

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

Caractérisation hydro-chimique des eaux souterraines de la nappe alluviale de la plaine de Sidi Bel Abbas

Présenté et soutenu publiquement par :

- M^{lle}. BACHA Souad

Jury :

<i>-Président :</i>	<i>Mr. SABOUA Toufik</i>	<i>MAA</i>	<i>Université de Tiaret</i>
<i>-Promoteur :</i>	<i>Mr. OTMANE Abdelkader</i>	<i>MAB</i>	<i>Université de Tiaret</i>
<i>-Co-Promoteur :</i>	<i>Mr. MEBARKI Kaddour</i>	<i>MCB</i>	<i>Université de Tiaret</i>
<i>-Examineur :</i>	<i>Mr. ZRARKA Abdelkader</i>	<i>MCA</i>	<i>Université de Tiaret</i>

Année universitaire : 2019/2020

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

﴿وَأَنْزَلْنَا مِنَ السَّمَاءِ مَاءً بِقَدَرٍ فَأَسْكَنَاهُ فِي الْأَرْضِ وَإِنَّا عَلَىٰ ذَهَابٍ بِهِ لِقَادِرُونَ﴾

صدق الله العظيم

❧ Dédicaces ❧

Je dédie ce modeste travail :

* *A celui que j'aime le plus au monde, ma mère, et je demande à*

Dieu qu'elle soit l'une des personnes du plus haut paradis ;

* *A mon père ;*

* *A mes sœurs, frères et à leurs enfants ;*

* *A tous (tes) mes ami(s) (es) ;*

* *A tous les membres de ma famille ;*

* *A toute la promotion Hydrogéologie 2019/2020.*

∞ Remerciement ∞

Avant tout, un très grand merci à ALLAH qui est toujours présent avec moi dans le bonheur et dans le pire. Au terme de ce travail, il m'est très agréable de remercier tous ceux qui m'ont aidé et contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.

Tout d'abord, je tiens à remercier mon promoteur Monsieur OTMANE ABD EL KADER, enseignant à l'Université Ibn Khaldoun (Tiaret), qui m'a fait confiance, m'a proposé ce sujet et a bien voulu m'encadrer. Je le remercie de m'avoir fait bénéficier de ses connaissances, de ses orientations et de ses critiques et qui m'a beaucoup aidé à l'amélioration de ce travail.

Mes vifs remerciements vont également à l'ensemble des enseignants du Département des sciences de la Terre et de l'univers, en particulier ceux de la filière Hydrogéologie.

ملخص

تقع منطقة سيدي بلعباس في منطقة زراعية شبه القاحلة وتتميز مياهها الجوفية بالملوحة العالية وتتغير من منطقة إلى أخرى ويهدف هذا العمل إلى تحسين معرفة هذه المياه عن طريق تصنيفها الهيدروكيميائي

تهدف الدراسة الهيدروكيميائية لتحديد الوجه الكيميائي للمياه الجوفية، ومراقبة تطورها في الزمان والمكان. سيكون موضع تقدير أيضا مسالة نوعية المياه الجوفية من حيث الشرب و مدى ملاءمتها لاغراض الري.

الدراسة الهيدروكيميائية تركز على التحليل و التفسير الهيدروكيميائي لخزان سيدي بلعباس (جوان 2008)، تم جمع 22 عينة للتحليل الفيزيوكيميائية التي ركزت على العناصر الرئيسية للمياه الجوفية .

تفسير الرسوم البيانية لـ *Piper*، *Staber*، *Schouller -Berkaloff* اظهرت ان المياه الجوفية لمنطقة سيدي بلعباس تتميز بهيمنة الكلوريدات ، و الوجهة الاكثر تمثيلا هي كلوريد الكالسيوم . تكون ذات صلة مشابهة للطبيعة الجيولوجية و تفسير الرسوم البيانية لـ *Riverside* و *Wilcox* قد أظهر أن المياه المخصصة للري تتميز بتمعدن قوي ، وهذا الأخير يرتبط بشكل أساسي بظاهرة إعادة تدوير مياه الري المرتجعة المركزة في الأملاح. في الواقع ، يشكل ترشيح الأملاح بواسطة المياه المتسربة مصدرًا محتملاً لارتفاع الملوحة في المياه الجوفية.

كلمات البحث: المياه الجوفية، الهيدروكيميائية ، الوجه الكيميائي ، الري ، منطقة سيدي بلعباس

Résumé

La région de Sidi Bel Abbés se trouve dans une zone semi-aride à vocation agricole. Ses eaux souterraines sont caractérisées par une salinité élevée variant d'une zone à autre. Ce Travail vise à améliorer les connaissances sur ces eaux en procédant à leur classification hydro-chimique.

Une étude hydrochimique a pour but de définir les faciès chimiques des eaux souterraines, de suivre leur évolution dans l'espace et dans le temps. Il sera également apprécié la question de la qualité des eaux souterraines du point de vue potabilité et aptitude à l'irrigation.

L'étude hydrochimique a porté sur l'analyse et l'interprétation de la compagne hydro chimique de la nappe alluviale de Sidi Bel Abbes (juin 2008), 22 échantillons ont été prélevés pour les analyses physicochimiques, elle a porté sur les éléments majeurs des eaux de la nappe souterraine.

L'interprétation des diagrammes de Stabler, Piper, Schoeller-Berkaloff a montré que les eaux souterraines de la région de Sidi Bel Abbés sont caractérisées par une dominance des chlorures, et le faciès le plus représenté est chloruré calcique. L'interprétation des diagrammes de Riverside et Wilcox a montré que les eaux destinées à l'irrigation sont caractérisées par une forte minéralisation, cette dernière est surtout liée au phénomène de recyclage des eaux de retour d'irrigation concentrées en sels. En effet, le lessivage des sels par les eaux d'infiltration constitue une source potentielle des fortes salinités des eaux souterraines.

Mots clés : Eaux souterraines, Hydrochimie, Faciès chimique, Irrigation, Région de Sidi Bel Abbes

Abstract

The region of Sidi Bel Abbes is located in a semi-arid agricultural area. The groundwater is characterized by high salinity varying from one area to another. This work aims to improve knowledge of these waters by making their hydrochemical classification.

Hydrochemical study aims to define the chemical facies of groundwater, follow their evolution in space and time. It will be also appreciated the issue of groundwater quality in terms drinkability and suitability for irrigation.

The hydrochemical study focused on the analysis and interpretation of the hydrochemical composition of the Alluvial aquifer of Sidi Bel Abbes (June, 2008), 22 samples were collected for physicochemical analysis, it focused on the major elements of water from the groundwater.

The interpretation of diagrams Stabler, Piper, Schoeller-Berkaloff showed that groundwater in the region of Sidi Bel Abbes are characterized by a dominance of chloride, and the most represented is chlorinated calcic which seems to be related to the geological nature and interpretation of diagrams Riverside et Wilcox showed that the waters intended for irrigation are characterized by a strong mineralization, the latter is particularly linked to the phenomenon of recycling of the return irrigation water concentrated in salts. In fact, the leaching of salts by infiltration water constitutes a potential source of high salinity in groundwater.

Keywords: Groundwater, Hydrochemistry, chemical facies, Irrigation, Sidi Bel Abbes region

Table des matières

1. Introduction.....	1
----------------------	---

Chapitre I. Présentation de la zone d'étude

1. Situation géographique	3
1.1. Situation régionale et découpage administrative	3
1.1. Situation géographique de la zone d'étude.....	4
2. Cadre géomorphologique de la zone d'étude.....	6
2.1. Les montagnes de Tessala :	6
2.2. Les piémonts de Tlemcen :	6
2.3. Les monts de Dhaya :	6
3. Etude morphométrique de la plaine de Sidi Bel Abbès	7
3.1. Caractéristiques géométriques	7
3.2. Altitudes.....	7
3.3. Caractéristique hydrographique du bassin versant :	8
4. Pédologie	9
5. Occupation des sols.....	10
6. Etude de climat.....	11
6.1. Les précipitations	11
6.1.1. Variabilité annuelle des précipitations (2013 - 2018).....	12
6.1.2. Variabilité mensuelle des précipitations :	12
6.2. La Température	13
6.3. Les vents	14
6.4. Humidité relative de l'air	15
6.5. Indices climatiques	16
6.5.1. L'indice d'aridité de De Martonne (I) :	16
7. Conclusion	17

Chapitre II. Géologie et hydrogéologie

1. Introduction.....	18
2. Cadre géologique régional	18
2.1. Domaine Tellien	18
2.2. Domaine de la Meseta oranaise (hauts plateaux)	18
2.3. Atlas saharien.....	18
3. Cadre géologique de la plaine de Sidi Bel Abbès	19
3.1. La dépression d'Ain El Berd.....	19
3.2. Le bombement de l'Oued Mebtouh.....	19
3.3. La chaîne plissée des Tessala	19
3.4. La plaine de Sidi Bel Abbès.....	20
3.5. Monts de Saida-Dhaya–Tlemcen.....	20
4. La série stratigraphique.....	21
4.1. Le Quaternaire :	21
4.2. Le Cénozoïque	21
4.2.1. Le pliocène	21
4.2.2. Le Miocène.....	21
4.2.3. L'Oligocène.....	22
4.2.4. L'Eocène	22
4.3. Le Mésozoïque.....	22
4.3.1. Le Crétacé moyen et supérieur.....	22
4.3.2. L'Aptien.....	22
4.3.3. Le Barrémien.....	22
4.3.4. L'Hauterivien	22
4.3.5. Le Berriasien - Valanginien	22
4.3.6. Le Portlandien.....	23
4.3.7. Kimméridgien.....	23
4.3.8. Le Trias	23
5. Tectonique.....	24
5.1. Interprétation des coupes géologiques schématiques.....	26

6.	Hydrogéologique.....	27
6.1.	Identification des principaux aquifères	27
6.1.1.	Nappe alluviale du Plio-Quaternaire.....	27
6.1.2.	Nappe des grès pliocènes de la forêt de Tenira.....	27
6.1.3.	Les calcaires de l'Eocène de Sidi Ali Boussidi.....	27
6.1.4.	Nappe des calcaires et dolomies jurassico-crétacés de Sidi Ali Ben Youb	28
6.2.	Inventaires et caractéristiques des points d'eau.....	29
6.2.1.	Réseau de surveillance (puits et piézomètres).....	29
6.2.2.	Forages	29
6.2.3.	Sources.....	29
6.3.	Etude piézométrique de la plaine de Sidi Bel Abbès.....	30
6.4.	Transmissivité.....	31
6.5.	Interaction nappe /Oued Mkerra	32
6.5.1.	Analyse des hydrogrammes moyens journaliers	32
6.5.2.	Analyse des cartes piézométriques	33
7.	Conclusion	34

Chapitre III. Caractérisation hydrochimique de la nappe alluviale de l Sidi Bel Abbes

Introduction.....	35
1. Présentation des données.....	35
2. Etude des paramètres physiques :	36
2.1. Potentiel d'hydrogène.....	36
2.2. Température :	36
2.3. L'alcalinité :	37
2.4. Résidu sec :	37
2.5. Conductivité et la minéralisation :	38
3. Etude des paramètres chimiques.....	41
3.1. La balance ionique	41
3.2. Etude de quelques cations et anions majeurs :	41
3.2.1. Le Calcium :	41
3.2.2. Le Magnésium :	43
3.2.3. Le Sodium et le Potassium (Alcalins) :	43
3.2.4. Le Chlorure :	44
3.2.5. Les Sulfates :	45
3.2.6. Les Bicarbonates :	46
3.2.7. Les nitrates :	47
4. Classification des eaux :	48
4.1. Classification des eaux en fonction de la dureté (TH) :	48
4.2. Classification géochimique :	49
4.2.1. Etablissement des formules caractéristiques selon STABLER :	49
4.2.2. Classification des eaux selon le diagramme losangique de Piper :	51
4.2.3. Classification selon le diagramme semi-logarithmique de Schoeller-Berkaloff :	52
4.2.4. Répartition spatiale des faciès chimiques :	54
5. Caractéristiques chimiques des eaux de la nappe :	54
5.1. Agressivité et incrustante des eaux :	54
5.2. Indice d'échange de base (i e b) :	55
5.3. Potabilité minéralogique :	56
5.4. Aptitude des eaux à l'irrigation :	57
5.3. Relation du chimisme de la nappe alluviale avec les eaux de surface :	58
6. Conclusion	59
Conclusion générale	60
Références bibliographiques.....	61
Annexe 1.....	62
Annexe 2.....	63

Liste des figures

Chapitre I. Présentation de la zone d'étude

Figure I. 1. Carte de la situation de la plaine de Sidi Bel Abbes (Encyclopaedia universalis 2011)	3
Figure I. 2. Découpage administratif de la wilaya de Sidi Bel Abbes, ainsi que la situation de la plaine (Otmane 2019).....	4
Figure I. 3. Situation géographique de la plaine de Sidi Bel Abbes (OTMANE, 2019).....	5
Figure I. 4. La géomorphologie de la wilaya de Sidi Bel Abbes.....	7
Figure I. 5. Carte hypsométrique de la plaine de Sidi Bel Abbes	8
Figure I. 6. Réseau hydrographique	9
Figure I. 7. Type du sol au niveau de la plaine de Sidi Bel Abbes (Otmane 2019).....	10
Figure I. 8. Répartition spatiale des différentes occupations des sols	11
Figure I. 9. Variation des précipitations annuelles à la station de Sidi Bel Abbes (1990-2017).....	12
Figure I. 10. Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station de Sidi Bel Abbes (2009-2017).....	13
Figure I. 11. Variations des températures moyennes, maximales et minimales mensuelles à la station de Sidi Bel Abbes (2009-2018).....	14
Figure I. 12. Variation de la vitesse moyenne mensuelle du vent à la station de Sidi Bel Abbes (2009-2018).....	15
Figure I. 13. Variation de l'humidité moyenne mensuelle à la station de Sidi Bel Abbes (2009-2018).....	15
Figure I. 14. Abaque de De Martonne	17

Chapitre II. Géologie et hydrogéologie

Figure II. 1. Carte géologique du Nord-ouest de l'Algérie (Agence Nationale de l'Aménagement du Territoire 2000).....	19
Figure II. 2. Esquisse géologique de la plaine de Sidi Bel Abbes (Sourisseau 1972).....	20
Figure II. 3. Log stratigraphique synthétique de la plaine de Sidi Bel Abbes (Sourisseau 1972)	24
Figure II. 4. Coupe géologique dans la plaine de Sidi Bel Abbes (Sourisseau 1971 in Otmane 2015).....	26
Figure II. 5. Identification des principaux aquifères de la plaine de Sidi Bel Abbes (DEMRH 1974)	28
Figure II. 6. Les points d'eau de la plaine de Sidi Bel Abbes.....	30
Figure II. 7. Cartes piézométriques de la nappe plio-quadernaire (ANRH).....	31
Figure II. 8. Evolution spatiale de la transmissivité (Sourisseau 1972)	32
Figure II. 9. Analyse comparative des débits moyens journaliers des deux stations hydrométriques en période de hautes et basses eaux (1978-2008) (Otmane 2015)	33

Chapitre III. Caractérisation hydrochimique de la nappe alluviale de l Sidi Bel Abbes

Figure III. 1. Localisation des points d'eau (Juin 2008).....	35
Figure III. 2. Variation du pH des échantillons (Juin 2008).....	36
Figure III. 3. Carte des résidus sec (Juin 2008)	38
Figure III. 4. Evolution spatiale de la conductivité électrique de la nappe de Sidi Bel Abbes (Juin 2008).....	40
Figure III. 5. Carte d'iso-teneurs en calcium des eaux de la plaine de Sidi Bel Abbes (Juin 2008)	42
Figure III. 6. Carte d'iso-teneurs en Magnésium (Juin 2008)	43
Figure III. 7. Carte d'iso-teneurs en Sodium + Potassium (Juin 2008).....	44
Figure III. 8. Carte d'iso-teneurs en chlorures (Juin 2008).....	45
Figure III. 9. Carte d'iso-teneurs en sulfates (Juin 2008).....	46
Figure III. 10. Carte d'iso-teneurs en bicarbonates (Juin 2008)	47
Figure III. 11. Carte d'iso-teneurs en nitrates (1970-2007, données ANRH 2010)	48
Figure III. 12. Représentation graphique des échantillons selon STABLER	51
Figure III. 13. Diagramme de Piper pour les eaux de la nappe alluviale (Juin 2008)	52
Figure III. 14. Classification des eaux selon le diagramme Schoeller Berkloff (Juin 2008).....	53
Figure III. 15. Représentation spatiale des faciès chimiques des échantillons (Juin 2008)	54

Figure III. 16. Classification des eaux de la nappe alluviale de Sidi Bel Abbes selon le diagramme de Riverside et Wilcox (Juin 2008)..... 58

Liste des tableaux

Chapitre I. Présentation de la zone d'étude

<i>Tableau I. 1. Les précipitations annuelles à la station de Sidi Bel Abbes (1990-2017).....</i>	<i>12</i>
<i>Tableau I. 2. Les précipitations moyennes mensuelles à la station de Sidi Bel Abbes (2009-2017).....</i>	<i>13</i>
<i>Tableau I. 3. Les températures moyennes, maximales et minimales mensuelles à la station de Sidi Bel Abbes (2009-2018).....</i>	<i>13</i>
<i>Tableau I. 4. Vitesse moyenne mensuelle du vent (m/s) à la station de Sidi Bel Abbes (2009-2018).....</i>	<i>14</i>
<i>Tableau I. 5. Humidité moyenne mensuelle à la station de Sidi Bel Abbes (2009-2018).....</i>	<i>15</i>
<i>Tableau I. 6. Classification des climats en fonction des indices d'aridité annuelle de De Martonne (I)</i>	<i>16</i>

Chapitre II. Géologie et hydrogéologie

<i>Tableau II. 1. Les caractéristiques des points d'eau (ANRH 2008)</i>	<i>29</i>
---	-----------

Chapitre III. Caractérisation hydrochimique de la nappe alluviale de Sidi Bel Abbes

<i>Tableau III. 1. Potabilité des eaux en fonction du résidu sec (OMS)</i>	<i>37</i>
<i>Tableau III. 2. Classification des eaux de la nappe Plio-quaternaire en fonction de CE (Radier 2005)</i>	<i>40</i>
<i>Tableau III. 3. Potabilité des eaux en fonction de la CE (Petelon et Zysman).....</i>	<i>41</i>
<i>Tableau III. 4. Classification des eaux de la nappe Plio-quaternaire selon le TH.....</i>	<i>48</i>
<i>Tableau III. 5. Les formules caractéristiques selon STABLER des eaux de la nappe (Juin 2008).....</i>	<i>49</i>
<i>Tableau III. 6. Agressivité et incrustante des eaux de la nappe alluviale de Sidi Bel Abbes ..</i>	<i>55</i>
<i>Tableau III. 7. Les normes chimiques fixées par l'OMS</i>	<i>56</i>

Introduction

1. Introduction

L'eau est une ressource élémentaire de la vie, elle est indispensable pour l'homme. On l'utilise pour des usages quotidiens, l'agriculture, la boisson, l'hygiène et l'industrie. Malgré cette abondance de l'eau, elle est inégalement répartie et inégalement accessible, L'accès à une eau de qualité et en quantité est un enjeu vital.

Les eaux souterraines constituent une excellente source d'eau douce et le plus souvent une eau de bonne qualité. Cependant, leur exploitation représente un avantage économique estimable, pour le maintenir, il est nécessaire de prendre des mesures pérennes de protection de la qualité de cette richesse.

La qualité des eaux dans le monde a connu ces dernières années une grande détérioration, à cause des rejets industriels non contrôlés, de l'utilisation intensive des engrais chimiques dans l'agriculture d'une part, ainsi l'exploitation désordonnée des ressources en eau d'autre part. Ces dernières ont produit une modification chimique de l'eau en la rendant impropre aux usages souhaités.

Dans ce contexte, la présente étude consiste en une contribution à l'évaluation qualitative des eaux souterraines de la plaine de Sidi Bel Abbas. D'une superficie de 1180,5 Km², cette plaine qui fait partie du bassin versant de la Mekerra, est considérée comme la plus importante du nord-ouest algérien.

Les formations d'âge Plio-quaternaire remplissent la grande vallée alluviale de Sidi Bel Abbas et sont le siège d'un écoulement souterrain qui forme la nappe la plus exploitée de la région.

