

# 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 des Sciences de la Nature et de la Vie

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

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

Filière : "Géologie"

Spécialité : "Hydrogéologie"

## Thème

**Impact de la variabilité climatique sur les eaux souterraines de la nappe alluviale de la plaine de Sidi Bel Abbas**

Présenté et soutenu publiquement par :

- Mr. CHIHOUB Mohamed

- Mr. MEZIANI Abdelhak

### Jury:

<b>-President:</b>	Mr. Berrayah Mohammed	MCA	Université de Tiaret
<b>-Promoteur :</b>	Mr. OTMANE Abdelkader	MAB	Université de Tiaret
<b>-Co-Promoteur :</b>	Mr. MOUCHARA Nabil	MAA	Université de Tiaret
<b>-Examineur :</b>	Mr. ZERARKA Abdelkader	MCA	Université de Tiaret

Année universitaire : 2019/2020

## ∞ Dédicaces ∞

*Je dédie ce modeste travail :*

\* *A ma mère qui m'a tant aidé et encouragé.*

\* *A tous mes frères et ma sœur.*

\* *A tous (tes) mes ami(s) (es).*

\* *Toute ma promotion, en générale et tous les étudiants de l'option*

*Hydrogéologie*

## ❧ Remerciement ❧

*Au terme de cette étude, il m'est très agréable d'exprimer mes remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire.*

*Tout d'abord je remercie notre Bon Dieu le tout puissant de m'avoir guidé, aidé et donné la foi et le courage pour accomplir ce travail.*

*J'exprime mes vifs remerciements à mon encadreur monsieur OTMANE Abdelkader, pour sa grande contribution à ma formation, et de m'avoir proposé ce sujet d'actualité.*

*\* A tout le corps enseignant et le personnel d'université Ibn K̄haldoun ;*

*\* Aux membres de jury qui auront à juger et à apprécier ce travail ;*

*\* Je tiens aussi à remercier mes amis qui m'ont aidé pendant la réalisation de projet.*

## ملخص

يقع سهل سيدي بلعباس في غرب الجزائر ويمتد على مساحة 813 كيلومتر مربع ويحتوي على إمكانات مائية كبيرة . للمنطقة لها خصائص المياه الجوفية شبه الحضرية، مع قطاع زراعي واسع النطاق، كما أن ظاهرة التقلبات المناخية التي أثرت على المنطقة ، وتطور الأنشطة الصناعية والزراعية والاستغلال المفرط للمورد قد أثرت سلباً على التوازن الهيدروديناميكي للخزان الجوفي. يعتمد هذا العمل على البيانات الجيوفيزيائية اللازمة لتحديد قياس الأعماق للخزان ، وبيانات هطول الأمطار ، والرطوبة باستخدام المؤشر الإحصائي وخرائط قياس الضغط أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها انخفاضاً ملحوظاً في مستويات الرطوبة بمرور الوقت هذا له تأثير سلبي على سعة المياه الجوفية في الواقع، تبدو كمية الأمطار منخفضة مقارنة بحصة خزانات المياه الجوفية المجاورة من ناحية أخرى، فإن كمياتها السنوية التي تزيد عن 500 مم / سنة يمكن أن تقلل من تزويد المياه الجوفية المجاورة بالإضافة إلى ذلك ، تُظهر هذه الدراسة أن الخزان يتميز بسلوك هيدروديناميكي محدد جيداً ، من خلال شكل حوض طبقة الأساس الصخرية للخزان الجوفي ، والاستغلال المفرط المكثف ، خاصة المصب (منطقة سيدي بلعباس). وهكذا تكيف منسوب المياه الجوفية مع هذا النوع من الاستغلال ، من خلال التجديد المستمر والمنتظم لتدفقات المياه القادمة من الأعلى

**كلمات المفتاحية:** الطبقة الرسوبية ، سيدي بلعباس ، الاستغلال المفرط ، الديناميكا المائية ، الرطوبة ، المكاني والزمني

## Résumé

Située dans l'Ouest de l'Algérie, la plaine de Sidi Bel Abbes s'étend sur une superficie de 813Km<sup>2</sup> et renferme dans son sous-sol un potentiel hydrique assez important pour la région. Elle présente les caractéristiques d'une nappe péri urbaine, avec un secteur agricole étendu. Aussi, le phénomène de la variabilité climatique qui a affecté la région, le développement des activités industrielles et agricoles et la surexploitation de la ressource ont influencés négativement sur l'équilibre hydrodynamique de l'aquifère. Ce travail repose sur une démarche multi-approches utilisant principalement : les données géophysiques nécessaires à la détermination de la bathymétrie du réservoir, les données des précipitations, de l'humidité par utilisation de l'indice statistique SPI, des cartes piézométriques et l'état de consommation de la nappe.

Les résultats obtenus montrent une diminution remarquable du taux d'humidité à l'échelle du temps. Ceci, influence négativement sur la capacité hydrique de la nappe alluviale, et provoque une recharge latérale par les nappes adjacentes (trop plein). En effet, la part de la pluie à la recharge semble faible comparée à celle des nappes avoisinantes. En revanche, les cumuls pluviométriques annuels supérieurs à 500mm/an peuvent diminuer l'apport des nappes avoisinantes.

En plus, cette étude fait apparaitre que la nappe alluviale est caractérisée par un comportement hydrodynamique bien défini, par la forme en cuvette du substratum de la nappe, et la surexploitation intensive, particulièrement en aval (la région de Sidi Bel Abbes). Ainsi, la nappe s'est adaptée à ce genre d'exploitation, à travers le renouvellement continu et systématique des débits d'exhaure par les eaux souterraines en provenance de l'amont (régions caractérisées par un soulèvement du mur).

**Mots-clés :** Nappe alluviale, Sidi Bel Abbes, Surexploitation, Hydrodynamique, Humidité, Spatio-temporelle

## **Abstract**

Located in the west of Algeria, the plain of Sidi Bel Abbas extends over an area of 813Km<sup>2</sup> and contains in its basement a significant water potential for the region.

It has the characteristics of a peri-urban water table, with an extensive agricultural sector. Also, the phenomenon of climatic variability which has affected the region, the development of industrial and agricultural activities and the over exploitation of the resource have negatively influenced the hydrodynamic balance of the aquifer. This work is based on a multi-approach approach using mainly: the geophysical data necessary for the determination of the bathymetry of the reservoir, the data on precipitation, humidity using the statistical index SPI, piezometric maps and the consumption of the tablecloth.

The results obtained show a remarkable decrease in humidity levels over time. This has a negative influence on the water capacity of the alluvial water table, and causes lateral recharge by adjacent water tables (overflow). Indeed, the share of rain during recharge seems low compared to that of neighboring water tables. On the other hand, annual rainfall amounts greater than 500mm / year can reduce the contribution of neighboring aquifers.

In addition, this study shows that the alluvial aquifer is characterized by a well-defined hydrodynamic behavior, by the basin shape of the aquifer bedrock, and intensive overexploitation, particularly downstream (the region of Sidi Bel Abbas). Thus, the water table has adapted to this type of exploitation, through the continuous and systematic renewal of dewatering flows by groundwater coming from upstream

**Keywords** : Alluvial layer, Sidi Bel Abbas, Overexploitation, Hydrodynamics, Humidity, Spatio-temporal

# Table des matières

1. Introduction.....	1
<b>Chapitre I : Présentation de la zone d'étude</b>	
1. Situation géographique :.....	2
1.1. Situation régionale :.....	2
1.1.1. La géomorphologie de la wilaya de Sidi Bel Abbas :.....	3
1.2. Présentation de la zone d'étude.....	4
1.2.1. Réseau hydrographique :.....	5
1.2.2. La morphométrie de la plaine alluviale :.....	6
1.2.3. Types des sols.....	7
1.2.4. Occupation du sol.....	8
2. Etude de climat.....	9
2.1. Les précipitations :.....	9
2.1.1. Evolution mensuelle des précipitations.....	9
2.1.2. Evolution annuelle des précipitations.....	10
2.2. La Température :.....	11
2.3. Les vents :.....	12
2.4. L'humidité relative de l'air :.....	12
2.5. Synthèse climatique :.....	13
2.5.1. Méthode graphique (Diagramme ombrothermique):.....	13
2.5.2. Indices climatiques :.....	14
3. Conclusion.....	15
<b>Chapitre II : Géologie et hydrogéologie</b>	
1. Introduction.....	17
2. Cadre géologique régional :.....	17
3. Cadre géologique du secteur d'étude.....	18
3.1. Bordure Nord :.....	19
3.1.1. Crétacé supérieur.....	19
3.1.2. Mio-Pliocène.....	19
3.2. Bordure Sud.....	19
3.3. Bordure Ouest.....	20
3.4. Bordure Est.....	20
3.5. Le centre de la plaine :.....	20
4. La litho-stratigraphie :.....	20
4.1. Quaternaire :.....	20
4.2. Plio-Quaternaire.....	21
4.3. Cénozoïque.....	21
4.4. Mésozoïque.....	21
4.4.1. Le Crétacé moyen et supérieur.....	21
4.4.2. L'Aptien.....	22
4.4.3. Le Barrémien.....	22
4.4.4. L'Hauterivie.....	22
4.4.5. Berriasien – Valanginien.....	22
4.4.6. Le Portlandien.....	22
4.4.7. Le Kimméridgien supérieur.....	22
4.4.8. Le Trias.....	22
5. Tectonique.....	23
5.1. Interprétation des coupes géologiques schématisées.....	25
6. Hydrogéologie.....	26
6.1. Description des formations aquifères.....	26
6.1.1. Nappe Plio-Quaternaire.....	26
6.1.2. Nappe des calcaires et dolomies du Jurassico-Crétacé.....	26
6.1.3. Nappe des calcaires Eocènes.....	27
6.1.4. Nappe des Grès Pliocène.....	27

6.2.	<i>Etude piézométrique</i> .....	28
6.3.	<i>Transmissivité :</i> .....	29
6.4.	<i>Coefficient d'emmagasinement :</i> .....	29
7.	<i>Conclusion :</i> .....	30

### **Chapitre III : Impact de la variabilité climatique sur les eaux souterraines de la nappe alluviale de Sidi Bel Abbes**

1.	<i>Introduction</i> .....	31
2.	<i>Données et Méthodes</i> .....	31
2.1.	<i>Données</i> .....	31
2.2.	<i>Méthodes</i> .....	32
2.2.1.	<i>Indice Standardisé des Précipitations</i> .....	32
3.	<i>Résultats et discussion</i> .....	33
3.1.	<i>Evolution spatio-temporelle d'humidité (1971-2010)</i> .....	33
3.2.	<i>Evolution spatiale d'humidité pour chaque période</i> .....	35
3.3.	<i>Etude de la fluctuation de la nappe</i> .....	36
3.3.1.	<i>Cartes piézométriques</i> .....	36
3.3.2.	<i>Evolution spatiotemporelle de la fluctuation de la nappe</i> .....	37
3.4.	<i>Impact de la variabilité spatiotemporelle d'humidité sur le comportement hydrodynamique de la nappe</i> .....	39
4.	<i>Conclusion</i> .....	44
	<i>Conclusion générale</i> .....	45
	<i>Références Bibliographiques :</i> .....	46
	<i>Annexe 1</i> .....	49
	<i>Annexe 2</i> .....	51

## Liste des figures

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

Figure I. 1. Situation orographique de la plaine de Sidi Bel Abbès (OTMANE 2019) .....	2
Figure I. 2. Situation géographique de la wilaya de Sidi Bel Abbès.....	3
Figure I. 3. Géomorphologie de la wilaya de Sidi Bel Abbès .....	4
Figure I. 4. Localisation de la nappe alluviale de la plaine de Sidi Bel Abbès.....	5
Figure I. 5. Le réseau hydrographique (OTMANE 2018).....	6
Figure I. 6. La carte hypsométrique de la plaine alluviale de Sidi Bel Abbès .....	7
Figure I. 7. Carte des sols de la plaine de Sidi Bel Abbès (Bellaradj 2019).....	8
Figure I. 8. Répartition spatiale des différentes occupations des sols .....	9
Figure I. 9. Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station de Sidi Bel Abbès (2009-2018) .....	10
Figure I. 10. Variation des précipitations annuelles à la station de Sidi Bel Abbès (2009-2018).....	11
Figure I. 11. Variations des températures moyennes, maximales et minimales mensuelles à la station de Sidi Bel Abbès (2009-2018).....	11
Figure I. 12. Variations des vitesses moyens mensuels du vent à la station de Sidi Bel Abbès (2009-2018).....	12
Figure I. 13. Variation de l'humidité moyenne mensuelle à la station de Sidi Bel Abbès (2009-2018).....	13
Figure I. 14. Diagramme ombrothermique (2009-2018).....	14
Figure I. 15. Abaque de De Martonne .....	15

### Chapitre II : Géologie et hydrogéologie

Figure II. 1. Carte des structures géologiques en Oranie (Agence nationale de l'aménagement du territoire 2000) .....	18
Figure II. 2. Esquisse géologique de la plaine de Sidi Bel Abbès (Sourisseau 1972).....	19
Figure II. 3. Colonne stratigraphique synthétique de la plaine de Sidi Bel Abbès (DRE-Sidi Bel Abbès in Bensedjad A 2011).....	23
Figure II. 4. Coupe géologique dans la plaine de Sidi Bel Abbès (Sourisseau B 1971 in Otmane A 2015) .....	25
Figure II. 5. Aquifères du complexe hydrogéologique de la plaine de Sidi Bel Abbès (DEMREH 1974 in OTMANE 2019).....	27
Figure II. 6. Cartes piézométriques de la nappe alluviale de Plio-quaternaire.....	28
Figure II. 7. Carte de transmissivité de la nappe alluviale de Plio-quaternaire (Sourisseau 1974) .....	29

### Chapitre III : Impact de la variabilité climatique sur les eaux souterraines de la nappe alluviale de Sidi Bel Abbès

Figure III. 1. Relevé des données manquantes par station et par année.....	31
Figure III. 2. Répartition spatiale de la pluie durant la période 1971-2010 .....	32
Figure III. 3. L'évolution temporelle des valeurs moyennes annuelles des SPI pour les six stations durant la période (1971-2010) et les sous-périodes considérées.....	34
Figure III. 4. Répartition spatiotemporelle du taux d'humidité par rapport à l'ensemble de la série d'observation .....	35
Figure III. 5. Répartition spatiotemporelle du taux d'humidité par rapport à chaque période séparément .....	36
Figure III. 6. Evolution temporelle de la piézométrie au niveau de la plaine alluviale de Sidi Bel Abbès .....	37
Figure III. 7. Evolution spatiotemporelle de la fluctuation de la nappe .....	38
Figure III. 8. Evolution spatiale de la fluctuation de la nappe et l'humidité durant la période 1971-1983.....	39

<i>Figure III. 9. La morphométrie de substratum de la nappe alluviale .....</i>	<i>40</i>
<i>Figure III. 10. Evolution spatiale de la fluctuation de la nappe et l'humidité durant la période 1983-1996.....</i>	<i>41</i>
<i>Figure III. 11. Evolution spatiale de la fluctuation de la nappe et l'humidité durant la période 1996-2010.....</i>	<i>41</i>
<i>Figure III. 12. Evolution spatiale des précipitations et les conditions humides durant les années 2008-2009 et 2009-2010 .....</i>	<i>42</i>
<i>Figure III. 13. Evolution spatiale de la fluctuation de la nappe et l'humidité durant l'ensemble de la période d'observation.....</i>	<i>43</i>
<i>Figure III. 14. Evolution spatiale de la transmissivité (Sourisseau 1972).....</i>	<i>44</i>

## **Liste des tableaux**

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

<i>Tableau I. 1. Les précipitations moyennes mensuelles à la station de Sidi Bel Abbes durant la période 2009-2018 (DRE / Sidi Bel Abbes).....</i>	<i>10</i>
<i>Tableau I. 2. Les précipitations annuelles à la station de Sidi Bel Abbes durant la période 2008-2018 (DRE / Sidi Bel Abbes).....</i>	<i>10</i>
<i>Tableau I. 3. Les températures moyennes, maximales et minimales mensuelles à la station de Sidi Bel Abbes durant la période 2009-2018 (DRE Sidi Bel Abbes).....</i>	<i>11</i>
<i>Tableau I. 4. Vitesses moyens mensuels du vent à la station de Sidi Bel Abbes (2009-2018).....</i>	<i>12</i>
<i>Tableau I. 5. L'humidité moyenne mensuelle à la station de Sidi Bel Abbes (2009-2018).....</i>	<i>13</i>
<i>Tableau I. 6. Les températures et les précipitations moyennes mensuelles à la station de Sidi Bel Abbes (2009-2018).....</i>	<i>13</i>
<i>Tableau I. 7. Classification des climats et la végétation en fonction de l'indice d'aridité annuel (I).....</i>	<i>14</i>

### **Chapitre III : Impact de la variabilité climatique sur les eaux souterraines de la nappe alluviale de Sidi Bel Abbes**

<i>Tableau III. 1. Caractéristiques des stations pluviométriques .....</i>	<i>31</i>
<i>Tableau III. 2. Classification de la sécheresse en rapport avec la valeur de l'indice standardisé des précipitations (SPI).....</i>	<i>33</i>
<i>Tableau III. 3. Fréquences (en %) d'apparition des conditions climatiques durant les périodes 1971-1983, 1983-1996 et 1996-2010, en considérant toute la série d'observation.....</i>	<i>34</i>

# Introduction

## 1. Introduction

Selon le Groupe d'Expert Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC), le changement climatique s'entend d'une variation de l'état du climat que l'on peut déceler (par exemple au moyen de tests statistiques) par des modifications de la moyenne et/ou de la variabilité de ses propriétés et qui persiste pendant une longue période, généralement pendant des décennies ou plus. Il se rapporte à tout changement du climat dans le temps, qu'il soit dû à la variabilité naturelle ou à l'activité humaine.

Les études portant sur la variabilité et les changements climatiques ont intéressé la communauté mondiale suite à plusieurs manifestations climatiques de grande ampleur. Parmi celles-ci, on note la sécheresse qui a touché les deux bandes tropicales de notre planète (surtout les pays sahéliens d'Afrique de l'Ouest) ;(J. Sircoulon, 1976). À cette sécheresse, s'ajoutent les constatations de l'Organisation Mondiale de la Météorologie (OMM) sur le réchauffement de la planète, supérieur à 0,7 °C, depuis le début du siècle dernier.

A l'échelle régionale, la zone méditerranéenne a subi des variations climatiques sans précédent, caractérisées par des tendances décroissantes de la pluviométrie (Xoplaki et al., 2004 ; Cudennec et al., 2007 ; Nassopoulos, 2012). L'Algérie pays de la rive sud de la méditerranée est confrontée à un manque d'eau important dû aux faibles précipitations, et à la sécheresse qui sévit d'année en année face à des besoins qui ne cessent d'augmenter. De nombreuses études l'ont suffisamment montré (Meddi et al., 2009 ; Ghenim et Megnounif, 2013 ; Nouaceur et al., 2013 ; El Mahi et al., 2014 ; Gherissi, 2018 ; Otmane et al., 2018).

Face à cette faiblesse de la ressource d'eau superficielle, plusieurs pays à travers le monde se sont rabattus sur les eaux souterraines ; ce qui a mis cette ressource sous grande pression. En Algérie du Nord par exemple, la moyenne d'exploitation des aquifères était estimée en 2002 à environ 80% (Boudjadja et al., 2003).

Dans ce contexte, le nord-ouest algérien et particulièrement la nappe alluviale du Plio-quadernaire de Sidi Bel Abbès ne s'échappe pas à ce genre d'exploitation. D'après la Direction des Ressources en Eaux de Sidi Bel Abbès en 2011, la capacité de la nappe alluviale est de 10.65 hm<sup>3</sup>, tandis que le volume d'exploitation annuel, uniquement pour l'alimentation des eaux potables (AEP) est d'ordre de 5.0 hm<sup>3</sup>/an. Le reste est destiné à l'irrigation des terres agricoles. La faible potentialité hydrique de la nappe est affectée par des baisses piézométriques significatives depuis le début des années 70s.

Pour une meilleure gestion de la nappe du Plio-quadernaire de Sidi Bel Abbès, il est indispensable de comprendre l'évolution spatiotemporel de la nappe depuis les années 70s et d'adopter une stratégie compatible aux multirisques qu'a connue la région (sécheresse, croissance des besoins en eaux...), c'est dans cette perspective que ce modeste travail a été réalisé.

# **Chapitre I**

## **Présentation de la zone d'étude**

**1. Situation géographique :**

**1.1. Situation régionale :**

La plaine de Sidi Bel Abbès, se situe, entre l'Atlas tellien au Nord et le massif tabulaire de Tlemcen-Saida (bordure septentrionale des hauts plateaux) au Sud, elle couvre une superficie de 1180 Km<sup>2</sup> avec une direction SW-NE. Elle fait suite à la plaine d'Hennaya-Isser à l'Ouest et se prolonge vers l'Est par la plaine de Mascara dont elle est limitée par l'étranglement de Sfisef (Fig. I.1).

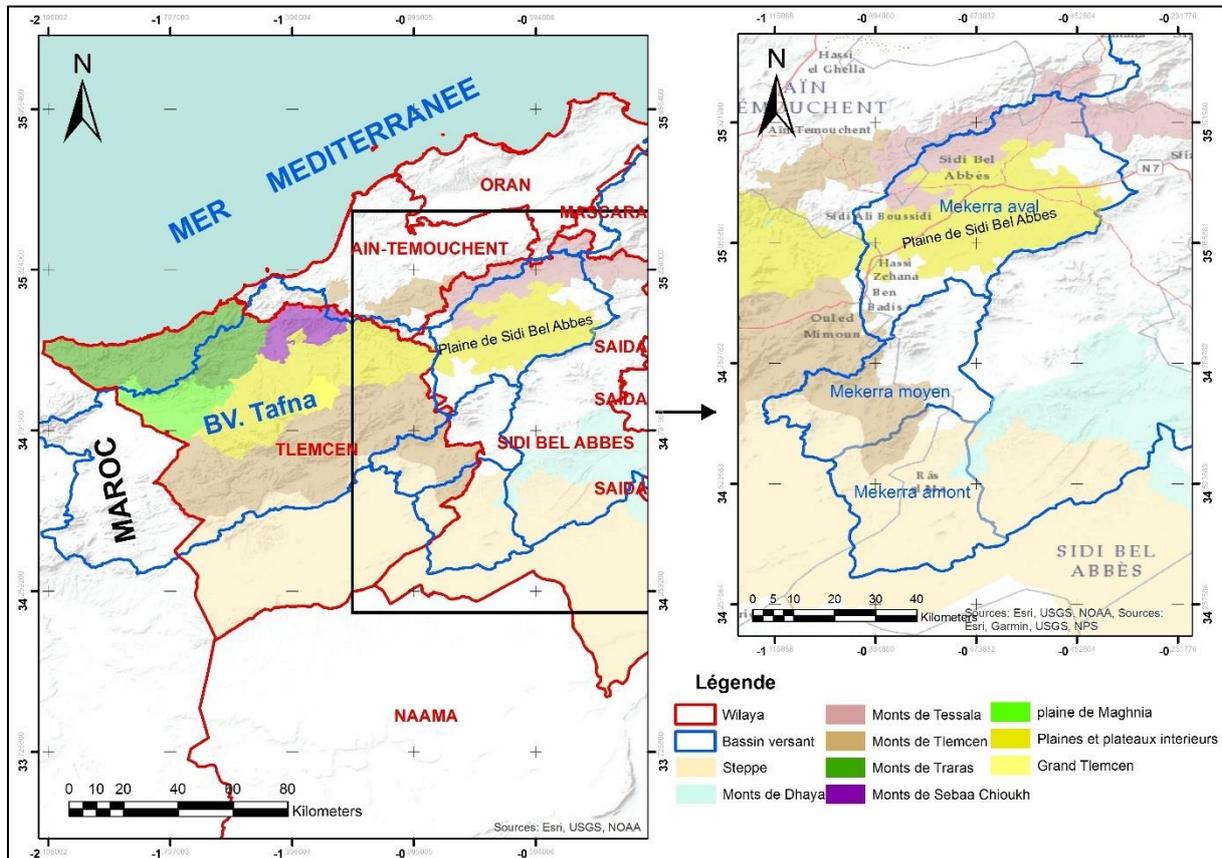


Figure I. 1. Situation orographique de la plaine de Sidi Bel Abbès (OTMANE 2019)

Cette plaine correspond au bassin versant de L'aval Mekerra entre la cluse de Sidi Ali Ben Youb et le seuil du Rocher en aval de la Ville de Sidi Bel Abbès.

La wilaya de Sidi Bel Abbès est une wilaya importante par sa population et ses diverses potentialités, agricoles et industrielles. Elle comporte 15 daïras et 52 communes.

Elle est située au nord-ouest de l'Algérie, et délimitée comme suit (Fig. I. 2) :

- Au nord par la wilaya d'Oran
- Au nord-ouest par la wilaya d'Aïn Temouchent ;
- Au nord est par la wilaya de Mascara ;
- À l'ouest par la wilaya de Tlemcen ;
- À l'est par les wilayas de Mascara
- Au sud par les wilayas de Nâama et El-Bayad et au sud est par la wilaya de Saida

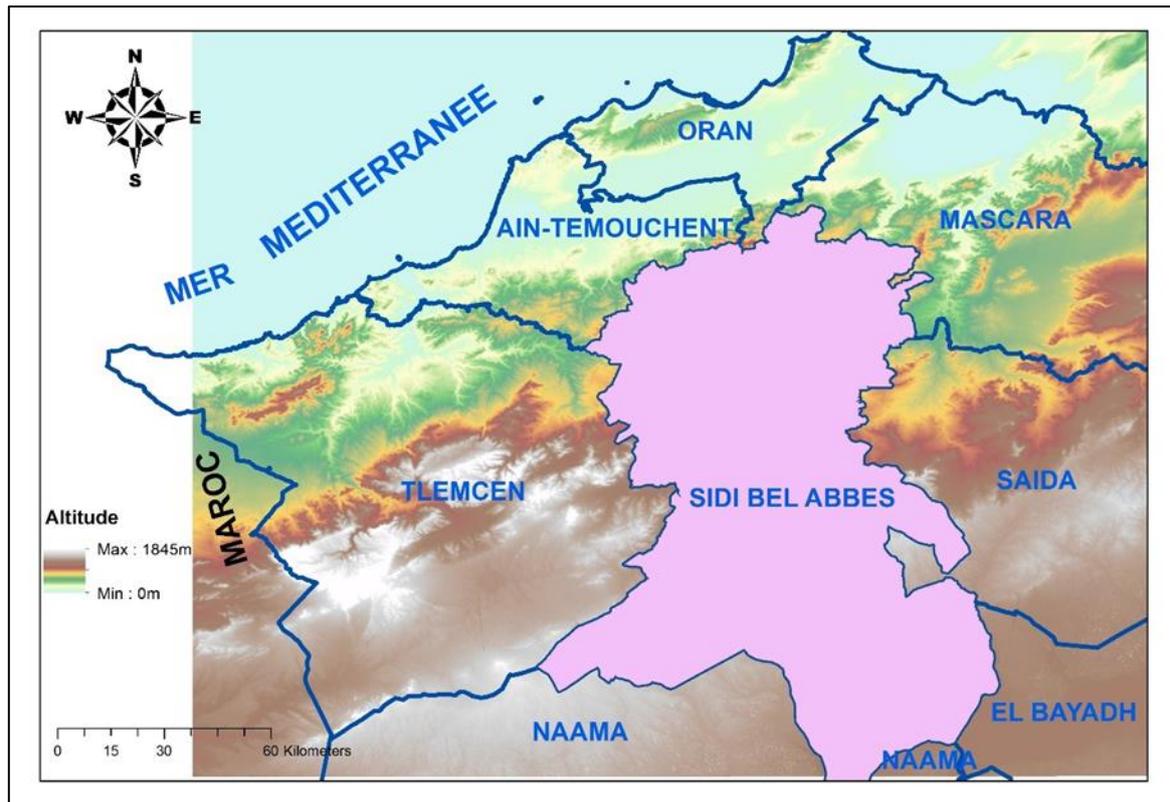


Figure I. 2. Situation géographique de la wilaya de Sidi Bel Abbès

### 1.1.1. La géomorphologie de la wilaya de Sidi Bel Abbès :

La chaîne montagneuse de Tessala s'étend sur une cinquantaine de kilomètres et se maintient à une altitude moyenne de 800 m (cime des Tessala : 1061 m) (Fig. I. 3).

