70
<b>F21</b>	369 596,12	3 892 327,82	1047	1 041,55	1 042,60

<b>F22</b>	369 182,35	3 891 711,34	1053	1 046,25	1 047,00
<b>F23</b>	369 277,12	3 891 965,73	1051	1 045,73	1 046,70
<b>F24</b>	369 552,62	3 892 997,10	1053	1 042,00	1 043,10
<b>F25</b>	365 273,82	3 893 503,48	1169	1 150,70	1 151,50
<b>F26</b>	365 409,23	3 893 421,35	1151	1 136,25	1 137,00
<b>F27</b>	365 470,67	3 893 469,74	1150	1 133,95	1 134,80
<b>F28</b>	366 877,85	3 892 808,00	1106	1 081,20	1 082,10
<b>F29</b>	367 316,37	3 892 860,11	1089	1 074,90	1 096,00
<b>F30</b>	367 425,11	3 892 510,32	1085	1 075,00	1 096,60
<b>F31</b>	367 819,75	3 892 328,91	1103	1 092,40	1 093,00
<b>F32</b>	367 468,98	3 891 184,67	1095	1 082,30	1 083,20
<b>F33</b>	367 539,29	3 891 146,67	1095	1 085,00	1 087,00
<b>F34</b>	367 827,43	3 891 120,89	1091	1 083,70	1 085,20
<b>F35</b>	368 035,79	3 890 483,08	1079	1 071,25	1 073,00
<b>F36</b>	367 810,36	3 888 387,94	1079	1 066,90	1 070,20
<b>F37</b>	368 118,68	3 888 525,19	1081	1 072,00	1 074,00
<b>F38</b>	368 438,77	3 890 172,17	1076	1 071,95	1 074,00
<b>F39</b>	368 296,10	3 888 017,27	1095	1 062,55	1 066,90
<b>F40</b>	367 244,27	3 886 032,78	1118	1 095,70	1 102,45
<b>F41</b>	366 577,40	3 886 316,80	1127	1 102,15	1 109,00
<b>F42</b>	366 397,48	3 886 652,24	1128	1 103,00	1 109,50
<b>F43</b>	365 716,51	3 891 620,31	1126	1 113,00	1 115,65
<b>F44</b>	365 975,32	3 891 665,78	1126	1 097,80	1 100,80
<b>F45</b>	366 295,91	3 891 953,77	1111	1 080,85	1 081,20
<b>F46</b> (Artésien)	367 061,83	3 891 033,48	1096	1 096,00	1 096,00
<b>F47</b>	367 443,78	3 889 980,21	1076	1 056,25	1 057,00
<b>F48</b>	367 600,05	3 889 068,91	1114	1 106,75	1 107,60
<b>F49</b>	366 716,59	3 888 724,41	1100	1 086,20	1 088,00
<b>F50</b>	366 902,68	3 890 018,95	1093	1 076,90	1 077,60
<b>F51</b>	367 552,58	3 890 151,18	1084	1 077,40	1 078,30
<b>F52</b>	367 002,16	3 891 795,47	1097	1 090,80	1 091,00
<b>F53</b>	366 080,07	3 892 246,62	1105	1 102,30	1 103,80
<b>F54</b>	365 973,97	3 892 429,99	1124	1 091,80	1 092,20
<b>F55</b>	364 517,96	3 894 731,94	1124	1 117,60	1 118,60
<b>F56</b>	369 456,85	3 893 374,41	1054	1 047,40	1 048,30
<b>S1</b>	370509,07	3885021,16	1273	1273	1273
<b>S2</b>	370106,86	3891593,27	1088	1088	1088
<b>S3</b>	371587,15	3889618,60	1130	1130	1130
<b>S4</b>	368969,86	3887514,49	1123	1123	1123
<b>S5</b>	369791,26	3887237,67	1170	1170	1170
<b>S6</b>	368155,21	3886509,44	1131	1131	1131
<b>S7</b>	367443,52	3893767,27	1102	1102	1102
<b>S8</b>	364620,13	3887852,61	1122	1122	1122
<b>S9</b>	368656,05	3893287,39	1062	1062	1062

### Annexe N° 03 : Résultats des Analyses.

<b>Points d'eau</b> <b>Paramètres</b>	<b>F09</b>	<b>F14</b>	<b>F17</b>	<b>P61</b>	<b>P03</b>	<b>S3</b>
<b>T (°C)</b>	17,3	16,6	17,7	15,6	14,2	15,2
<b>pH</b>	7,74	7,59	7,69	7,84	7,81	7,89
<b>CE</b>	753	20000	642	1097	967	1839
<b>Salinité</b>	0,4	1	0,3	0,5	0,5	0,9
<b>TDS</b>	367	1008	312	540	474	921
<b>Turbidité</b>	0,74	0,84	0,79	0,97	0,99	10
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	49,45	51,49	48,79	65,49	60,84	63,97
<b>MO</b>	0,79	0,87	0,74	0,84	0,74	3,45
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	97	279	94	127	112	174
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	43	174	40	84	71	88
<b>Cl<sup>-</sup></b>	191	354	189	165	171	187
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	211	124,6	209	250,3	35,4	270,7
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	321	425	312	351	341	367
<b>TH</b>	391	987	384	547	563	569
<b>TAC</b>	21	124	20	25	35	27