L'étude hydro-chimique vise essentiellement à définir les caractéristiques physico-chimiques des eaux, identifier les différents faciès d'eau, mettre en évidence les interactions chimiques qui peuvent exister entre la nappe et son environnement, et l'évolution spatiale de chaque élément dans la nappe de la plaine de Sidi Bel Abbas

Aussi, mon étude s'articulera en trois chapitres :

Dans le premier chapitre, nous présentons un résumé d'un ensemble de données disponibles sur la zone d'étude ; un aperçu géographique et géomorphologique ainsi que l'étude des différents paramètres climatiques ont été détaillés.

En seconde partie, l'étude géologique 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, et l'étude hydrogéologique déterminer les principales caractéristiques hydrogéologiques et s'intéressera en particulier aux relations eau de surface-eau souterraine par l'étude des relations Oued-nappe.

Le troisième chapitre, l'étude hydro-chimique vise essentiellement à définir les caractéristiques physico-chimiques des eaux, identifier les différents faciès d'eau, mettre en

Introduction

évidence les interactions chimiques qui peuvent exister entre la nappe et son environnement, et l'évolution spatiale de chaque élément dans la nappe de la plaine de Sidi Bel Abbas. En effet, la composition chimique des eaux souterraines dépend en grande partie du type de roche encaissante, des évolutions hydrodynamiques des écoulements de la nappe, de la profondeur de la circulation et du climat régnant dans la région.

Les résultats bruts des paramètres physicochimiques des différentes matrices analysées sont présentés en annexes, après la conclusion générale.

Chapitre I

Présentation de la zone d'étude

1. Situation géographique

1.1. Situation régionale et découpage administrative

La plaine de Sidi Bel Abbés est située au nord-ouest Algérien (Fig. I. 1), à environ 500km d'Alger et à 80km au sud de la ville d'Oran. Elle appartient à l'un des plus grands bassins de l'Oranais, celui de la Macta « Mekerra aval » (Fig. I. 3).

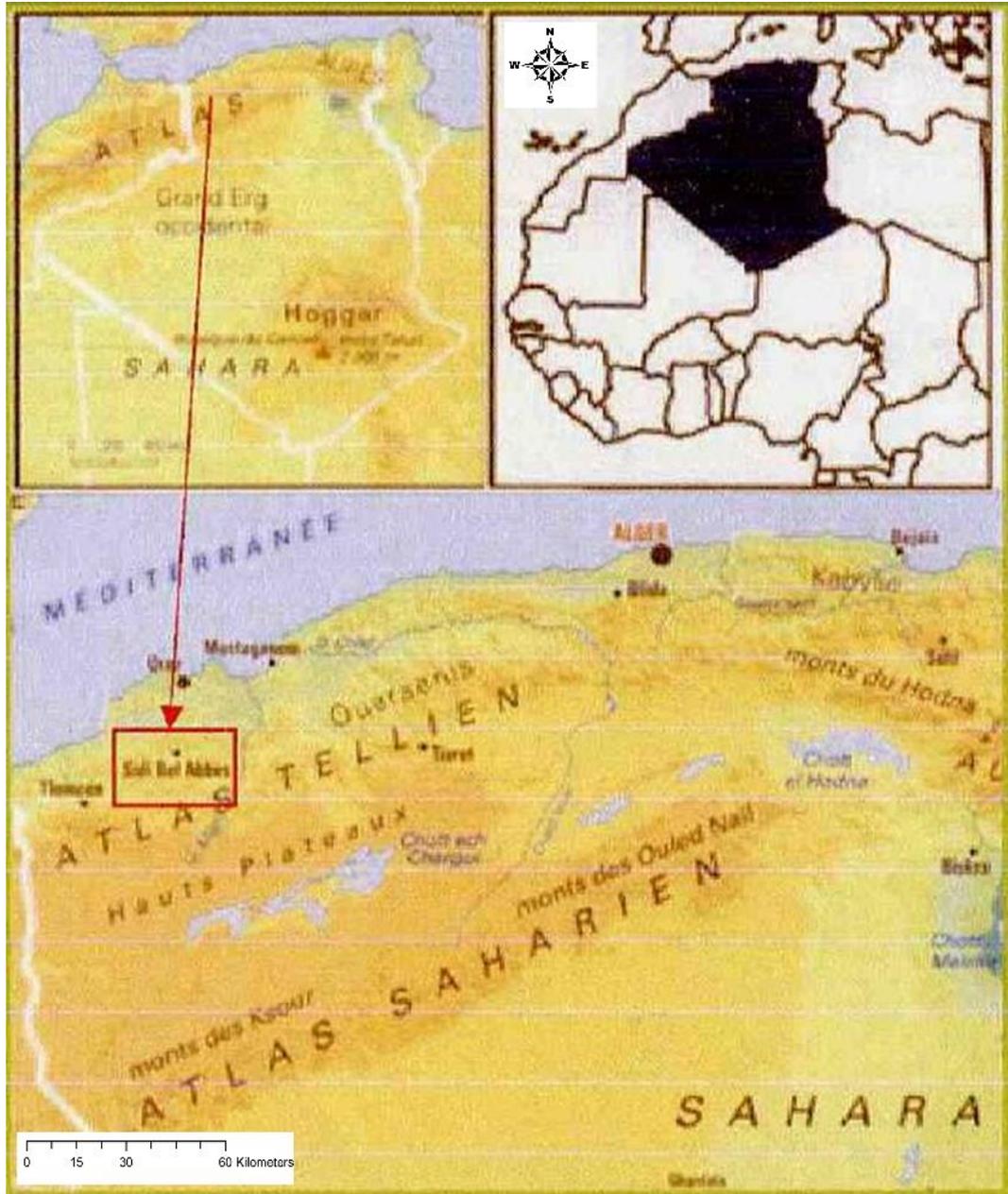


Figure I. 1. Carte de la situation de la plaine de Sidi Bel Abbés (Encyclopaedia universalis 2011)

Le nouveau découpage administratif induit par la loi n°84-09 du 01 Février 84 relative à l'organisation territoriale du pays, dote l'actuelle wilaya de Sidi Bel Abbés de 52 communes regroupées en 15 Daïras (Fig. I. 2).

La wilaya est délimitée comme suit:

- Au Nord par la wilaya d'Oran .
- Nord-Ouest par la wilaya d'Ain Témouchent

- Nord-Est par la wilaya de Mascara .
- Ouest par la wilaya de Tlemcen .
- Est par les wilayas de Mascara et Saida
- Sud par les wilayas de Nâama et El-Bayad .
- Sud-Est par la wilaya de Saida.

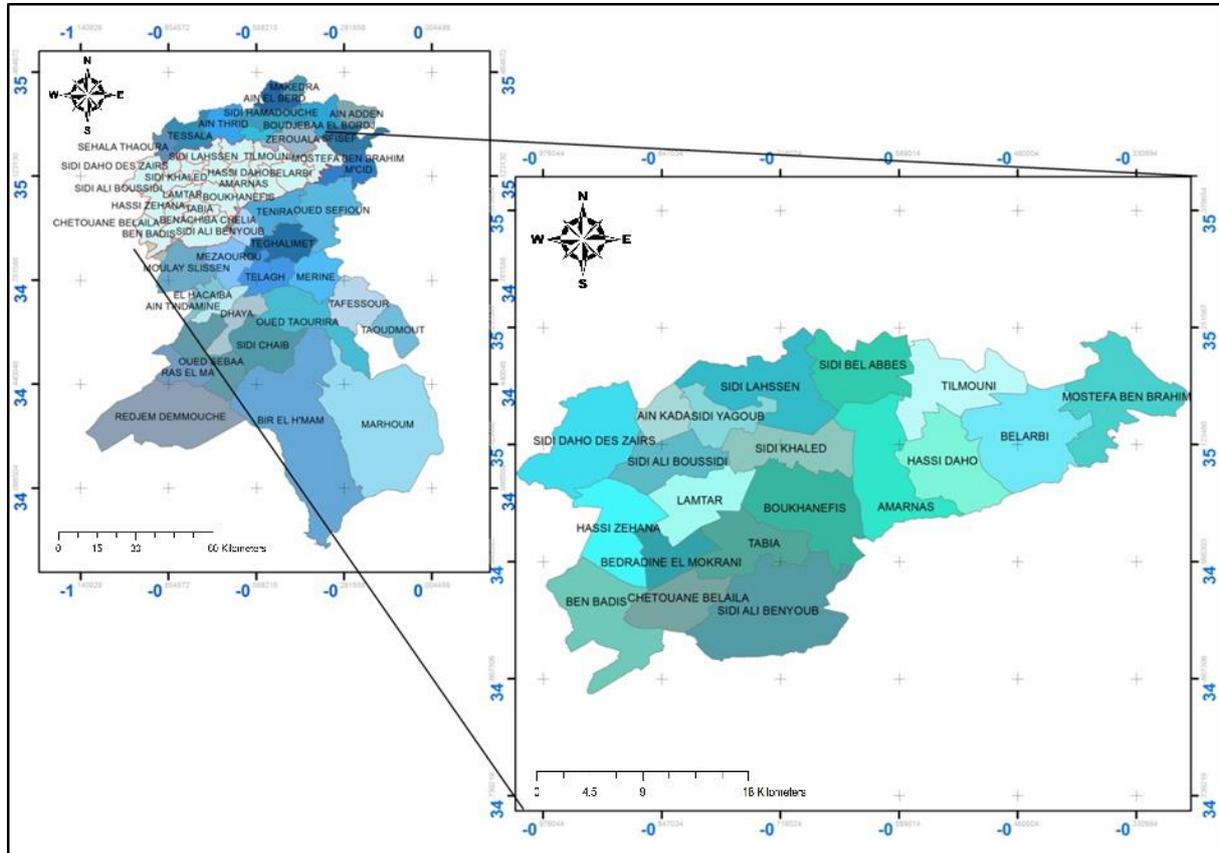


Figure I. 2. Découpage administratif de la wilaya de Sidi Bel Abbes, ainsi que la situation de la plaine (Otmane 2019)

1.1. Situation géographique de la zone d'étude

La Wilaya de Sidi Bel Abbes abrite l'une des plaines les plus fertiles du pays. Cette dernière se caractérise par une altitude moyenne variant de 400 à 700 m. Elle 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 (à topographie assez accidentée) et la plaine de Hassi Zahana (plus haute altitude), à relief largement ondulé.

La plaine de Sidi Bel Abbes, c'est une dépression allongée, s'incurvant en direction WSW-ENE avec une superficie de 1180.5 km², s'inscrit entre les latitudes nord 34°86' et 35°22' et les longitudes ouest 0°94' et 0°32'. Elle fait partie du sous bassin versant de la Mekerra aval, entre la cluse de Sidi Ali Ben Youb et le seuil du Rocher en aval de la ville de Sidi Bel Abbès. Géographiquement, la région d'étude est limitée par les Monts de Tessala au nord, le massif tabulaire de Tlemcen et Saida au sud, le bassin de l'oued Isser à l'ouest et les Monts de Béni Chougrane et Bouhanifia à l'est (Fig. I. 3).

L'oued Mekerra sillonne la plaine de Sidi Bel Abbes du sud au nord sur une distance d'environ 50Km (Fig. I. 3).

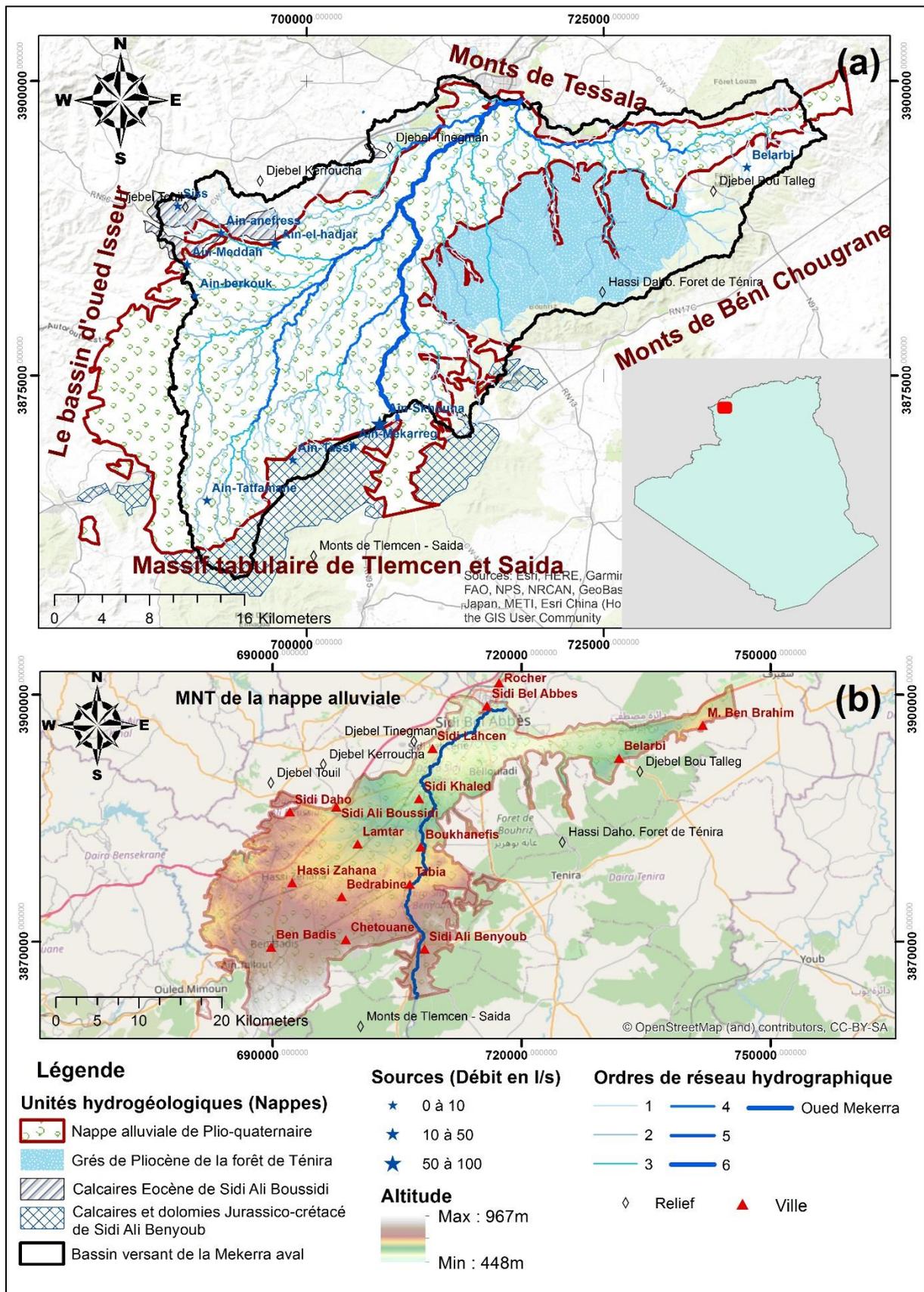


Figure I. 3. Situation géographique de la plaine de Sidi Bel Abbes (OTMANE, 2019)

2. Cadre géomorphologique de la zone d'étude

La plaine de Sidi Bel Abbès est dominée par des massifs montagneux d'une direction WSW – ENE, à savoir : les Monts de Tessala, les Monts de Tlemcen et ceux de Dhaya (Fig. I. 4).

2.1. Les montagnes de Tessala :

Situées au Nord de la commune de Tessala, elles occupent une superficie de 864.2 km², forment des crêtes montagneuses dépassant 1000 m en plusieurs endroits et culminent à 1061m. Elles sont considérées comme la continuité occidentale de la chaîne tellienne et sont limitées au Nord par la plaine de Mleta. Le versant sud avec une pente relativement faible, tombe doucement vers la plaine de Sidi Bel Abbès, à l'Ouest ces montagnes sont prolongées par Berkeche sous forme d'une zone montagneuse fortement érodée, déboisée et envahit par des cultures annuelles, essentiellement la céréaliculture. Jadis cette zone était consacrée à la viticulture. Ces montagnes occupent les communes suivantes : Aïn Kada, Sidi Yagoub, Tessala, Sehala, Aïn Thrid, Boudjebha, El Bordj, Aïn Adden, Aïn El Berd, Mekedra et Sidi Hamadouche.

2.2. Les piémonts de Tlemcen :

Situés au Sud de Témouchent et Hammam Bouhdjar, ils occupent les communes d'Aghial et Aïn Tolba pour la daïra de Temouchent, Oued Berkeche et Hassasna pour la daïra de Hammam Bouhdjar. Ces piémonts constituent le prolongement oriental des montagnes des Trara (wilaya de Tlemcen).

2.3. Les monts de Dhaya :

Occupent la partie centrale de la wilaya sur une superficie de 1386,16 Km². Cette zone reçoit des précipitations non négligeables, ses monts sont fortement boisés et représentent 40% du domaine forestier de la wilaya (forêt de Taouazizine). Cinq communes occupent ce territoire : Mérine, Tefessour, Taoudmout, Oued Taourira et Dhaya.

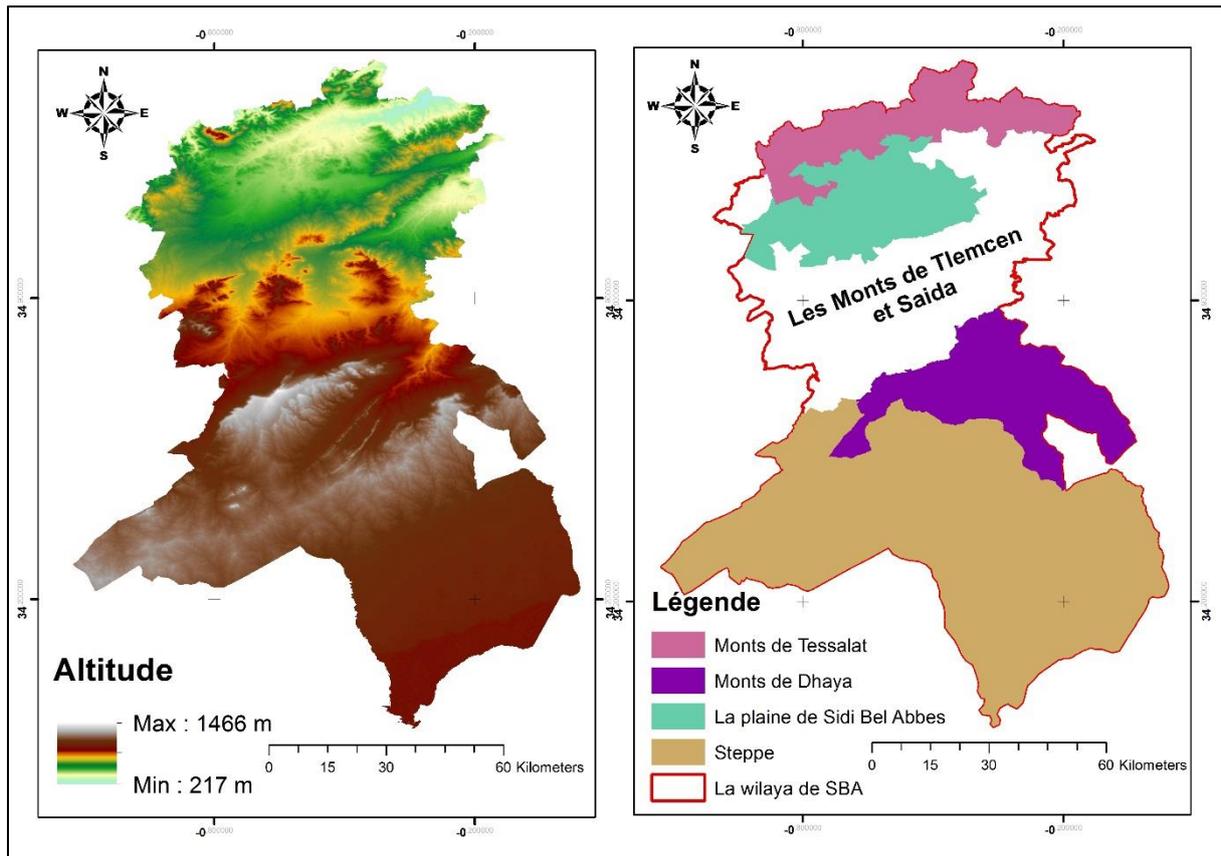


Figure I. 4. La géomorphologie de la wilaya de Sidi Bel Abbès

3. Etude morphométrique de la plaine de Sidi Bel Abbès

3.1. Caractéristiques géométriques

La superficie et le périmètre ont été obtenus par vectorisation, en utilisant la carte hydrogéologique au 1/200000° de la plaine de Sidi Bel Abbès :

La superficie est de : $A = 1180.5 \text{ km}^2$.

Le périmètre est de l'ordre de 375.7 km.