Au Sud de la plaine, les Monts de Dhaya formés par des terrains tertiaires reposant sur les puissantes assises calcaires du Jurassique, atteignent 1378 m d'altitude au sommet du Dj Tzenga. Comparée à la M'leta, la plaine de Sidi Bel Abbès se caractérise par une moyenne d'altitude plus importante, d'où le terme de « haute plaine » de Sidi Bel Abbès retrouvé parfois dans la bibliographie de la région.

#### a) Les zones de montagnes :

Elles couvrent une superficie totale de l'ordre de 2250.37 km<sup>2</sup> soit 24.59% de la wilaya. Elles occupent au nord, les monts de Tessala, de Beni Chougrane sur environ 864.20 km<sup>2</sup> et la partie centrale de la wilaya par les monts de Dhaya environ 1386.16 km<sup>2</sup>. (D.P.A.T. 2013) (Fig. I. 3).

#### b) Les zones de plaine :

Elles couvrent une superficie totale de 3239.44 km<sup>2</sup> soit 35.40 km<sup>2</sup> de l'espace de la wilaya. Elles sont représentées par la plaine de Sidi Bel Abbès environ 1180 km<sup>2</sup> dont l'altitude varie entre 400 et 800 m et les hautes plaines de Telagh environ 1136.59 km<sup>2</sup> dont l'altitude varie de 400 à 1000 m. (D.P.A.T. 2013)

#### c) Les zones de steppe :

Elles constituent le sud de la wilaya et occupent une superficie totale de l'ordre de 3660.82 km<sup>2</sup> soit 40% de l'espace de la wilaya dont l'altitude varie de 1000 à 1400 m. (D.P.A.T. 2013) (Fig. I. 3).

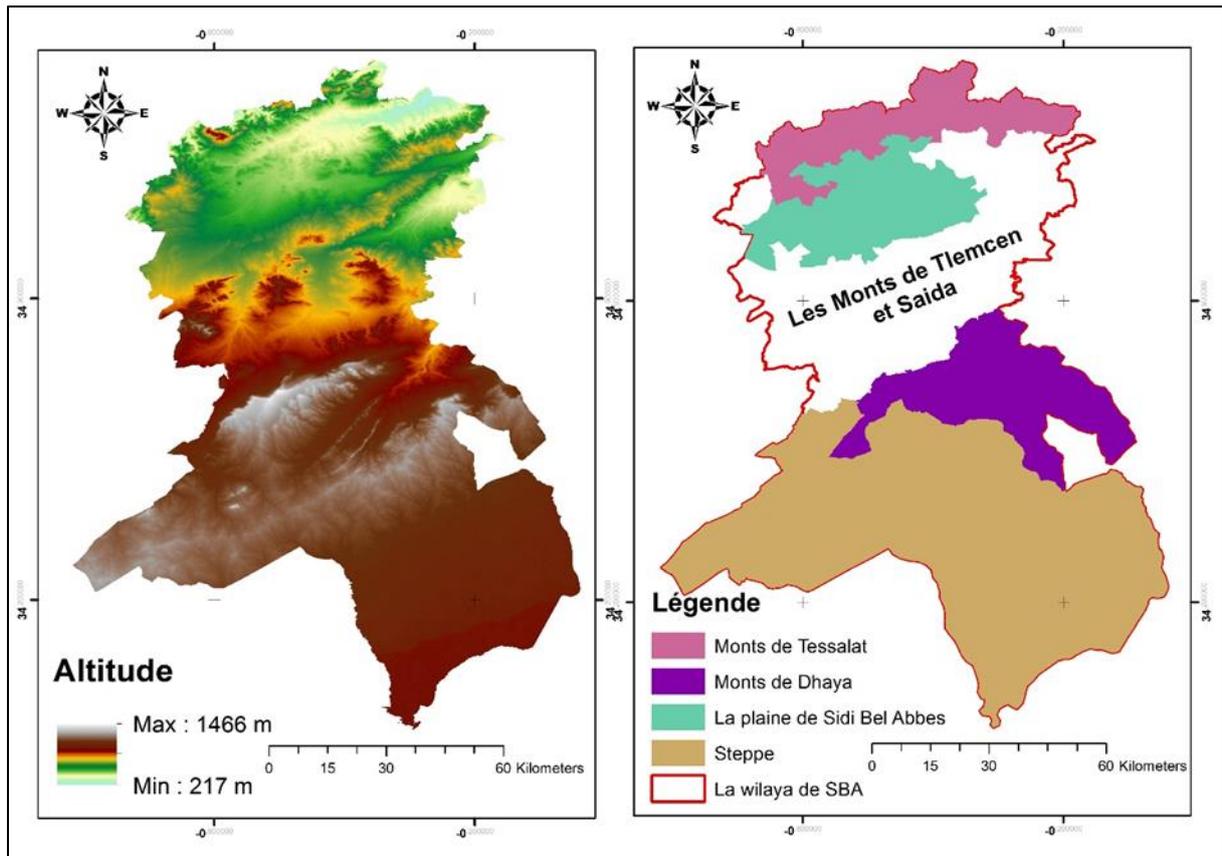


Figure I. 3. Géomorphologie de la wilaya de Sidi Bel Abbes

### 1.2. Présentation de la zone d'étude

Notre étude porte sur la nappe alluviale de la plaine de Sidi Bel Abbes, située au nord-ouest de l'Algérie (fig. I. 4), entre les latitudes nord  $34^{\circ}86'$  et  $35^{\circ}22'$  et les longitudes ouest  $0^{\circ}94'$  et  $0^{\circ}32'$ . Géographiquement, la région d'étude est limitée par les Monts de Tessala au nord, le massif tabulaire de Tlemcen et Saïda au sud, le bassin de l'oued Isseur à l'ouest et les Monts de Béni Chougrane et Bouhanifia à l'est.

La ville se déploie sur les rives de la Mekerra et de l'oued Sarno. Elle se situe au centre d'une vaste plaine ondulée de 500 m d'altitude en moyenne.

L'oued Mekerra sillonne la plaine de Sidi Bel Abbes du sud au nord sur une distance d'environ 50Km (fig. I. 4).

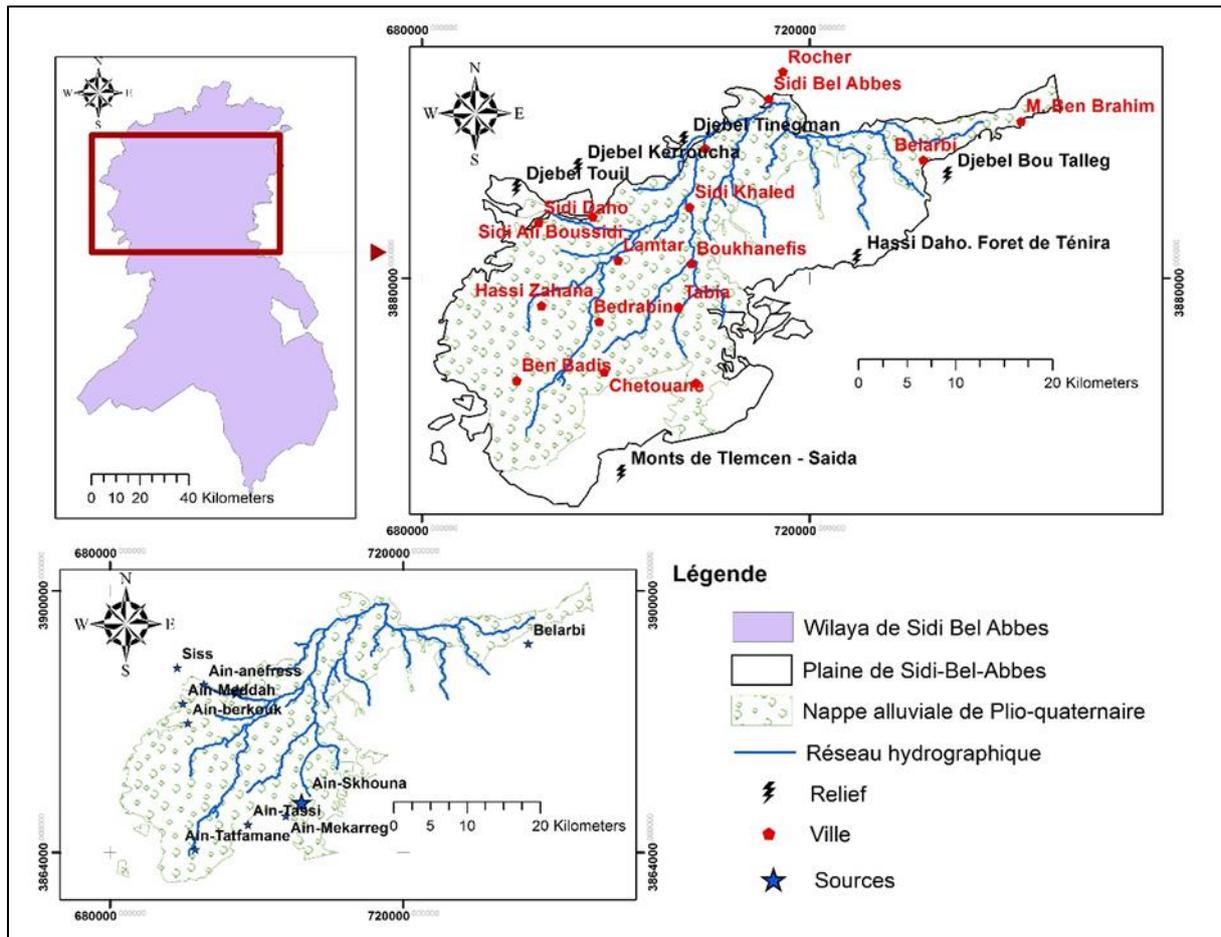


Figure I. 4. Localisation de la nappe alluviale de la plaine de Sidi Bel Abbès

**1.2.1. Réseau hydrographique :**

La nappe alluviale de la plaine de Sidi Bel Abbès est traversée du sud vers le nord par l'oued Mekerra. Son cours, plus ou moins rectiligne dans les Monts de Saïda, régime semi-torrentiel, devient sinueux dès son entrée dans la plaine. Au niveau de la ville de Sidi Bel Abbès, l'écran imperméable que forment les Monts du Tessala oblige la rivière à s'incliner de 90° pour trouver plus loin un exutoire vers le nord au lieu dit 'le Rocher' (Fig. I. 5). En aval la topographie s'inverse et le lit de l'oued entaille profondément la nappe alluvionnaire.

Le réseau hydrographique est jeune, peu développé, et en cours de formation.

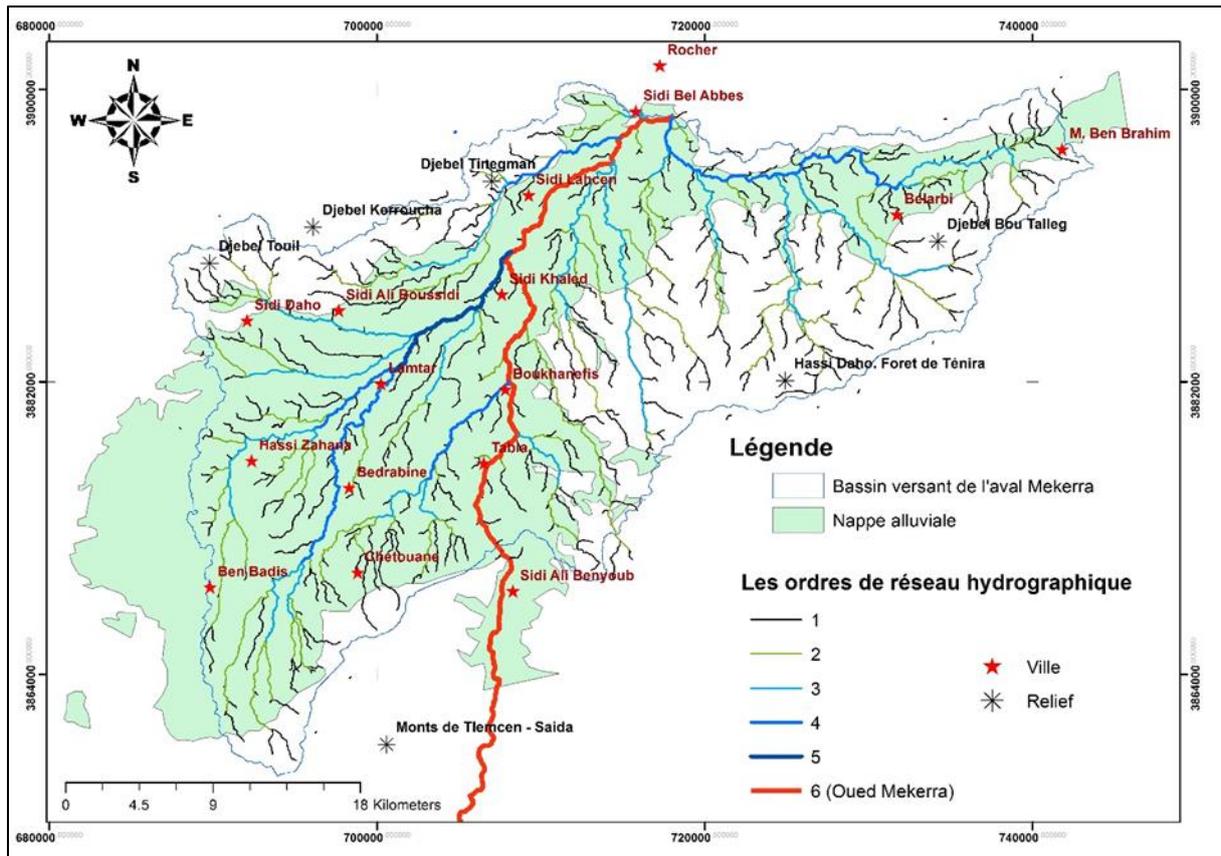


Figure I. 5. Le réseau hydrographique (OTMANE 2018)

### 1.2.2. La morphométrie de la plaine alluviale :

La plaine alluviale de Sidi Bel Abbès comprend : la plaine de Sidi Bel Abbès proprement dite, ancienne cuvette marécageuse ; la plaine de Belarbi qui en est, le prolongement à l'est ; la plaine de Boukhanefis-Tabia située au sud et à topographie assez accidentée et la plaine de Hassi Zahana au niveau le plus élevé, à relief largement ondulé (Fig. I. 6).

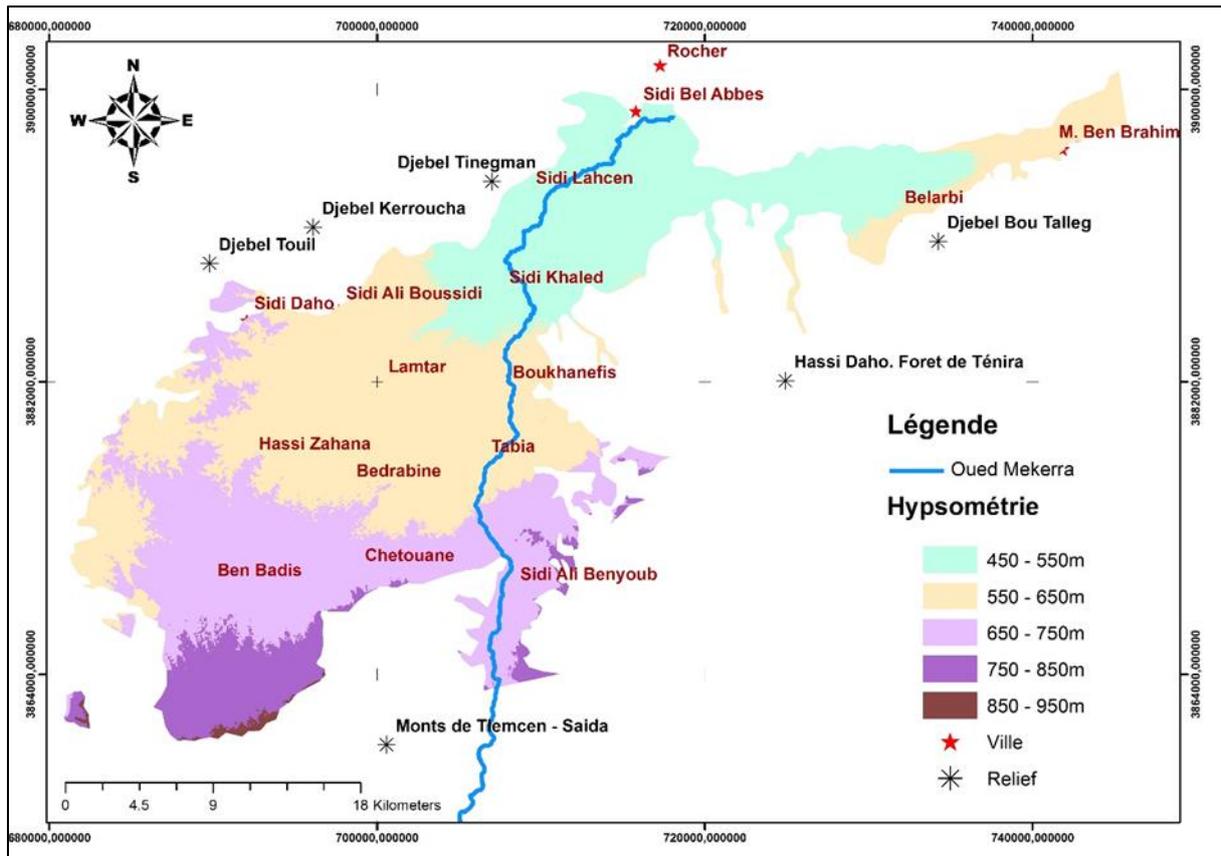


Figure I. 6. La carte hypsométrique de la plaine alluviale de Sidi Bel Abbas

### 1.2.3. Types des sols

La description et la caractérisation des profils pédologiques complétées par des analyses physico-chimiques ont permis d'identifier les grandes unités de sols qui composent la couverture pédologique des espaces agricoles.

Il a été identifié trois classes de sols et huit groupes (Fig. I. 7) :

- Sols peu évolués : sols d'apport alluvial, sols d'apport colluvial
- Sols calcimagnésiques : Rendzines, sols bruns calcaire, sols bruns calcaire rendzinifères, sols bruns calcaire noircis
- Sols à sesquioxyde de fer : sols rouges à horizon calcaire, sols rouges bruns

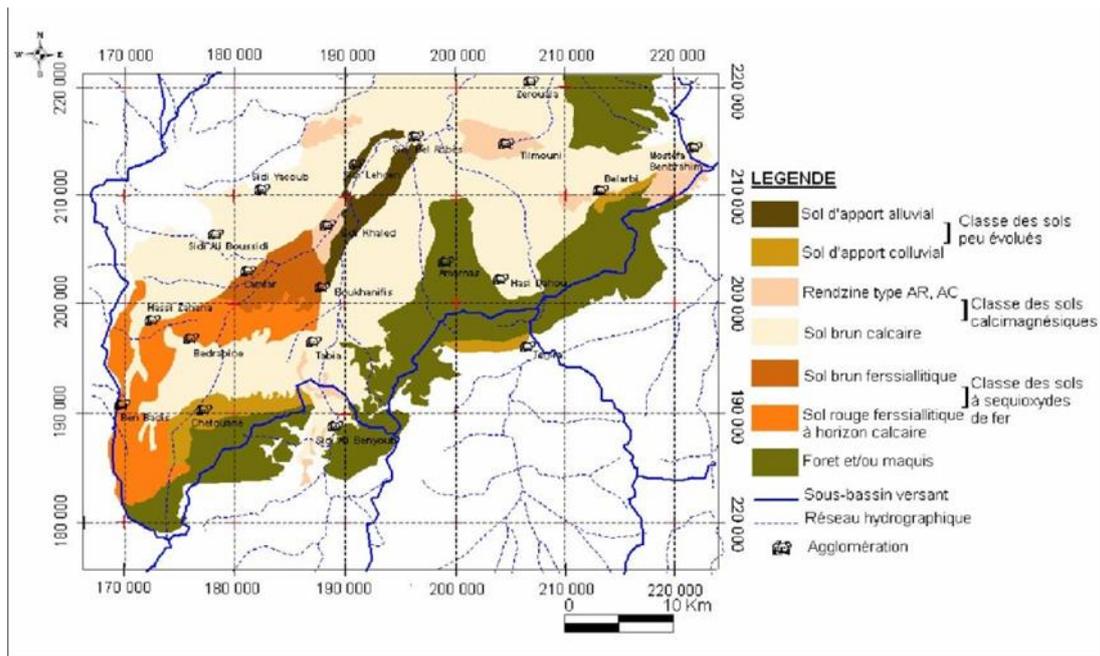


Figure I. 7. Carte des sols de la plaine de Sidi Bel Abbas (Bellaradj 2019)

#### 1.2.4. Occupation du sol

La carte d'occupation du sol de la plaine alluviale de Sidi Bel Abbas (fig. I. 8) a été réalisée à l'aide du logiciel ENVI 5, à partir de données spatiales issues du capteur Landsat 8 le 14/03/2016.

L'analyse de la carte d'occupation des sols (Fig. I. 8) nous permet de déduire que notre zone d'étude est pourvue d'une couverture dominée par l'agriculture.

Comme la majorité des espaces en Algérie, la plaine de Sidi Bel Abbas connaît des dégradations continues de ses patrimoines causés par la surexploitation remarquable (plus de 90% de cultures), l'extension anarchique de l'urbanisation et surtout par les incendies, entraînant ainsi une accélération de l'érosion.

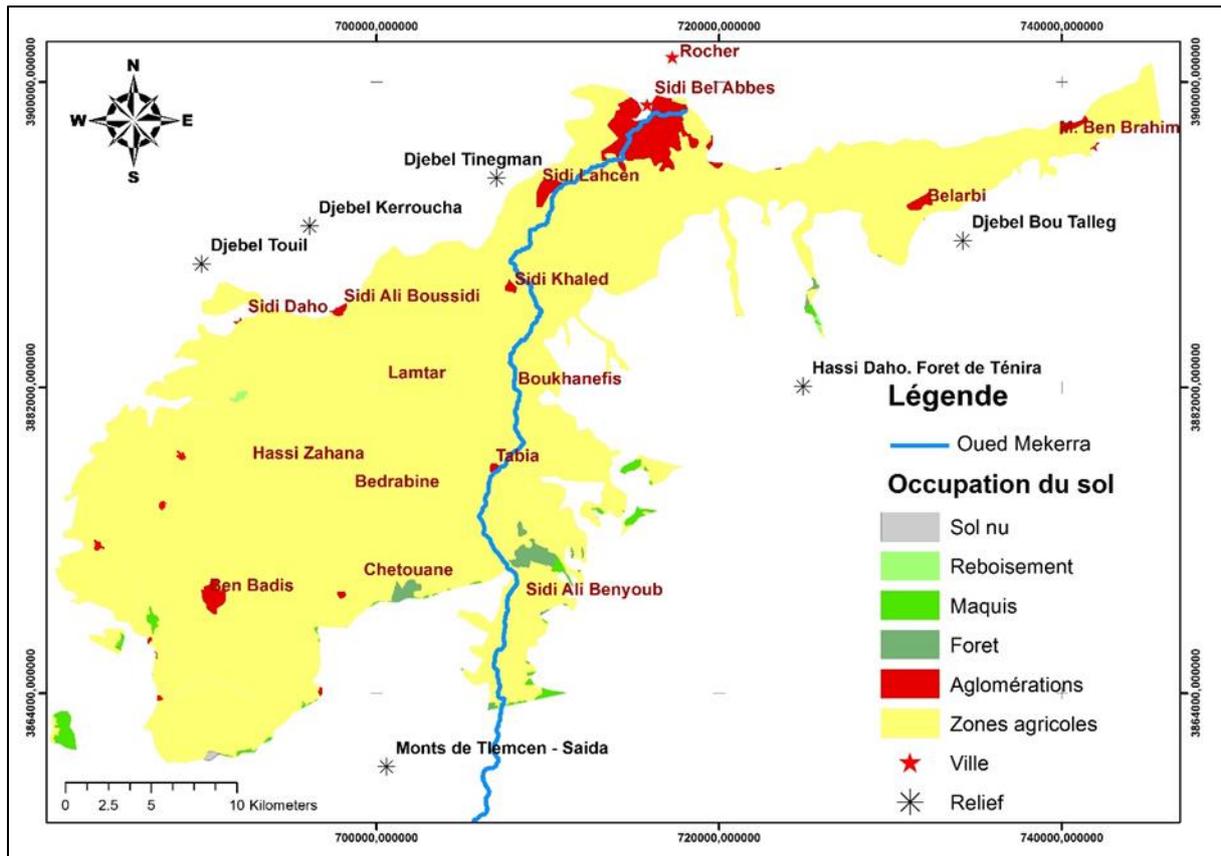


Figure I. 8. Répartition spatiale des différentes occupations des sols

## 2. Etude de climat

Le climat, c'est l'ensemble des phénomènes météorologiques observés dans le passé et qu'on s'attend d'observer encore sur une longue période. On peut le définir aussi comme « la probabilité d'occurrence de divers états de l'atmosphère dans un lieu ou une région, au cours d'une certaine période donnée » (Gibbs, 1987).

Les conditions climatiques jouent un rôle important dans les comportements hydrologiques des cours d'eau et des conditions de recharge des aquifères

Comme tout le nord algérien la wilaya de Sidi Bel Abbès a subi d'importantes modifications : diminution de la pluviosité, dégradation de l'environnement, détérioration de la fertilité des sols etc. Cette hétérogénéité se traduit-elle au niveau du climat ? C'est ce que nous essayerons d'éclaircir dans cette partie.