3.2. Altitudes

La région d'étude est constituée d'un ensemble de plaines à topographies hétérogènes. Elle présente des reliefs mollement ondulés, vers le centre et le sud-ouest de la plaine, où subsistent quelques collines avec des altitudes moyennes comprises entre 500 et 800m présentant plusieurs aspect locaux (Fig. I. 5) :

- La plaine de Sidi Bel Abbès proprement dite, ancienne cuvette marécageuse ; où les cotes ont des altitudes de 500 m en moyenne ;
- La plaine de Caid Belarbi qui est le prolongement à l'Est avec des altitudes de l'ordre de 500m également ;
- La plaine de Boukhanefis – Tabia à topographie accidentée, elle est située au sud, elle présente des cotes variantes entre 500 et 700m d'altitude ;
- La plaine de Hassi Zahana plus haute et à relief largement ondulé, à cet endroit, les altitudes oscillent entre 650 et 800m.

Les hautes altitudes se situent au sud de la plaine. Elles présentent des valeurs maximales dépassant 1000m au niveau des sommets des Monts de Tlemcen-Saïda.

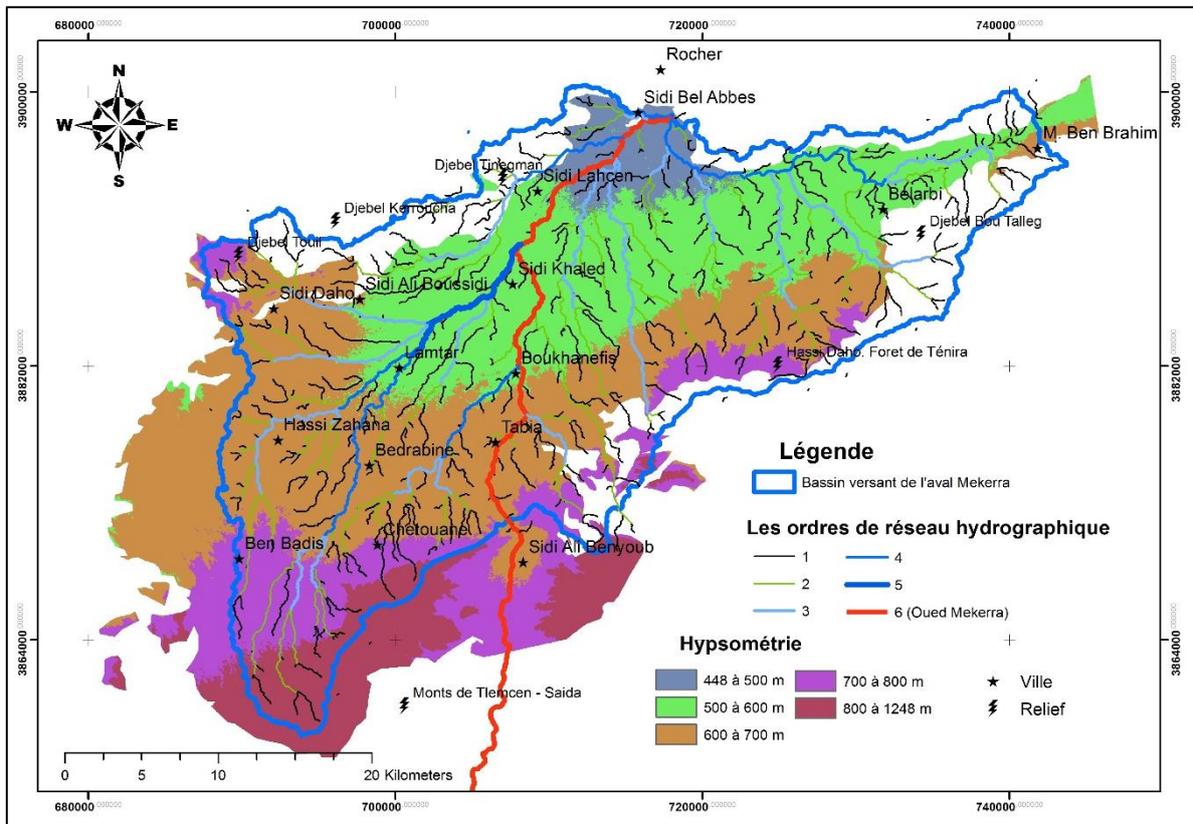


Figure I. 5. Carte hypsométrique de la plaine de Sidi Bel Abbès

3.3. Caractéristique hydrographique du bassin versant :

La plaine de Sidi Bel Abbès est traversée du sud vers le nord par l'oued Mekerra. Son cours d'eau est 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 pour trouver plus loin un exutoire vers le nord au lieu dit 'Le Rocher' (Fig. I. 6). 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.

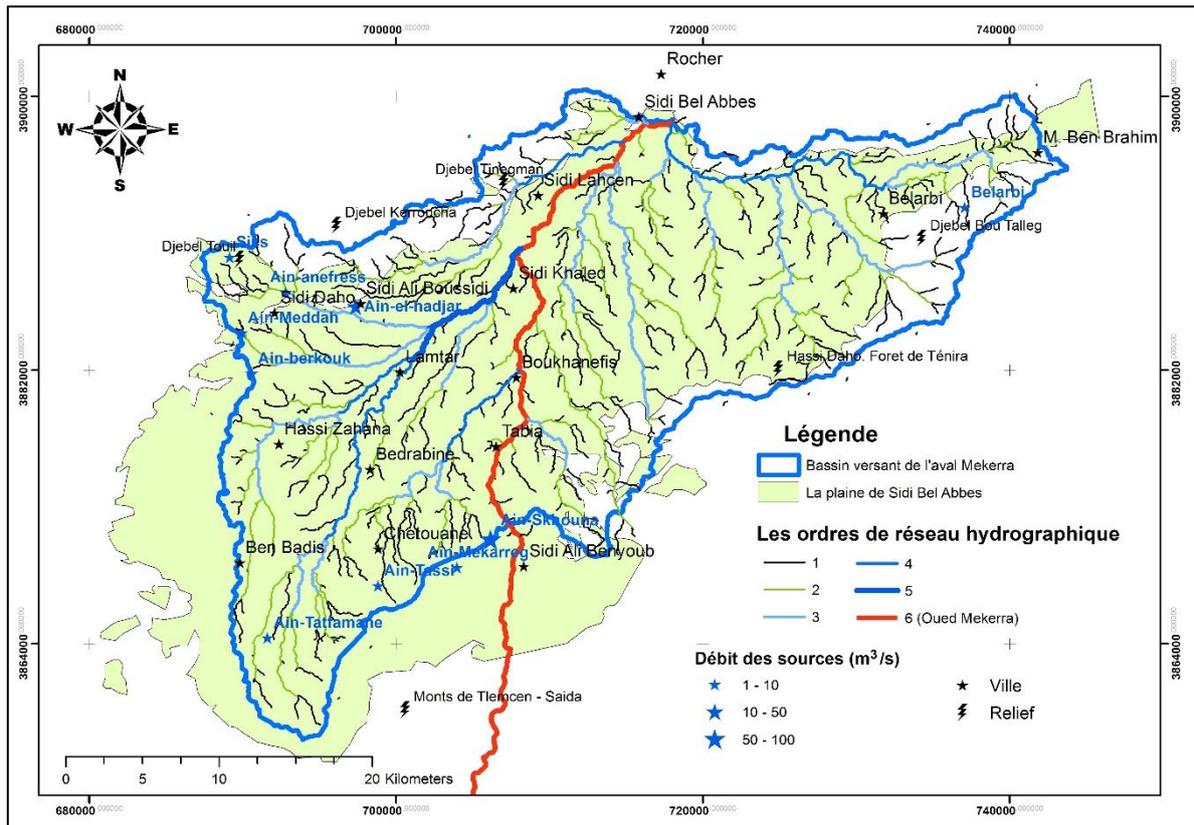


Figure I. 6. Réseau hydrographique

4. Pédologie

La carte pédologique de la plaine de Sidi Bel Abbas est réalisée sur la base de 138 profils pédologiques et analyses physico-chimiques assez représentatifs (Fig. I. 7). Le choix des profils est basé sur des zones homogènes établie par une superposition de couches d'informations (pente, géologie, altitude) (Faraoun and Benabdeli, 2010).

Selon la carte pédologique, les sols bruns calcaires sont prédominants. Cette croûte calcaire est perméable et joue un rôle important lors de la montée des crues. La partie centrale du bassin (près d'oued Mekerra) est couverte d'une mosaïque de sols alluviaux et bruns fersiallitiques. Le ruissellement torrentiel laisse apparaître dans quelques endroits la roche mère à nu.

La carte des types de sol (Fig. I. 7) met en évidence :

Les sols d'apport alluvial (2,8%) : ce sont des sols profonds atteignant parfois les 2 mètres de profondeur occupant le lit majeur de l'oued Mekerra. Ils sont formés au dépend de matériaux véhiculés par l'eau. Des sols fertiles à stabilité structurale élevée pouvant résister à l'érosion hydrique. Morphologiquement, on observe un horizon de surface assez riche en matière organique entre 4 et 5.5%. La texture d'ensemble limoneuse.

Sol d'apport Colluvial (3,1%) : C'est un sol formé à partir d'un matériel provenant de l'érosion, sa teneur en matière organique est importante, surtout en surface, entre 6 et 7.44%. Il s'agit de colluvium humifère de montagne. Les sols situés à une certaine distance des pentes présentent deux horizons bien identifiés, ce qui indique que les colluvium sont plus ou moins stabilisés. En situation de piémont, les profils sont homogènes et dépourvus d'horizon. La texture dépend de la nature de dépôt de colluvium.

Rendzines (3.6%) : Ce sont des sols calcimorphes, riches en matière organique, une texture limono-sableuse. De faible profondeur, ce type de sol dépasse rarement les 40 cm, exceptionnellement riches en éléments carbonatés. Les rendzines ont été observées sur les sommets et versants de dômes et sur quelques terrasses de la plaine à relief largement ondulé.

Les sols bruns calcaires (57.2%) : Ce type de sol domine l'espace agricole et occupe la grande majorité de la couverture pédologique de la plaine. Il s'agit de sols calcimorphes caractérisés par l'abondance des éléments carbonatés.

Les sols à horizon calcaire (10.1%) : Riches en éléments carbonatés. Formés à partir de matériaux rubéfiés, caractérisés par une couleur rouge sur l'ensemble des horizons. La texture est argileuse.

Les sols bruns fersiallitiques (3.6%) : Il s'agit de sols à rubéfaction incomplète de couleur brun rougeâtre. Le processus de rubéfaction est retardé par deux facteurs, le premier climatique dû à la sécheresse, le second stationnel dû à la nature calcaire du substratum géologique. La texture est fine. Ces sols apparaissent sur les argiles sableuses du Quaternaire.

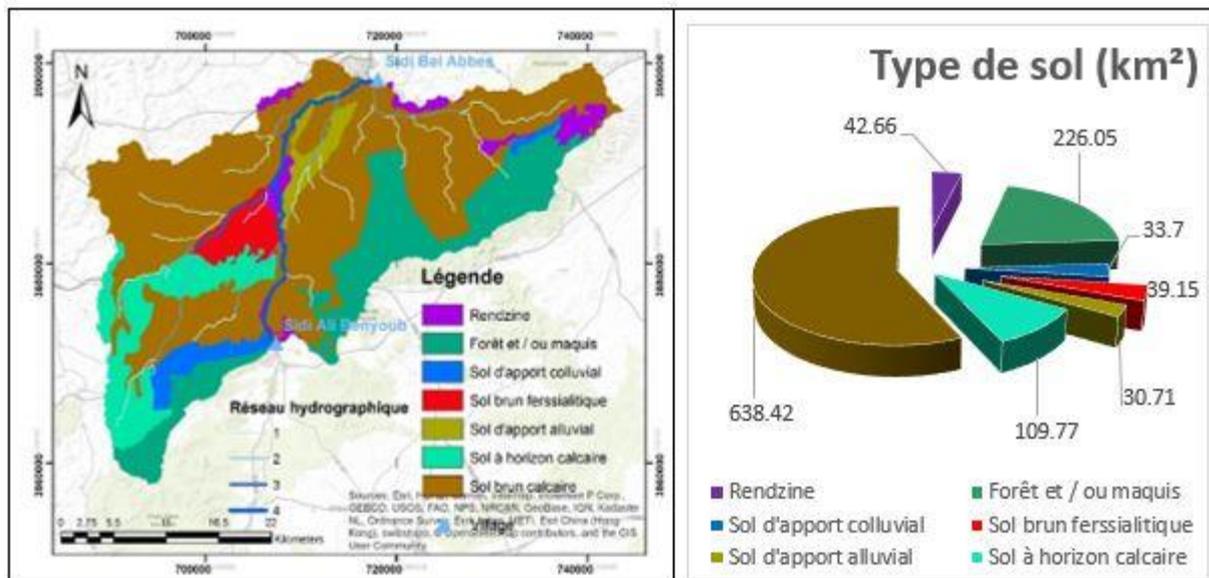


Figure I. 7. Type du sol au niveau de la plaine de Sidi Bel Abbas (Otmane 2019)

5. Occupation des sols

La couverture spatiale joue un rôle primordial dans les processus de génération du ruissellement sur les versants et d'infiltration de la pluie vers la zone non saturée. En effet, un même type de sol peut avoir des comportements différents par rapport à ces processus, selon l'occupation de la surface. La présence du couvert végétal est profitable à l'équilibre hydrologique du bassin alors que sa discontinuité, ou son absence totale constitue un facteur favorable à l'irrégularité des débits et à la genèse de fortes crues, surtout sur les terrains à fortes pentes et là où les sols sont très sensibles au ruissellement direct.

D'une manière générale la couverture végétale conditionne et influence la rapidité du ruissellement superficiel, le taux d'évaporation et la capacité de rétention du bassin versant. Donc la présence de végétation va jouer le rôle de « Régulateur » dans le régime d'écoulement et permet un amortissement notable des crues et leur continuité dans le temps.

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.

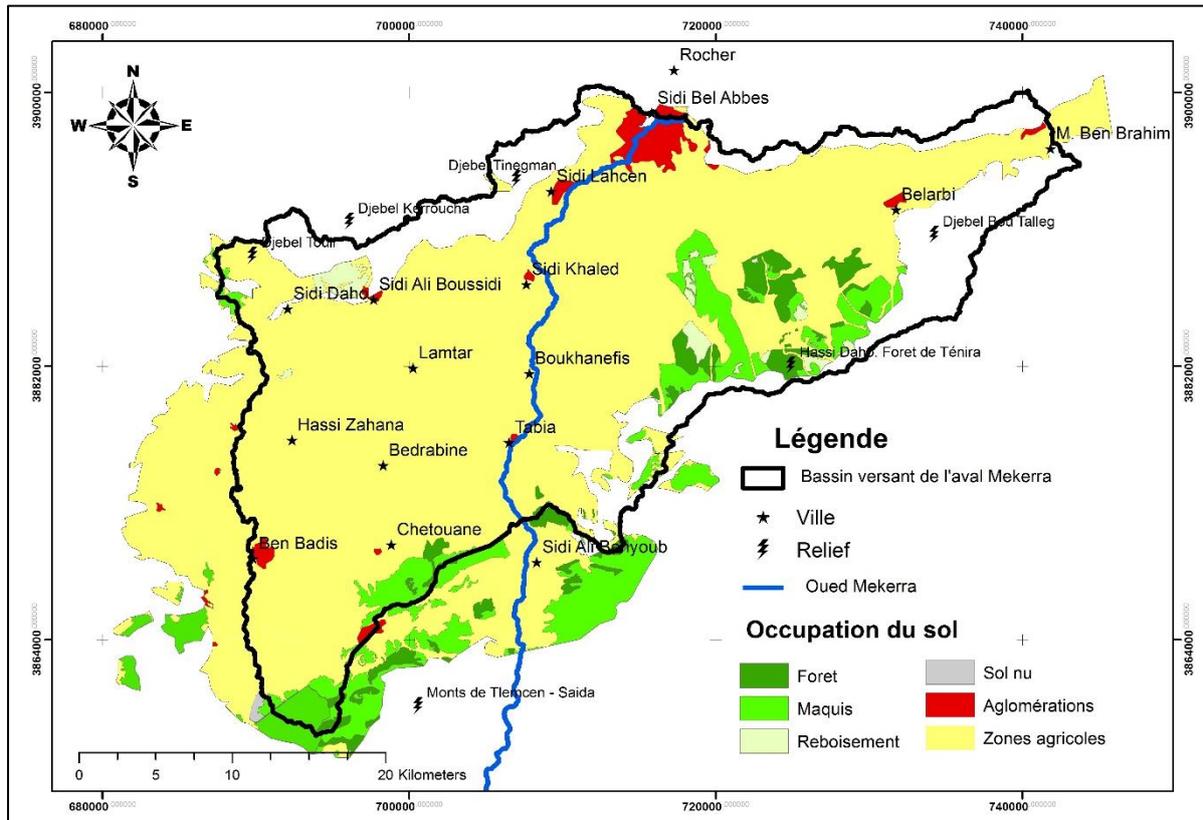


Figure I. 8. Répartition spatiale des différentes occupations des sols

Comme la majorité des espaces en Algérie, la plaine de Sidi Bel Abbès 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.

6. Etude de climat

Le climat de l'Algérie a fait l'objet de nombreuses études analytiques et synthétiques, notamment par *Seltzer (1946)* ; *Gaussen and Bagnouls (1953)*; *Emberger (1954)*. Tous ces auteurs s'accordent à reconnaître l'intégration du climat algérien au climat méditerranéen, caractérisé par une saison sèche et chaude coïncidant avec la saison estivale et une saison froide, pluvieuse en coïncidence avec la saison hivernale.

Le climat de notre région présentera donc un climat de plaines plus sec relativement chaud et à forts écarts thermiques. Cette hétérogénéité se traduit-elle au niveau du climat ? C'est ce que nous essayerons d'éclaircir dans cette partie.

6.1. Les précipitations

La pluviométrie dans l'Ouest algérien et surtout dans la région de Sidi Bel Abbès est irrégulière, caractérisée par des périodes hivernales pluvieuses et des périodes estivales sèches. Toutefois, les orages prennent parfois l'allure de véritables trombes d'eau qui ravinent les pentes et entraînent la perte des récoltes en inondant les terres et atteignent parfois les faubourgs de la ville (*Megherfi, 2010*).

6.1.1. Variabilité annuelle des précipitations (1990 - 2017)

Les cumuls annuels des précipitations sont présentés dans tableau suivant :

Tableau I. 1. Les précipitations annuelles à la station de Sidi Bel Abbes (1990-2017)

<i>Année</i>	<i>1990</i>	<i>1991</i>	<i>1992</i>	<i>1993</i>	<i>1994</i>	<i>1995</i>	<i>1996</i>	<i>1997</i>	<i>1998</i>	<i>1999</i>	<i>2000</i>
<i>P(mm)</i>	364.9	229.1	210.9	230.9	250.7	443.7	175.8	451.6	346	234.4	329.9
<i>Année</i>	<i>2001</i>	<i>2002</i>	<i>2003</i>	<i>2004</i>	<i>2005</i>	<i>2006</i>	<i>2007</i>	<i>2008</i>	<i>2009</i>	<i>2010</i>	<i>2011</i>
<i>P(mm)</i>	348.4	354.7	285	271.9	340.3	310.4	256.5	591	328.4	425.9	409.7
<i>Année</i>	<i>2012</i>	<i>2013</i>	<i>2014</i>	<i>2015</i>	<i>2016</i>	<i>2017</i>					
<i>P(mm)</i>	275.8	471.4	422.6	306.5	373.6	242.5					

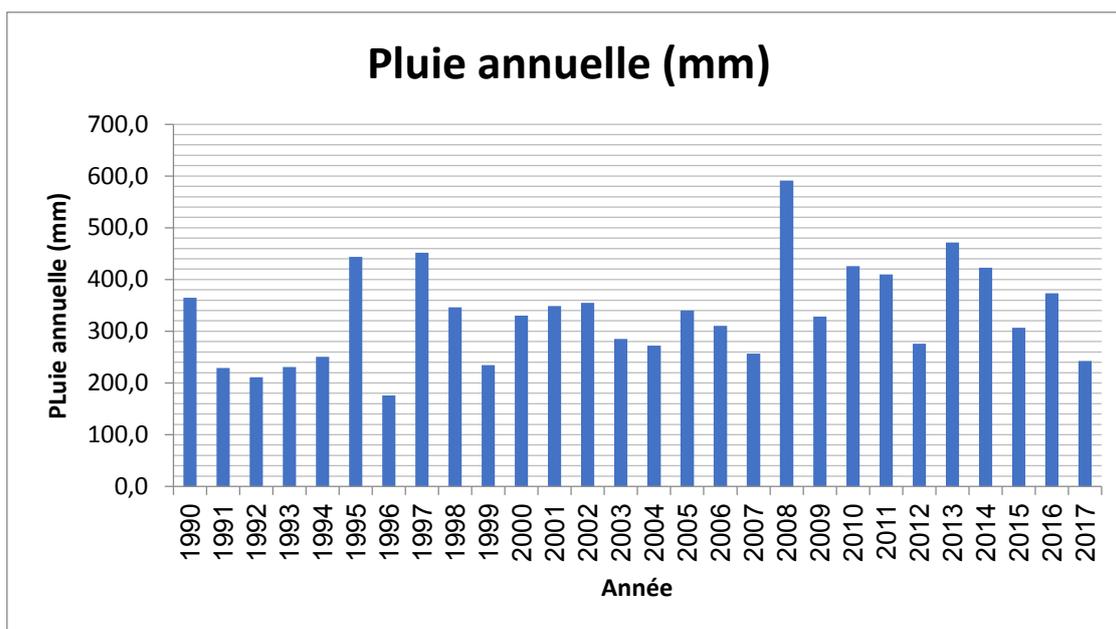


Figure I. 9. Variation des précipitations annuelles à la station de Sidi Bel Abbes (1990-2017)

D'après le tableau I. 1 et la figure I. 9 on observe que l'année la plus pluvieuse est l'année 2008 avec une précipitation moyenne annuelle de 591mm et l'année la plus sèche c'est l'année 1996 avec une pluie de 175.8mm. La précipitation moyenne annuelle à la station de Sidi Bel Abbes entre 1990 et 2017 est de l'ordre de 331.5mm.

6.1.2. Variabilité mensuelle des précipitations :

L'étude est basée sur les données de précipitation à la station météorologique de Sidi Bel Abbés durant la période 2009-2017.

Le tableau ci-dessous regroupe les valeurs des hauteurs moyennes des précipitations mensuelles de la station étudiée.

Tableau I. 2. Les précipitations moyennes mensuelles à la station de Sidi Bel Abbes (2009-2017)

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

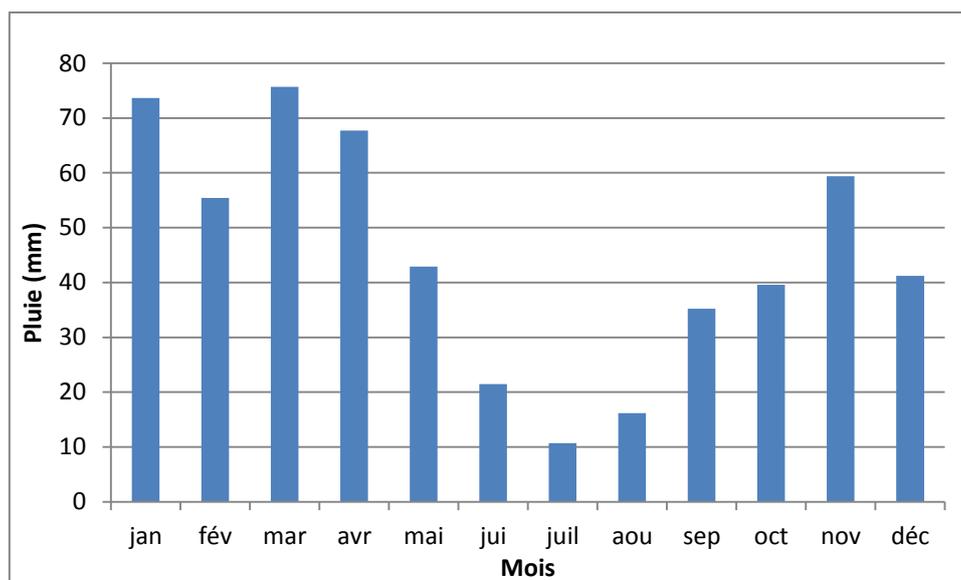


Figure I. 10. Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station de Sidi Bel Abbes (2009-2017)

D'après le tableau I. 2 et la figure I. 10 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 Abbes est de l'ordre de 44,9mm.

6.2. La Température

La température c'est une grandeur physique liée à la notion immédiate de froid et de chaud. 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 6 ans à partir de 2009 jusqu'à 2018 à la station de Sidi Bel Abbes.

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

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

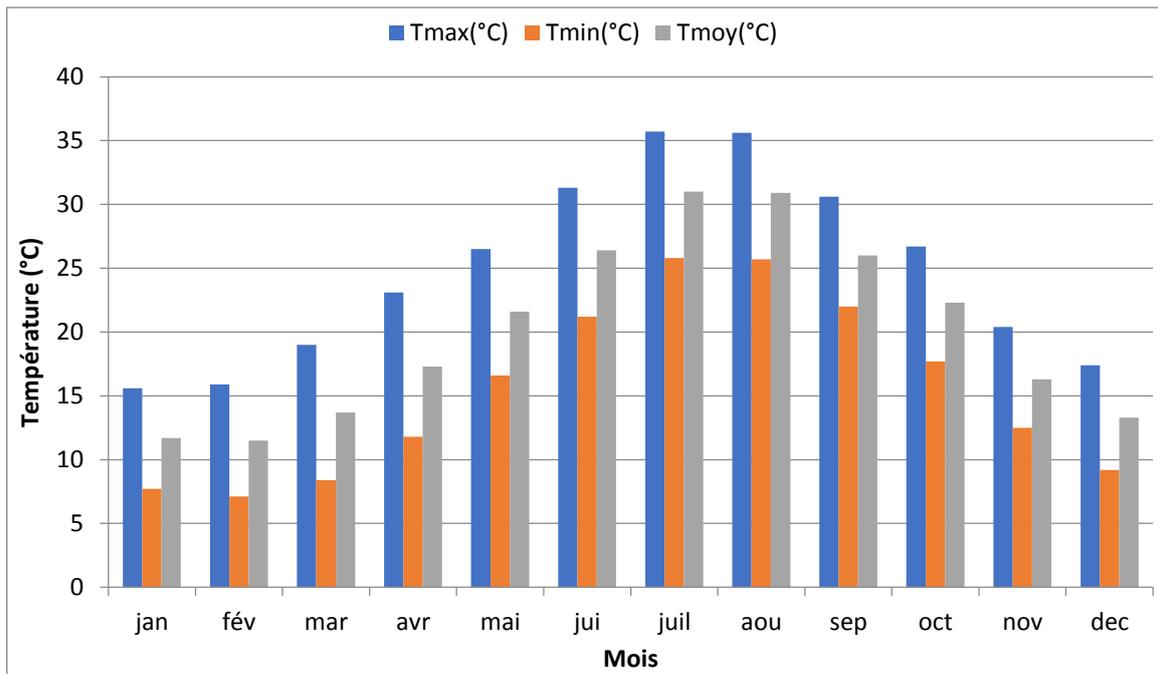


Figure I. 11. Variations des températures moyennes, maximales et minimales mensuelles à la station de Sidi Bel Abbès (2009-2018)

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 minima 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 la période d'observation 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.

6.3. Les vents

Le vent c'est un paramètre très important correspondant au déplacement d'une masse d'air consécutif à des différences locales de température et de pression. L'apparition du vent est liée à l'inégalité de pression atmosphérique en différents lieux et au même moment.

Le tableau suivant présente la vitesse moyenne mensuelle du vent pendant les 6 ans à partir de 2009 jusqu'à 2018 au niveau de la station de Sidi Bel Abbés.

Tableau I. 4. Vitesse moyenne mensuelle du vent (m/s) à la station de Sidi Bel Abbès (2009-2018)

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

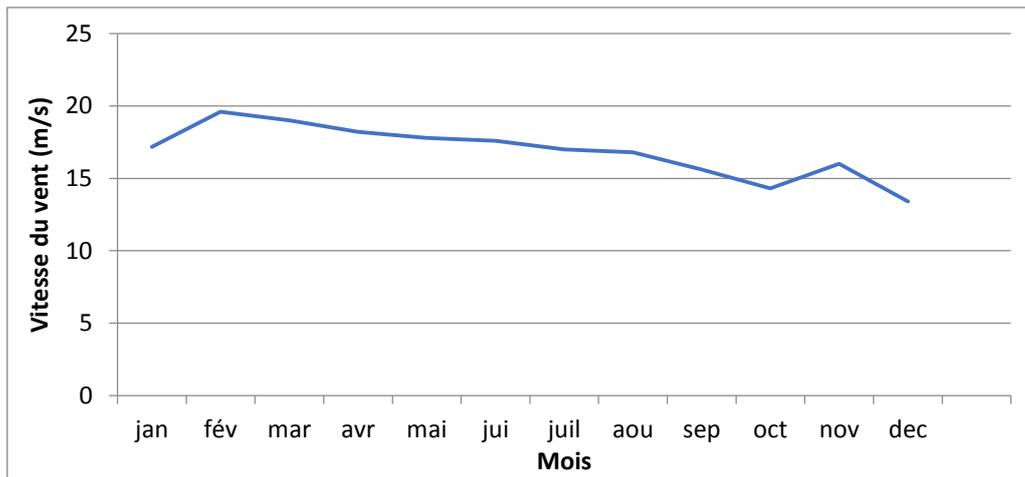


Figure I. 12. Variation de la vitesse moyenne mensuelle du vent à la station de Sidi Bel Abbès (2009-2018)

D'après le tableau I. 4 et la figure I. 12, la vitesse maximale du vent est 19,6 m/s en mois de février. Par ailleurs, la vitesse minimale est enregistrée en décembre (13,4 m/s) .

6.4. 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 I. 5 :

Tableau I. 5. Humidité moyenne mensuelle à la station de Sidi Bel Abbès (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

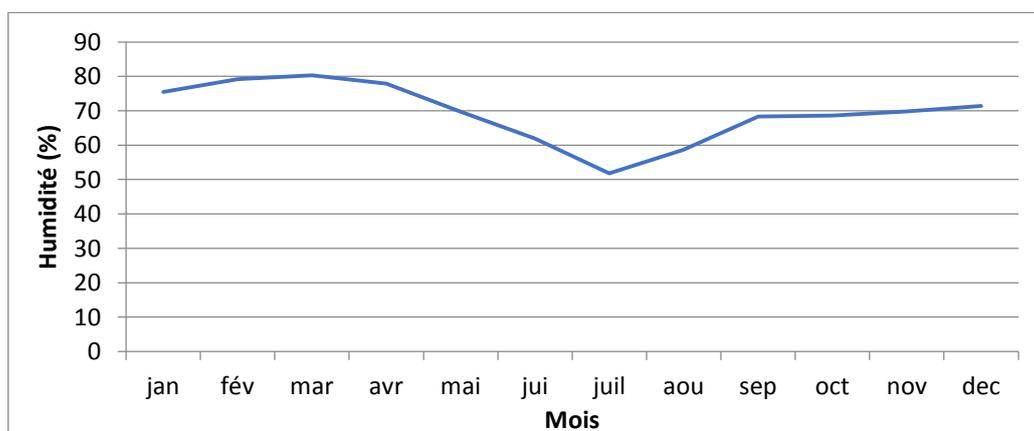


Figure I. 13. Variation de l'humidité moyenne mensuelle à la station de Sidi Bel Abbès (2009-2018)

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%.

6.5. 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

6.5.1. 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. 6. Classification des climats en fonction des indices d'aridité annuelle de De Martonne (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 Abbas :

P= 331.5mm

T=20,17°C

$$I = 331.5 / (20.17 + 10)$$

I=10.99

L'indice d'aridité de De Martonne donne I=10.99

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

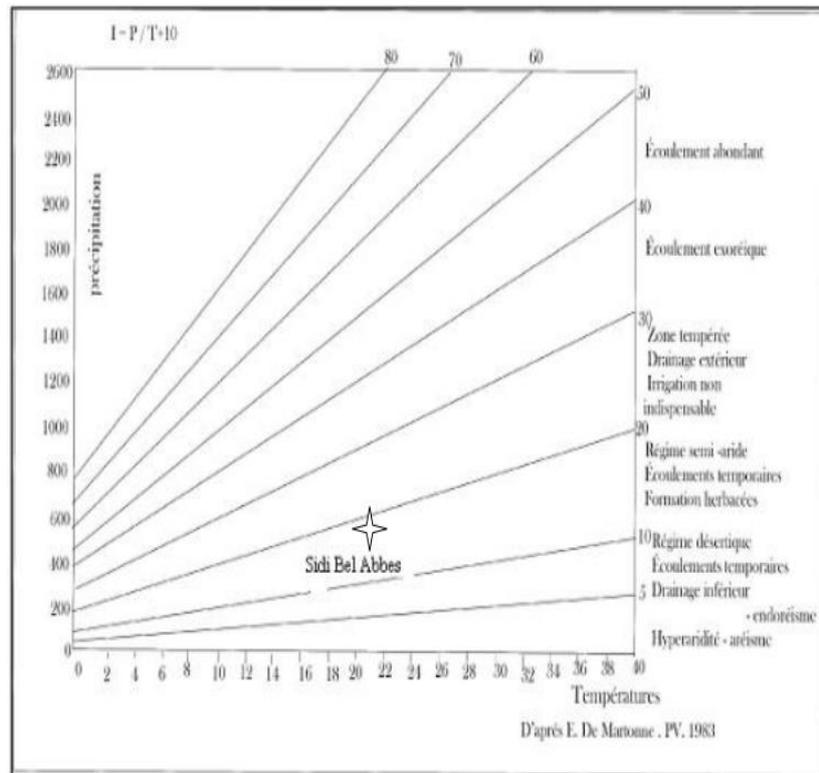


Figure I. 14. Abaque de De Martonne

D'après notre étude climatologique, on conclure que la région d'étude est faite partie d'un climat semi-aride, avec un type de végétation steppique.

7. Conclusion

Géographiquement notre zone d'étude se limite à la partie sud du sous bassin versant de la Mekerra, 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.

La zone d'étude, est une région influencée par un climat semi-aride. Pour une période d'étude comprise entre 1990 à 2017 (28 ans), les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 331.5mm et la température moyenne annuelle est de 20,17°C (leur variation est très importantes entre l'été et l'hiver).

Chapitre II

Géologie et Hydrogéologie

1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons 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) qui conditionnent l'écoulement des eaux de surface au niveau de la plaine de Sidi Bel Abbes.

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

La structure actuelle du Nord de l'Algérie est due aux mouvements hercyniens et alpins, qui ont permis l'individualisation de plusieurs domaines. En Oranie, nous avons du Nord au Sud (Fig. II. 1) :

2.1. Domaine Tellien

Au nord, zone complexe, constituée de nappes mises en place au Miocène inférieur, de bassins intra montagneux d'âge néogènes tardifs (bassin du Chélif), dont la série sédimentaire s'étend du Jurassique au Miocène. Cette zone est constituée de reliefs jeunes modelés au cours du Tertiaire par les mouvements alpins. Ils sont les témoins d'une tectonique cassante matérialisée par des accidents limitant des plaines d'effondrement, plus basses topographiquement que les reliefs qui la ceignent. Ces plaines sont caractérisées par un substratum rocheux recouvert en surface d'alluvions et de colluvions.

2.2. Domaine de la Meseta oranaise (hauts plateaux)

Au centre, avant-pays alpin, à couverture sédimentaire réduite où les processus locaux ont permis la formation de bassins intra montagneux comme le bassin de Telagh ou au Sud de Tabia.

2.3. Atlas saharien

Au Sud, est né d'un long sillon subsidiant pincer entre les hauts plateaux et la plate-forme saharienne.

Les limites de ces unités sont marquées par des accidents majeurs de direction WSW–ENE. La limite sud du front des nappes telliennes est constituée par une ligne irrégulière délimitant le Tell correspondant au domaine alpin. L'accident nord atlasique qui correspond à une série d'accidents donnant une ligne de séparation entre le domaine atlasique et le domaine de la Meseta oranaise.

La plaine de Sidi Bel Abbes occupe un espace qui correspond à la zone de transition entre le domaine tellien au Nord et celui de la Meseta oranaise au Sud.

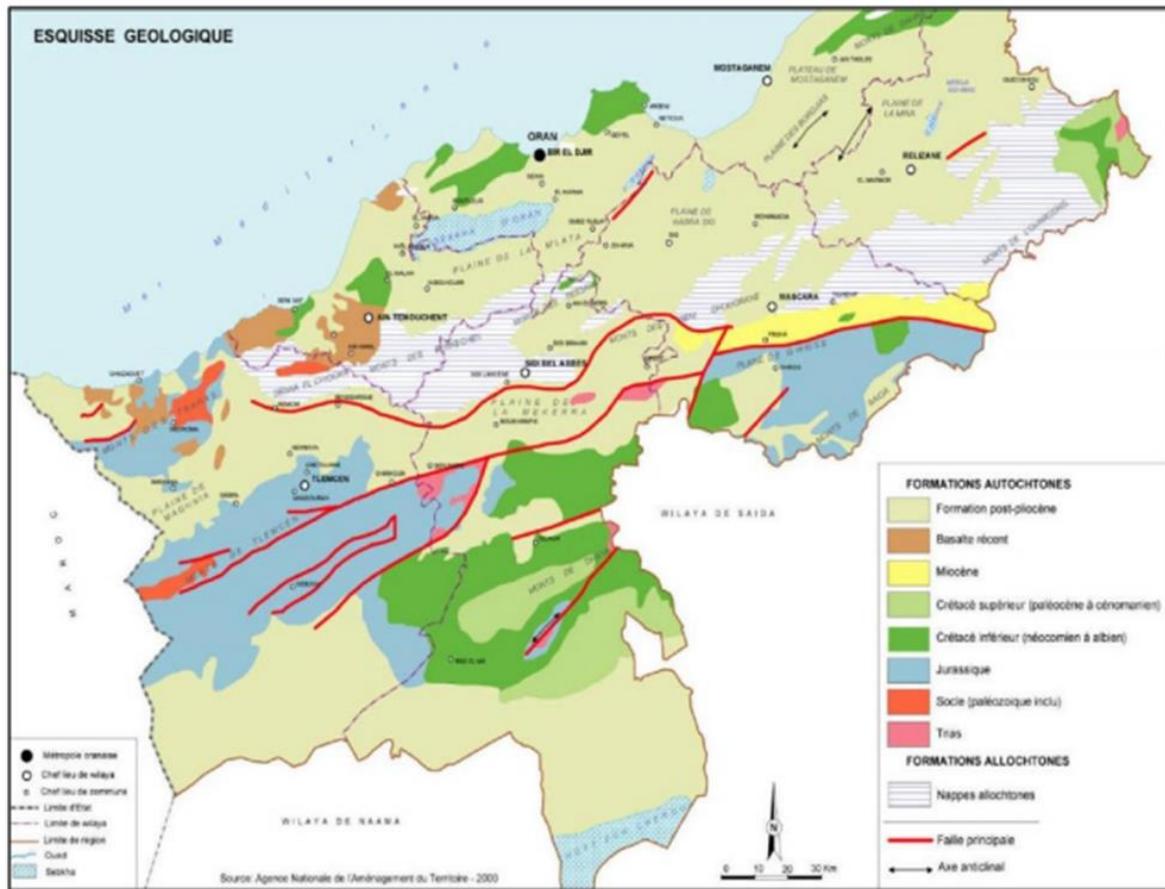


Figure II. 1. Carte géologique du Nord-ouest de l'Algérie (Agence Nationale de l'Aménagement du Territoire 2000)

3. Cadre géologique de la plaine de Sidi Bel Abbas

La plaine de Sidi Bel Abbas du Nord au Sud est représentée par :

3.1. La dépression d'Ain El Berd

Occupée essentiellement de marnes bleues qui atteignent une épaisseur de 200m au WSW du Sig, se réduisent progressivement selon l'axe même de la dépression pour disparaître le long de la faille de Boujebaa.

3.2. Le bombement de l'Oued Mebtouh

Constitué de terrains allochtones Oligo miocènes. Vers le NE, le bombement est limité par la faille de Cheurfas (*Fedan and Thomas, 1985*).

3.3. La chaîne plissée des Tessala

Représente la limite septentrionale de la plaine. Elle est allongée suivant une direction NE-SW et est constituée d'une succession de formations triasique, jurassique et crétacés allochtones. L'ensemble étant recouvert par des sédiments tertiaires affectés principalement par une tectonique souple.