### 2.1. Les précipitations :

Les précipitations sont le facteur le plus important dans l'alimentation des nappes souterraines et le comportement hydrologique.

#### 2.1.1. Evolution mensuelle des précipitations

L'étude est basée sur les données de précipitation à la station météorologique de Sidi Bel Abbès durant 10 ans (2009/2018).

Le tableau ci-dessous regroupe les valeurs des hauteurs des précipitations mensuelles de la station de Sidi Bel Abbès.

Tableau I. 1. Les précipitations moyennes mensuelles à la station de Sidi Bel Abbès durant la période 2009-2018 (DRE / Sidi Bel Abbès)

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Moy
P(mm)	73,64	55,4	75,7	67,7	42,9	21,5	10,7	16,2	35,2	39,6	59,4	41,2	44,9

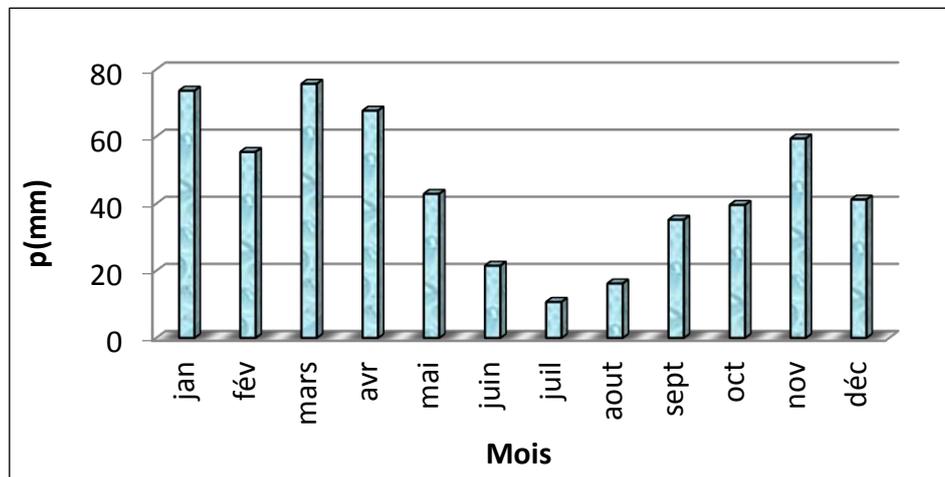


Figure I. 9. Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station de Sidi Bel Abbès (2009-2018)

D'après le tableau I. 1 et la figure I. 9, on observe que le mois le plus pluvieux est le mois de mars avec une précipitation moyenne mensuelle de 75,7mm et le mois le plus sec c'est le mois de juillet avec une valeur de 10,7mm. La précipitation moyenne mensuelle à la station de Sidi Bel Abbès pendant la période 2009-2018 est de l'ordre de 44,9mm.

### 2.1.2. Evolution annuelle des précipitations

Les valeurs des précipitations annuelles sont présentées au tableau suivant :

Tableau I. 2. Les précipitations annuelles à la station de Sidi Bel Abbès durant la période 2008-2018 (DRE / Sidi Bel Abbès)

Année	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Moyenne
P(mm)	628	577	445	608	531	338	489	469	460	856	540.1

La moyenne annuelle pluviométrique dans cette région pendant les 10 ans est de 540,1mm.

D'après le tableau I. 2 et la figure I. 10, nous avons remarqué que les précipitations annuelles minimum enregistrées en 2014 (338 mm), et le maximum enregistré en 2018 avec une valeur de 856mm.

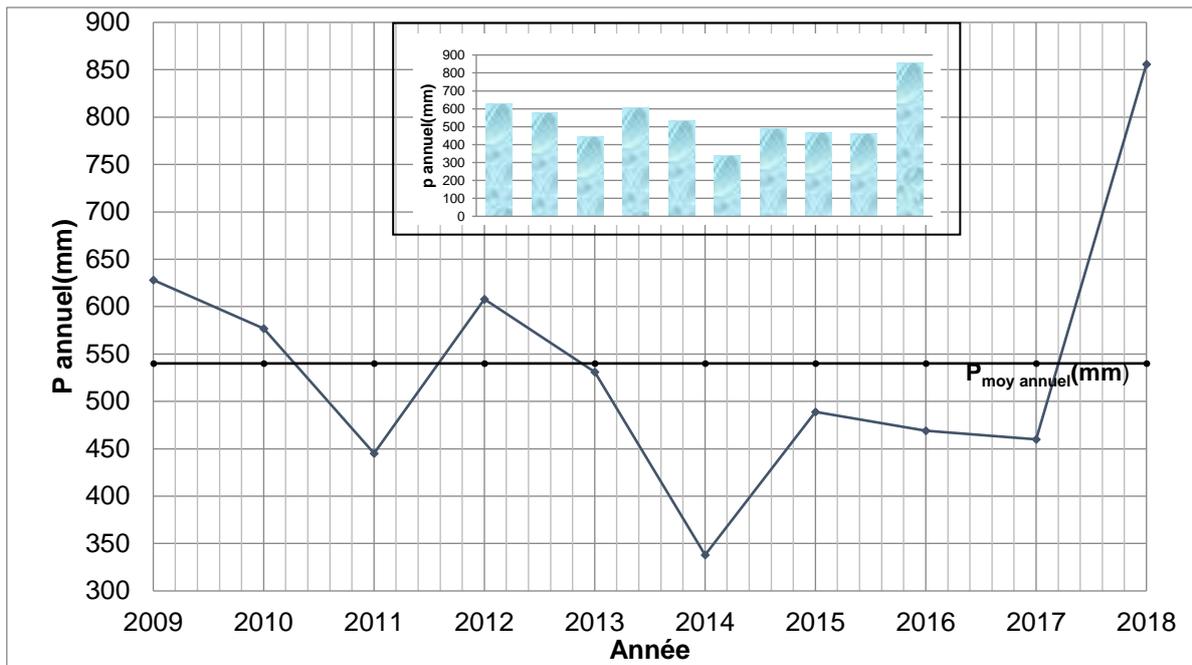


Figure I. 10. Variation des précipitations annuelles à la station de Sidi Bel Abbès (2009-2018)

**2.2.La Température :**

La température est aussi un facteur important qui détermine le climat en interaction avec les autres facteurs météorologiques. Elle permet avec les précipitations le calcul du déficit d'écoulement et des indices climatiques.

Le tableau suivant présente Les températures moyennes, maximales et minimales mensuelles pendant les 10 ans à partir de 2009 jusqu'à 2018 à la station de Sidi Bel Abbès.

Tableau I. 3. Les températures moyennes, maximales et minimales mensuelles à la station de Sidi Bel Abbès durant la période 2009-2018 (DRE Sidi Bel Abbès)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sept	Oct	Nov	Déc
<i>Tmax (°C)</i>	15,6	15,9	19	23,1	26,5	31,3	35,7	35,6	30,6	26,7	20,4	17,4
<i>Tmin (°C)</i>	7,7	7,1	8,4	11,8	16,6	21,2	25,8	25,7	22	17,7	12,5	9,2
<i>Tmoy(°C)</i>	11,7	11,5	13,7	17,3	21,6	26,4	31	30,9	26	22,3	16,3	13,3

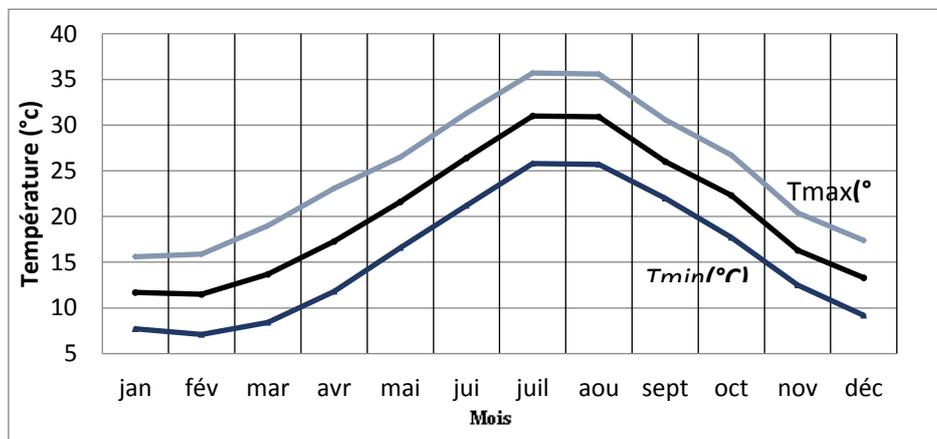


Figure I. 11. Variations des températures moyennes, maximales et minimales mensuelles à la station de Sidi Bel Abbès (2009-2018)

D'après le tableau I. 3 et la figure I. 11 on observe que :

- La température moyenne mensuelle est d'ordre de 20.17°C.
- Les températures moyennes mensuelles des minimas sont comprises entre 7,1°C en Février et environ 25,8°C en Juillet.
- Les moyennes mensuelles des maximas varient entre 15,6°C en Janvier et 35,7°C en Juillet.
- Le mois le plus froid pendant les 10ans est le mois de février avec une température moyenne mensuelle de 11,5°C et le mois le plus chaud est le mois de juillet avec une température moyenne mensuelle de 31°C.

**2.3.Les vents :**

Le tableau suivant présente les vents moyens mensuels pendant les 10 ans à partir de 2009 jusqu'à 2018 au niveau de la station de Sidi Bel Abbés.

Tableau I. 4. Vitesses moyennes mensuelles du vent à la station de Sidi Bel Abbes (2009-2018)

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
V moy (m/s)	17.18	<b>19.6</b>	19	18.2	17.8	17.6	17	16,8	15.6	14.3	16	<b>13.4</b>

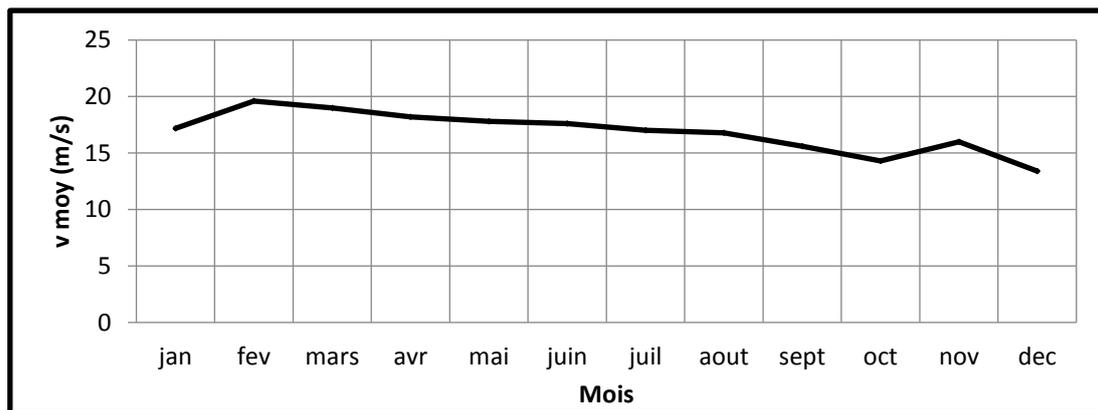


Figure I. 12. Variations des vitesses moyens mensuels du vent à la station de Sidi Bel Abbes (2009-2018)

D'après le tableau I. 4 et le figure I. 12, on remarque que le mois de février est connu un fort vent (19,6m/s), alors que le mois de décembre vu un faible vent estimé à environ de 13,4m/s.

**2.4.L'humidité relative de l'air :**

L'humidité relative représente le taux en (%) de vapeur qui existe réellement dans l'air et l'extrême intensité de vapeur que l'air peut porter. Elle nous renseigne sur l'état de saturation de l'atmosphère.

Les valeurs moyennes mensuelles de l'humidité relative de l'air sont présentées au tableau suivant.

Tableau I. 5. L'humidité moyenne mensuelle à la station de Sidi Bel Abbes (2009-2018)

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
Humidité (%)	75.45	79.2	80.3	77.9	69.7	61.9	51.8	58.7	68.3	68.6	69.8	71.4

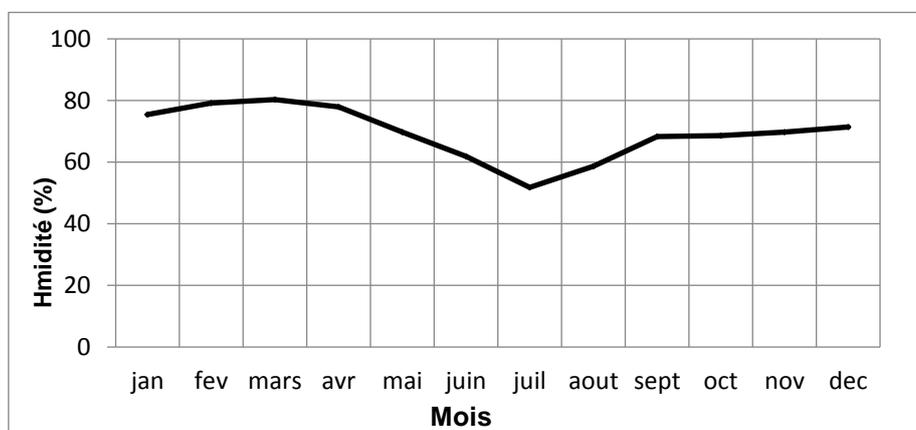


Figure I. 13. Variation de l'humidité moyenne mensuelle à la station de Sidi Bel Abbes (2009-2018)

D'après le tableau I. 5 et la figure I. 13, on remarque que les valeurs de l'humidité sont variées entre 51,8 et 80,3%.

### 2.5.Synthèse climatique :

L'étude du climat est basée sur deux méthodes :

- Méthodes graphiques (courbe de BAGNOULS et GAUSSEN) : déterminent les périodes sèches et humides ;
- Indices climatiques : permettent de caractériser le type du climat de la région.

#### 2.5.1. Méthode graphique (Diagramme ombrothermique):

Le diagramme pluvio-thermique de BAGNOULS et GAUSSEN : représente les variations mensuelles des températures et de précipitations sur une période donnée. Une graduation de l'échelle des précipitations correspond à deux graduations de l'échelle des températures ( $P = 2T$ ).

- Une période est dite sèche, lorsque la courbe des températures passe au-dessus des précipitations ;
- Une période est dite humide, lorsque la courbe des températures passe au-dessous des précipitations.

Tableau I. 6. Les températures et les précipitations moyennes mensuelles à la station de Sidi Bel Abbes (2009-2018)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
P(mm)	73,64	55,4	75,7	67,7	42,9	21,5	10,7	16,2	35,2	39,6	59,4	41,2
T(°C)	11,73	11,5	13,7	17,3	21,6	26,4	31	30,9	26	22,3	16,3	13,3

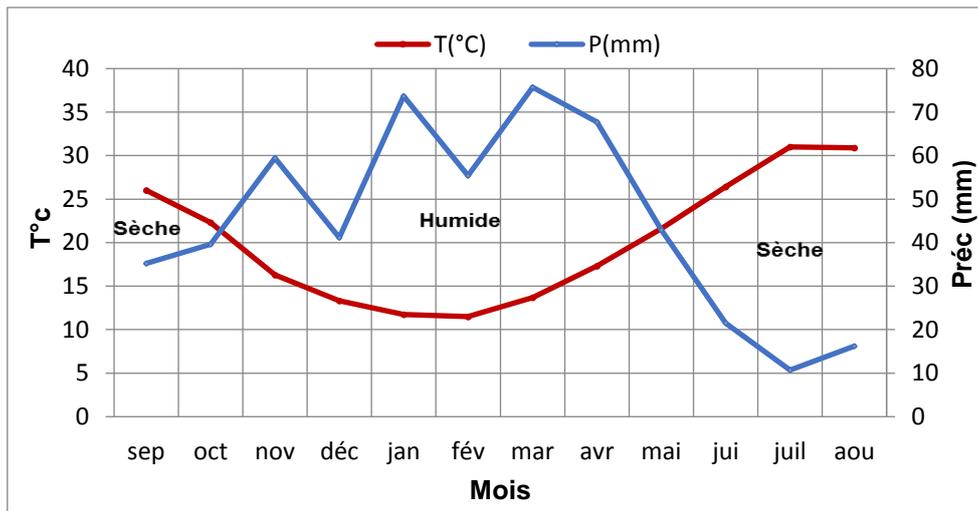


Figure I. 14. Diagramme ombrothermique (2009-2018)

Le diagramme présente une combinaison entre les précipitations moyennes mensuelles et les températures ce qui implique la détermination des saisons sèches et humides.

Le Diagramme ombrothermique à la station de Sidi Bel Abbés (2009/2018) montre l'existence d'une deux saisons : Saison sèche à partir du mois de Mai jusqu'à mois d'octobre, et l'autre humide à partir du mois d'octobre jusqu'à mois de Mai.

**2.5.2. Indices climatiques :**

L'utilisation des indices climatiques définis par les différents auteurs est intéressante, car elle permet de mieux cerner le type de climat de la région.

**2.5.2.1.L'indice d'aridité de De Martonne (I) :**

Cet indice dépend essentiellement des précipitations annuelles en (mm) et la température moyennes annuelle en (°C). Il se calcule de la façon suivante :

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

Avec : P : Précipitations totales annuelles (mm).

T : Températures moyenne annuelles (°C).

Tableau I. 7. Classification des climats et la végétation en fonction de l'indice d'aridité annuel (I)

<i>Valeur de I</i>	<i>Type de climat</i>	<i>Type de végétation potentielle</i>
<i>0 à 5</i>	<i>Hyper aride</i>	<i>Désert absolu</i>
<i>5 à 10</i>	<i>Aride</i>	<i>Désert</i>
<i>10 à 20</i>	<i>Semi-aride</i>	<i>Steppe</i>
<i>20 à 30</i>	<i>Semi-humide</i>	<i>Prairie naturelle, forêt</i>
<i>30 à 40</i>	<i>Humide</i>	<i>Forêt</i>
<i>40 à 55</i>	<i>Humide</i>	<i>Forêt</i>

Pour la station de Sidi Bel Abbès :

- P=540,1mm
- T=20,17°C
- I=540,1 / (20.17+10)

Alors, **I=17,90**

I se trouve dans l'intervalle  $10 < I \leq 20$ , donc le climat de la région est semi-aride.



Figure I. 15. Abaque de De Martonne

### 3. Conclusion

De l'analyse géomorphologique, on retiendra que cette étude se limite à la partie sud du sous bassin versant de la Mekerra aval, correspondant à la plaine de Sidi Bel Abbès. Elle est située entre la cluse de Sidi Ali Ben Youb et le seuil du Rocher en aval de la ville de Sidi Bel Abbès.

La plaine est faiblement ondulée. Quelques basses collines subsistent en son centre, d'altitude oscillant entre 500 et 800m. Elle est caractérisée par un chevelu hydrographique peu développé.

La faiblesse de la pente et la fragilité du sol lié à l'irrégularité du couvert végétal sont autant de facteurs qui favorisent le phénomène de l'érosion et de la sédimentation dont les conséquences se manifestent par l'inondation de plusieurs localités situées dans la plaine.

L'étude climatologique fait apparaître que la région de Sidi Bel Abbès est caractérisée par un climat semi-aride qui est défini par une saison sèche et chaude et une autre fraîche.

D'après, les résultats trouvés auparavant, on peut dire que la région de Sidi Bel Abbès est caractérisée par :

- Une précipitation moyenne mensuelle de l'ordre de 44,9mm,
- Une moyenne annuelle pluviométrique de 540,1 mm,

- Une température moyenne mensuelle est d'ordre de  $20.17^{\circ}\text{c}$ ,
- Une forte humidité avec une moyenne mensuelle d'ordre de 62,42% et vitesse du vent moyen mensuel de 16,87m/s.

# **Chapitre II**

## **Géologie et Hydrogéologie**

## 1. Introduction

Dans cette partie nous essayerons de faire ressortir les grands traits des conditions géologiques et structurales qui caractérisent notre région d'étude. Cette étude devra nous permettre de différencier toutes les unités géologiques en fonction des paramètres lithologique et hydrodynamique (niveau de perméabilité)

Cette étude s'appuie principalement sur l'exploitation de la documentation et les cartes géologiques (1/50.000 et 1/200.000) existantes.

## 2. Cadre géologique régional :

Sur le plan géologique, la partie littorale de l'Algérie est la plus récente, la plus instable et là où il ya le plus de diversité de substrats géologiques. La région Oranaise est donc très diversifiée, ses strates géologiques appartiennent aux quatre ères (Fig. II. 1). La région d'études s'intègre dans la terminaison occidentale de la chaîne alpine tellienne (ou atlas tellien). Les formations géologiques qui la constituent sont de natures et d'âges variés (Sadran, 1958 ;Fenet, 1975 et Guardia, 1975). L'orogénèse alpine a permis la structure de cet atlas tellien en un empilement d'unités structurales charriées et imbriquées entre elles. Ceci a favorisé la mise à nu de roches anciennes telles que les schistes qui forment l'assise du massif des Traras et de la montagne des Lions (Djebel Khar). Les différentes formations géologiques de ces régions s'étendent depuis l'âge primaire jusqu'au quaternaire.

En s'avançant de 100 km de la côte vers l'intérieur des terres se dressent les Monts de Béni-Chougrane et de Tessala qui forment l'un à la suite de l'autre, une chaîne montagneuse plissée couvrant la région d'étude d'est en ouest sur environ 60 km de largeur (Fig. II. 1). Plus précisément les Monts de Tessala constituent un massif secondaire de calcaire nummulitique (protozoaires fossiles) à structure complexe d'une cinquantaine de kilomètres de longueur ; ces monts sont des terrains crétacés formés par des calcaires gréseux devenant plus argileux en profondeur. A l'est on trouve des grès fins argileux (Behar, 1990). Les monts des Béni-Chougrane sont constitués en grande partie par une série de plateau miocène de 700 à 800m d'altitude, inclinés régulièrement vers le nord-est, laissant affleurer de larges boutonnières crétacées. En descendant vers le sud se dressent à nouveau des monts séparés par les hautes plaines de Bel-abbés (400m) celle de Ghriss au sud de Mascara. Les monts de Saïda et de Daya appartiennent à l'atlas Tellien tabulaire. Ils ont tous deux une altitude moyenne comprise entre 1000 et 1200 m. Ces deux entités sont profondément découpées par des fossés d'effondrements.

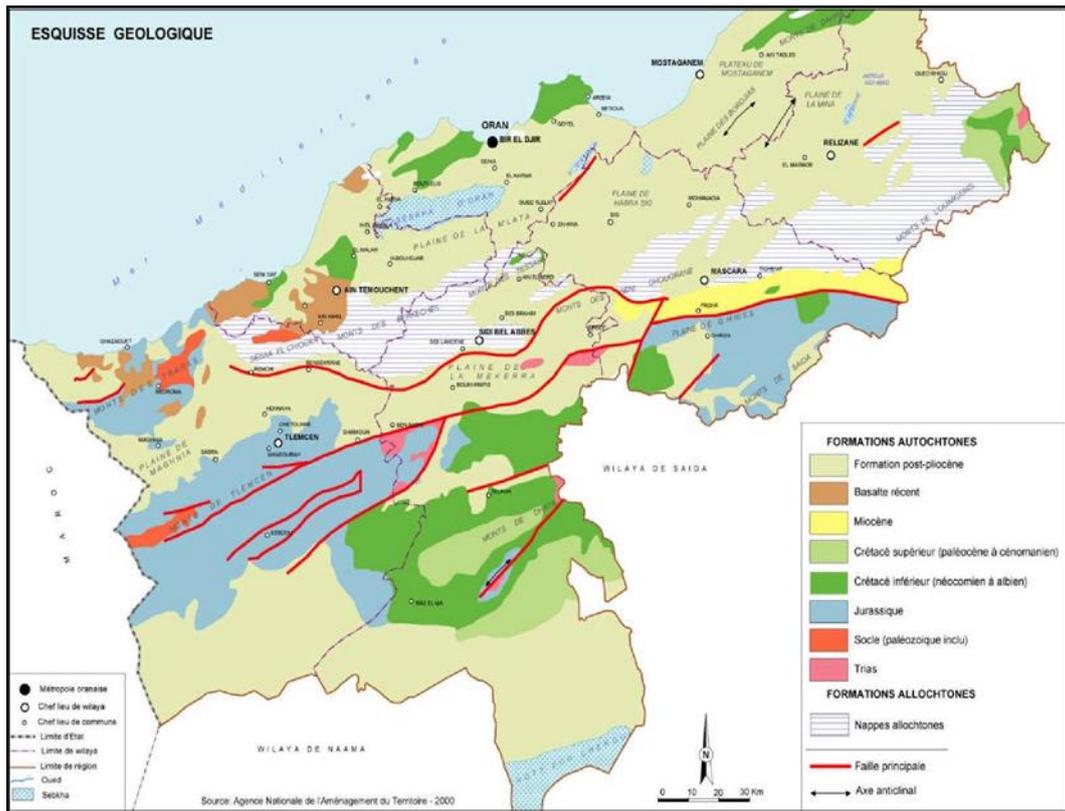


Figure II. 1. Carte des structures géologiques en Oranie (Agence nationale de l'aménagement du territoire 2000)

La partie sud jusqu'à Télagh est représenté par un terrain du crétacé inférieur principalement représenté par des calcaires gréseux devenant plus argileux en profondeur et du grès fin argileux. Ce crétacé se prolonge vers l'ouest et contourne les Monts de Daya.

Enfin, les plaines telliennes, dont la plaine de Sidi bel abbés située à une altitude d'environ 400 m entre les Monts de Tessala et la région de Telagh. La plaine de Sidi Bel abbés est un terrain principalement pliocène formé par du grès marin et se prolonge à l'est rejoignant les monts des Béni-Chougrane dans le miocène (Behar, 1990).

### 3. Cadre géologique du secteur d'étude

La plaine de Sidi Bel Abbés est une large cuvette dont les reliefs de bordure sont géologiquement très diversifiés.

Cette plaine, est un fossé d'effondrement qui a été comblé progressivement par des alluvions d'Oued et qui se sont sédimentées, formées de terrains quaternaires et plio-quaternaires, elle est limitée au Nord et à l'Est par des terrains post-crétacés, au Sud par des terrains jurassiques et crétacés (Fig. II. 2).