Ces reliefs à structures complexes, seraient des vestiges de l'ancien sillon méditerranéen dont les terrains ont été charriés selon deux ensembles principaux :

- **Crétacé moyen et supérieur** : Ensemble argilo marneux à semelle de Trias salifère et gypseux reposant en contact anormal sur le Miocène anté nappe.

- **Oligo Miocène** : Constitué de formation argileuse bleue et de calcaires organogènes, entraînant avec lui des lambeaux d'Eocène moyen et supérieur et repose en contact anormal sur le Crétacé moyen et supérieur.

Vers l'Est, le domaine des nappes disparaît et laisse place à une série continentale du Pliocène (Figure 2).

3.4. La plaine de Sidi Bel Abbès

C'est une vaste cuvette à substratum argilo-marneux, imperméable, d'âge miocène ou pliocène inférieur, comblée par des formations quaternaires détritiques, essentiellement conglomératiques et des dépôts sableux et gréseux alternant avec des limons, provenant de la désagrégation des reliefs qui l'entourent (Sourisseau, 1972).

D'une superficie de 825 Km² et de direction NE-SW, la plaine de Sidi Bel Abbès représente la partie la plus basse du bassin versant de la Mekerra. Elle est considérée, de point de vue hydrogéologique, comme la plus importante du NW algérien. Sa structure en cuvette à remplissage alluvionnaire quaternaire et plio-quaternaire lui permet d'être le siège d'un écoulement souterrain. 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).

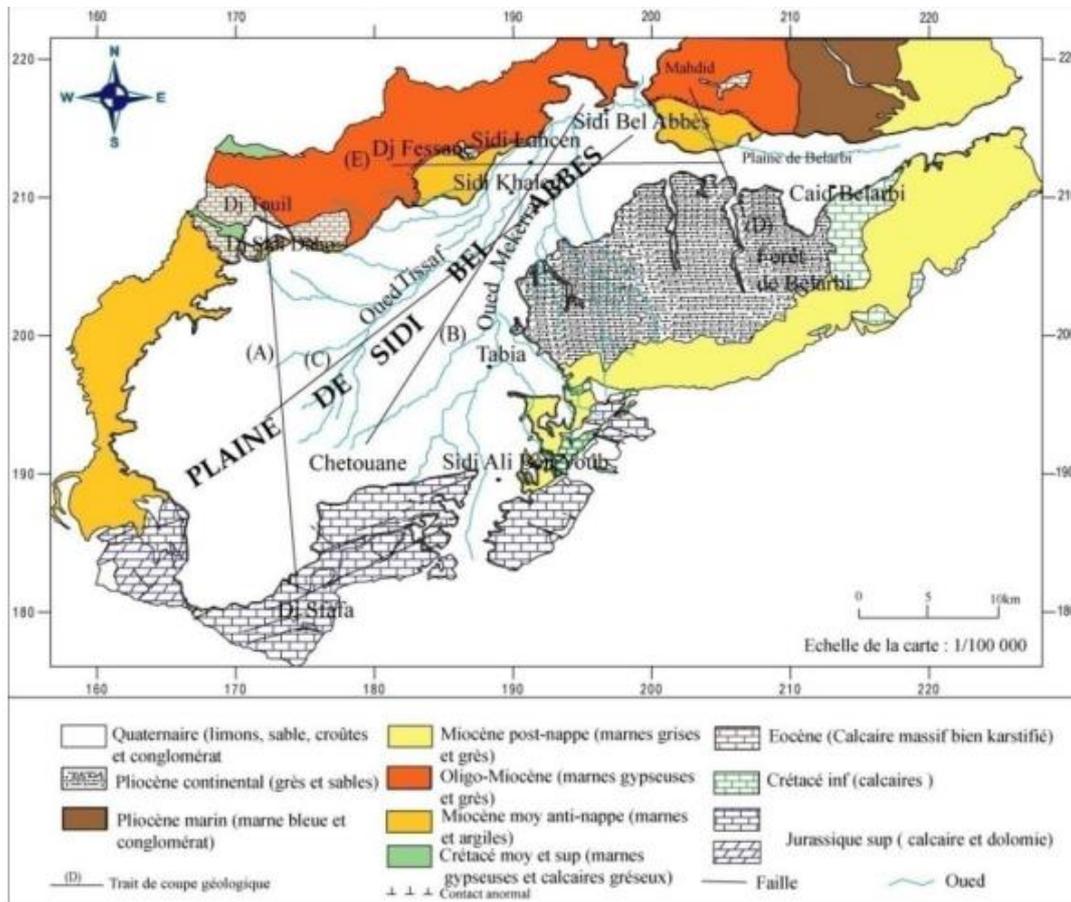


Figure II. 2. Esquisse géologique de la plaine de Sidi Bel Abbès (Sourisseau 1972)

3.5. Monts de Saida-Dhaya-Tlemcen

Chaîne plissée et dépassent assez souvent les 1000 mètres d'altitude, situés au Sud de la plaine alluviale en bordure des hauts plateaux. Ces monts sont constitués essentiellement par des formations karstiques (calcaire et dolomie de Tlemcen) très accidentées du Jurassique

supérieur et Crétacé inférieur à intercalations de calcaires et de marnes (*Auclair and Biehler, 1967*).

4. La série stratigraphique

La succession stratigraphique telle qu'elle se présente en affleurements et en sondages dans la plaine de Sidi Bel Abbès s'établit comme suit :

4.1. Le Quaternaire :

Il représente le réservoir principal d'eau souterraine, il est représenté par les terrains suivants :

- Limons, argiles sableuses, argiles en faible épaisseur (jusqu'à 10 m) développées dans le centre et la partie nord de la plaine.
- Alluvions et conglomérats des terrasses en bordure des Oueds.
- Croûte calcaire principalement en bordure des massifs calcaires.

4.2. Le Cénozoïque

Les terrains du Cénozoïque occupent une vaste étendue dans notre bassin et sont représenté par les formations suivantes :

4.2.1. Le pliocène

Quatre formations peuvent être attribuées au Pliocène :

a. Les dépôts alluvionnaires des plateaux

Affleurant principalement dans la partie sud-ouest de la plaine. Ce sont des dépôts caillouteux et limoneux, parfois grés-sableux avec des intercalations de bancs de poudingues à gros éléments.

b. Les conglomérats des chenaux aquifères

Cette formation, attribuée au Salétien, est essentiellement conglomératique formée de galets hétérométriques (centimétriques à décimétriques) le plus souvent reliés par un ciment argilo-carbonaté. Ces galets sont le résultat de la désagrégation des terrains jurassiques et crétacés suite à des épisodes torrentiels. On rencontre aussi des lentilles argileuses et sableuses. Ces dépôts occupent les anciennes vallées creusées dans le plateau détritique pliocène (dont quelques lambeaux subsistent dans les interfluves) par les Oueds Mekerra et Lamtar alors très actifs.

c. Le complexe argilo-sableux

Principalement déposé au Sud et à l'Est de la plaine, composé d'argiles, argiles sableuses et argiles silteuses.

d. Le conglomérat des Hauts plateaux

C'est un conglomérat ferrugineux à ciment dolomitique ou calcaire formé d'éléments centimétriques et décimétriques, contenant quelques lentilles gréseuses, au Sud de la plaine et dans la vallée alluviale de Sidi Ali Ben Youb particulièrement au pied des reliefs et au niveau des oueds qui les traversent.

4.2.2. Le Miocène

Le Miocène se divise en deux formations :

a. Le Miocène supérieur

Continental : présent dans le Djebel Ténira et les Djebels au Sud de Belarbi. Ce sont des dépôts d'environ 300 mètres de marnes grises à bancs de grès et à lentilles de galets plus ou moins cimentés.

Marin : Il affleure au Nord-Est de la plaine, dans la forêt de Louza. Il est constitué par des grès marneux (marins ou lagunaires plus ou moins gypseux).

b. Le Miocène moyen marin

Formant le substratum de la plaine alluviale. Il est composé par des argiles et marnes grises ou blanchâtres très fines, parfois bien indurées, pyriteuses, comprenant des bancs de grès. Son épaisseur varie entre 20 et 500 m.

4.2.3. L'Oligocène

L'Oligocène constitue l'essentiel des nappes de Tessala formant les reliefs nord de la plaine de Sidi Bel Abbès. C'est un ensemble de marnes parfois gypseuses, grises avec quelques bancs de conglomérats à la base et de minces plaquettes de grès dans la partie supérieure

4.2.4. L'Eocène

Cet ensemble repose en contact anormal sur le Miocène supérieur anté-nappes ou sur le Crétacé moyen et supérieur. Il est constitué de dépôts calcaires massifs, durs bien lités, karstifiés et très fossilifères. Cet ensemble appartient aux nappes de charriage qui affleurent essentiellement à l'Oued de Sidi Ali Boussidi, dans le Djebel Tinégmar et au NE de Sid Bel Abbès, dans la région de Mehadid.

4.3. Le Mésozoïque

Les formations du Mésozoïque affleurent au Nord du bassin au niveau des monts de Tessala et au Sud dans la zone des hauts plateaux. Le Mésozoïque est représenté par des formations carbonatées, gréseuses et argileuses d'âge crétacé et jurassique.

4.3.1. Le Crétacé moyen et supérieur

Cet ensemble forme le substratum de la nappe des calcaires éocènes, par sa nature marno-gypseuse, accompagné parfois de bancs de calcaires sombres et des calcaires gréseux peu épais. Dans les Monts de Tessala, ses terrains correspondent également à une nappe de charriage.

4.3.2. L'Aptien

Il est constitué par des calcaires en bancs peu tectonisés, d'une épaisseur d'environ 140 m, il est mis en évidence, au Sud de Belarbi, à la faveur d'un horst (*Sourisseau, 1973*).

4.3.3. Le Barrémien

Il n'affleure pas sur notre zone d'étude mais a été reconnu par le forage de Baudens 1. C'est une formation puissante constituée essentiellement de grès roux admettant des intercalations d'argiles. Le sommet étant constitué de calcaires graveleux. Cette formation est appelée grès de Berthelot.

4.3.4. L'Hauterivien

C'est le membre calcaréo-gréseux (D). Il affleure au Sud-Est du bassin versant de la Mekerra sous forme d'une épaisse formation de (150 m) de calcaires graveleux et gréseux, de grès, avec à la base d'un ensemble marneux à bancs de calcaires gréseux.

4.3.5. Le Berriasien - Valanginien

C'est le membre marno-calcaire (C), de la formation des calcaires de Remaila, constitué d'une alternance de marnes vertes et jaunes et des calcaires graveleux. Les principaux affleurements sont localisés dans la forêt de Djebels Dounteldat et Tizi au Sud-ouest de la plaine.

4.3.6. Le Portlandien

C'est le membre marno-calcaire (B), de la formation des calcaires de Remaila. Il affleure largement entre Sidi Ali Benyoub et Ain Tellout. D'une puissance de (200 m), il est constitué de bas en haut par des grès blancs, des marnes verdâtres, et des calcaires graveleux.

4.3.7. Kimméridgien

Le Kimméridgien est subdivisé en trois sous étages : inférieur, moyen et supérieur. Il affleure au Sud-ouest de la plaine, aux environs de Ain Tellout « Dolomies de Tlemcen ».

- Calcaires cristallins coiffés de dolomies et de calcaires marneux (Kimméridgien supérieur)
- Marnes intercalées de bancs de calcaires marneux peu épais (Kimméridgien moyen).
- Bancs épais de calcaires fins, séparés par des calcaires marneux et des dolomies gréseuses, d'une épaisseur de 20 m (Kimméridgien inférieur)

4.3.8. Le Trias

Il est représenté par des marnes et des argiles gypseuses, contenant des basaltes, des granites et des dolomies bréchiques, il forme la semelle des nappes de charriage des Tessala et apparaît en diapir au NW de Ain Tellout. Des affleurements très localisés de Trias ont été observés aux environs de la localité de Zerouala et à Sidi Bel Abbès (Fig. II. 3).

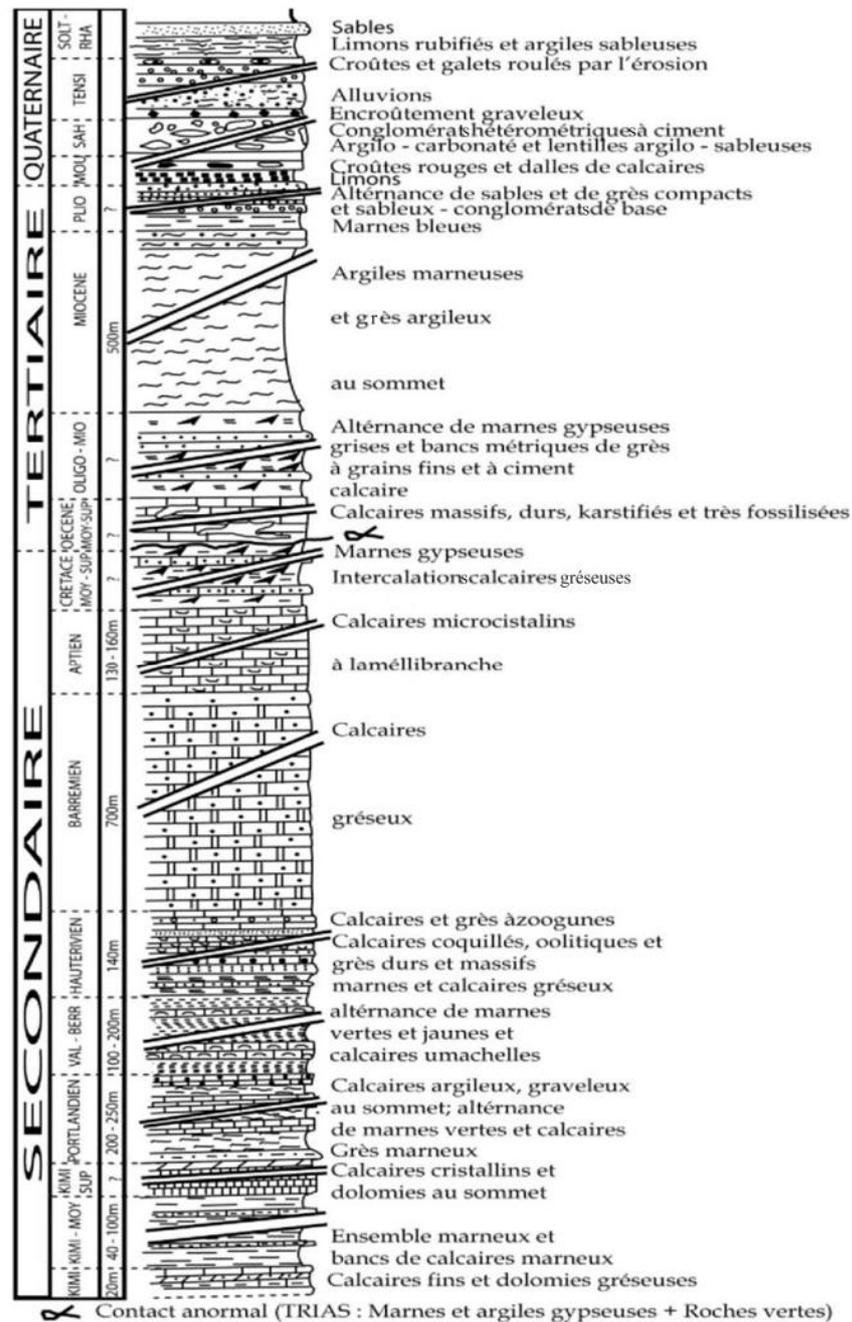


Figure II. 3. Log stratigraphique synthétique de la plaine de Sidi Bel Abbas (Sourisseau 1972)

5. Tectonique

Il existe deux styles tectoniques bien distingués dans la plaine de Sidi Bel Abbas (Fig. II. 4) :

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.

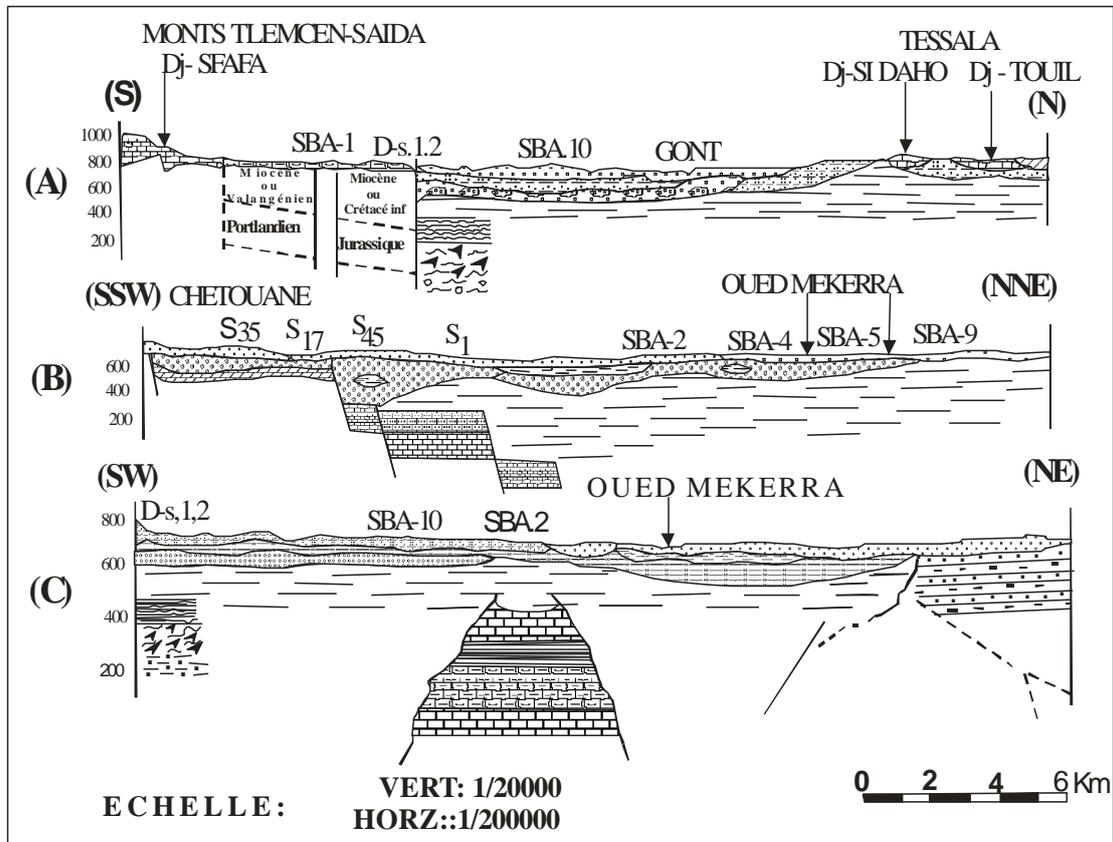
Au Sud, les terrains karstiques peu plastiques, légèrement ondulés, donnent une tectonique cassante très prononcée, représentée sous forme des accidents verticaux et sub-verticaux, sans doute le reflet des déformations du socle, découpant le massif en deux directions (Auclair and Biehler, 1967) :

- 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.



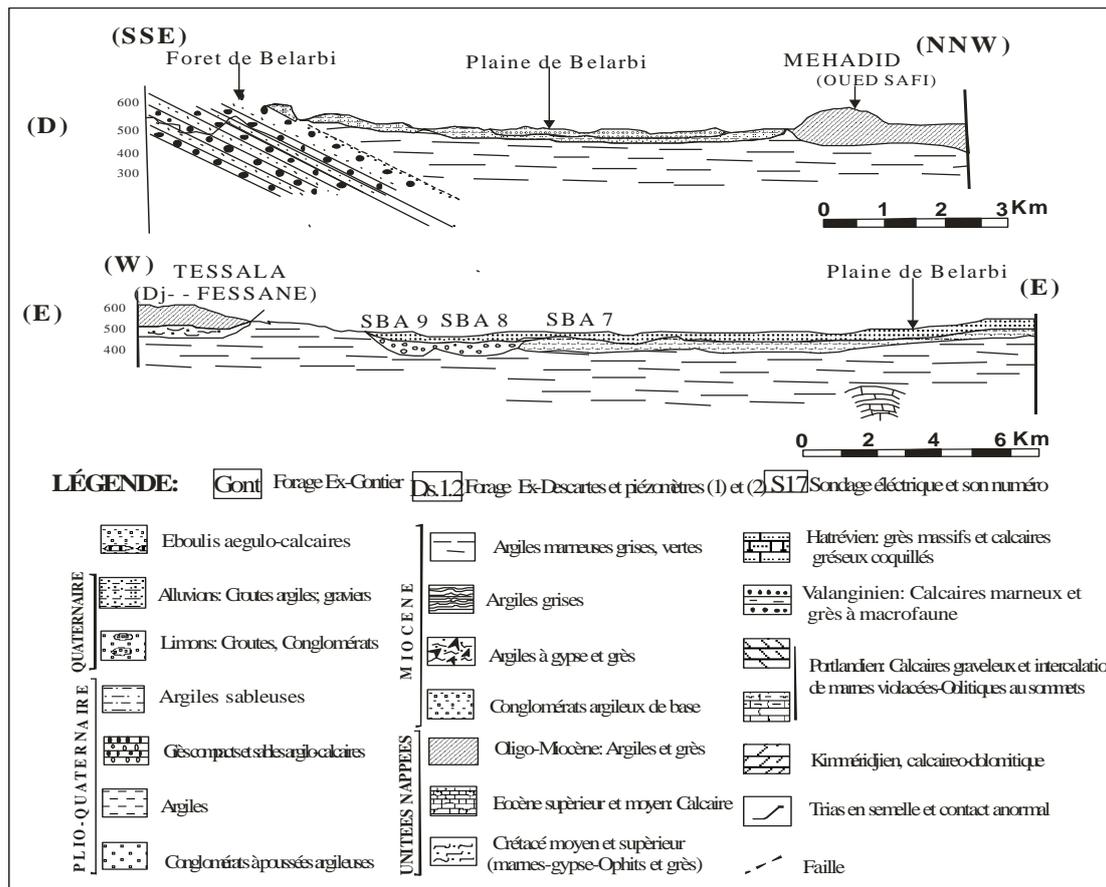


Figure II. 4. Coupe géologique dans la plaine de Sidi Bel Abbès (Sourisseau 1971 in Otmane 2015)

5.1. Interprétation des coupes géologiques schématiques

D'après les coupes géologiques dressées par B. 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 600 mètres sous la plaine à Ben Badis, cela veut dire que le rejet de cette faille peut atteindre 1000 mètres à cet endroit.

Le Miocène 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 écailles de calcaires éocènes au niveau de Sidi Dahou.

- **Pour la coupe 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 40 mètres.

6. Hydrogéologique

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

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. Identification des principaux aquifères

La région d'étude peut être subdivisée en quatre entités hydrogéologiques distinctes avec les calcaires et dolomies jurassico-crétacés de Sidi Ali Ben Youb au Sud, la plaine alluviale proprement dite plio-quadernaire au centre, les grès pliocènes de la forêt de Tenira à l'Est, les calcaires éocènes de Sidi Ali Boussidi au Nord.

6.1.1. Nappe alluviale du Plio-Quadernaire

Cette nappe repose sur des formations marines du Pliocène (marnes bleues, grès et molasse), surmontées par des formations quadernaires très variées allant des alluvions plus ou moins cimentés d'épaisseur environ 45 m à la base jusqu'aux formations limoneuses et argiles sableuses au sommet. Elle constitue le siège d'une nappe libre à l'exception de quelques niveaux conglomératiques du chenal aquifère entre Sidi Khaled et Sidi Bel Abbès dans lequel la nappe devient semi captive (Fig. II 5).

Sur le plan tectonique, les formations plio-quadernaires n'ont subi aucune déformation à l'exception des conglomérats quadernaires des terrasses d'Oued Tissaf affectés d'une faille de faible rejet.

6.1.2. Nappe des grès pliocènes de la forêt de Tenira

Cet aquifère est constitué de formations conglomératiques à la base, puis de grès sableux à teneurs en argiles variables, alternant avec des limons rouges et des conglomérats du Pliocène continental et repose sur les marnes grises du Miocène supérieur continental constituant ainsi son substratum.

Les grès du Pliocène de la forêt de Tenira sont limités à l'Est par les calcaires de Zigyne et au Sud par le Miocène supérieur continental (Fig. II 5). Ils contiennent une nappe discontinue alimentée exclusivement par son impluvium et qui elle-même alimente la nappe alluviale principalement par l'intermédiaire de petites vallées étroites qui jouent un rôle de drain grâce à leur remplissage alluvionnaire.

6.1.3. Les calcaires de l'Eocène de Sidi Ali Boussidi

Cet aquifère est limité vers le bas par un mur formé de marnes du Crétacé moyen supérieur et du Miocène moyen marin. Nonobstant leurs bonnes propriétés hydrodynamiques, les calcaires éocènes de Sidi Ali Boussidi n'ont qu'une importance moindre, en raison de la petitesse de leur impluvium (*Auclair and Biehler, 1967*).

L'alimentation de cette nappe se fait principalement par son impluvium. Cette nappe était entièrement drainée par les sources de : Aïn El Hadjar, Aïn Anefress et Aïn Meddah (Fig. II 5). Ces sources déversent soit directement dans les alluvions, soit sur le Miocène marneux pour se réinfiltrer ensuite dans les alluvions de l'Oued Anefress.

La disposition structurale de cet aquifère est bien définie. Les phénomènes de charriage ont permis à l'Oligocène avec son front de lambeaux de calcaire éocène de recouvrir les terrains autochtones indifférenciés d'âge crétacé moyen et supérieur. Ceux-ci reposent sur le Miocène moyen anté-nappe.

6.1.4. Nappe des calcaires et dolomies jurassico-crétacés de Sidi Ali Ben Youb

Situés dans la partie sud du bassin hydrologique (Fig. II 5), les formations épaisses de calcaires et dolomies jurassico-crétacés (calcaire de Remaila, dolomie de Tlemcen) qui présentent des intercalations marneuses reposent sur les argiles du Trias et sont surmontées par les formations éocènes. Cet ensemble de faciès (faciès dolomitique bien karstifié, faciès calcaire fissuré, faciès marneux) est hydrogéologiquement peu connu. Nous pensons qu'il serait vraisemblable de le considérer comme un aquifère unique, les zones de bonne perméabilité étant probablement en relation avec les nombreux accidents responsables de la structuration en marches d'escalier WSW-ENE qui affectent le substratum Jurassico-crétacé.

L'infiltration directe des précipitations constitue sa principale source d'alimentation. Cette nappe est drainée par plusieurs sources dont les plus importantes sont : Aïn Mekhareget Aïn Skhouana qui se déversent dans l'Oued Mekerra (Fig. II 5).

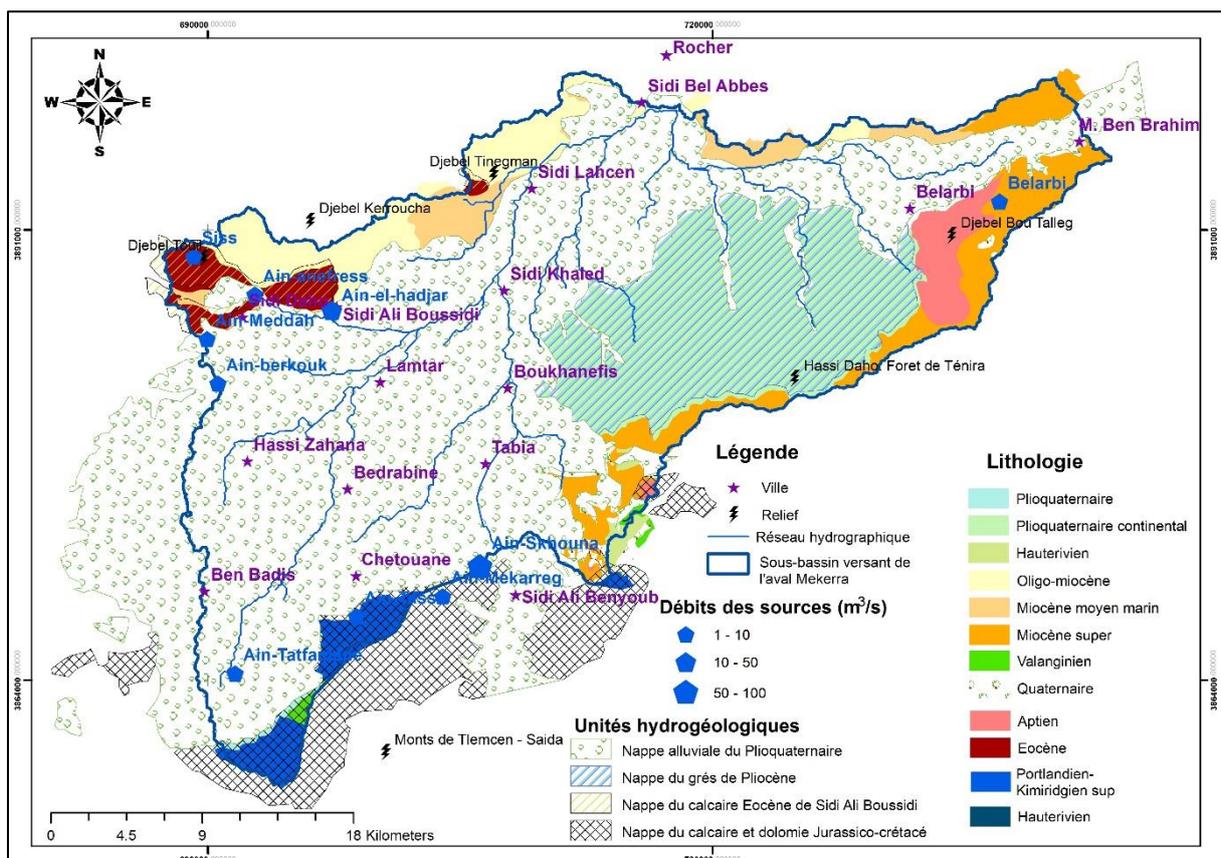


Figure II. 5. Identification des principaux aquifères de la plaine de Sidi Bel Abbès (DEMHR 1974)

6.2. Inventaires et caractéristiques des points d'eau

6.2.1. Réseau de surveillance (puits et piézomètres)

Le réseau témoin actuel pour le suivi piézométrique de la région d'étude est composé de 17 points d'eau (7 puits et 10 piézomètres) répartis sur toute la plaine (Fig. II 6), dont les caractéristiques sont mentionnées dans le tableau II 1 et la figure II 6.

Tableau II. 1. Les caractéristiques des points d'eau (ANRH 2008)

	<i>N° d'ouvrage</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Z</i>	<i>TYPE</i>	<i>PROF, (m)</i>
<i>1</i>	<i>W240-50</i>	<i>179.300</i>	<i>205.600</i>	<i>584.6</i>	<i>PUTTS</i>	<i>27</i>
<i>2</i>	<i>W241-2</i>	<i>187.800</i>	<i>209.150</i>	<i>497.3</i>	<i>PIEZO</i>	<i>40</i>
<i>3</i>	<i>W241-10</i>	<i>187.300</i>	<i>206.100</i>	<i>523.66</i>	<i>PIEZO</i>	<i>30</i>
<i>4</i>	<i>W241-45</i>	<i>205.500</i>	<i>212.350</i>	<i>492.02</i>	<i>PIEZO</i>	<i>30</i>
<i>5</i>	<i>W241-179</i>	<i>195.600</i>	<i>219.100</i>	<i>471.56</i>	<i>PUITS</i>	<i>32</i>
<i>6</i>	<i>W241-68</i>	<i>195.600</i>	<i>213.650</i>	<i>458.11</i>	<i>PIEZO</i>	<i>50</i>
<i>7</i>	<i>W241-199</i>	<i>184.800</i>	<i>205.400</i>	<i>531.55</i>	<i>PUITS</i>	<i>11</i>
<i>8</i>	<i>W242-5</i>	<i>213.500</i>	<i>213.650</i>	<i>499.87</i>	<i>PIEZO</i>	<i>30</i>
<i>9</i>	<i>W242-10</i>	<i>211.750</i>	<i>210.000</i>	<i>538.5</i>	<i>PUITS</i>	<i>20</i>
<i>10</i>	<i>W242-23</i>	<i>222.700</i>	<i>214.300</i>	<i>613.12</i>	<i>PIEZO</i>	<i>52</i>
<i>11</i>	<i>W271-27</i>	<i>175.080</i>	<i>199.400</i>	<i>593.9</i>	<i>PIEZO</i>	<i>40</i>
<i>12</i>	<i>W272-43</i>	<i>171.200</i>	<i>194.000</i>	<i>658.41</i>	<i>PIEZO</i>	<i>53</i>
<i>13</i>	<i>W271-50</i>	<i>164.400</i>	<i>192.850</i>	<i>632.41</i>	<i>PUITS</i>	<i>15</i>
<i>14</i>	<i>W272-34</i>	<i>181.800</i>	<i>195.150</i>	<i>621.95</i>	<i>PIEZO</i>	<i>35</i>
<i>15</i>	<i>W272-39</i>	<i>181.850</i>	<i>190.850</i>	<i>671.10</i>	<i>PUTTS</i>	<i>24</i>
<i>16</i>	<i>W272-49</i>	<i>191.800</i>	<i>198.050</i>	<i>590.53</i>	<i>PIEZO</i>	<i>50</i>
<i>17</i>	<i>W272-74</i>	<i>188.750</i>	<i>187.780</i>	<i>707.23</i>	<i>PUITS</i>	<i>14</i>

6.2.2. Forages

Dans la plaine de Sidi Bel Abbès, il a été réalisé 44 forages dont 27 captant la nappe avec des profondeurs allant de 25.5 et 90 mètres, 13 forages (entre 100 et 243 mètres), 4 forages profonds (382 à 720 mètres). En plus du forage de reconnaissance pétrolier qui atteint 4035 mètres de profondeur (Inventaire de la PMH, SOGREAH, 2009).

6.2.3. Sources

Parmi les vingt sources inventoriées dans la plaine, les plus importantes sont : Ain Skhouna (photo 01), Ain Mekhareg, Ain El Hadjar, Ain Tatfamane, Ain Tass, Ain Annefress, et Ain Meddah (Fig. II 5 et II 6).

Les sources captées sont : Ain Skhouna, Ain Mekhareg, Ain El Hadjar, Ain Tatfamane et Ain Annefress.

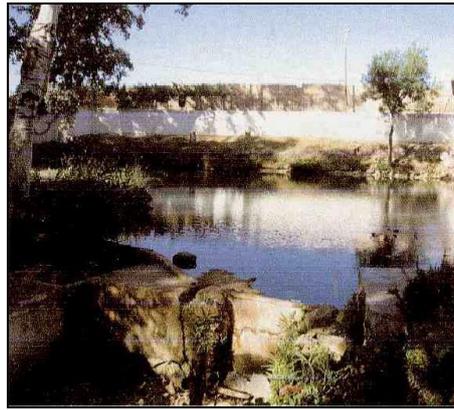


Photo 01 : Source d'Ain Skhouna (SOGREAH, 2007).

L'étude des sources de Sidi Ali Ben Youb (Ain Skhouna, Ain Mekhareg) par 20 sondages électriques en AB = 600 et 1000 m, confirme une remontée du substratum calcaire jurassique (Purbeckien) a ce niveau. Ces deux sources proviennent de deux bancs calcaires distincts séparés par une trentaine de mètres de marnes (Sourisseau, 1972).

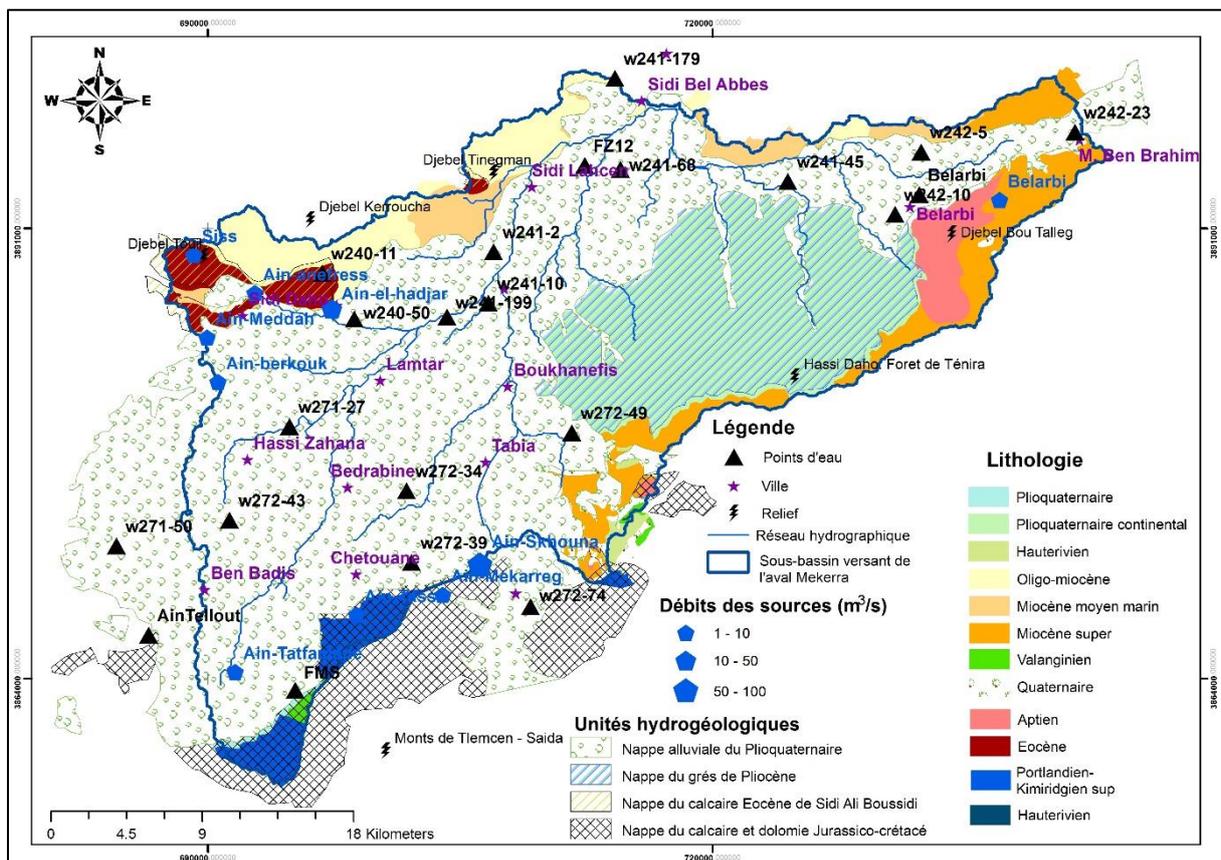


Figure II. 6. Les points d'eau de la plaine de Sidi Bel Abbès

6.3. Etude piézométrique de la plaine de Sidi Bel Abbès

La plaine de Sidi Bel Abbès possède une hydrogéologie locale simple au niveau de la nappe alluviale. La profondeur moyenne de la nappe alluviale, par rapport à la surface du sol, est de l'ordre de 15 à 40 m, avec toutefois des zones moins profondes le long des oueds.

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 7).

Les cartes épousent la même allure générale et révèle un sens d'écoulement des eaux souterraines, orienté sud-ouest/nord-est et une direction secondaire Est-Ouest dans la vallée de Belarbi-Mostapha Ben Brahim.

La disposition et la forme des courbes isopièzes qui sont presque parallèles aux calcaires et dolomies jurassic-crétacés et aux grès du Pliocène continental, indiquent que l'alimentation de la nappe alluviale provient de ces deux formations.

A l'exception des eaux de la nappe situées à l'Ouest hors du bassin versant, l'eau qui transite par la nappe alluviale réapparaît exclusivement au lieu-dit le Rocher situé au Nord de la ville de Sidi Bel Abbas principalement par l'Oued Mekerra (Fig. II 7). Les gradients hydrauliques varient entre 0.7% dans le SW de la plaine et 0.5% près de Sidi Bel Abbas et Sidi Khaled avec une zone intermédiaire à 1% entre Tabia et Sidi Khaled. Les zones à faibles gradients correspondent à une augmentation de la transmissivité (Otmane et al., 2019).