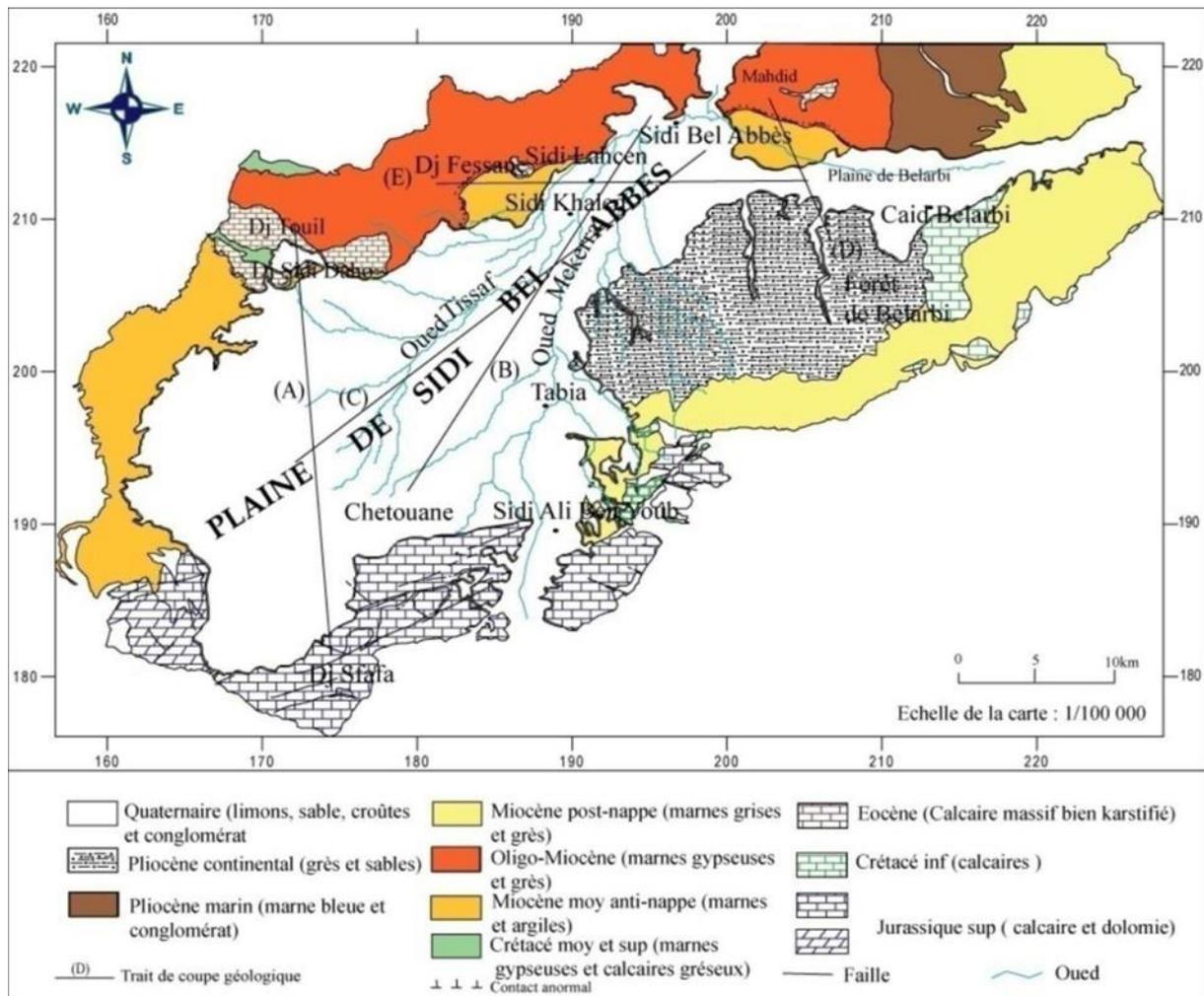


Figure II. 2. Esquisse géologique de la plaine de Sidi Bel Abbès (Sourisseau 1972)

D’après l’étude géologique de Sourisseau B, en 1973, la plaine de Sidi Bel Abbès est limitée par quatre bordures :

### 3.1. Bordure Nord :

Les Monts de Tessala constituent la bordure septentrionale de la plaine. C’est une chaîne de reliefs, allongés en direction Sud-Ouest Nord-Est, très plissés à ossature crétacé et à recouvrement tertiaire très épais, qui aurait été transporté par charriage en deux principaux ensembles qui sont :

#### 3.1.1. Crétacé supérieur

Constitué par des formations argilo-marneuses, à semelle de trias salifère et gypseux recouvrant en contact anormal les terrains du Miocène.

#### 3.1.2. Mio-Pliocène

Le Miocène est constitué par des argiles bleues et des calcaires organogènes. Les formations de cet étage reposent directement en contact anormal sur le Crétacé supérieur. Vers l’Est le domaine des nappes disparaît et laisse la place à une série continentale du Pliocène

### 3.2. Bordure Sud

Cette bordure est composée par les Monts de Tlemcen et Saida, qui sont formés en totalité par les terrains secondaires du Jurassique moyen et supérieur et du Crétacé inférieur. Ces reliefs

sont compris entre deux môles granitiques de Ghar Roubane à l'Ouest et Tiffrit à l'Est, dont les déformations se transmettent difficilement aux matériaux du Mésozoïque à prédominance calcaire-gréseux. Il est à noter que les reliefs sont affectés par une tectonique cassante.

### 3.3. Bordure Ouest

La bordure ouest est limitée topographiquement entre les deux bassins de l'Isser à l'Ouest et de la Mekerra à l'Est. Elle a l'aspect d'une colline encroûtée formée de matériaux Plio-Quaternaire subhorizontaux.

### 3.4. Bordure Est

Correspond à la topographie élevée des terrains Plio-Quaternaire et Miocène. La bordure Sud-Est de la plaine est caractérisée par une puissante formation continentale Pliocène où apparaît vers le Sud, le Miocène. Au Sud du Village Caïd Belarbi, le crétacé inférieur (Calcaire de l'Aptien) affleure à la faveur d'un horst.

### 3.5. Le centre de la plaine :

Le centre de la plaine présente une vaste cuvette à substratum argilo-marneux, imperméable, du Miocène ou du Pliocène inférieur, et comblée de sédiments détritiques provenant de la désagrégation des reliefs environnants. (Sourisseau B. 1973 in Maroc H & Ben Achour Y., 2013).

## 4. La litho-stratigraphie :

La succession stratigraphique de la région d'étude, réalisée par Sourisseau B, s'établit comme suit (Fig. II. 3) :

### 4.1. Quaternaire :

Le Quaternaire est représenté par les terrains suivants :

Limoneuses argilo-sableuses, argileuses de faibles épaisseurs jusqu'à 10m développées dans le centre et la partie Nord de la plaine. Alluvions et conglomérats des terrasses en bordures des oueds. Une croûte calcaire qui se développe principalement en bordure des massifs calcaires.

Les terrains observés du plus récent au plus ancien sont :

- a. Le Soltanien et le Rharbien: le premier renferme un limon rubéfié avec un horizon noirci - et un autre plus clair correspondant à des apports colluviaux d'argiles sableuses. Au second, se déposent en bandes le long des vallées des dépôts limoneux argileux noirs, puis des sables.
- b. Le Moulouyen: ce sont des limons rouges associés à une croûte rouge parfois dure, représentant les collines du fond sud de la plaine avec parfois des dalles calcaires.
- c. Le Salétien: ce sont des formations essentiellement conglomératiques, de galets hétérométriques centimétriques à décimétriques, rarement libres, reliés le plus souvent par un ciment argilo-carbonaté. Les galets sont essentiellement calcaires et grés rouges provenant du remaniement des matériaux de destruction du Jurassique et du Crétacé. Ces dépôts occupent les anciennes vallées des oueds Mekerra et Lamtar qui ont raviné le Moulouyen.
- d. Le Tensifien: en bordure des oueds (Mellinet, Bou Khanefis, Sidi Khaled), s'arrangent des formations graveleuses, encroûtées et surmontées d'un alluvionnement plus terreux. (Yousfi S., 2008).

#### 4.2. Plio–Quaternaire

Quatre formations peuvent être attribuées :

- a. Les dépôts alluvionnaires des plateaux : Ce sont des dépôts caillouteux et limoneux, parfois grés-sableux avec des intercalations de bancs de poudingue à gros éléments, ils affleurent principalement dans la partie Sud-Ouest de la plaine ;
- b. Les conglomérats des chenaux aquifères : Attribuée au Saletien, essentiellement conglomératique, formée de galets hétérométriques, souvent reliés par un ciment argilo-carbonaté.
- c. Les complexes argilo-sableux : principalement au Sud et à l'Est des plaines argiles, argiles sableuses et argiles siliceuses.
- d. Les conglomérats des hauts plateaux : Conglomérats ferrugineux à ciment dolomitique ou calcaire formés d'éléments centimétriques et décimétriques, à quelques lentilles gréseuses. Au Sud de la plaine et dans la vallée alluviale de Sidi Ali Benyoub, au pied des reliefs et au niveau des Oueds qui les traversent, se sont amassés d'importants cônes de déjections conglomératiques.

#### 4.3. Cénozoïque

- a. *Le paléogène* : L'Eocène supérieur et moyen affleure près de Zérouela, à l'Ouest de Sidi Ali Boussidi et au niveau du Djebel Tignemar. Il est représenté par des calcaires gris-bleus, massifs, lités, percés de lapiaz et ornés de fossiles (Ostracées, pectinides, échinides, thalles de lithothamnium). Cette formation très érodée appartient aux nappes de charriage et repose en contact anormal sur le Miocène anté-nappe.

L'Oligo-miocène correspond aux terrains nappés des Monts Tessala. On y retrouve des formations à base de marnes parfois gypseuses grises avec quelques bancs de grés à grains fins et à ciment calcaire à la base, et de minces couches de grés dans la partie supérieure.

- b. *Le néogène* : Les dépôts continentaux miocènes aux niveaux de Tenira et de Caïd Belarbi atteignent environ 300m d'épaisseur et sont formés de marnes grises à bancs de grés et lentilles de galets plus ou moins cimentées. Quant aux dépôts marins qui ont comblé la dépression du substratum mésozoïque avec des épaisseurs pouvant atteindre les 500m, ils sont représentés par des argiles-marnes grises et bleuâtres très fines, contenant des bancs de grés et quelques galets et graviers. Ces dépôts marins, affleurent principalement le long de l'Oued Isseur assurent l'étanchéité des aquifères de la plaine de Bel Abbés.

A l'Est de la plaine, le Pliocène marin se manifeste par des marnes bleues, des grés et des molasses. Le pliocène continental par contre, se caractérise par d'épaisses couches continentales au Sud-est de la plaine, qui s'y sont amoncelées durant sa longue période d'exonde. Ces épaisses couches continentales sont faites de Conglomérats à la base, puis de sédiments plus fins, essentiellement sableux et gréseux, en alternance avec des limons rouges et des petites lentilles de conglomérats.

#### 4.4. Mésozoïque

Les formations du Mésozoïque affleurent au Nord de la zone d'étude au niveau des monts de Tessala et au Sud dans la zone des hauts plateaux. Il est représenté par des formations carbonatées, gréseuses et argileuses d'âge Crétacé et Jurassique.

##### 4.4.1. Le Crétacé moyen et supérieur

Formation allochtone, affleure au Nord-Ouest de la zone d'étude sous forme de marnes salifères comprenant quelques bancs de calcaires.

**4.4.2. L'Aptien**

Affleure au Sud de Caïd Belarbi à la faveur d'un horst. Il est constitué de calcaires microcristallins gris-bleus appelés calcaires de Zigyne. Cette formation a une épaisseur d'environ 150 mètres.

**4.4.3. Le Barrémien**

Une formation puissante constituée essentiellement de grès roux admettant des intercalations d'argiles. Le sommet étant constitué de calcaires graveleux. Cette formation est appelée grés de Berthelot.

**4.4.4. L'Hauterivie**

Affleure au Sud-Est de la zone d'étude sous forme d'une épaisse formation de 150m de calcaires graveleux et gréseux, avec un ensemble marneux à bancs calcaires à la base.

**4.4.5. Berriasien – Valanginien**

C'est le membre marno-calcaire du Zégla C de la formation des calcaires de Remaila. Il affleure au Sud-Est et au Sud-Ouest de la plaine. C'est un ensemble monotone de 120 mètres de marnes vertes et jaunes et de calcaires graveleux, zoogènes ou lumachelliques.

**4.4.6. Le Portlandien**

Constitué de bas en haut par des grès blancs, des marnes verdâtres, et des calcaires graveleux. Il affleure largement entre Sidi Ali Ben Youb et Ain Tellout, d'une puissance de 200m.

**4.4.7. Le Kimméridgien supérieur**

Constitué dans son ensemble par une alternance de marnes gris-verts et de calcaires variés, souvent gréseux en bancs massifs près de la base.

**4.4.8. Le Trias**

Composé d'argiles et de marnes bariolées multicolores, associées du gypse, des dolomies bréchiques, des cargneules, des ophites et des gabbros, forme principalement l'accident diapirique près d'Ain Tellou

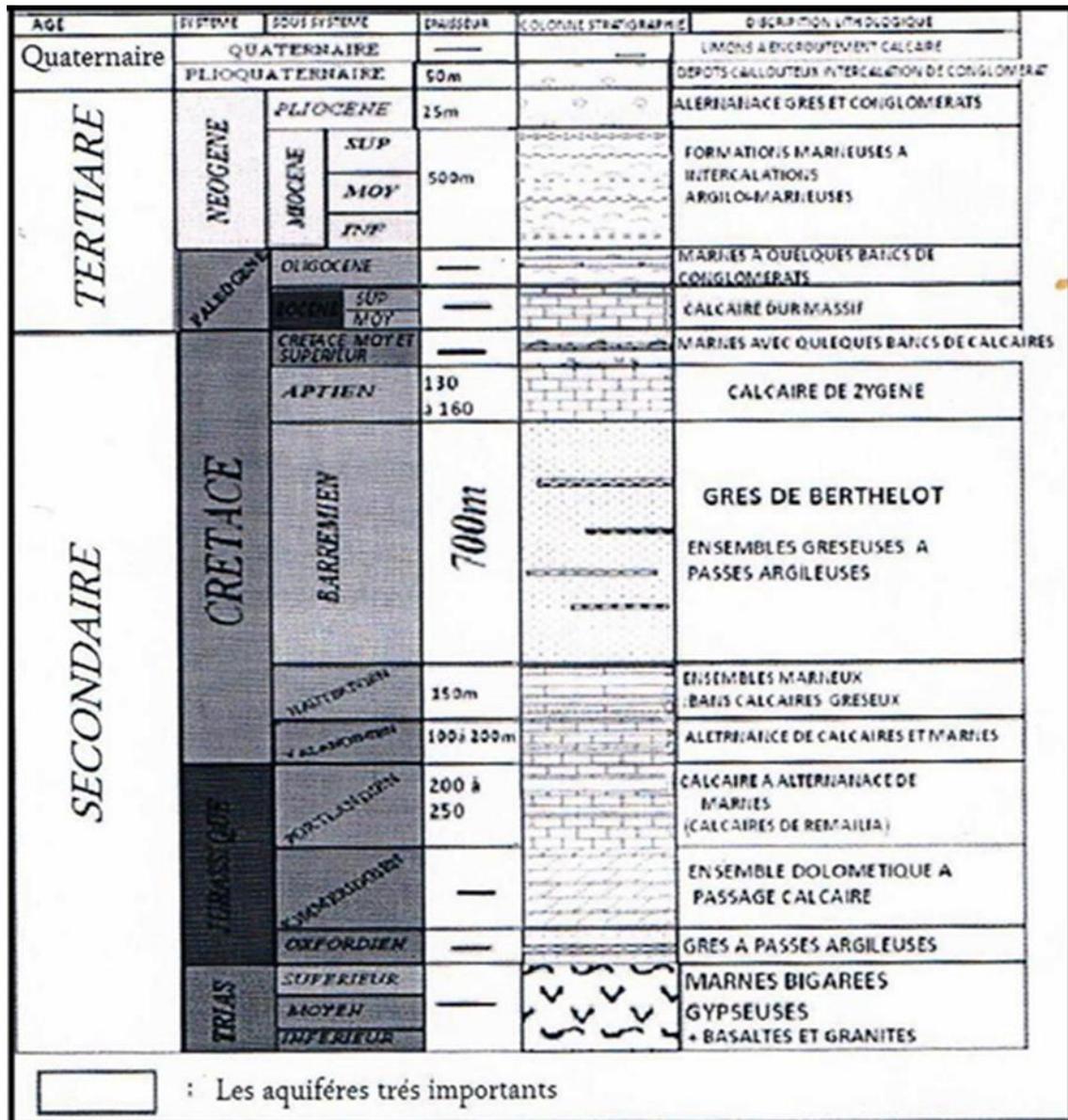


Figure II. 3. Colonne stratigraphique synthétique de la plaine de Sidi Bel Abbès (DRE-Sidi Bel Abbès in Bensedjad A 2011)

### 5. Tectonique

Il existe deux styles tectoniques bien distingués dans notre région d'étude :

Au Nord, Les phénomènes de charriage ont permis à l'Oligo-Miocène, avec son front de lambeaux de calcaires éocènes, de recouvrir les terrains autochtones indifférenciés d'âge crétacé moyen et supérieur. Ceux-ci reposent sur le Miocène moyen marin anté-nappe.

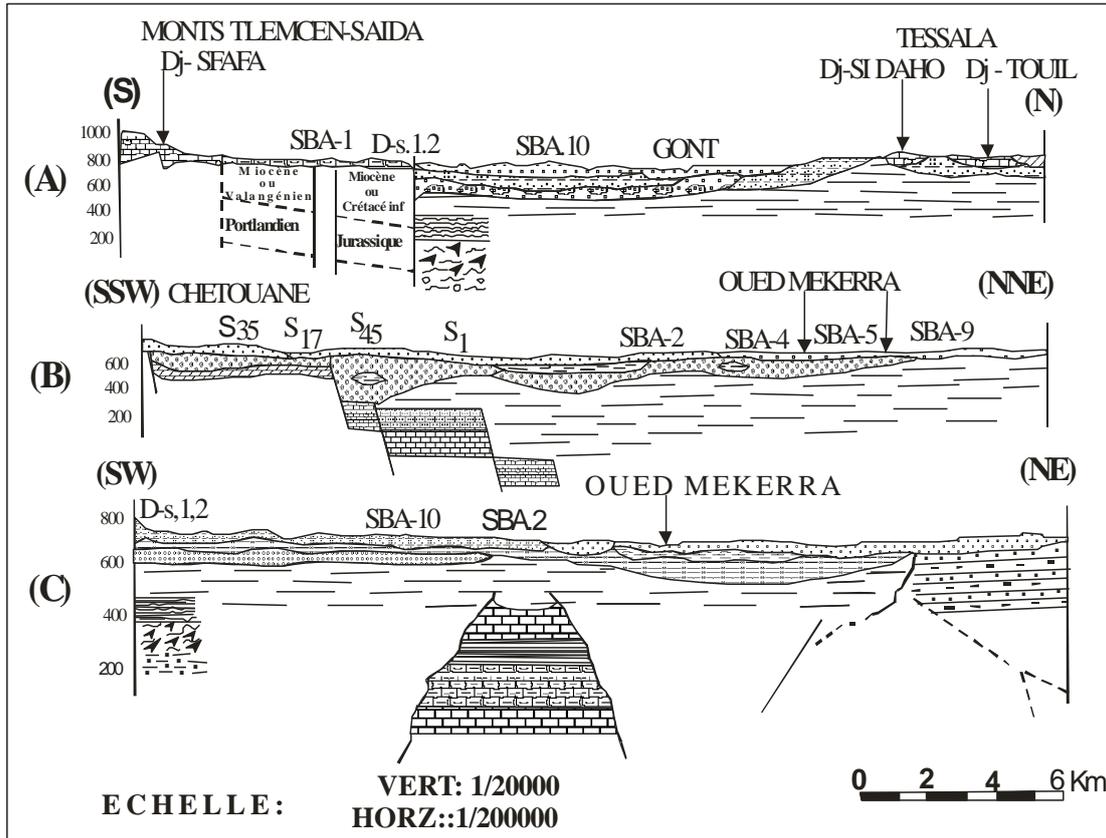
Au Sud, les terrains karstiques peu plastiques, légèrement ondulés, donnent une tectonique cassante très prononcée, représentée sous forme des accidents verticaux et subverticaux, sans doute le reflet des déformations du socle, découpant le massif en deux directions (D. Auclair et J. Biehler, 1967) :

- WSW-ENE : Accidents effondrant en marches d'escalier le substratum Jurassico-crétacé dans la plaine de Sidi Bel Abbès.
- ESE-WNW : Accidents obliques délimitant des panneaux en horsts et grabens.

A l'Ouest, une cassure nette sépare les formations plio-quaternaires de la plaine alluviale des formations mésozoïques des hauts plateaux (G. Thomas. 1985).

A ces deux styles tectoniques, s'ajoute une activité tectonique récente qui se manifeste essentiellement par :

- La déformation du Miocène ;
- Une faille dont le rejet peut atteindre 10 m au contact Pliocène continental Plio-Quaternaire ;
- Une faille à faible rejet dans les conglomérats quaternaires des terrasses de l'Oued Tissaf.



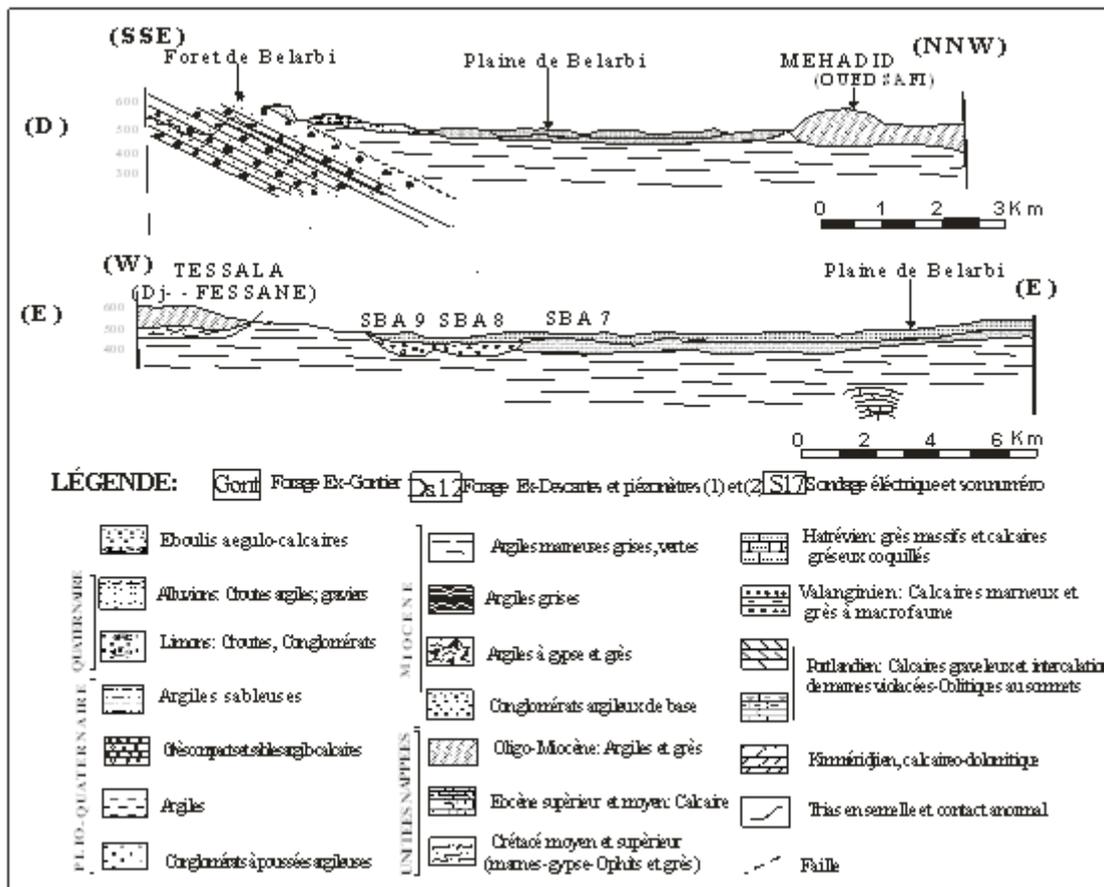


Figure II. 4. Coupe géologique dans la plaine de Sidi Bel Abbès (Sourisseau B 1971 in Otmane A 2015)

### 5.1. Interprétation des coupes géologiques schématiques

D'après les coupes géologiques dressées par Sourisseau, 1972 (Fig. II. 4), on distingue :

- **Pour les coupes A et B,**

Orientées Sud-Nord ; il existe trois failles successives délimitant quatre marches effondrées datées du Jurassique supérieur.

Les calcaires du Purbeckien qui affleurent au niveau de la coupe A dans les deux premiers panneaux, ne sont pas atteints à 600m sous la plaine à Ben Badis, cela veut dire que le rejet de cette faille peut atteindre 1000m à cet endroit.

Le Mioène marin constitue l'assise inférieure du remplissage Plio-Quaternaire surmonté par un cône détritique au niveau des oueds, puis le Quaternaire essentiellement argilo-sableux peu épais. On remarque aussi le lit d'Oued, fossile représenté par un chenal conglomératique grossier.

Vers le Nord, on observe le chevauchement des deux nappes de charriage des monts de Tessala et les écaïlles de calcaires éocènes au niveau de Sidi Dahou.

- **Pour les coupes C et D**

On observe une épaisse formation détritique d'âge pliocène, et l'absence du chenal conglomératique grossier au niveau de la plaine de Belarbi (D).

- **Pour la coupe E**

On remarque à l'Ouest les nappes de charriage chevauchant le Miocène ante-nappe, vers le centre, le chenal conglomératique atteint une épaisseur maximale d'environ 40m.

## 6. Hydrogéologie

Depuis plus de 40 ans, la plaine de Sidi Bel Abbès a fait l'objet d'une seule étude au début des années 70s par Sourisseau et al., Par la suite, les études menées par l'ANRH se sont limitées essentiellement aux suivis piézométriques et aux analyses hydro-chimiques des eaux de la nappe alluviale. Notre travail se limitera à déterminer les principales caractéristiques hydrogéologiques.

Il n'est prévu d'exploiter ici que les éléments des études existantes, telle que "la carte hydrogéologique de la plaine de Sidi Bel Abbès" au 1/100 000, réalisée en 1974 par la DEMRH, les études liées aux ouvrages de captage de la ville de Sidi Bel Abbès et de tous autres réalisés dans la plaine de Sidi Bel Abbès.

### 6.1. Description des formations aquifères

La région de Sidi Bel Abbès est caractérisée généralement par quatre principales unités hydrogéologiques (Fig. II. 5) :

- La nappe alluviale du Plio-Quaternaire de Sidi Bel Abbès.
- Les calcaires et dolomies Jurassico-crétacés des monts de Sidi Ali Ben Youb;
- Les calcaires Eocènes de Sidi Ali Boussidi;
- Les grès Pliocènes de la forêt de Ténira.

#### 6.1.1. Nappe Plio-Quaternaire

La nappe alluviale d'une superficie de 813km<sup>2</sup> est contenue exclusivement par des formations d'âges Plio-Quaternaire et Quaternaire.

Ces formations acquièrent un intérêt particulier, vu que, tous les horizons perméables, sont en communication hydrauliques, avec celles-ci, (Yousfi S., 2008), elles remplissent la grande vallée de Sidi Bel Abbes et sont le siège d'un écoulement souterrain transitant principalement par les alluvions (argilo-sableux) plus ou moins cimentées et les conglomérats des "Chenaux aquifères".

Le chenal conglomératique situé entre Lamtar, Sidi Khaled, Sidi Lahcen et Sidi Bel Abbès, le long des oueds Tissef et Mekerra constitue l'aquifère le plus riche de la plaine de Sidi Bel Abbès. (Yousfi S., 2008)

L'ensemble de cet écoulement forme une nappe libre à l'exception de quelques niveaux conglomératiques du chenal aquifère entre Sidi Khaled et Sidi Bel Abbes dans lesquels la nappe devient semi-captive. (DEMRH, 1974 in Bensdjad A., 2011).

D'après Sourisseau B., Cette nappe est alimentée directement par les pluies avec 60hm<sup>3</sup> d'apport, mais aussi par infiltration des aquifères adjacents (apport globale estimé à 12,15 hm<sup>3</sup>), et par les Oueds, surtout en période de crue.

#### 6.1.2. Nappe des calcaires et dolomies du Jurassico-Crétacé

L'aquifère se compose en deux grands ensembles perméables (Faciès dolomitique Karstifié 'Dolomie de Tlemcen' et faciès calcaires fissurés 'calcaires de Remailia' mal connu du point de vue hydrogéologique.

Les zones de bonne perméabilité sont probablement en contact par l'intermédiaire de nombreuses failles.

Grace à une position haute, favorable à une bonne pluviométrie, cette nappe est bien alimentée. Les eaux infiltrées semblent ne pas gagner les panneaux effondrés sous la plaine de Sidi Bel Abbas mais des communications hydrauliques latérales peuvent s'établir par l'intermédiaire des cônes de déjection de conglomérats ou des dépôts argilo-gréseux de piémont de faible perméabilité.

Vers la plaine, la capacité d'écoulement des eaux, provenant des calcaires est réglée par la perméabilité des cônes conglomératiques. Les eaux qui ne peuvent s'écouler vers la plaine sont restituées par d'importantes sources pérennes, Ain Skhouna, Ain Mekhareg et Ain Tattfamane. (DEMRH, 1974 in Bensadjad A.,2011).

**6.1.3. Nappe des calcaires Eocènes**

Les écailles de calcaire Eocène, posées sur les marnes du Crétacé moyen supérieur et du Miocène moyen marin, contiennent une nappe alimentée par son impluvium. Cette nappe est entièrement drainée par des sources dont les plus importantes sont Ain El Hadjar, Ain Annefress et Ain Meddah.

**6.1.4. Nappe des Grès Pliocène**

Cet ensemble argilo – gréseux, de faible perméabilité, contient une nappe discontinue qui alimente la nappe alluviale par l'intermédiaire de petites vallées étroites qui jouent le rôle de drain grâce à leur remplissage alluvionnaire. Ces grès, exclusivement alimentés par leur impluvium, sont caractérisés par des paramètres hydrauliques de faibles valeurs.

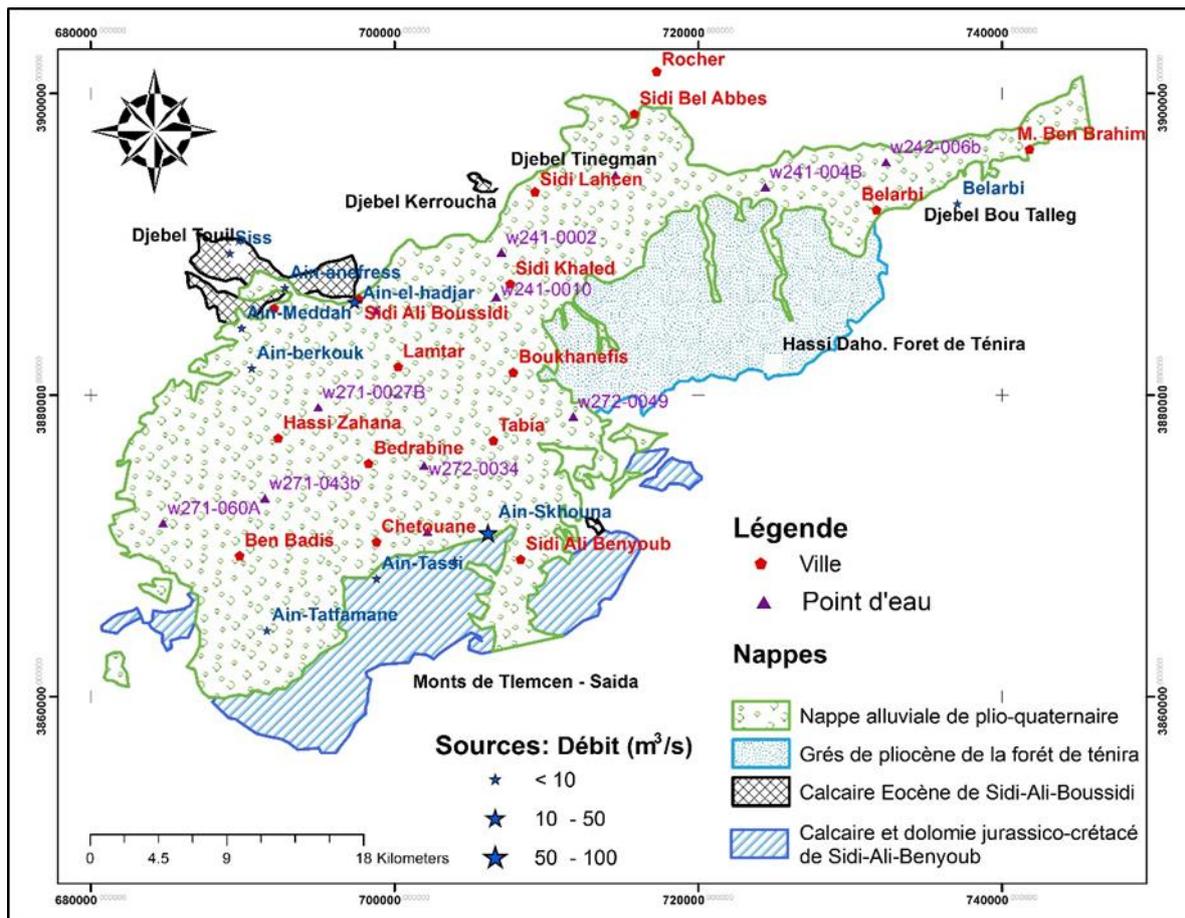


Figure II. 5. Aquifères du complexe hydrogéologique de la plaine de Sidi Bel Abbas (DEMRH 1974 in OTMANE 2019)

6.2. Etude piézométrique

La nappe alluviale de Sidi Bel Abbès a fait l'objet de plusieurs campagnes piézométriques par l'ANRH depuis 1971. Pour cette étude, seules les cartes piézométriques établies en mois de septembre pour les années 1971, 1983, 1996 et 2010 ont été retenues (Fig. II. 6).

Les cartes épousent la même allure générale. Néanmoins, un net recule des isopièzes est observé, notamment aux environs de Caïd Belarbi. Cette baisse du niveau de la nappe est due à une diminution des apports pluviométriques et à une exploitation plus importante de la nappe entre 1971 et 2010.

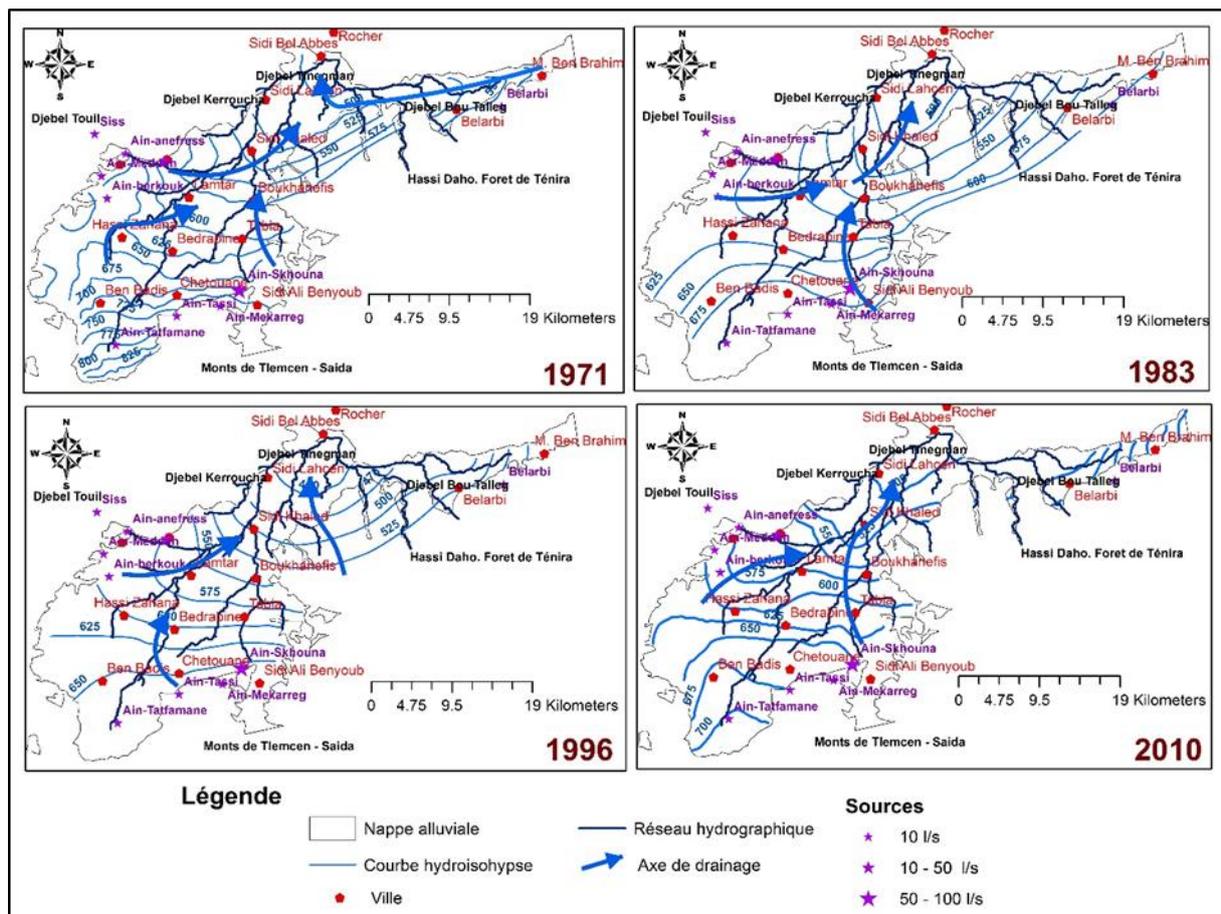


Figure II. 6. Cartes piézométriques de la nappe alluviale de Plio-quaternaire

La figure II. 6, montre très bien la convergence des eaux vers l'exutoire du Rocher (aval de Bel Abbès). Les directions majeures Sud-Nord et Sud/ouest-Nord/est de l'écoulement souterrain suivent les tracés respectifs des Oueds Mekerra et Tissaf ; renseignant sur les grandes quantités d'eaux de la nappe drainées par les deux rivières. A l'Est, les écoulements sont moins importants, en raison de la petitesse de la section de la nappe et son épaisseur moins conséquente. Au Sud-ouest, la ligne de partage des eaux se confond presque avec la limite du bassin versant de la Mekerra. A l'Ouest de cette ligne, il apparait que les eaux de la nappe sont, soit drainées directement par les Oueds Anefress, Bou Khanem et Lamtar (affluents de l'Oued Tissaf), soit butent sur le Miocène imperméable (marnes et argiles) et réapparaissent aux niveaux des sources : Ain Tellouf, Ain Berkouk et Ain Meddah.

**6.3. Transmissivité :**

Les zones les plus transmissives au niveau de la plaine de Sidi Bel Abbès se trouvent aux environs des localités de Sidi Bel Abbès, Sidi Lahcen, Bedrabine et Sidi Ali Benyoub (Fig. II. 7).

Durant la période 1972/1973, de nombreux essais de pompage ont été réalisés par Sourisseau. Toutefois, un bon nombre de ces essais fût remis en question par Lerolle en 1976, estimant que les résultats obtenus par les essais réalisés sur les puits de ferme, ne représentaient pas les perméabilités réelles du milieu, mais seulement la vidange des ouvrages. Ainsi, il estime les valeurs de la perméabilité verticale entre  $5 \cdot 10^{-9}$  m/s (alluvions et conglomérats) et  $8 \cdot 10^{-8}$  m/s (zone aval de l'Oued Tissaf).

Concernant les transmissivités des calcaires Eocènes et des grès Pliocènes, elles sont assez faibles, dues à une présence conséquente d'argile au sein des deux formations aquifères. (belaaredj ;2019).

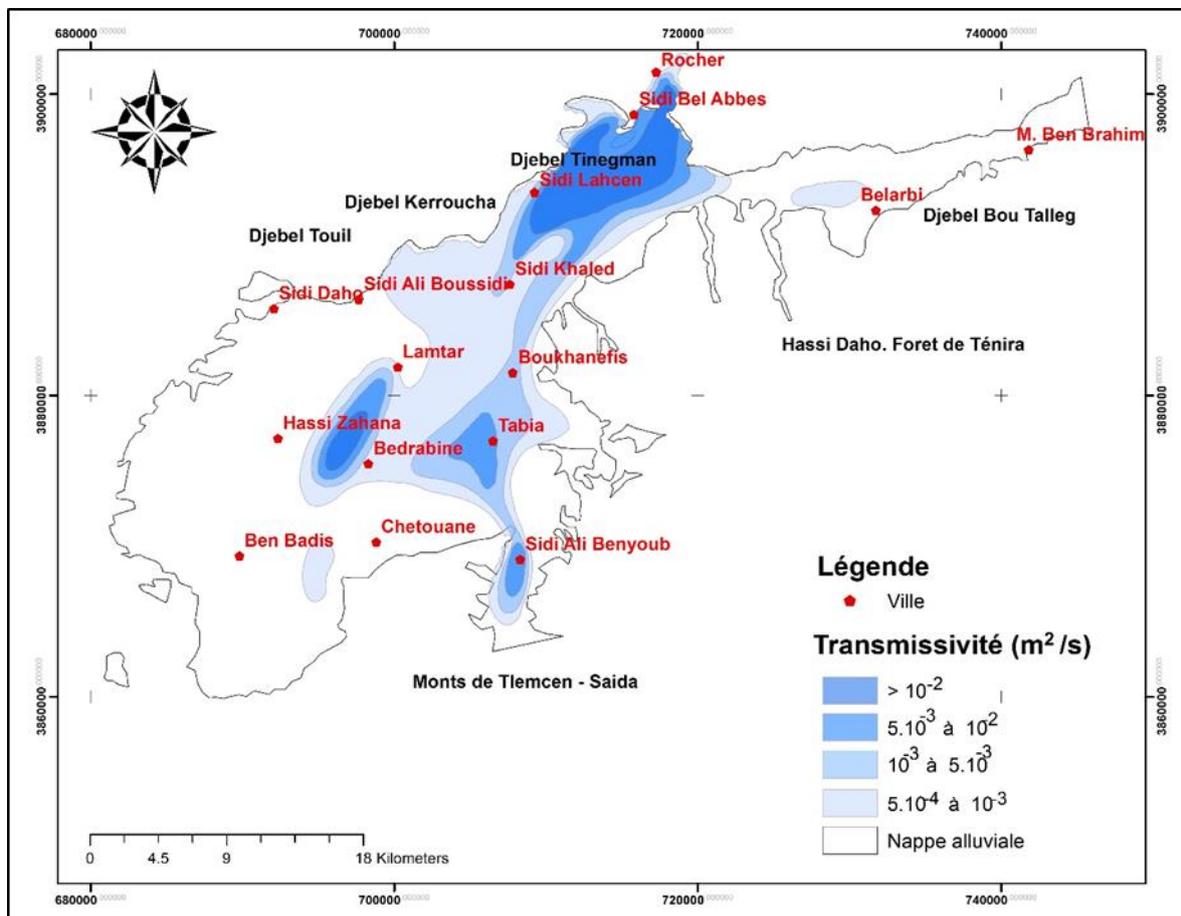


Figure II. 7. Carte de transmissivité de la nappe alluviale de Plio-quatenaire (Sourisseau 1974)

**6.4. Coefficient d'emmagasinement :**

Les coefficients d'emmagasinement obtenus à partir des essais de pompage sur les forages réalisés par Sourisseau entre 1972 et 1973 ont démontrés que les zones présentant le plus fort potentiel d'emmagasinement ( $S = 25$  à  $30$  %) sont celles des vallées : de Bedrabine, Tabia et Sidi Ali Benyoub. Les vallées de Tatifmane et de l'Oued Anness, pareillement que le long de la Mekerra, présentent également de bonnes valeurs d'emmagasinement, de l'ordre de  $10$  % (belaaredj ;2019).

**7. Conclusion :**

Au point de vue hydrogéologique, les formations susceptibles d'être aquifères sont (les alluvions argilo-sableux et le chenal conglomératique, calcaires Eocène et calcaire et dolomies Jurassico-Crétacé)

D'après l'étude comparative entre les cartes piézométriques en période de 1971 ;1983 ;1996 ; réalisées par ANRH le sens de l'écoulement se fait de manière générale de Sud vers le Nord dans la majeure partie de la plaine de Sidi Bel Abbes avec une convergence vers le centre et un axe de drainage qui coïncide sensiblement avec le parcours de l'Oued Mekarra.

L'alimentation de la nappe plio-quadernaire se fait principalement par son impluvium et à un degré moindre par les aquifères adjacents mentionnés auparavant.

Deux zones d'alimentation sont déterminées, la première par les calcaires et dolomies du Crétacé et du Jurassique et la seconde par les grès du Pliocène continental.

## **Chapitre III**

**Impact de la variabilité climatique  
sur les eaux souterraines de la nappe  
alluviale de Sidi Bel Abbès**

**1. Introduction**

En contexte semi-aride, La variabilité climatique est considérée comme une réalité évidente dans les régions méditerranéennes et particulièrement le nord-ouest Algérien. Le présent travail vise à montrer l'existence de ce phénomène à l'échelle spatio-temporelle au niveau de la plaine alluviale de Sidi Bel Abbes, et à confirmer son impact sur les eaux souterraine.

**2. Données et Méthodes**

**2.1. Données**

L'ensemble des données nous a été fourni par l'Office National de Météorologie d'Oran (O.N.M), et de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H).

Le volume d'informations pluviométriques recueillies dans la plaine alluviale de Sidi Bel Abbes est constitué par six (6) postes (tableau III. 1 et figure III.1 et III. 2.).

Tableau III. 1. Caractéristiques des stations pluviométriques

Code	Nom	Altitude (m)	Coordonnées (km)		Période de fonctionnement
			X	Y	
110201	S. A. Ben. Y	635	186.500	192.200	1913-2009
110305	S. B. Abbes	485	194.250	215.600	1918-2009
110310	Lamtar	576	181.400	203.000	1942-2009
110314	Aïn Trid	530	193.050	226.100	1942-2009
110507	F. Chabrier	755	194.800	190.450	1973-2009
110334	Chetouane	679	175.300	191.250	1977-2009

Les données utilisées doivent respecter deux critères importants : d'une part, la longueur des chroniques (couvrir la plus grande période de temps possible) et, d'autre part, la qualité des données (le moins possible de donner manquantes).

L'inventaire des données manquantes par année et par station pluviométrique est mentionné sur la figure III. 1.

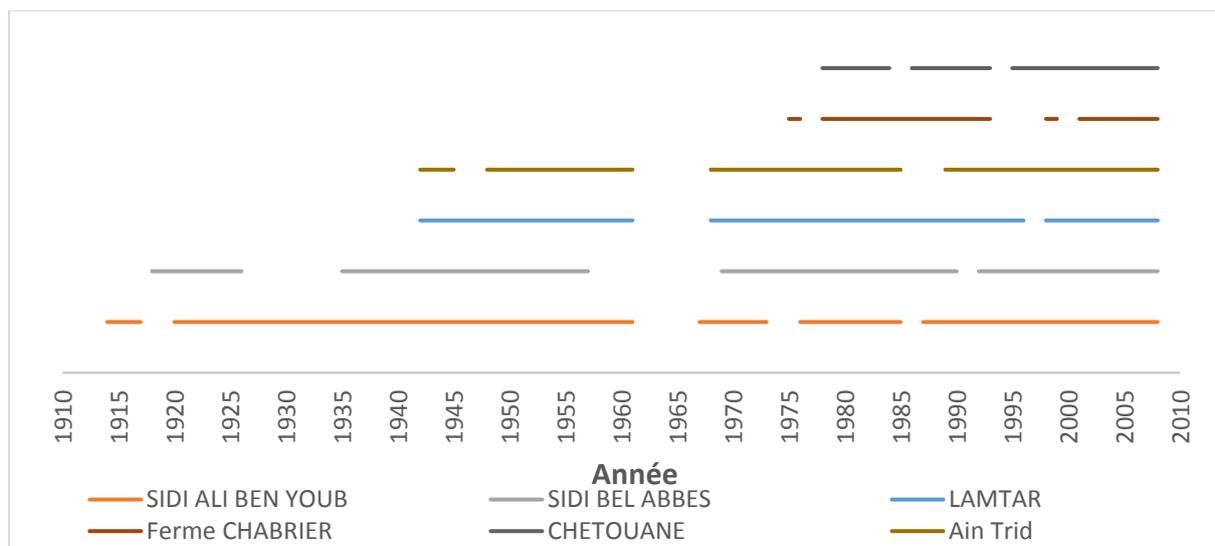


Figure III. 1. Relevé des données manquantes par station et par année

Afin d'éviter un grand pourcentage lacunaire, nous nous sommes résolus à adopter l'année hydrologique 1971/1972 comme début de la série et l'année 2009/2010 comme fin de série pour chacune des stations retenues. Ainsi un total de six stations pluviométriques a été retenues (Fig. III. 2). Elles présentent des séries de données recueillies sur 39 ans et assurent une bonne couverture de la région étudiée. Les données ont été homogénéisées par la méthode des doubles cumuls et les lacunes comblées en utilisant les régressions linéaires entre postes voisins.

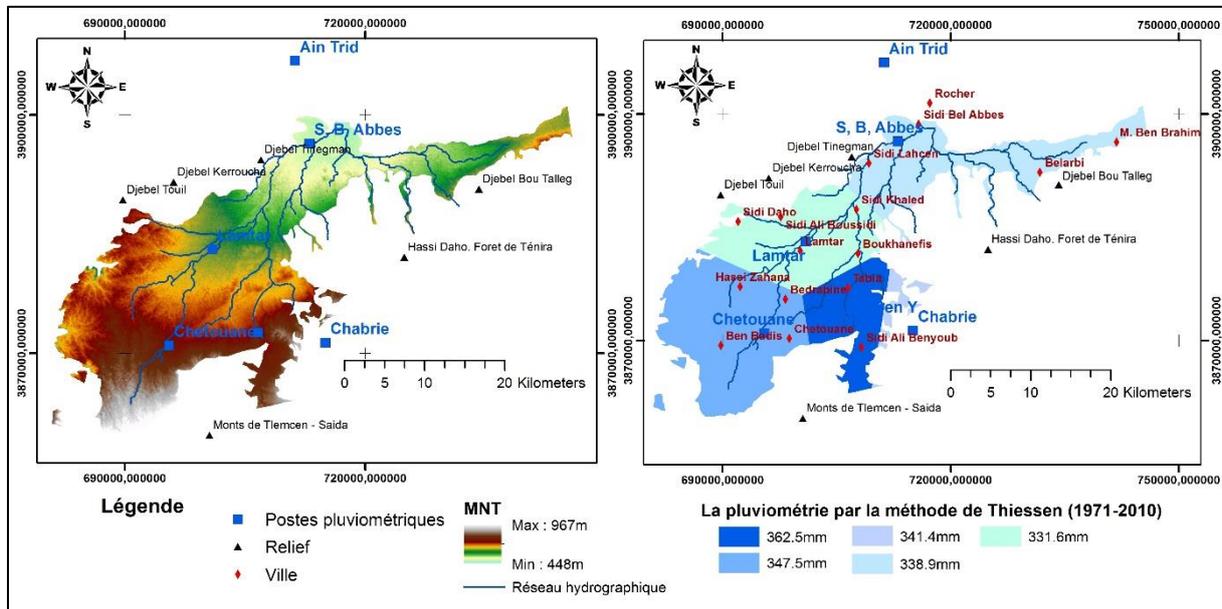


Figure III. 2. Répartition spatiale de la pluie durant la période 1971-2010

**2.2.Méthodes**

L'approche adoptée dans cette étude consiste à appliquer en premier temps l'indice standardisé des précipitations (SPI) sur les données de notre zone d'intérêt, afin de déterminer la variabilité spatio-temporelle de la sécheresse dans la plaine alluviale de Sidi Bel Abbès durant la période (1971-2010). Ensuite, l'utilisation des cartes piézométriques établies en septembre 1971, 1983, 1996 et 2010 par l'ANRH va nous permettre d'étudier la variabilité spatio-temporelle de la fluctuation de la nappe.

En dernier, on s'appuie sur les résultats trouvés précédemment pour discuter l'impact de la variabilité climatique sur les eaux souterraines de la nappe alluviale et par conséquent le degré de gravité de l'évolution spatio-temporelle de la sécheresse.

**2.2.1. Indice Standardisé des Précipitations**

L'Indice Standardisé des Précipitations, ou en anglais Standardized Precipitation Index (SPI) créé par T.B. MCKEE et al. (1993) répond à la formule suivante :

$$SPI = \frac{(X_i - X_m)}{S_i}$$

Où Xi est le cumul de la pluie pour une année i ; Xm et Si, sont respectivement la moyenne et l'écart type des pluies annuelles observées pour une série donnée.

Cet indice définit la sévérité de la sécheresse en différentes classes (Tab. III. 2) (M. BERGAOUI et A. ALOUINI, 2001 ; S. ARDOIN-BARDIN et al. 2003 ; S. ARDOIN-BARDIN, 2004 ; A. ALI et T. LEBEL, 2009). Les valeurs annuelles négatives indiquent une sécheresse par rapport à la période de référence choisie et les positives une situation humide.