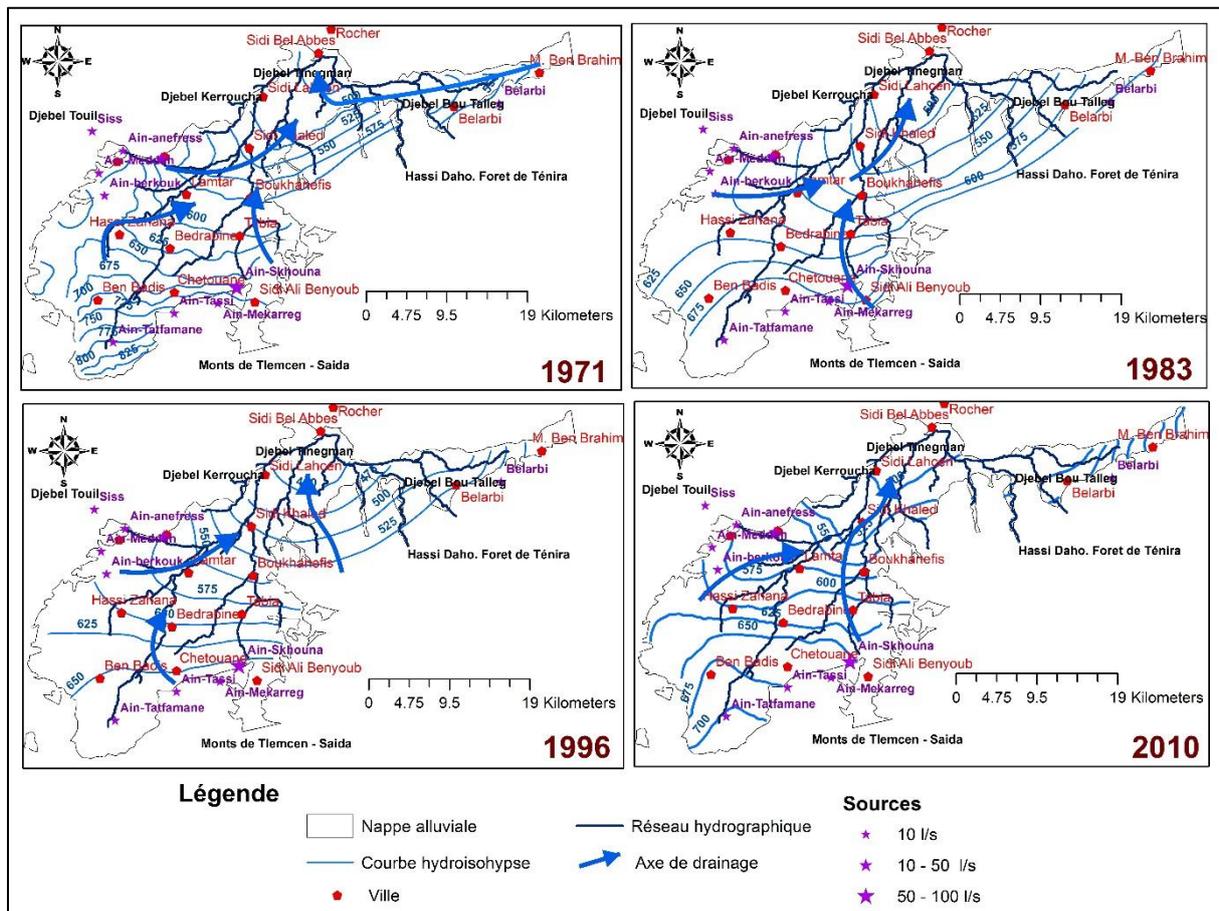


Figure II. 7. Cartes piézométriques de la nappe plio-quaternaire (ANRH)

6.4. Transmissivité

La carte des transmissivités, élaborée par Sourisseau en 1972 (Fig. II 8), met en évidence deux chenaux aquifères souterrains. Le plus important traverse toute la plaine le long de l'Oued Mekerra, presque interrompu près de Boukhanefis. Le second est allongé NE-SW suivant le cours des oueds Bedrabine et Tissaf et rejoint le premier près de Sidi Khaled. Dans ces chenaux, les valeurs de transmissivité s'échelonnent entre $5 \cdot 10^{-3}$ et 10^{-2} m²/s dans certaines zones (Sidi Bel Abbès, Sidi Lahcen, Bedrabine et Sidi Ali Ben Youb). En dehors de ces chenaux, il existe des zones isolées de bonne transmissivité, en particulier près de Caïd Belarbi. Dans le reste de la plaine, les valeurs de la transmissivité sont très faibles en raison de la composition argileuse du remplissage alluvionnaire.

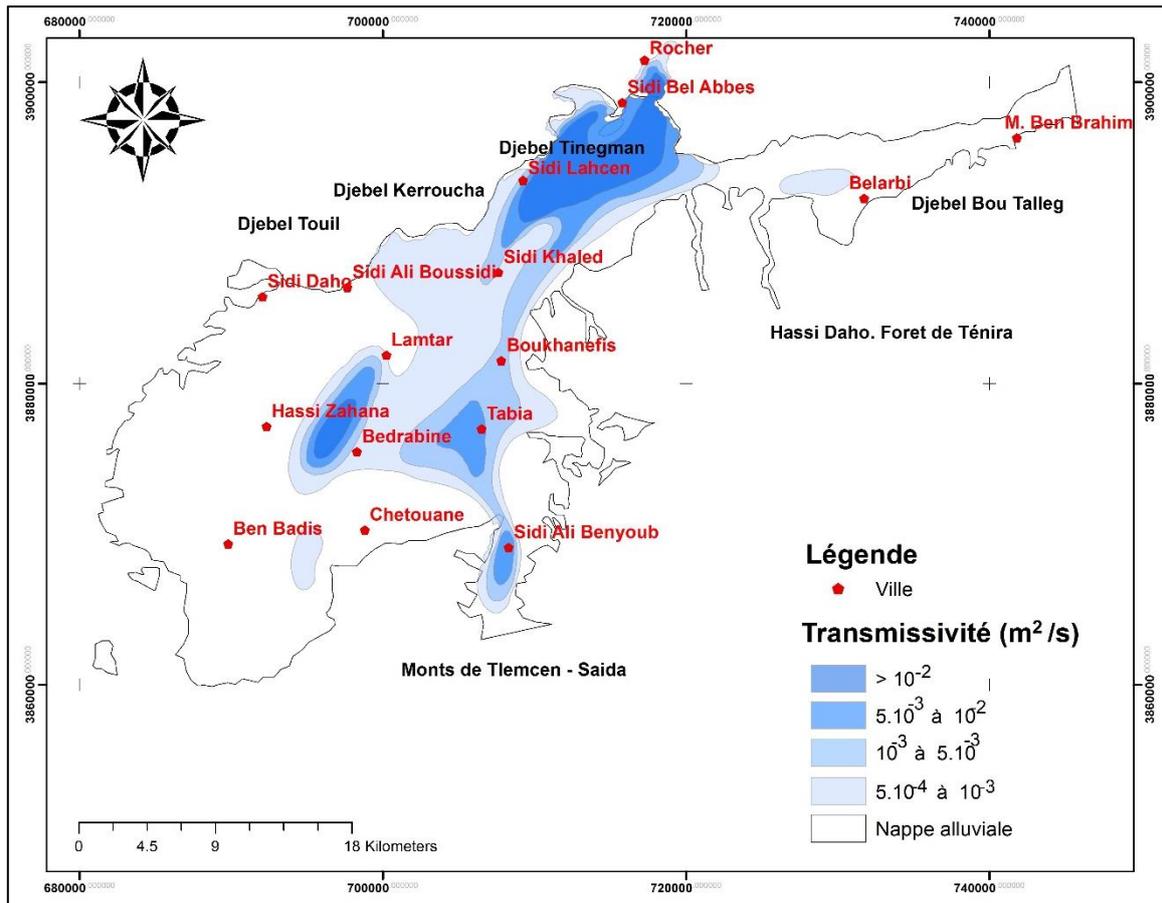


Figure II. 8. Evolution spatiale de la transmissivité (Sourisseau 1972)

6.5. Interaction nappe /Oued Mkerra

6.5.1. Analyse des hydrogrammes moyens journaliers

En basses eaux (Fig. II 9), allant de Juin jusqu'à la fin du mois d'Aout, la relation nappe-oued est bien claire et confirme la situation en période stable (pas de crues) lors des hautes eaux ou les débits tendent à se rapprocher à ceux en période d'étiages. Cet élément traduit l'existence de connexion permanente entre l'oued Mekerra et la nappe alluviale pendant toute l'année. Sachant que, la zone est intensément exploitée pour l'irrigation.

Les fortes perturbations sur les hydrogrammes des deux stations hydrométriques pour la période des basses eaux peuvent être dues à l'augmentation des prélèvements agricoles non pas aux variations des conditions des échanges nappe / Oued.

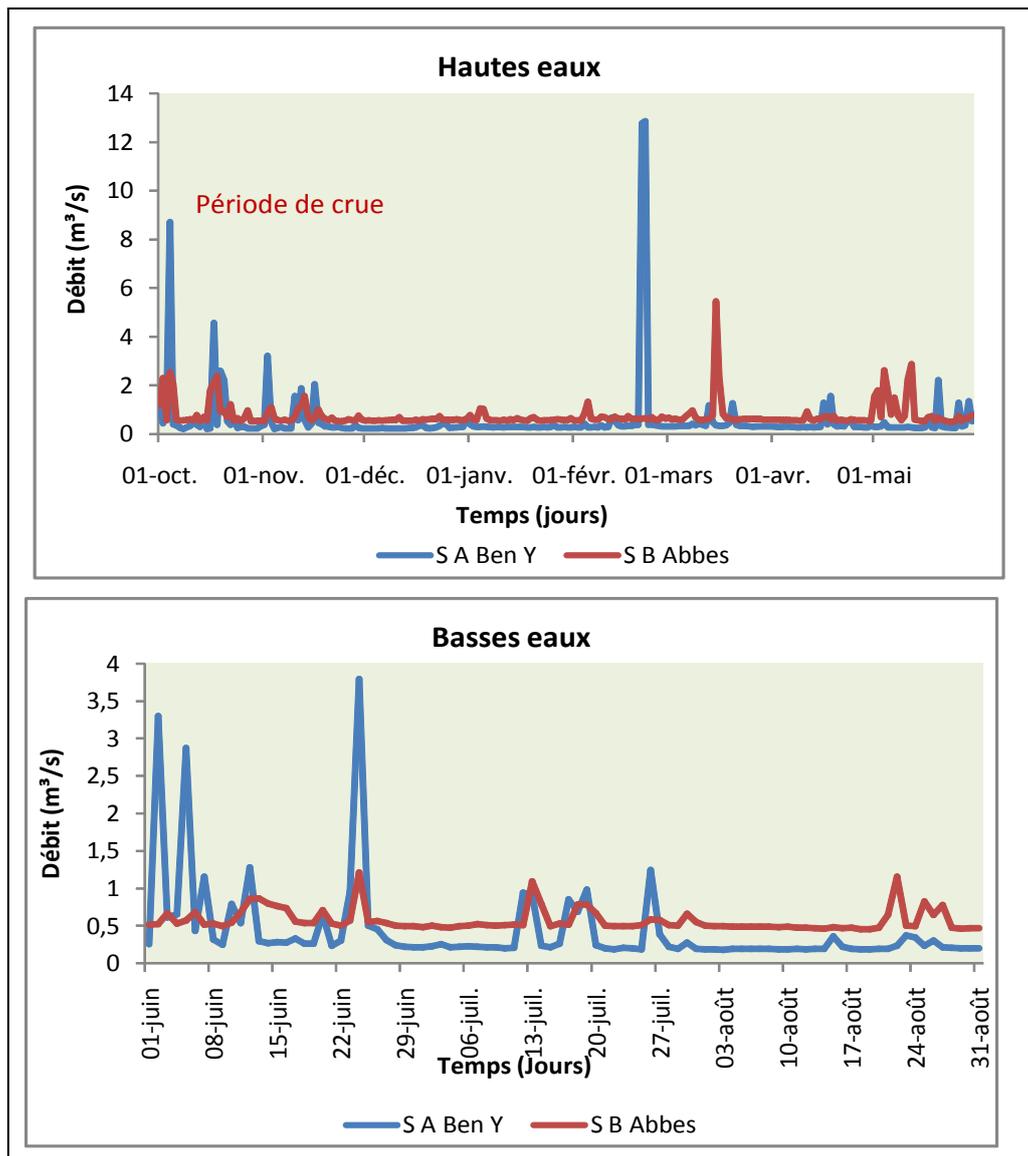


Figure II. 9. Analyse comparative des débits moyens journaliers des deux stations hydrométriques en période de hautes et basses eaux (1978-2008) (Otmane 2015)

6.5.2. Analyse des cartes piézométriques

Sur la carte piézométrique de 1971 (fig. II 7), l’allure générale des courbes hydro isohypses à proximité des oueds montre que la nappe alluviale alimente en partie les Oueds Mekerra et Tissaf sur toute l’étendue de la plaine, ce qui indique un contact permanent entre la nappe et les oueds. Cette situation a connu un léger recul en 1983 (fig. II 7) et qui continue à reculer sur la partie amont de la plaine jusqu’à 1996. Tandis que l’alimentation de l’oued par la nappe est toujours présente à l’aval de la plaine.

7. Conclusion

La présentation des caractéristiques lithologiques de la plaine de Sidi Bel Abbès permettra dans un premier temps de dégager certains aspects des conditions de l'écoulement des eaux souterraines.

En effet, cette étude fait ressortir du point de vue géologique trois domaines distincts :

- Domaine de nappes de charriage Oligo–miocène au Nord ;
- Domaine des formations plio-quaternaires constituant la plaine alluviale de Sidi Bel Abbès ;
- Domaine karstique du Jurassico–Crétacé fortement accidenté au Sud de la plaine alluviale.

La plaine de Sidi Bel Abbès est située dans une région semi-aride dans laquelle les ressources souterraines jouent un rôle capital. L'étude de ses ressources a commencé par une description détaillée de principales formations aquifères :

- Aquifères poreux :
 - Le remplissage du Plio - Quaternaire de la plaine de Sidi Bel-Abbès ;
 - Les grès pliocènes de la forêt de Tenira.
- Aquifères fissurés et karstiques :
 - Les formations calcaires et de dolomies Jurassico-crétacés des monts de Sidi Ali Ben Youb ;
 - Les calcaires éocènes de Sidi Ali Boussidi ;
 - Les calcaires de Zygone (Aptien) de la forêt de Belarbi.

Les cartes piézométriques révèlent un sens d'écoulement des eaux souterraines, orienté sud-ouest/nord-est et une direction secondaire Est-Ouest dans la vallée de Belarbi-Mostapha Ben Brahim.

L'alimentation de l'oued par la nappe est toujours présente et montre que la nappe alluviale alimente en partie les Oueds Mekerra et Tissaf sur toute l'étendue de la plaine, ce qui indique un contact permanent entre la nappe et les oueds.

Chapitre III

Caractérisation hydrochimique des eaux souterraines de la plaine de Sidi Bel Abbès

Introduction

L'eau comme tout élément naturel se caractérise par une série de propriétés physiques et chimiques. L'étude de ces derniers est d'une importance primordiale car elle nous permet d'avoir une idée sur la qualité de l'eau et aussi sur leur usage (consommation humaine ou agricole ou industrielle).

Dans les régions soumises au climat semi-aride, le facteur limitant l'exploitation de la ressource en eau souterraine demeure principalement la qualité chimique des eaux que la quantité disponible. C'est pour cette raison que dans toute étude hydrogéologique, la chimie des eaux souterraines a toujours eu un intérêt capital. Ceci en raison de la nécessité constante de mettre à la disposition des usagers une eau répondant aux normes requises de qualité.

L'étude hydro-chimique vise essentiellement à définir les caractéristiques physico-chimiques des eaux, identifier les différents faciès d'eau, mettre en évidence les interactions chimiques qui peuvent exister entre la nappe et son environnement, et l'évolution spatiale de chaque élément dans la nappe de la plaine de Sidi Bel Abbès. En effet, la composition chimique des eaux souterraines dépend en grande partie du type de roche encaissante, des évolutions hydrodynamiques des écoulements de la nappe, de la profondeur de la circulation et du climat régnant dans la région

1. Présentation des données

L'étude hydro chimique des eaux de la nappe plio-quaternaire de la plaine de Sidi Bel Abbès s'est basée sur des données de l'ANRH d'Oran, récoltées lors de la campagne d'échantillonnage qu'a été effectuée en Juin 2008 sur 22 points d'eau (Fig. III. 1).

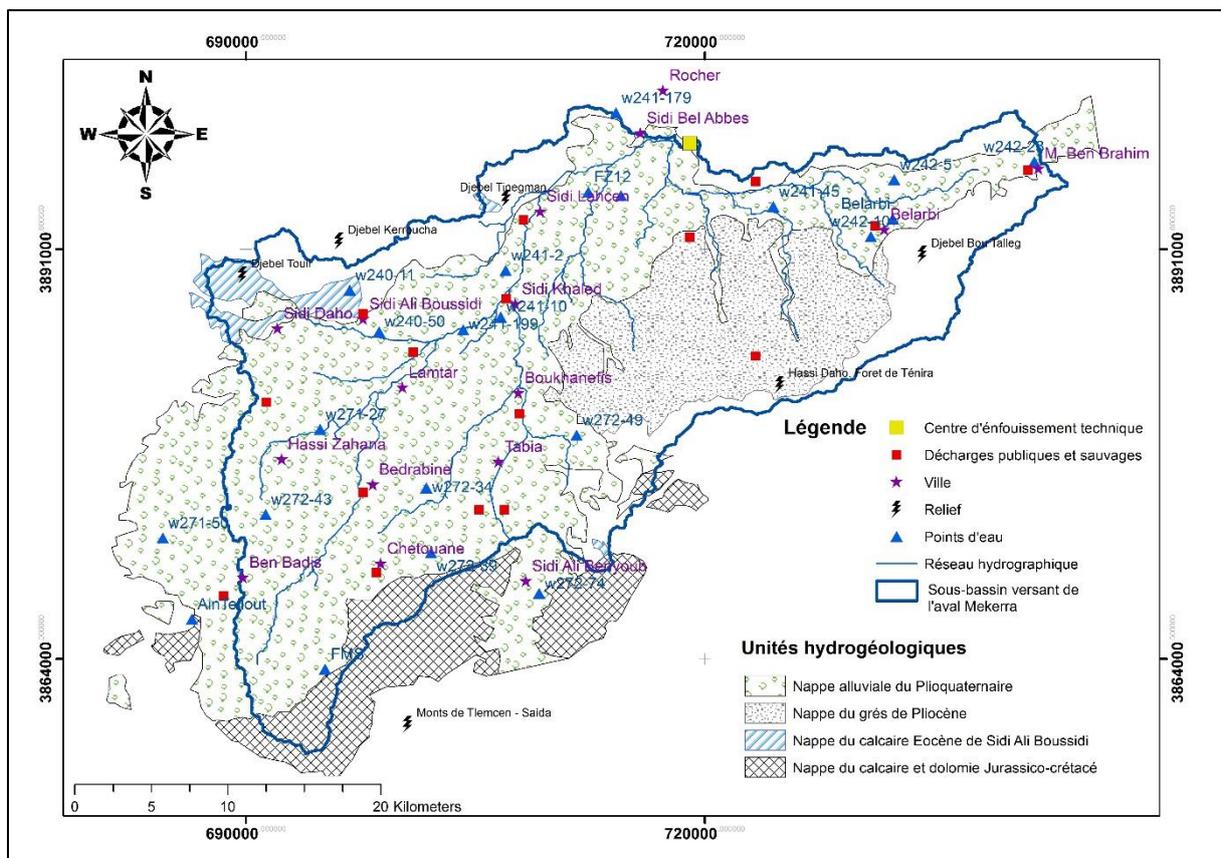


Figure III. 1. Localisation des points d'eau (Juin 2008)

L'interprétation des résultats d'analyses chimiques d'échantillons d'eau prélevés porte sur les éléments majeur suivants :

- Cations : Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ .
- Anions: HCO_3^- , Cl^- , SO_4^- , CO_3^{2-} et NO_3^-
- Résidu sec.
- La conductivité, pH et la température ont été mesurés sur le terrain.

Les résultats des analyses sont reportés sur le tableau de l'annexe 1.

La variation de ces paramètres entre les différents points de mesures facilite la mise en évidence de zones d'alimentation et d'échanges de l'aquifère, chercher l'origine de la minéralisation des eaux dans le but d'apporter un complément d'information quant à l'approche hydrodynamique du système aquifère ainsi que la pollution de l'eau.

La cartographie thématique a été faite par le SIG (ArcGIS 10.5), en mode vecteur après avoir positionné les points d'eau et de les traiter par élément chimique. Nous avons reclassé et traité les données afin de pouvoir les utiliser pour l'élaboration de cartes isovaleurs.

2. Etude des paramètres physiques :

2.1. Potentiel d'hydrogène

Le pH d'une eau est défini comme le cologarithme de l'activité des ions H^+ d'une solution. Il est exprimé en mol/l, permet de déterminer l'acidité ou l'alcalinité d'une eau. Il dépend de plusieurs facteurs tels que la température, la nature géologique des terrains traversés (les eaux évoluant en milieu carbonate ont un pH élève alors que celles provenant de terrains pauvres en calcaires ou siliceux ont un PH voisin de 7), la vitesse de circulation des eaux, les saisons et les périodes d'activité biologiques. Il permet aussi par comparaison avec le pH d'équilibre de déterminer le caractère agressif ou incrustant de l'eau.