Tableau III. 2. Classification de la sécheresse en rapport avec la valeur de l'indice standardisé des précipitations (SPI)

<i>Classe de SPI</i>	<i>Degré de la sécheresse</i>
<i>SPI &gt; 2</i>	<i>Humidité extrême</i>
<i>1 &lt; SPI &lt; 2</i>	<i>Humidité forte</i>
<i>0 &lt; SPI &lt; 1</i>	<i>Humidité modérée</i>
<i>-1 &lt; SPI &lt; 0</i>	<i>Sécheresse modérée</i>
<i>-2 &lt; SPI &lt; -1</i>	<i>Sécheresse forte</i>
<i>SPI &lt; -2</i>	<i>Sécheresse extrême</i>

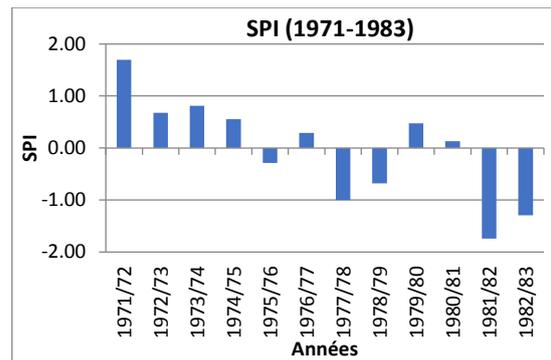
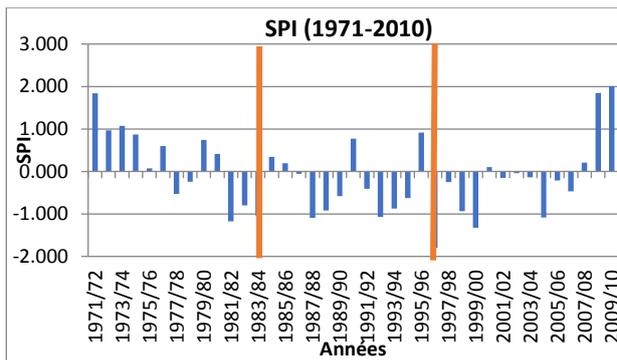
Le SPI a été employé par de nombreux auteurs sur diverses régions du globe (L. GIDDINGS et al. 2005 ; H. WU et al. 2001 ; S.K.L. SÖNMEZ et al. 2005 ; A. BODIAN, 2014).

La stratégie adoptée dans ce volet, consiste en premier temps à déterminer la sévérité de la sécheresse à l'échelle spatio-temporelle, en utilisant les paramètres statistiques ( $X_m$  et  $S_i$ ) de l'ensemble de la période d'observation (1971-2010). Ensuite, afin d'étudier la réaction hydrodynamique de la nappe durant les différents relevés piézométriques disponibles (Septembre 1971, 1983, 1996 et 2010), il est important, voire indispensable d'utiliser les paramètres statistiques ( $X_m$  et  $S_i$ ) de chaque période séparément (1971/1983, 1983/1996 et 1996/2010). Ceci, est nécessaire pour déterminer l'évolution spatiale d'humidité pour chaque période.

**3. Résultats et discussion**

**3.1. Evolution spatio-temporelle d'humidité (1971-2010)**

L'évolution temporelle des valeurs moyennes annuelles de l'indice SPI pour les six stations pluviométriques sur la période 1971-2010 (Fig. III. 3), fait apparaitre de nombreuses valeurs positives pendant le début de la série. La pluviométrie devient ensuite presque systématiquement déficitaire jusqu'à la fin de la période d'observation.



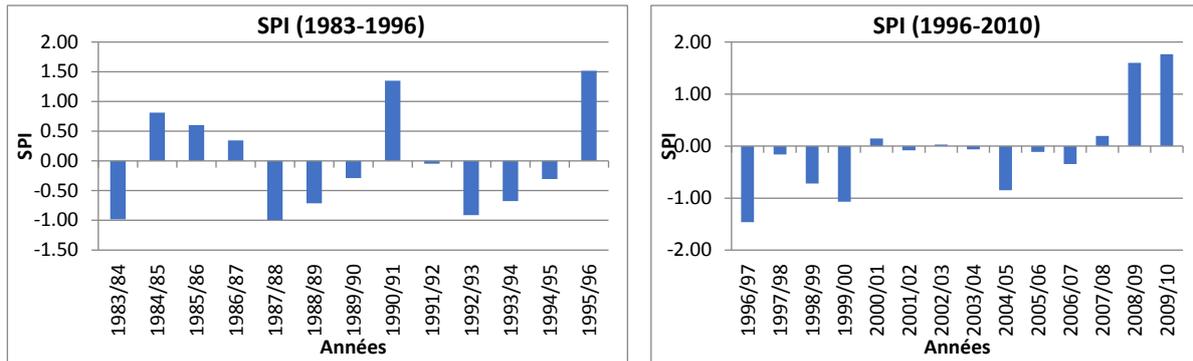


Figure III. 3. L'évolution temporelle des valeurs moyennes annuelles des SPI pour les six stations durant la période (1971-2010) et les sous-périodes considérées

En considérant toutes les stations et toutes les années (72 cas pour la période 1971-1983, 78 cas pour 1983-1996 et 84 cas pour 1996-2010). Les conditions humides pour les périodes (1971-1983), (1983-1996) et (1996-2010) l'emportent respectivement dans plus de 61 %, 37% et 38% des cas (tab. III. 3). En effet, pour la période 1996-2010 on remarque l'apparition de certains cas d'humidité extrême, parallèlement avec une augmentation dans les conditions sèches (62%). Ceci est expliqué par le phénomène de la variabilité climatique qui a affecté la région durant ces dernières décennies (Otmane, 2019, Talia et al., 2011). Ainsi, pour les trois périodes considérées de 1971 à 2010, la sécheresse l'emporte largement avec le temps, puisqu'elle représente de 38 % (1971-83) à 62 % (1996-2010) des cas.

Tableau III. 3. Fréquences (en %) d'apparition des conditions climatiques durant les périodes 1971-1983, 1983-1996 et 1996-2010, en considérant toute la série d'observation

Descripteurs	Période 1971-1983		Période 1983-1996		Période 1996-2010	
<i>P moy du 6 postes</i>	388.9 mm		319.7 mm		347 mm	
<i>Humidité extrême</i>	2.78%	61.11%	0%	37.18%	9.52%	38.09%
<i>Humidité forte</i>	23.61%		6.41%		7.14%	
<i>Humidité modérée</i>	34.72%		30.77%		21.43%	
<i>Sécheresse modérée</i>	33.33%	38.89%	37.18%	62.82%	36.9%	61.91%
<i>Sécheresse forte</i>	4.17%		25.64%		23.81%	
<i>Sécheresse extrême</i>	1.39%		0%		1.19%	
<b>Total</b>	100%		100%		100%	

**NB :** Les valeurs sont établies à partir des moyennes annuelles des SPI des 6 stations pluviométriques.

La spatialisation des valeurs moyennes du taux d'humidité (humidité modérée, forte et extrême) durant l'ensemble de la période d'observation pour les six stations (Annexe 1) fait apparaître que la partie Ouest de la plaine durant la période 1971-1983 a été marquée par une humidité importante de l'ordre de 80%. Depuis, et pour le reste de la série d'observation, cette humidité a connu une diminution progressive pour atteindre une situation inquiétante surtout durant la période 1996-2010 (10 à 20%) (Fig. III. 4)

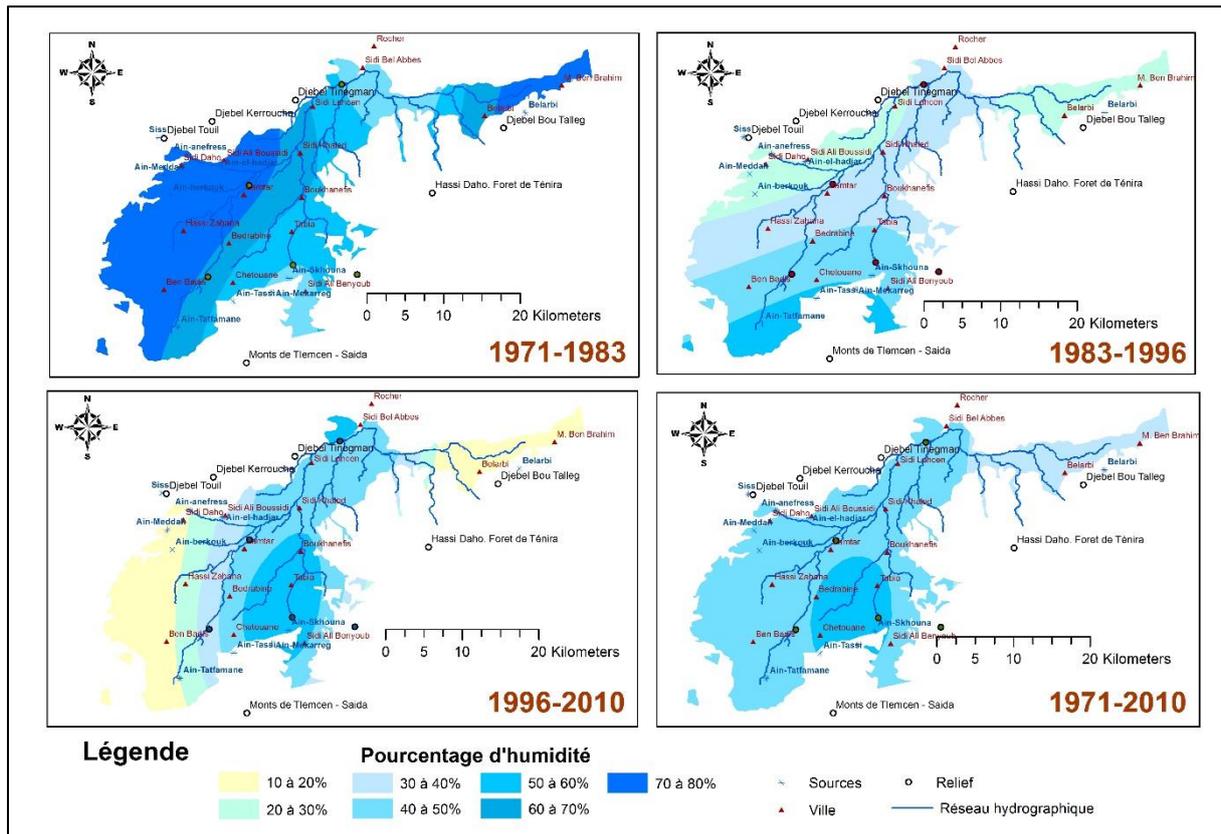


Figure III. 4. Répartition spatiotemporelle du taux d'humidité par rapport à l'ensemble de la série d'observation

### 3.2. Evolution spatiale d'humidité pour chaque période

La représentation spatiale des conditions humides pour chaque période considérée dans cette étude (Annexe 2 et fig. III. 5) montre une progression spatiale remarquable, voire inquiétante pour les faibles taux d'humidité en allant du nord vers le sud de la plaine. En effet, le taux d'humidité atteint 35% durant la période 1983-1996 dans la région de la ville de Sidi Bel Abbès, et continu à prolonger pour couvrir la moitié de la zone d'étude durant la période 1996-2010.

En revanche, la période 1971-1983 est considérée comme une période transitoire (Période de rupture (Ghenim et al., 2010) où le taux d'humidité inscrit est moyen, et tourne autour de 45 à 50% pour toute la plaine.

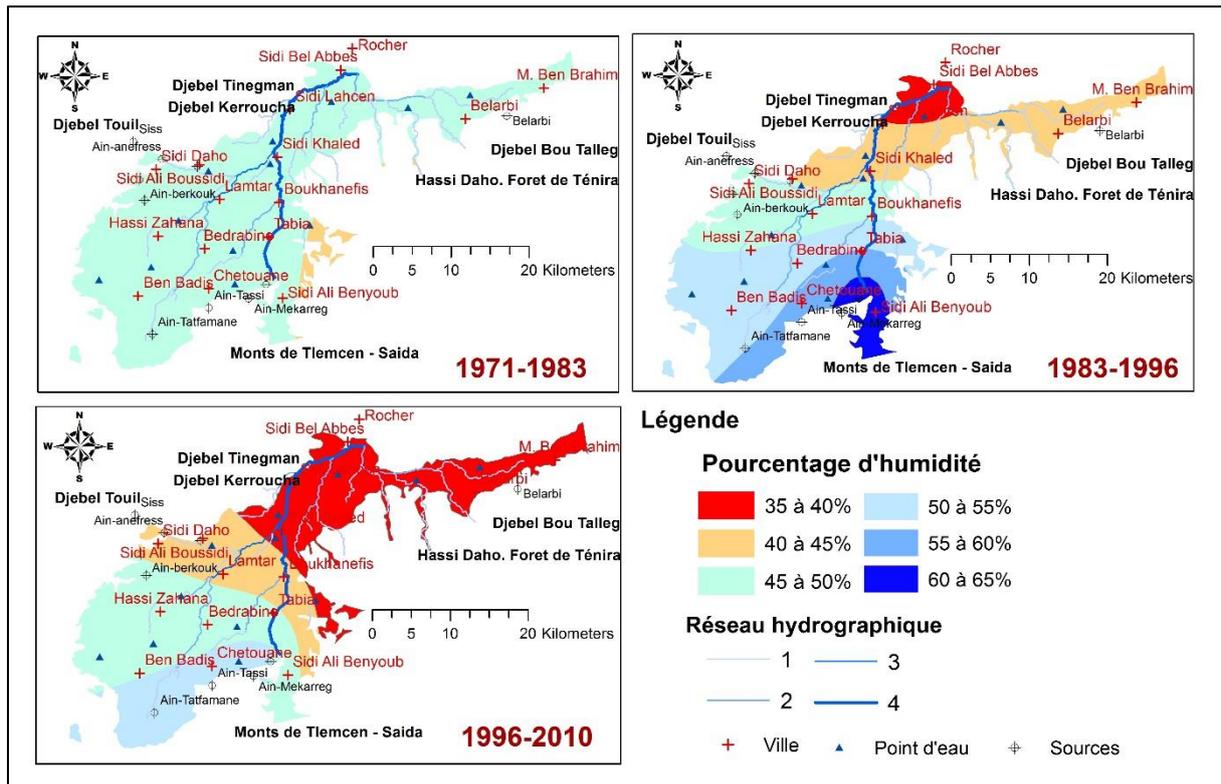


Figure III. 5. Répartition spatiotemporelle du taux d'humidité par rapport à chaque période séparément

### 3.3. Etude de la fluctuation de la nappe

#### 3.3.1. Cartes piézométriques

L'analyse des cartes piézométriques (fig. III. 6) montre que l'écoulement des eaux souterraines se dirige vers la ville de Sidi Bel Abbes, qui on peut la considérer comme un exutoire de la nappe, notamment avec la présence de certains affleurements dans cette partie de la plaine (Lac de Sidi Bel Abbes et sources dans le point dit rocher).

Aussi, l'allure général des cartes fait apparaitre une alimentation permanente (axes de drainages) à partir de la région de Sidi Ali BenYoub et Sidi Ali Boussidi et donnant naissance aux sources (Ain Skhouna, Ain Mekarreg, Ain Tassi et Ain Berkouk, Ain Meddah, et Ain Anefress) alimentées par la nappe des calcaires et dolomie jurassico-crétacé et la nappe des calcaires Eocène.

Par ailleurs, la carte piézométrique établie en 1971 révèle d'autres axes de drainages (zone d'alimentation) plus précisément ceux de la région de M. Benbrahim (Nord-est) et Ben-Badis (Sud-ouest). Cela, peut être expliqué d'une part, par l'humidité qui a touché ces localités dans cette période (Fig. III. 4), et d'autre part, par le cumul pluviométrique important qui a régné dans la région. En effet, de nombreuses recherches ont montrés une diminution pluviométrique à partir la fin des années soixante-dix (OTMANE et al. 2018) ce qui conduit par conséquence à une disparition de ces axes de drainages pour les cartes établies en 1983, 1996 et 2010.

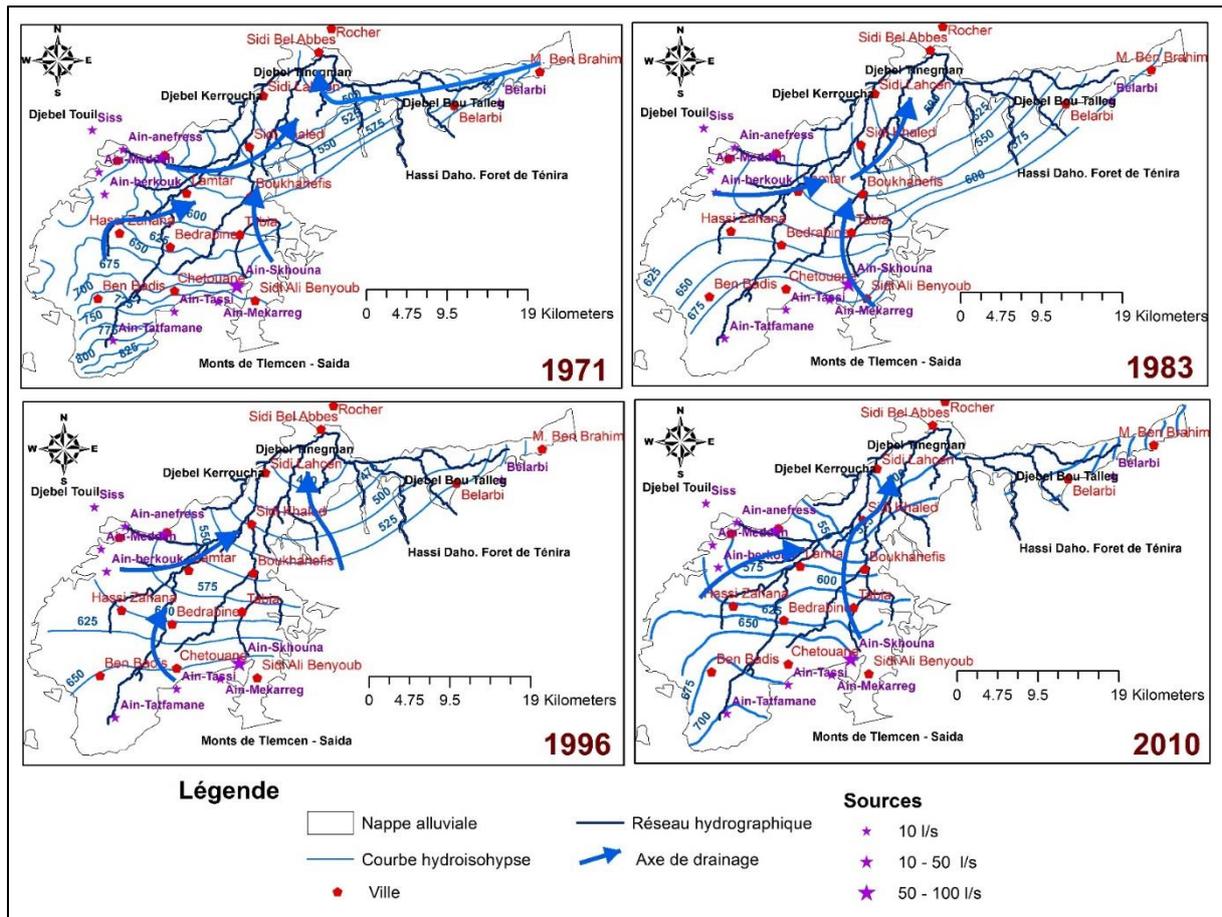


Figure III. 6. Evolution temporelle de la piézométrie au niveau de la plaine alluviale de Sidi Bel Abbas

### 3.3.2. Evolution spatiotemporelle de la fluctuation de la nappe

L’approche adoptée dans cette partie consiste en premier temps à superposer respectivement les cartes piézométriques (1983/1971), (1996/1983) et (2010/1996) sous un système d’information géographique (SIG) afin de déterminer les points d’intersections qui représentent les rabattements (si les valeurs sont positives on a une alimentation de la nappe et le contraire). Ensuite avec la spatialisation de ce résultat (rabattement) nous obtenons pour chaque période une carte d’évolution spatio-temporelles de la fluctuation de la nappe (Fig. III. 7).

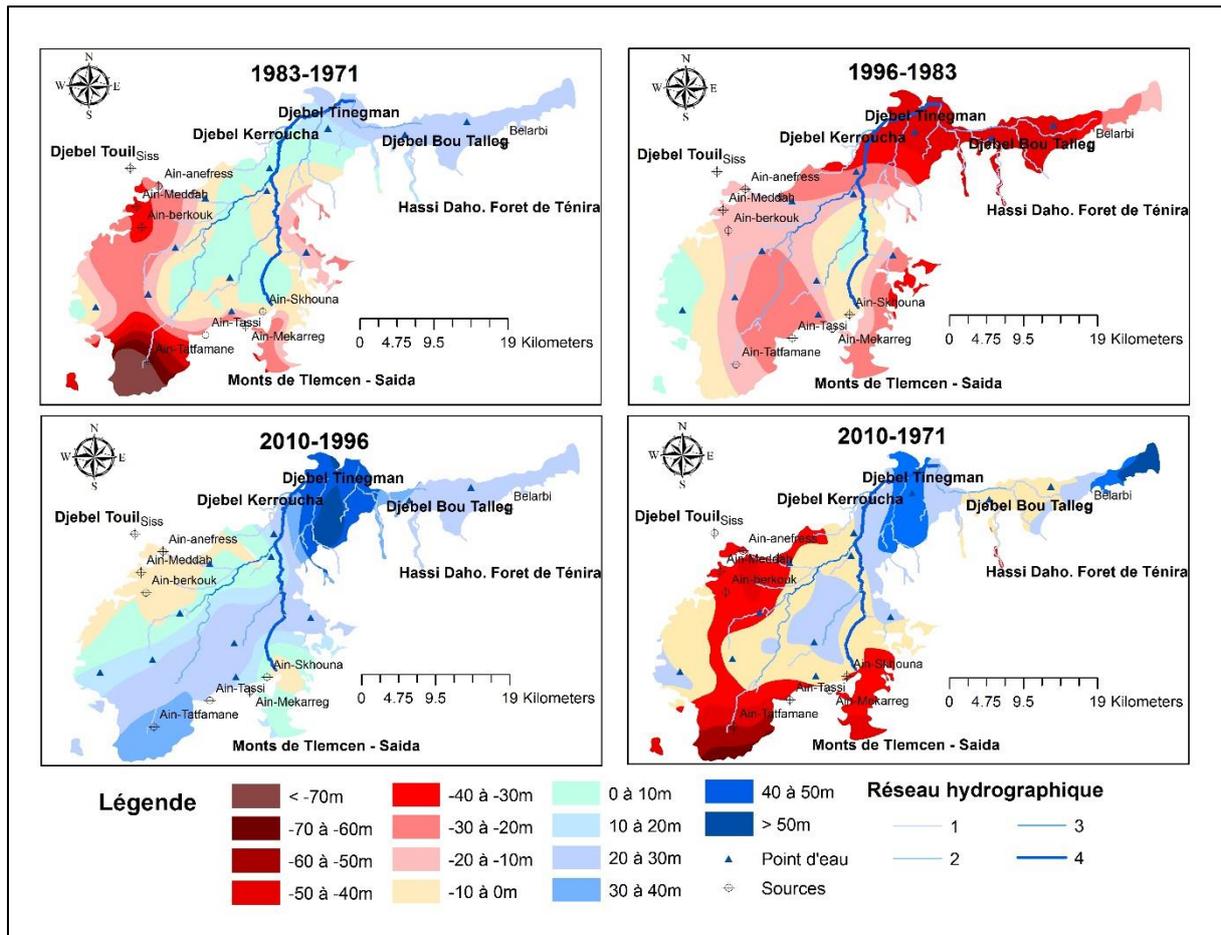


Figure III. 7. Evolution spatiotemporelle de la fluctuation de la nappe

La lecture générale de la figure III. 7 a met en évidence un rabattement important de l'ordre de 70m dans la partie Sud de la plaine durant la période 1971-1983, de même pour la partie Nord-Est pour la période allant de 1983-1996, ceci explique que la nappe c'est épuisé plus rapidement dans sa partie sud-ouest que dans sa partie nord-est.

En revanche, il est nécessaire de signaler une certaine augmentation de niveau piézométrique (10 à 20m) dans le nord-est durant la période 1971-1983, avec une stabilité remarquable (0 à 20m) au cœur de la plaine dû généralement au gradient hydraulique qui converge vers cette zone (Fig. III. 6). Toutefois, pendant a période 1983-1996, on assiste à un rabattement généralisé de la nappe conséquence de la sévérité de la sécheresse et la sollicitation très importante de la nappe.

La période 1996-2010 montre une augmentation de niveau de la nappe, notamment dans les environs de la ville de Sidi Bel Abbes « plus de 50m » (exutoire), parallèlement, avec un léger rabattement dans les régions où les sources sont concentrées (Sidi Ali Boussidi et Sidi Ali Ben Youb).

D'une façon générale, la nappe alluviale de Sidi Bel Abbes en 2010 présente une fluctuation spatiale attrayante par rapport à l'année 1971. En effet, la nappe a augmenté de 50m dans les régions de Sidi Bel Abbes et Belarbi, parallèlement avec un rabattement extrême atteignant les -50m dans les régions amonts, caractérisée par un soulèvement du mur, et des conditions aux limites ouvertes [Présence des sources]. Ceci, nous a conduit à conclure que les sources ont contribuées largement à la potentialité des eaux souterraines. Le rabattement important enregistré dans les régions amont (régions des sources) est dû à la sécheresse qui a frappé la

zone durant les dernières décennies, la situation du gradient hydraulique qui se dirige vers l'aval (la ville de Sidi Bel Abbès), et aussi à la surexploitation de la nappe qui se fait en aval.

**3.4. Impact de la variabilité spatiotemporelle d'humidité sur le comportement hydrodynamique de la nappe**

D'après les différents travaux menés sur la variabilité climatique dans notre région (Belarbi et al., 2017, Ketrouci et al., 2004, Khaldi, 2005, Djellouli et Daget, 1993, Bakreti et al., 2013), la date de rupture se situe dans les années soixante-dix, ce qui explique un taux d'humidité inférieure à 50% pour l'ensemble de la nappe pendant la période 1971-1983 (Fig. III. 8). Cela, a conduit à une surexploitation du réservoir alluvial, et par conséquent, un rabattement important aux alentours de la nappe et plus particulièrement au sud de la région (Ben Badis).

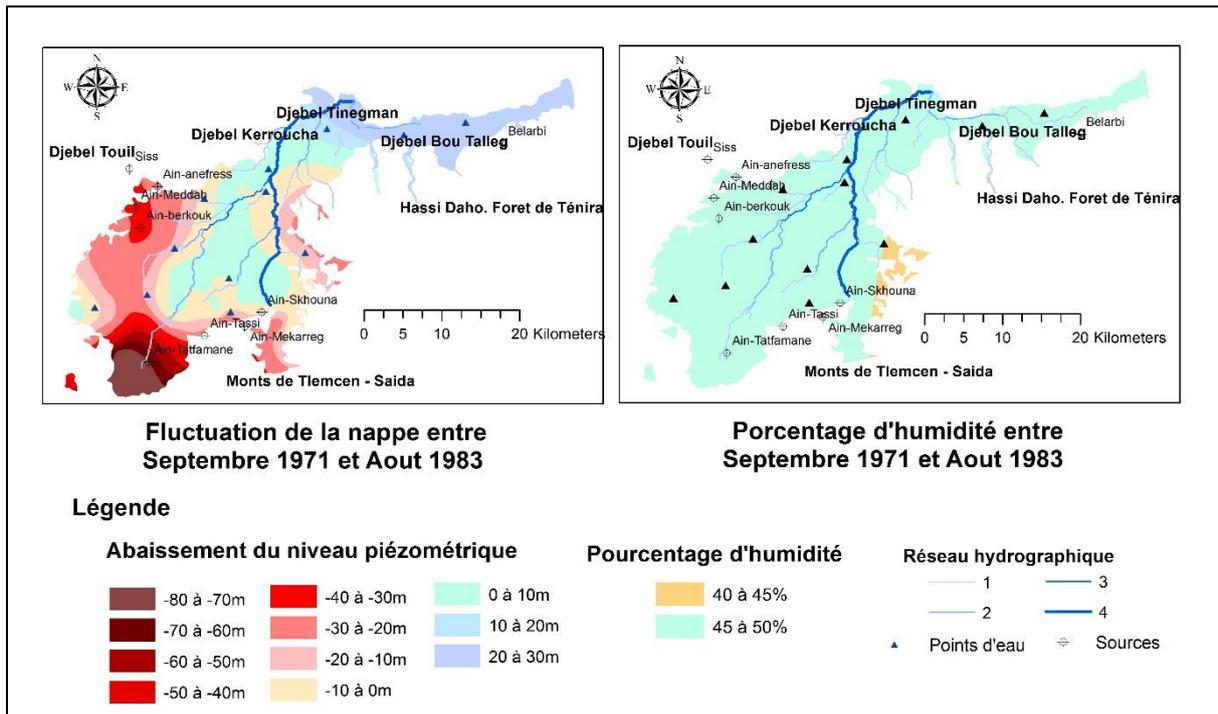


Figure III. 8. Evolution spatiale de la fluctuation de la nappe et l'humidité durant la période 1971-1983

Ce comportement hydrodynamique de la nappe (baisse de niveau d'eau aux périphériques de la nappe) revient à l'aspect topographique du substratum qui a la forme d'une cuvette. Ce dernier, conditionne largement le sens d'écoulement des eaux souterraines (Fig. III. 9). A cet égard, on peut dire que les eaux au milieu, et en aval de la nappe sont régénérées systématiquement par les eaux en provenance de l'amont, ce qui induit à un rabattement continu aux périphériques de la nappe, surtout avec l'absence des précipitations, ainsi que la surexploitation des eaux destinées à l'irrigation en aval.

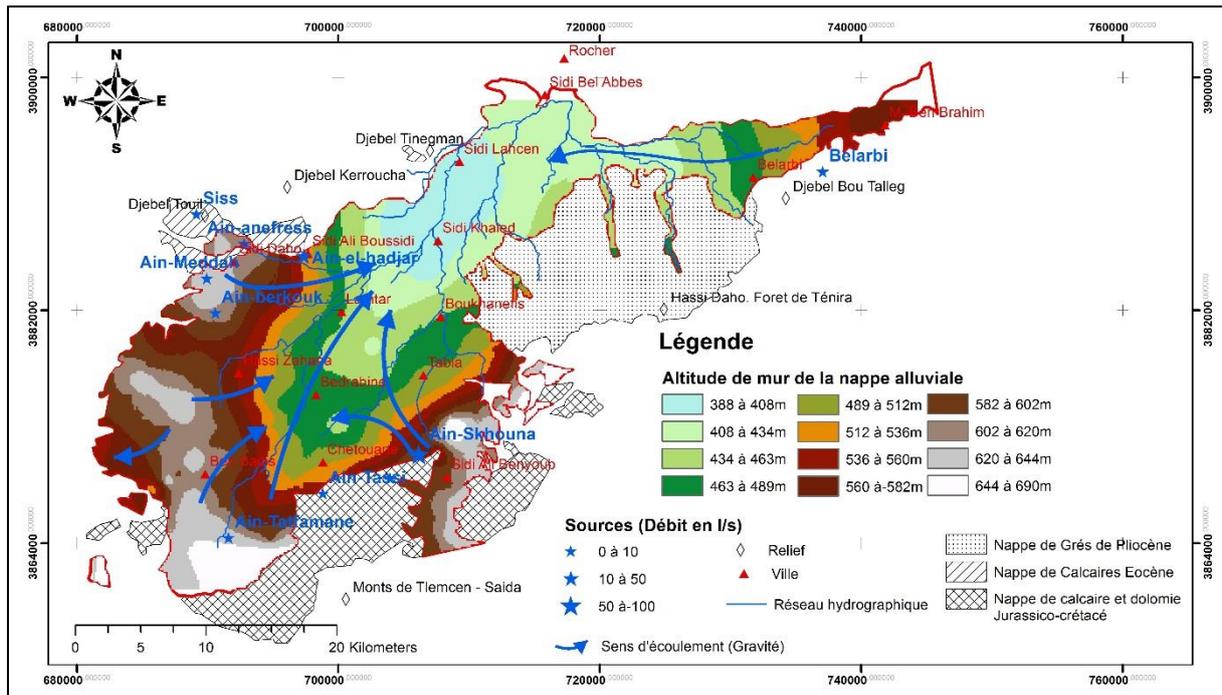


Figure III. 9. La morphométrie de substratum de la nappe alluviale

La période allant de 1983-1996 a connu un faible taux d'humidité notamment au nord de la zone d'étude « 35 à 45% » (Fig. III. 10). La faiblesse des cumuls pluviométriques annuels qui règne dans cette partie de la nappe a influencée largement sur son renouvellement, ce qui contribue à un rabattement important, atteignant les -50m. La nappe est donc dépendante de la pluviométrie dans sa partie nord (Belarbi – Sidi Bel Abbès).

Ainsi, le cône de déjection qui se trouve en aval (nord) a provoqué une réalimentation en provenance de l'amont en profitant de la gravité (Fig. III. 9), ce qui explique les rabattements enregistrés au sud de la nappe malgré le taux d'humidité qui avérer satisfaisant. Par ailleurs, la partie sud-ouest de la nappe alluviale reste en dehors de ce mouvement hydrodynamique, car n'appartient pas à la cuvette qui caractérise le mur de la nappe (Fig. III. 9), Cela, est confirmé par la stabilité de la nappe dans cette région (Fig. III. 10), et par conséquent sa réponse aux précipitations (taux d'humidité).

En plus, il est important de signaler la relation permanente entre l'oued Mekerra et la nappe, justifiant la stabilité de cette dernière au périphérique de l'oued et particulièrement au centre de la zone d'étude (les environs de Boukhanefis).

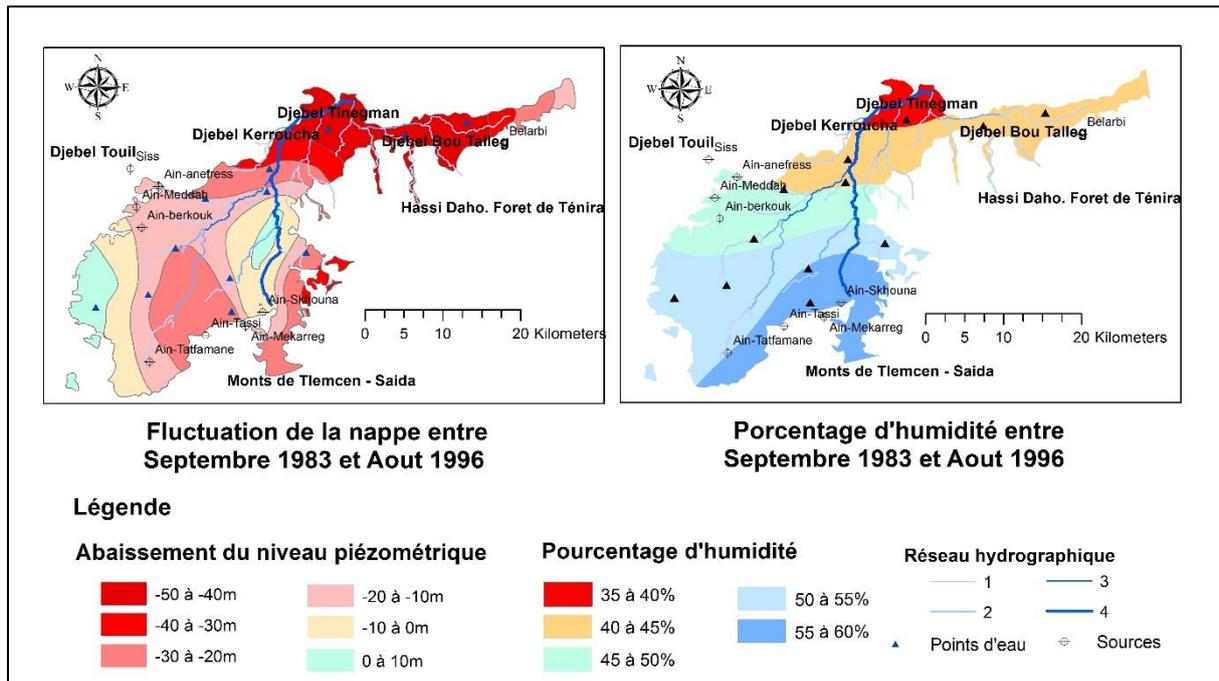


Figure III. 10. Evolution spatiale de la fluctuation de la nappe et l'humidité durant la période 1983-1996

La période 1996-2010 montre que la moitié de la zone d'étude a subi d'un taux d'humidité relativement faible, dont le pourcentage est compris entre 35 et 45% (Fig. III. 11). Tandis que la nappe a enregistré une remonter considérable qui atteinte 60m au nord. En effet, cette discordance est expliquée par les évènement pluvieux exceptionnels qu'avait connu la région en 2008-2009 et 2009-2010 (Fig. III. 12 et annexe 2).

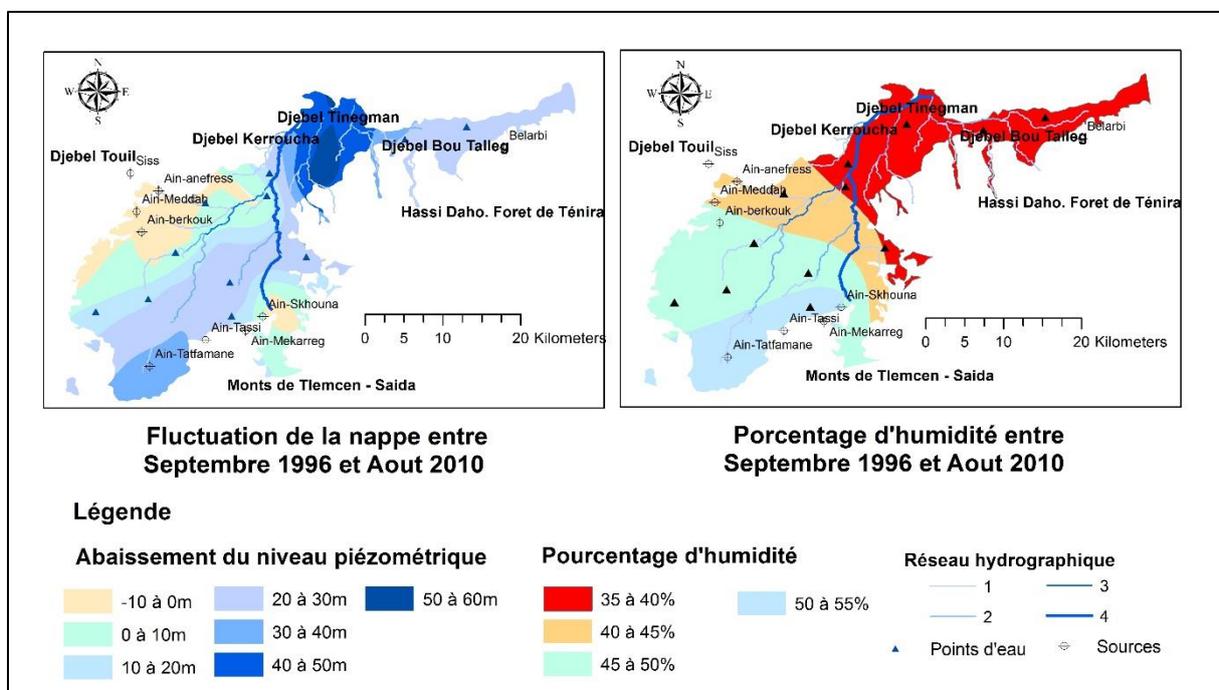


Figure III. 11. Evolution spatiale de la fluctuation de la nappe et l'humidité durant la période 1996-2010

La figure suivante présente l'importance de volume pluviométrique tomber dans la région (2008-2010), dont sa classification (en s'appuyant sur l'ensemble de la série d'observation) varie spatialement entre humidité forte à extrême.

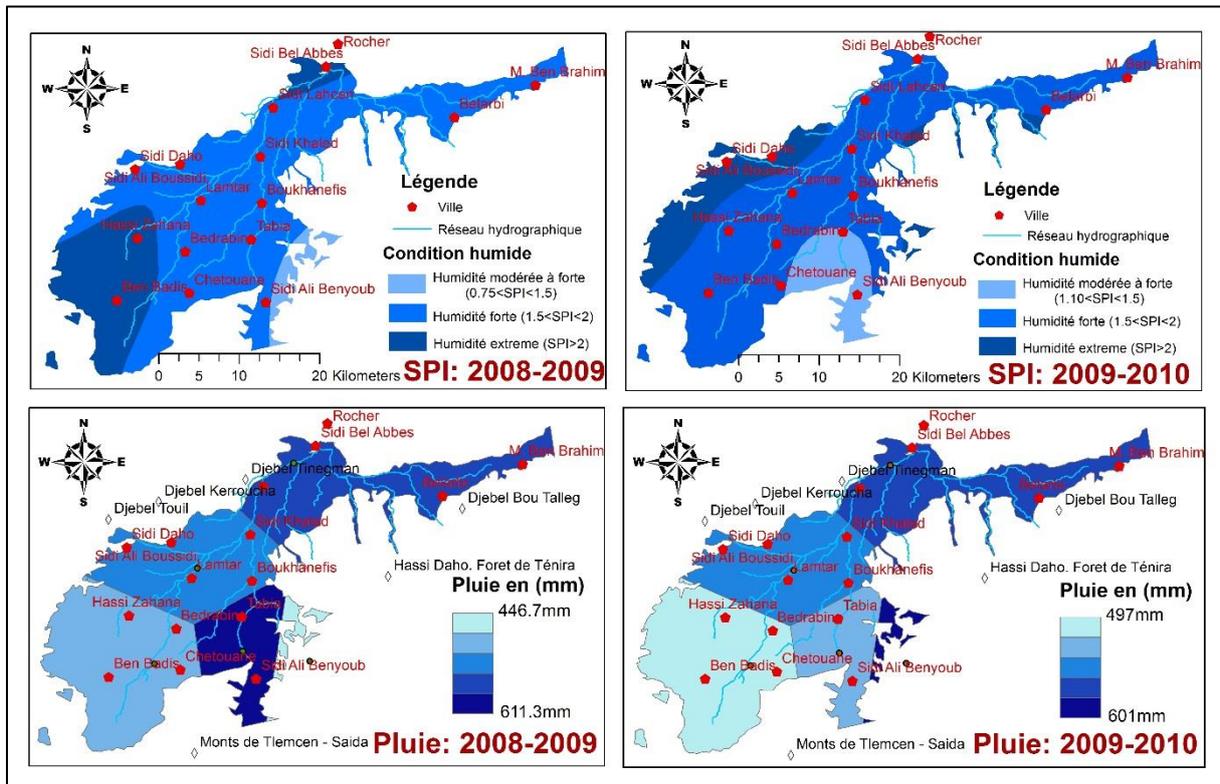


Figure III. 12. Evolution spatiale des précipitations et les conditions humides durant les années 2008-2009 et 2009-2010

Cette humidité exceptionnelle (Fig. III. 12) a impliqué une remontée de 5 à 30m (Fig. III. 11) dans la partie sud-ouest de la nappe (Cuvette secondaire) qui ne contribue pas à l'alimentation de la zone aval (Fig. III. 9). En effet, un cumul pluviométrique annuel de l'ordre de 500mm est donc capable de régénérer 5 à 30m de la potentialité d'eau de la nappe.

D'une façon générale, la nappe alluviale entre 2010 et 1971 a inscrit une sensible augmentation, dans plusieurs localités (au centre, Sidi Bel Abbès et les extrémités sud-ouest nord-est), au détriment des endroits qui sont caractérisés par un soulèvement de mur (Fig. III. 13). Cela, confirme la surexploitation excessive de la nappe au niveau de la région de Sidi Bel Abbès (aval), ce qui implique une réalimentation continue notamment avec la transmissivité importante de cette partie de la nappe « supérieure de 10-2 m<sup>2</sup>/s » (Fig. III. 14).

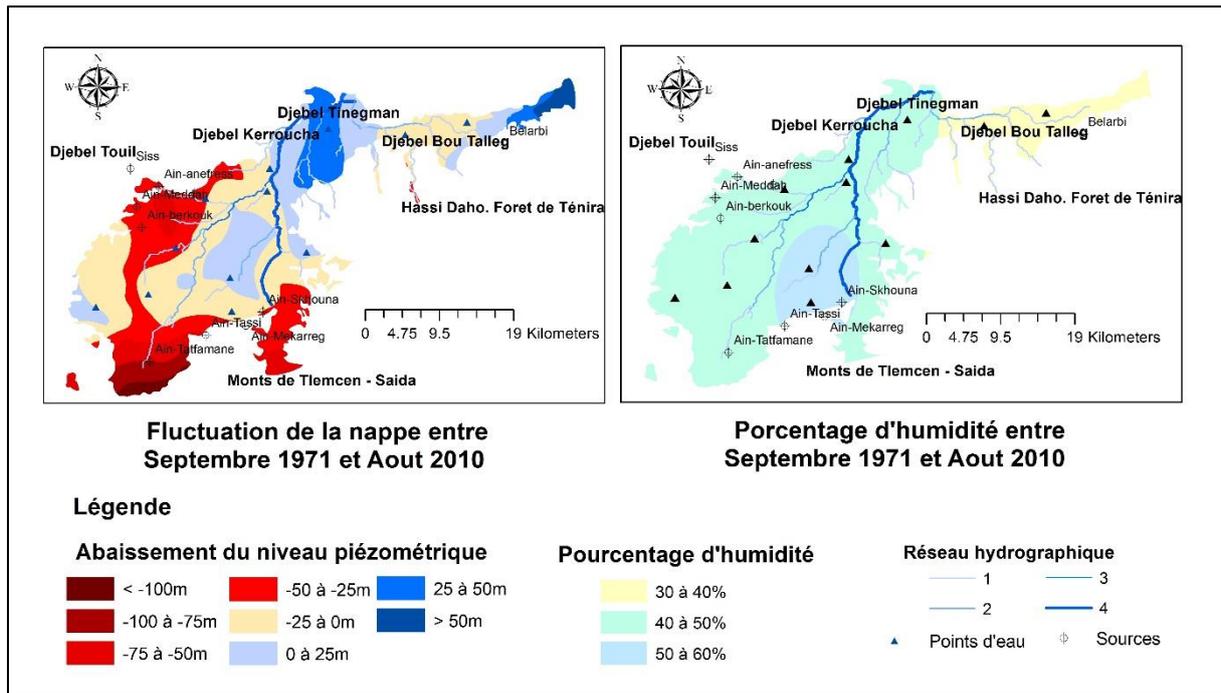


Figure III. 13. Evolution spatiale de la fluctuation de la nappe et l'humidité durant l'ensemble de la période d'observation

En revanche, la remontée de la nappe aux extrémités sud-ouest et nord-est est causée par le cumul pluviométrique important de l'année 2009-2010. Sachant que la partie sud-ouest est indépendante du réservoir principal (Fig. III. 9), et l'extrémité nord-est est avérée moins transmissive « inférieure de  $5.10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$  », et par conséquent une stabilité piézométrique temporelle, relativement longue dans cette partie de la nappe (Fig. III. 14).

Aussi, il est très logique d'expliquer la discordance entre l'évolution spatiale d'humidité et la fluctuation de la nappe (Fig. III. 13) par les événements pluvieux exceptionnels enregistrés dans les deux dernières années de la période d'observation. D'après Otmane, 2015 et (Otmane et al., 2017), la pluie enregistrée en 2008-2009 coïncide avec des récurrences dépassant un siècle (une fois tous les 100 ans) pour l'ensemble des stations considérées dans cette étude.

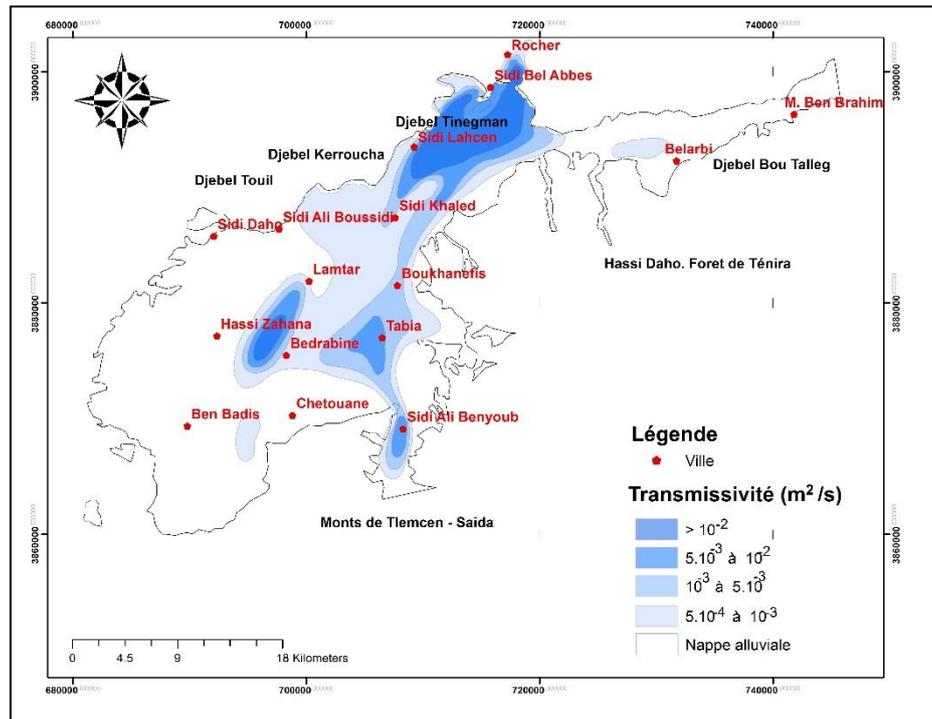


Figure III. 14. Evolution spatiale de la transmissivité (Sourisseau 1972)

#### 4. Conclusion

La variabilité temporelle des conditions humides durant l'ensemble de la série d'observation fait apparaître une diminution remarquable. Le taux d'humidité varie entre 61% (1971-1983) à 38% (1996-2010), parallèlement avec l'apparition de certains cas d'humidité extrême vers la fin de la série, ceci est expliqué par le phénomène de la variabilité climatique qui a affecté la région durant ces dernières décennies

La nappe alluviale présente un comportement hydrodynamique spécifique. En effet, les rabattements sont enregistrés en amont (soulèvement de mur), et la stabilité et/ou la remontée (augmentation) en aval et au centre de la cuvette. Ceci, justifie la surexploitation intensive de la nappe en aval, ce qui induit à une régénération rapide et systématique par les eaux en provenance de l'amont, et par conséquent un rabattement continu en amont, surtout avec l'absence des précipitations.

Donc, la contribution de la pluviométrie au réserve utile (eau souterraine susceptible d'être exploitée) semble faible comparée à celle des nappes avoisinantes, et limité en période de hautes eaux : c'est à dire qu'un déficit de pluviosité à cette période produit un abaissement du niveau que ne peuvent remonter les pluies d'été. Une succession d'hivers plus secs entraîne une situation de sécheresse hydrogéologique (nappe très basse, assèchement des sources et captages) bien que la pluviométrie totale annuelle puisse sembler normale (cas de la période 1983-1996).

La partie Sud-Ouest de la nappe alluviale reste en dehors de ce mouvement hydrodynamique, car elle n'appartient pas à la cuvette principale. Cela, est confirmé par la réponse de la nappe vis-à-vis du taux d'humidité (précipitations). En plus, l'humidité exceptionnelle enregistrée à la fin de la série d'observation a impliqué une remontée de 5 à 30m dans cette partie de la nappe.

La nappe est fortement influencée par les eaux de surface pour sa réalimentation. L'Oued alimente la nappe dans sa partie amont et aval tout au long de l'année, et particulièrement lors de ses crues.

## **Conclusion générale**

## Conclusion générale

### Conclusion générale

L'objectif de ce travail est d'améliorer la connaissance sur les principales caractéristiques hydrogéologiques et le fonctionnement hydrodynamique de la nappe alluviale de Sidi Bel Abbas afin de déterminer le mode de recharge de la nappe et évaluer les effets de la sécheresse sur le renouvellement de la ressource souterraine.

En effet, la carte du mur de la nappe montre le caractère majeur du bassin versant de la Mekerra aval :

- L'altitude du mur décroît du SW au NE ;
- Une dépression principale au centre, orientée SW- NE, lieu de remplissage du matériau alluvionnaire permettant l'installation du chenal ;
- Une dépression secondaire, indépendante de la précédente, et séparée par un soulèvement du mur qui suit généralement la limite des crêtes du bassin versant.

La carte des transmissivités montre que la perméabilité augmente en se dirigeant vers le centre (zone correspondant au chenal).

L'examen des courbes isopièzes met en évidence l'existence d'une direction générale d'écoulement du Sud vers le Nord. Au Sud et à l'Ouest, les isopièzes sont assez espacées, tandis qu'au Sud et au Sud Est, elles se rapprochent pour donner des gradients hydrauliques plus importants. Nous pouvons remarquer aussi le caractère drainant de l'Oued au Nord de la nappe et les zones d'alimentation latérales des sources.

La variabilité temporelle des conditions humides durant l'ensemble de la série d'observation fait apparaître une diminution remarquable. Le taux d'humidité varie entre 61% (1971-1983) à 38% (1996-2010), parallèlement avec l'apparition de certains cas d'humidité extrême vers la fin de la série, ceci est expliqué par le phénomène de la variabilité climatique qui a affecté la région durant ces dernières décennies

La nappe alluviale présente un comportement hydrodynamique spécifique. En effet, les rabattements sont enregistrés en amont (soulèvement de mur), et la stabilité et/ou la remonté (augmentation) en aval et au centre de la cuvette. Ceci, justifie la surexploitation intensive de la nappe en aval, ce qui induit à une régénération rapide et systématique par les eaux en provenance de l'amont, et par conséquent un rabattement continu en amont, surtout avec l'absence des précipitations. En effet, plus les rabattements sont inscrits en amont, plus l'apport des nappes adjacentes (Nappe des calcaires et dolomies Jurassico-crétacés et nappe des calcaires éocènes) pour l'alimentation de la nappe alluviale est important. Ainsi, cette situation hydrodynamique nous montre une image plus précise sur la sévérité de la sécheresse (surexploitation et multiplication des points d'eau) qui diminue largement la capacité hydrique de la nappe alluviale et provoque une alimentation par trop plein pour les nappes avoisinantes.

En revanche, les cumuls pluviométriques annuels exceptionnels (>500mm/an) ont contribué largement à la recharge de la nappe et peuvent diminuer l'apport des nappes avoisinantes (cas de la période 1996-2010).

La discordance entre l'évolution spatiale d'humidité et la fluctuation de la nappe est expliquée par le caractère hydrodynamique de la nappe (cuvette principale), qui est très sensible à la surexploitation, ainsi que le mode de réponse de la nappe. En effet, la nappe réagit instantanément aux fortes pluies événementielles. Néanmoins, on note certaine concordance entre l'évolution spatiale d'humidité et la fluctuation de la nappe dans la cuvette secondaire (partie Sud-Ouest de la nappe) en raison de la faible exploitation dans cette partie de la nappe.

## Références

### Références Bibliographiques :

- About L (2013) Etude hydrogéologique de la plaine de Sidi Bel Abbes : Modélisation et protection de la ressource en eau. Mémoire de Magister. USTHB, Alger.139p.
- Ali A, Lebel T (2009) The Sahelian standardized rainfall index revisited. *Int. J. Climatol. J. R. Meteorol. Soc.* 29, 1705–1714.
- Ardoïn-Bardin S (2004) Variabilité hydroclimatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne (PhD Thesis). Université Montpellier II. 351p. <http://hydrologie.org/THE/ARDOIN.pdf>
- Ardoïn-Bardin S, Dezetter A, Servat E, Mahé G, Paturel J, Dieulin C, Boyer J (2003) Analyse de la variabilité des ressources en eau en Afrique de l'Ouest sahélienne par modélisation hydrologique à grand pas de temps et d'espace [Analysis of the variability of water resources in the Africa's West Sahelian using hydrological modeling at large time and space steps]. *J. Eau Environ.* 3, 5–13.
- Bakreti A, Braud I, Leblois E, Benali A (2013) Analyse conjointe des régimes pluviométriques et hydrologiques dans le bassin de la Tafna (Algérie Occidentale). *Hydrol. Sci. J.* 58, 133–151.
- Belarbi H, Touaibia B, Boumechra N, Amiar S, Baghli N (2017) Sécheresse et modification de la relation pluie–débit : cas du bassin versant de l'Oued Sebdu (Algérie Occidentale). *Hydrol. Sci. J.* 62, 124–136.
- Bellaredj A.E.M (2019) Caractérisation des principaux paramètres affectant les eaux souterraines de la plaine de Sidi Bel Abbès à l'aide du programme Visual Modflow (applications et perspectives). (PhD Thesis). Université Mohamed ben Ahmed. Oran, 202p.
- Bergaoui M, Alouini A (2002) Caractérisation de la sécheresse météorologique et hydrologique : cas du bassin versant de Siliana en Tunisie. *Sci. Chang. Planétaires Sécheresse* 12, 205–13.
- Bodian A (2014) Characterization of the recent temporal variability of annual rainfall in Senegal (West Africa). *Physio-Géo* 8, 297–312.
- Boudjadja A, Messahel M, Pauc H (2003) Ressources hydriques en Algérie du Nord. *Rev. Sci. EauJournal Water Sci.* 16, 285–304.
- Cudennec C, Leduc C, Koutsoyiannis D (2007) Dryland hydrology in Mediterranean regions—a review. *Hydrol. Sci. JournalJournal Sci. Hydrol.* 52, 1077–1087.
- Djellouli Y, Daget P (1993) Conséquences de la sécheresse des deux dernières décennies sur les écosystèmes naturels algériens. *Publ. Assoc. Int. Climatol.* 6, 105–114.
- El Mahi A, MEDDI M, Matari A, Ketrouci K (2014) État de la pluviométrie en période de sécheresse en Algérie du nord et sa relation avec le phénomène ENSO. *Prod. Sci.-Commun.* 1.
- Faye C, Sow A.A, Ndong J.B (2015) Étude des sècheresses pluviométriques et hydrologiques en Afrique tropicale : caractérisation et cartographie de la sècheresse par indices dans le haut bassin du fleuve Sénégal. *Physio-Géo Géographie Phys. Environ.* 17–35.
- Gain A.K, Giupponi C (2015) A dynamic assessment of water scarcity risk in the Lower Brahmaputra River Basin: An integrated approach. *Ecol. Indic.* 48, 120–131.
- Ghenim A, Megnounif A, Seddini A, Terfous A (2010) Fluctuations hydropluviométriques du bassin versant de l'oued Tafna a Béni Bahdel (Nord-Ouest algérien). *Sécheresse* 21, 115–120.
- Ghenim A.N, Megnounif A (2013) Ampleur de la sécheresse dans le bassin d'alimentation du barrage Meffrouche (Nord-Ouest de l'Algérie). *Physio-Géo Géographie Phys. Environ.* 35–49.
- Gherissi R (2018) Modélisation hydrologique d'un bassin versant en climat méditerranéen par l'approche conceptuelle globale. Cas de l'oued Lakhdar (ex : Chouly) (Tafna, Nord-Ouest algérien). (PhD Thesis). Université AbouBekr Belkaid. Tlemcen. 208p.
- Giddings L, SOTO M, Rutherford B, Maarouf A (2005) Standardized precipitation index zones for Mexico. *Atmósfera* 18, 33–56.
- Gleick P.H (2003) Global freshwater resources: soft-path solutions for the 21st century. *Science* 302, 1524–1528.
- Ketrouci K, Meddi M, Matari A, El Mahi A (2004) La sècheresse dans le Nord-Ouest algérien sur les deux dernières décennies, in : *Actes Du Colloque " Terre et Eau.* pp. 440–443.

## Références

- Khaldi A (2005) Impacts de la sécheresse sur le régime des écoulements souterrains dans les massifs calcaires de l'Ouest Algérien" Monts de Tlemcen-Saida. These Dr. Univ. D'Oran Algérie. 229 p.
- Lebid H (2001) Modèles de représentation de cartes hydrogéologique et de vulnérabilité à la pollution. Exemple de la carte de Sidi Bel Abbès au 1/50 000. Mém. Magister En Géologie Appliquée. Mémoire de magister. Université d'Oran, Algérie.
- Lepinas F (2008) Impacts du changement climatique sur l'hydrologie des fleuves côtiers en region Languedoc-Roussillon (PhD Thesis). Université de Perpignan. 305p. [https://cpdp.debatpublic.fr/cpdpaquadomitia/site/DOCS/PDF/THESE\\_LESPINAS.PDF](https://cpdp.debatpublic.fr/cpdpaquadomitia/site/DOCS/PDF/THESE_LESPINAS.PDF)
- Loehle C (2014) A minimal model for estimating climate sensitivity. *Ecol. Model.* 276, 80–84.
- Loehle C, Scafetta N (2012) Climate change attribution using empirical decomposition of climatic data. *ArXiv Prepr. ArXiv12065845*.
- McKee T.B, Doesken N.J, Kleist J (1993) The relationship of drought frequency and duration to time scales, in: *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*. Boston, pp. 179–183.
- Meddi M, Talia A, Martin C (2009) Évolution récente des conditions climatiques et des écoulements sur le bassin versant de la Macta (Nord-Ouest de l'Algérie). *Physio-Géo Géographie Phys. Environ.* 61–84.
- Mirchi A, Madani K, Roos M, Watkins D.W (2013) Climate change impacts on California's water resources, in: *Drought in Arid and Semi-Arid Regions*. Springer, pp. 301–319.
- Nassopoulos H (2012) Les impacts du changement climatique sur les ressources en eaux en Méditerranée (PhD Thesis). Université Paris-Est. 173p. <https://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00838516/document>
- Nouaceur Z, Laignel B, Turki I (2013) Changements climatiques au Maghreb : vers des conditions plus humides et plus chaudes sur le littoral algérien ? *Physio-Géo Géographie Phys. Environ.* 307–323.
- Otmame A (2015) Prédétermination des valeurs de pluies et crues extrêmes dans le bassin versant de l'Oued Mekerra. Mémoire de Magister. Université Mohamed ben Ahmed. Oran. 187p.
- Otmame A, Baba-Hamed K, Bouanani A, Safa A (2017) Prédétermination des valeurs de crues extrêmes et contribution de la plaine de Sidi Bel-Abbès dans le bilan hydrologique du bassin versant de l'oued Mekerra. *Tech. Sci. Méthodes* 27–48.
- Otmame A, Baba-Hamed K, Bouanani A, Kebir L (2018) Mise en évidence de la sécheresse par l'étude de la variabilité climatique dans le bassin versant de l'oued Mekerra (Nord-Ouest algérien). *Tech. Sci. Méthodes* 23–37.
- Otmame A (2019) Impacts de la variabilité climatique sur l'hydrologie et la gestion des ressources en eau du bassin versant de l'Oued Mekerra (Nord-ouest algérien). Thèse de Doctorat. Université Abou Bekr Belkaid. Tlemcen. 229p.
- Otmame A, Baba Hamed K, Bouanani A (2019a) Apport de la variabilité spatiale des caractéristiques physiques du bassin versant dans la modélisation hydrologique et les sous-produits du bilan hydrologique : cas du bassin versant de l'aval Mekerra, Algérie. *Rev. Sci. l'eau Journal Water Sci.* 32, 117–144.
- Scafetta N (2012) Multi-scale harmonic model for solar and climate cyclical variation throughout the Holocene based on Jupiter–Saturn tidal frequencies plus the 11-year solar dynamo cycle. *J. Atmospheric Sol.-Terr. Phys.* 80, 296–311.
- Sircoulon J (1976) Les données hydropluviométriques de la sécheresse récente en Afrique intertropicale. Comparaison avec les sécheresses « 1913 » et « 1940 » in *Cahiers ORSTOM, série Hydrologie, numéro spécial sécheresse, volume XIII, n°2 - 1976*, pp. 75 à 174.
- Solomon S, Manning M, Marquis M, Qin D (2007) *Climate change 2007-the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC*. Cambridge university press.
- Sönmez F.K, Koemuescue A.U, Erkan A, Turgu E (2005) An analysis of spatial and temporal dimension of drought vulnerability in Turkey using the standardized precipitation index. *Nat. Hazards* 35, 243–264.
- Sourisseau B (1972) Etude hydrogéologique de la plaine de Ghriss. *Rapp. Agence Natl. Ressour. Hydraul. Alger Algér.*
- Steinschneider S, McCrary R, Mearns L.O, Brown C (2015) The effects of climate model similarity on probabilistic climate projections and the implications for local, risk-based adaptation planning. *Geophys. Res. Lett.* 42, 5014–5044.

## Références

- Talia A, Meddi M, Bekkoussa B.S (2011) Étude de la variabilité de la pluviométrie dans les hauts plateaux et le Sahara algériens. *Sci. Chang. PlanétairesSécheresse* 22, 149–158.
- Vörösmarty C.J, Green P, Salisbury J, Lammers R.B (2000) Global water resources: vulnerability from climate change and population growth. *science* 289, 284–288.
- Vörösmarty C.J, McIntyre P.B, Gessner M.O, Dudgeon D, Prusevich A, Green P, Glidden S, Bunn S.E, Sullivan C.A, Liermann C.R (2010) Global threats to human water security and river biodiversity. *nature* 467, 555–561.
- Wu H, Hayes M.J, Weiss A, Hu Q (2001) An evaluation of the Standardized Precipitation Index, the China-Z Index and the statistical Z-Score. *Int. J. Climatol. J. R. Meteorol. Soc.* 21, 745–758.
- Xoplaki E, González-Rouco J, Luterbacher J, Wanner H (2004) Wet season Mediterranean precipitation variability: influence of large-scale dynamics and trends. *Clim. Dyn.* 23, 63–78.
- Yousfi S (2008) Hydrodynamique et modélisation de la nappe alluviale de la plaine de Sidi Bel Abbes (NO Algérie). Mémoire de Magister. Université Abou Bekr Belkaid. Tlemcen. 91p.

# **Annexes**

# Annexes

## Annexe 1

		1971-1983						
Station		SPI>2	2>SPI>1	1>SPI>0	0>SPI>-1	1-SPI-2	SPI<-2	SPI>0
<b>Ain Trid</b>	Nombre de cas	0	4	4	3	0	1	8
	<b>Pourcentage</b>	<b>0</b>	<b>33.33</b>	<b>33.33</b>	<b>25.00</b>	<b>0.00</b>	<b>8.33</b>	<b>66.67</b>
<b>S, B, Abbes</b>	Nombre de cas	0	3	3	5	1	0	6
	<b>Pourcentage</b>	<b>0</b>	<b>25.00</b>	<b>25.00</b>	<b>41.67</b>	<b>8.33</b>	<b>0.00</b>	<b>50</b>
<b>Lamtar</b>	Nombre de cas	1	3	5	3	0	0	9
	<b>Pourcentage</b>	<b>8.33</b>	<b>25</b>	<b>41.67</b>	<b>25.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>75</b>
<b>S, A, Ben Y</b>	Nombre de cas	0	1	5	6	0	0	6
	<b>Pourcentage</b>	<b>0</b>	<b>8.33</b>	<b>41.67</b>	<b>50</b>	<b>0</b>	<b>0.00</b>	<b>50</b>
<b>Chetouane</b>	Nombre de cas	0	3	5	2	2	0	8
	<b>Pourcentage</b>	<b>0</b>	<b>25</b>	<b>41.67</b>	<b>16.67</b>	<b>16.67</b>	<b>0.00</b>	<b>66.67</b>
<b>Chabrie</b>	Nombre de cas	1	3	3	5	0	0	7
	<b>Pourcentage</b>	<b>8.33</b>	<b>25</b>	<b>25.00</b>	<b>41.67</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>58.33</b>
<b>La plaine de SBA (%)</b>		<b>2.78</b>	<b>23.61</b>	<b>34.72</b>	<b>33.33</b>	<b>4.17</b>	<b>1.39</b>	<b>61.11</b>
		1983-1996						
<b>Ain Trid</b>	Nombre de cas	0	0	4	3	6	0	4
	<b>Pourcentage</b>	<b>0</b>	<b>0.00</b>	<b>30.77</b>	<b>23.08</b>	<b>46.15</b>	<b>0</b>	<b>30.77</b>
<b>S, B, Abbes</b>	Nombre de cas	0	1	3	3	6	0	4
	<b>Pourcentage</b>	<b>0</b>	<b>7.69</b>	<b>23.08</b>	<b>23.08</b>	<b>46.15</b>	<b>0.00</b>	<b>30.77</b>
<b>Lamtar</b>	Nombre de cas	0	1	3	6	3	0	4
	<b>Pourcentage</b>	<b>0</b>	<b>7.69</b>	<b>23.08</b>	<b>46.15</b>	<b>23.08</b>	<b>0.00</b>	<b>30.77</b>
<b>S, A, Ben Y</b>	Nombre de cas	0	1	5	5	2	0	6
	<b>Pourcentage</b>	<b>0</b>	<b>7.69</b>	<b>38.46</b>	<b>38.46</b>	<b>15.38</b>	<b>0.00</b>	<b>46.15</b>
<b>Chetouane</b>	Nombre de cas	0	2	4	5	2	0	6

## Annexes

	<b>Pourcentage</b>	<b>0</b>	<b>15.38</b>	<b>30.77</b>	<b>38.46</b>	<b>15.38</b>	<b>0.00</b>	<b>46.15</b>
<b>Chabrie</b>	Nombre de cas	0	0	5	7	1	0	5
	<b>Pourcentage</b>	<b>0</b>	<b>0.00</b>	<b>38.46</b>	<b>53.85</b>	<b>7.69</b>	<b>0.00</b>	<b>38.46</b>
<b>La plaine de SBA (%)</b>		<b>0</b>	<b>6.41</b>	<b>30.77</b>	<b>37.18</b>	<b>25.64</b>	<b>0</b>	<b>37.18</b>
<b>1996-2010</b>								
<b>Ain Trid</b>	Nombre de cas	0	1	1	6	5	1	2
	<b>Pourcentage</b>	<b>0.00</b>	<b>7.14</b>	<b>7.14</b>	<b>42.86</b>	<b>35.71</b>	<b>7.14</b>	<b>14.29</b>
<b>S, B, Abbes</b>	Nombre de cas	2	1	4	6	1	0	7
	<b>Pourcentage</b>	<b>14.29</b>	<b>7.14</b>	<b>28.57</b>	<b>42.86</b>	<b>7.14</b>	<b>0.00</b>	<b>50.00</b>
<b>Lamtar</b>	Nombre de cas	2	0	4	5	3	0	6
	<b>Pourcentage</b>	<b>14.29</b>	<b>0.00</b>	<b>28.57</b>	<b>35.71</b>	<b>21.43</b>	<b>0.00</b>	<b>42.86</b>
<b>S, A, Ben Y</b>	Nombre de cas	2	1	5	2	4	0	8
	<b>Pourcentage</b>	<b>14.29</b>	<b>7.14</b>	<b>35.71</b>	<b>14.29</b>	<b>28.57</b>	<b>0.00</b>	<b>57.14</b>
<b>Chetouane</b>	Nombre de cas	1	1	3	5	4	0	5
	<b>Pourcentage</b>	<b>7.14</b>	<b>7.14</b>	<b>21.43</b>	<b>35.71</b>	<b>28.57</b>	<b>0.00</b>	<b>35.72</b>
<b>Chabrie</b>	Nombre de cas	1	2	1	7	3	0	4
	<b>Pourcentage</b>	<b>7.14</b>	<b>14.29</b>	<b>7.14</b>	<b>50.00</b>	<b>21.43</b>	<b>0.00</b>	<b>28.57</b>
<b>La plaine de SBA (%)</b>		<b>9.52</b>	<b>7.14</b>	<b>21.43</b>	<b>36.9</b>	<b>23.81</b>	<b>1.19</b>	<b>38.09</b>
<b>1971-2010</b>								
<b>Ain Trid</b>	Nombre de cas	0	5	9	12	11	2	14
	<b>Pourcentage</b>	<b>0.00</b>	<b>12.82</b>	<b>23.08</b>	<b>30.77</b>	<b>28.21</b>	<b>5.13</b>	<b>35.9</b>
<b>S, B, Abbes</b>	Nombre de cas	2	5	10	14	8	0	17
	<b>Pourcentage</b>	<b>5.13</b>	<b>12.82</b>	<b>25.64</b>	<b>35.9</b>	<b>20.51</b>	<b>0.00</b>	<b>43.59</b>
<b>Lamtar</b>	Nombre de cas	3	4	12	14	6	0	19
	<b>Pourcentage</b>	<b>7.69</b>	<b>10.26</b>	<b>30.77</b>	<b>35.90</b>	<b>15.38</b>	<b>0.00</b>	<b>48.72</b>
<b>S, A, Ben Y</b>	Nombre de cas	2	3	15	13	6	0	20

## Annexes

	<b>Pourcentage</b>	<b>5.13</b>	<b>7.69</b>	<b>38.46</b>	<b>33.33</b>	<b>15.38</b>	<b>0.00</b>	<b>51.28</b>
<b>Chetouane</b>	Nombre de cas	1	6	12	12	8	0	19
	<b>Pourcentage</b>	<b>2.56</b>	<b>15.38</b>	<b>30.77</b>	<b>30.77</b>	<b>20.51</b>	<b>0.00</b>	<b>48.71</b>
<b>Chabrie</b>	Nombre de cas	2	5	9	19	4	0	16
	<b>Pourcentage</b>	<b>5.13</b>	<b>12.82</b>	<b>23.08</b>	<b>48.72</b>	<b>10.26</b>	<b>0.00</b>	<b>41.03</b>
<b>La plaine de SBA (%)</b>		<b>4.27</b>	<b>11.97</b>	<b>28.63</b>	<b>35.9</b>	<b>18.38</b>	<b>0.85</b>	<b>44.87</b>

## Annexe 2

		1971-1983						
Station		<b>SPI&gt;2</b>	<b>2&gt;SPI&gt;1</b>	<b>1&gt;SPI&gt;0</b>	<b>0&gt;SPI&gt;-1</b>	<b>1-SPI-2</b>	<b>SPI&lt;-2</b>	<b>SPI&gt;0</b>
<b>Lamtar</b>	Nombre de cas	0.00	2.00	4.00	4.00	2.00	0.00	6
	<b>Pourcentage</b>	<b>0.00</b>	<b>17%</b>	<b>33%</b>	<b>33%</b>	<b>17%</b>	<b>0.00%</b>	<b>50%</b>
<b>Chetouane</b>	Nombre de cas	0.00	1.00	5.00	4.00	2.00	0.00	6
	<b>Pourcentage</b>	<b>0.00</b>	<b>8%</b>	<b>42%</b>	<b>33%</b>	<b>17%</b>	<b>0.00%</b>	<b>50%</b>
<b>Chabrier</b>	Nombre de cas	0.00	3.00	2.00	5.00	2.00	0.00	5
	<b>Pourcentage</b>	<b>0.00</b>	<b>25%</b>	<b>17%</b>	<b>42%</b>	<b>17%</b>	<b>0.00%</b>	<b>41.66</b>
<b>S, B, Abbes</b>	Nombre de cas	0.00	2.00	4.00	5.00	1.00	0.00	6
	<b>Pourcentage</b>	<b>0.00</b>	<b>17%</b>	<b>33%</b>	<b>42%</b>	<b>8%</b>	<b>0.00%</b>	<b>50%</b>
<b>S, A, Ben Y</b>	Nombre de cas	0.00	1.00	5.00	3.00	3.00	0.00	6
	<b>Pourcentage</b>	<b>0.00</b>	<b>8%</b>	<b>42%</b>	<b>25%</b>	<b>25%</b>	<b>0.00%</b>	<b>50%</b>
<b>Ain-Trid</b>	Nombre de cas	0.00	2.00	5.00	1.00	3.00	1.00	7
	<b>Pourcentage</b>	<b>0.00</b>	<b>17%</b>	<b>42%</b>	<b>8%</b>	<b>25%</b>	<b>8%</b>	<b>58.33%</b>
<b>La plaine de SBA (%)</b>		<b>0.00</b>	<b>15.33%</b>	<b>34.83%</b>	<b>30.5%</b>	<b>18.16%</b>	<b>1.33%</b>	<b>50.16%</b>
		1983-1996						
<b>Lamtar</b>	Nombre de cas	0.00	2.00	4.00	5.00	2.00	0.00	6
	<b>Pourcentage</b>	<b>0.00</b>	<b>15.38%</b>	<b>30.77%</b>	<b>38.46</b>	<b>15.38%</b>	<b>0.00%</b>	<b>46.15%</b>
<b>Chetouane</b>	Nombre de cas	0.00	2.00	5.00	4.00	2.00	0.00	7

## Annexes

	<b>Pourcentage</b>	<b>0.00</b>	<b>15.38%</b>	<b>38.46</b>	<b>30.77%</b>	<b>15.38%</b>	<b>0.00%</b>	<b>53.85%</b>
<b>Chabrier</b>	<i>Nombre de cas</i>	0.00	2.00	5.00	5.00	1.00	0.00	7
	<b>Pourcentage</b>	<b>0.00</b>	<b>15.38%</b>	<b>38.46</b>	<b>38.46</b>	<b>7.69%</b>	<b>0.00%</b>	<b>53.85%</b>
<b>S, B, Abbes</b>	<i>Nombre de cas</i>	0.00	2.00	3.00	8.00	0.00	0.00	5
	<b>Pourcentage</b>	<b>0.00</b>	<b>15.38%</b>	<b>23.07%</b>	<b>61.54%</b>	<b>0.00%</b>	<b>0.00%</b>	<b>38.46%</b>
<b>S, A, Ben Y</b>	<i>Nombre de cas</i>	0.00	2.00	6.00	3.00	2.00	0.00	8
	<b>Pourcentage</b>	<b>0.00</b>	<b>15.38%</b>	<b>46.15%</b>	<b>23.07%</b>	<b>15.38%</b>	<b>0.00%</b>	<b>61.54%</b>
<b>Ain-Trid</b>	<i>Nombre de cas</i>	0.00	3.00	1.00	7.00	2.00	0.00	4
	<b>Pourcentage</b>	<b>0.00</b>	<b>23.07%</b>	<b>7.69%</b>	<b>53.85%</b>	<b>15.38%</b>	<b>0.00%</b>	<b>30.77%</b>
<b>La plaine de SBA (%)</b>		<b>0.00</b>	<b>16.66%</b>	<b>30.76</b>	<b>41.02%</b>	<b>11.53</b>	<b>0.00%</b>	<b>47.42%</b>
<b>1996-2010</b>								
<b>Lamtar</b>	<i>Nombre de cas</i>	0.00	2.00	4.00	6.00	2.00	0.00	6
	<b>Pourcentage</b>	<b>0.00%</b>	<b>14.28%</b>	<b>28.57%</b>	<b>42.86%</b>	<b>14.28%</b>	<b>0.00%</b>	<b>42.86%</b>
<b>Chetouane</b>	<i>Nombre de cas</i>	1.00	1.00	5.00	5.00	2.00	0.00	7
	<b>Pourcentage</b>	<b>7.14%</b>	<b>7.14%</b>	<b>35.71%</b>	<b>35.71%</b>	<b>14.28%</b>	<b>0.00%</b>	<b>50.00%</b>
<b>Chabrier</b>	<i>Nombre de cas</i>	1.00	2.00	2.00	7.00	2.00	0.00	5
	<b>Pourcentage</b>	<b>7.14%</b>	<b>14.28%</b>	<b>14.28%</b>	<b>50.00%</b>	<b>14.28%</b>	<b>0.00%</b>	<b>35.71%</b>
<b>S, B, Abbes</b>	<i>Nombre de cas</i>	1.00	1.00	3.00	8.00	1.00	0.00	5
	<b>Pourcentage</b>	<b>7.14%</b>	<b>7.14%</b>	<b>21.43%</b>	<b>57.14%</b>	<b>7.14%</b>	<b>0.00%</b>	<b>35.71%</b>
<b>S, A, Ben Y</b>	<i>Nombre de cas</i>	0.00	3.00	4.00	5.00	2.00	0.00	7
	<b>Pourcentage</b>	<b>0.00%</b>	<b>21.43%</b>	<b>28.57%</b>	<b>35.71%</b>	<b>14.28%</b>	<b>0.00%</b>	<b>50.00%</b>
<b>Ain-Trid</b>	<i>Nombre de cas</i>	0.00	1.00	3.00	6.00	3.00	1.00	4
	<b>Pourcentage</b>	<b>0.00%</b>	<b>7.14%</b>	<b>21.43%</b>	<b>42.86%</b>	<b>21.43%</b>	<b>7.14%</b>	<b>28.57%</b>
<b>La plaine de SBA (%)</b>		<b>3.57%</b>	<b>11.9%</b>	<b>25%</b>	<b>44.04%</b>	<b>14.28%</b>	<b>1.19%</b>	<b>40.47%</b>