Le pH des eaux souterraines de la zone d'étude sont peu variables, et d'une manière générale, proches de la neutralité (comprise entre 7.05 et 8.1), mais la plupart des échantillons présentent un pH entre 7.1 à 7.8 ce qui reflète la faible alcalinité des eaux de la plaine

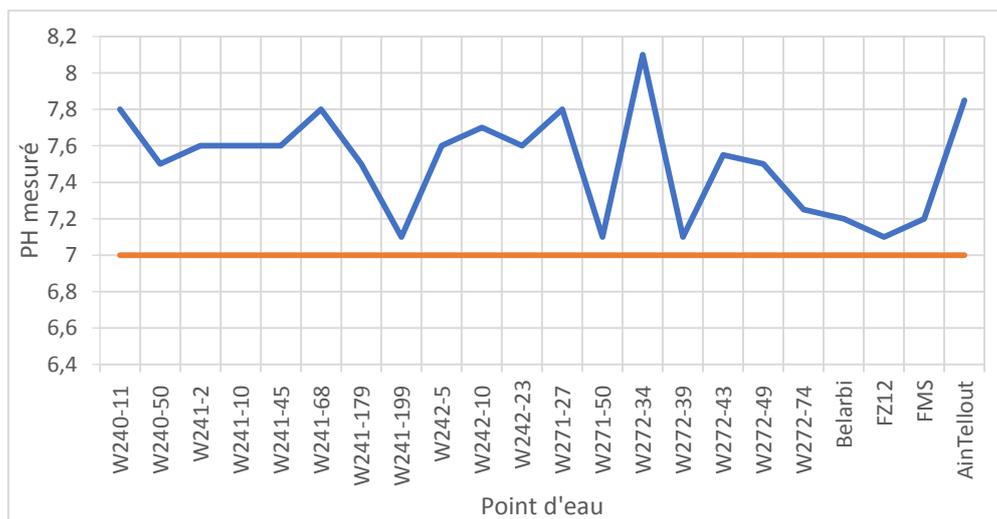


Figure III. 2. Variation du pH des échantillons (Juin 2008)

2.2. Température :

La température de l'eau est l'un des paramètres physiques mesurés insitu (à l'aide d'un thermomètre gradué au 1/10). Elle joue un rôle très important dans la solubilité des sels et des

gaz et a une incidence directe sur la quantité d'oxygène dissous (plus la température est élevée, plus la quantité d'oxygène dissous est faible).

Dans notre secteur, les valeurs de la température mesurée s'échelonnent entre 17 et 23.

2.3.L'alcalinité :

Elle est en relation avec le PH de l'eau, et liée à la présence de bases fortes (Carbonates et alcalis) et de bases faibles (bicarbonates).

Nous pouvons distinguer deux types d'alcalinité qui correspondent à deux bornes de PH :

- Le titre alcalimétrique (T.A) : représente la quantité de bases fortes.
- Le titre alcalimétrique complet (T.A.C) : correspond aux bases faibles et aux bases Fortes.

A partir des valeurs de PH mesurés, on peut déduire que :

- T.A: égale 0 de fait que le pH ne dépasse pas 8,3.
- T.A.C : égale $rHCO_3^-$ de fait que le pH est compris entre 7.05 et 8.1. TAC varie entre 42.2°F au niveau de forage w241-10 et 1,95°F au forage w271-27 (Annexe 01).

2.4.Résidu sec :

La détermination de résidu sec permis d'estimer la teneur en matière dessous et en suspension d'une eau, c'est-à-dire la totalité des sels dissous et des matières organiques contenues dans l'eau.

D'après les directives de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) (Genève, 2008), la palatabilité d'une eau avec un résidu sec inférieur à 600 mg/l est généralement considérée bonne. Par ailleurs, lorsque la valeur dépasse 1g/l, les caractéristiques organoleptiques de l'eau potable sont significativement affectées.

Tableau III. 1. Potabilité des eaux en fonction du résidu sec (OMS)

Résidu sec (mg/l)	Palatabilité (eau potable)
< 300	Excellent
300 – 600	Bonne
600 – 900	Appréciable
900 - 1200	Mauvaise
> 1200	Intolérable

Sur la base des données du tableau 1, deux échantillons uniquement (FMS et Ain Tellout) présentent un bon caractère gustatif (Annexe 2). Aussi, l'OMS préconise deux valeurs de résidu sec : désirée (< 0,5 g/l) et maximum à ne pas dépasser (< 1,5 g/l). Sur cette base, 6 puits uniquement captent des eaux à potabilité acceptable (du point de vue salinité seulement).

En revanche, pour des raisons de manque de ressources en eau purement potable en pays à climat semi-aride et aride (notre zone d'étude). Ces valeurs sont souvent dépassées. En effet, la majorité des eaux prélevées dans notre secteur présentent une teneur en résidu sec supérieur à la valeur admissible pour les eaux potables fixées par l'OMS (500mg/l).

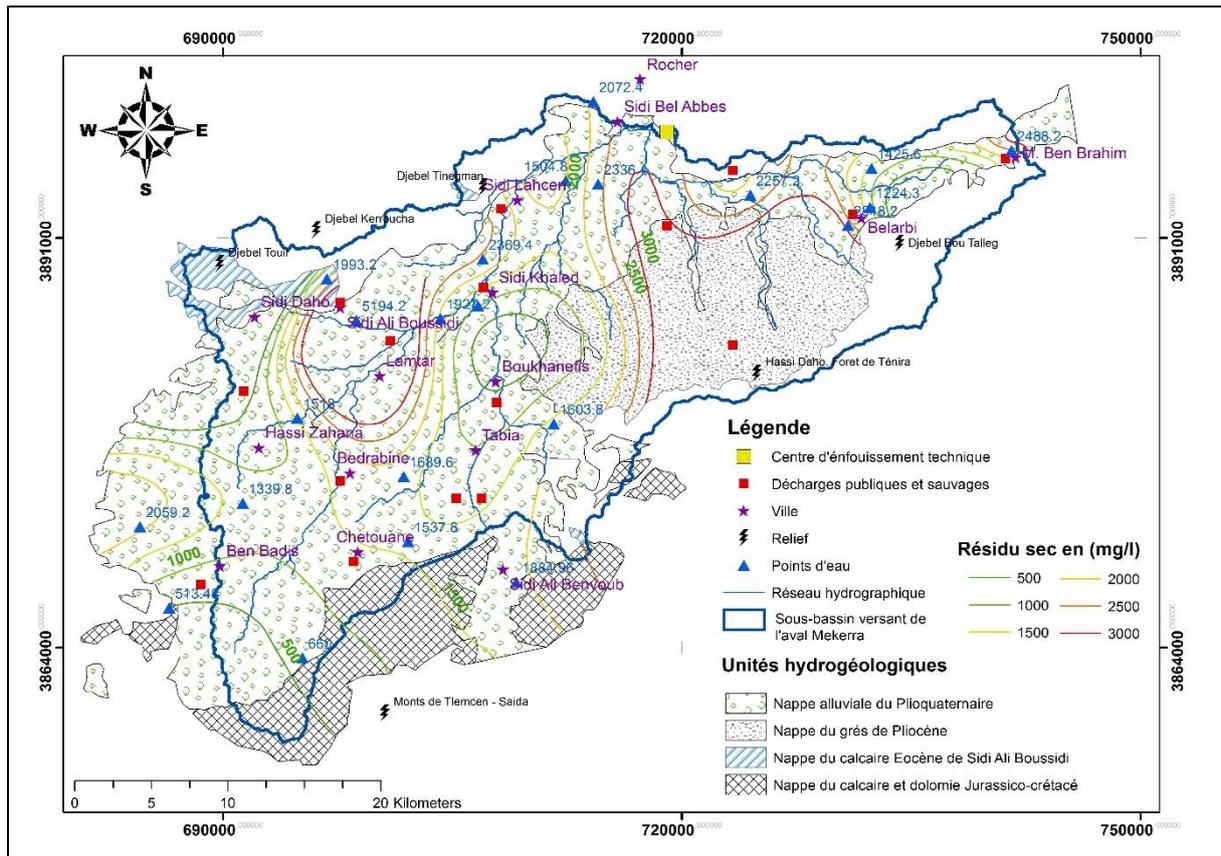


Figure III. 3. Carte des résidus sec (Juin 2008)

La figure III 3, représente la répartition spatiale du résidu sec (Juin 2008) des eaux de la nappe plio-quaternaire. L'augmentation de la salinité des eaux de la nappe plio-quaternaire ne se fait pas suivant une direction préférentielle définie. Néanmoins, il apparaît que les plus faibles concentrations sont enregistrées au Sud-est de Ben Badis et au centre de la nappe (Boukhanefis). Les moyennes et fortes concentrations sont plutôt observées au Nord de la zone d'étude, et dans le secteur Bedrabine-Lamtar-Sidi Ali Boussidi. Cette différence de minéralisation est liée à :

- Un changement de faciès géologique qui passe des alluvions à bonne perméabilité, vers une sédimentation plus fine, surtout entre Sidi Khaled et Sidi Lahcen, induisant une circulation plus lente et un temps de contact eau/roche plus important
- Un rapprochement du niveau piézométrique de la nappe de la surface (baisse significative du relief de Boukhanefis jusqu'à l'exutoire du Rocher), se traduisant par une intensification de l'évapotranspiration.
- Interaction nappe / oued, notamment dans le secteur Tabia - Boukhanefis

Outre les facteurs naturels cités ci-dessus, les engrais et pesticides utilisés en agriculture ainsi que les rejets domestiques et industriels contribuent eux aussi grandement à la salure des eaux de la nappe plio-quaternaire.

2.5. Conductivité et la minéralisation :

La conductivité d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1cm², séparés l'un de l'autre de 1cm. Cette conductivité permet d'avoir une estimation approchée de la minéralisation,

La conductivité électrique (CE) est un paramètre important en hydrogéologie ; sa variation est liée à :

- La température constante 25°C ;
- La modification de la minéralisation des eaux souterraines ;
- La zonalité géologique due à un échange eau-encaissant ;
- La zonalité climatique, exprimée par l'évaporation liée à la proximité de la surface topographique ;
- Le sens général d'écoulement des eaux de la nappe ;
- Les échanges entre les différents aquifères.

Les valeurs de la conductivité électrique s'échelonnent entre 778 et 7870 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Annexe 2). Le tracé de la carte d'iso-conductivités (Fig. III 4) montre généralement :

- Exceptant, la région Tabia-Boukhanefis qui est affectée par les apports des eaux de surface en basse eaux (Alimentation de l'oued Mekerra), les valeurs de la conductivité électrique est augmentée progressivement du sud au nord (de l'amont vers l'aval), de fait que les eaux se chargent en sels dissous au cours de leurs trajet dans les formations encaissantes, ceci dans le même sens que l'écoulement des eaux souterraines.
- Les fortes valeurs de la conductivité électrique observées au nord de la plaine, sont liées à la présence des niveaux salés et la présence d'argiles marneuses du substratum qui n'est pas profond à ce niveau et à la concentration des eaux avec l'évaporation, mais aussi la présence de marnes gypseuses de l'Oligo-miocène qui se trouve sur toute la bordure nord de la plaine. Ceci, est confirmé par les résultats d'analyses chimiques des points d'eau qui montre une forte teneur en chlorures et sodium.

Les eaux de la nappe alluviale présentent une conductivité élevée supérieur à 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, traduisant une minéralisation excessive. La carte d'iso-conductivité (fig. III 4) montre une variation très importante de la conductivité entre le Sud et le Nord et entre le centre et les bordures de la plaine. Les valeurs faibles à moyennes sont concentrées au Sud et au centre (500-1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$), suivant les chenaux à bonne transmissivité. Tandis que, les valeurs les plus élevées (supérieurs à 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) se trouvent au Nord, au contact des calcaires éocènes entre Sidi Ali Boussidi et Sidi Kaled, les calcaires de l'Aptien et les grès du Pliocène au bas de la vallée Caid Belarb. Cette augmentation progressive de la conductivité, d'amont en aval et du centre de la plaine vers les bordures, indique que les eaux de la nappe alluviale sont en contact permanent avec l'encaissant ce qui lui permet de s'enrichir en sels dissous et confirme l'apport provenant des calcaires et des grès des autres aquifères.

La distribution spatiale de la conductivité électrique montre que les zones de fortes valeurs d'iso-conductivité coïncident avec celles de fortes valeurs de résidu sec.

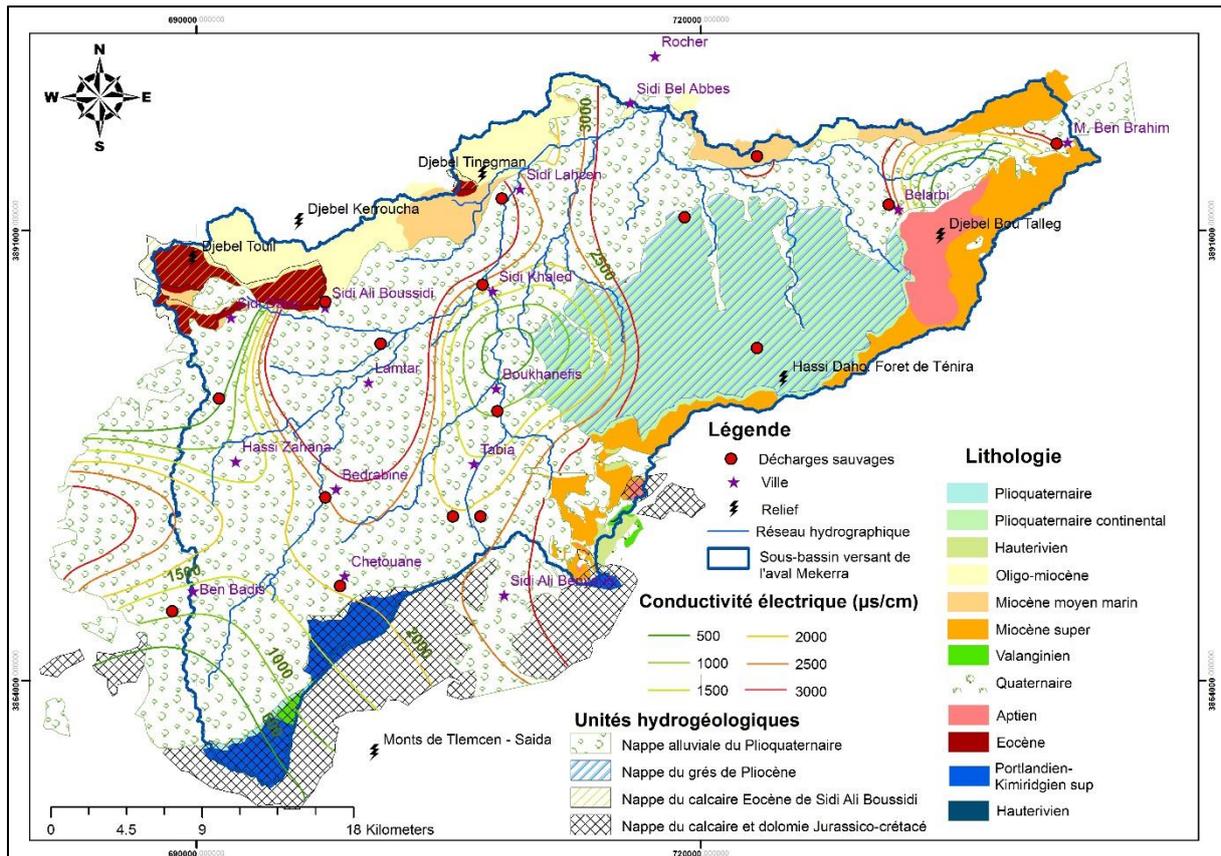


Figure III. 4. Evolution spatiale de la conductivité électrique de la nappe de Sidi Bel Abbas (Juin 2008)

La potabilité des eaux peut être également estimée en fonction de leur conductivité électrique (CE). D'après la classification de Rodier et al. (2005) (tableau III 2). 09 échantillons sont très minéralisés, tandis que les 13 restants n'appartiennent à aucune catégorie (CE > 2500 µS/cm et CE entre 500 et 1000µS/cm).

Tableau III. 2. Classification des eaux de la nappe Plio-quaternaire en fonction de CE (Radier 2005)

<i>CE µS/cm</i>	<i>Type d'eau</i>
<i>< 23</i>	<i>Eau pure</i>
<i>100 - 200</i>	<i>Eau douce peu minéralisée</i>
<i>250 - 500</i>	<i>Eau à minéralisation moyenne</i>
<i>1000 - 2500</i>	<i>Eau très minéralisée</i>

D'après Petelon et Zysman (1993) (tableau III 3), tous les échantillons de la nappe plio-quaternaire ont une minéralisation excessive, en exceptant l'échantillon de Ain Tellout qui a une minéralisation importante.

Tableau III. 3. Potabilité des eaux en fonction de la CE (Petelon et Zysman)

<i>CE $\mu\text{S/cm}$</i>	<i>Minéralisation</i>	<i>Qualité de l'eau</i>
<i>< 100</i>	<i>Très faible</i>	<i>Excellente</i>
<i>100 - 200</i>	<i>Faible</i>	<i>Excellente</i>
<i>200 - 400</i>	<i>Peu remarquée</i>	<i>Excellente</i>
<i>400 - 600</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Bonne</i>
<i>600 - 1000</i>	<i>Importante</i>	<i>Utilisable</i>
<i>> 1000</i>	<i>Excessive</i>	<i>Utilisable</i>

Les eaux de bonne qualité sont rencontrées dans : les conglomérats de Boukhanefis (vallée d'oued Mekerra), Sud-est de Ben Badis, calcaire de Sidi Dahou – Sidi Ali Boussidi.

3. Etude des paramètres chimiques

3.1. La balance ionique

La qualité des analyses testée par la balance ionique, permet de déterminer le pourcentage d'erreur à l'aide de la formule de Schoeller comme suite :

$$E(\%) = \left[\frac{\sum \text{cations} - \sum \text{anions}}{\sum \text{cations} + \sum \text{anions}} \right] * 100$$

Avec :

- E (%) : C'est le pourcentage d'erreurs.
- $\sum \text{anions}$: est la somme des anions en milliéquivalents par litre (Meq/l) ;
- $\sum \text{cations}$: est la somme des cations en milliéquivalents par litre (Meq/l) ;

A partir des valeurs de (E%) on distingue :

- E < 2% bonne analyse
- 2% < E < 5% erreur appréciable
- E > 5% erreur dans l'analyse

Les résultats ont été portés sur l'annexe 2. L'analyse des échantillons de la zone d'étude est acceptable pour l'ensemble des échantillons puisque l'erreur sur le bilan est en général inférieure à 5%.

3.2. Etude de quelques cations et anions majeurs :

L'origine des différents éléments chimiques présents dans les eaux souterraines de la nappe de Sidi Bel Abbès dépendra de la nature lithologique des terrains traversés, de l'hydrodynamisme, des conditions météorologiques et de l'activité anthropique.

3.2.1. Le Calcium :

Pour les eaux souterraines en contact avec les roches sédimentaires, le teneur en calcium provient généralement de la mise en solution de la calcite, l'aragonite, la dolomite, l'anhydrite et gypse.

En présence de roches calcaires, ce sont les minéraux carbonatés qui commandent la libération de Ca^{++} en solution. Une eau potable de bonne qualité renferme de 100 à 400mg/l de

calcium. Les eaux qui dépassent une teneur de 400 mg/l présentent de sérieux inconvénients pour les usages domestiques.

La carte d'iso-teneur en Ca^{++} (figure n° 04) montre que les concentrations en Ca augmentent d'amont en aval, elles sont comprises entre 62 mg/l à Ain Tellout et 1267 mg/l au niveau du point F240-50. Les fortes teneurs se rencontrent surtout en bordure des zones karstiques, liées à la dissolution des carbonates notamment ceux des formations Eocène situées au nord-ouest de Sidi Ali Boussidi. En revanche, les faibles teneurs en Ca se situent près des oueds (inférieure à 300 mg/l) ce qui justifie la contribution des oueds pour l'alimentation de la nappe. En effet, les points d'eau implantés le long d'oued Tissaf (w272-43, w271-27 et w241-199) sont caractérisés par des teneurs en Ca comprises entre 200 et 300 mg/l.



Incluant:



Et

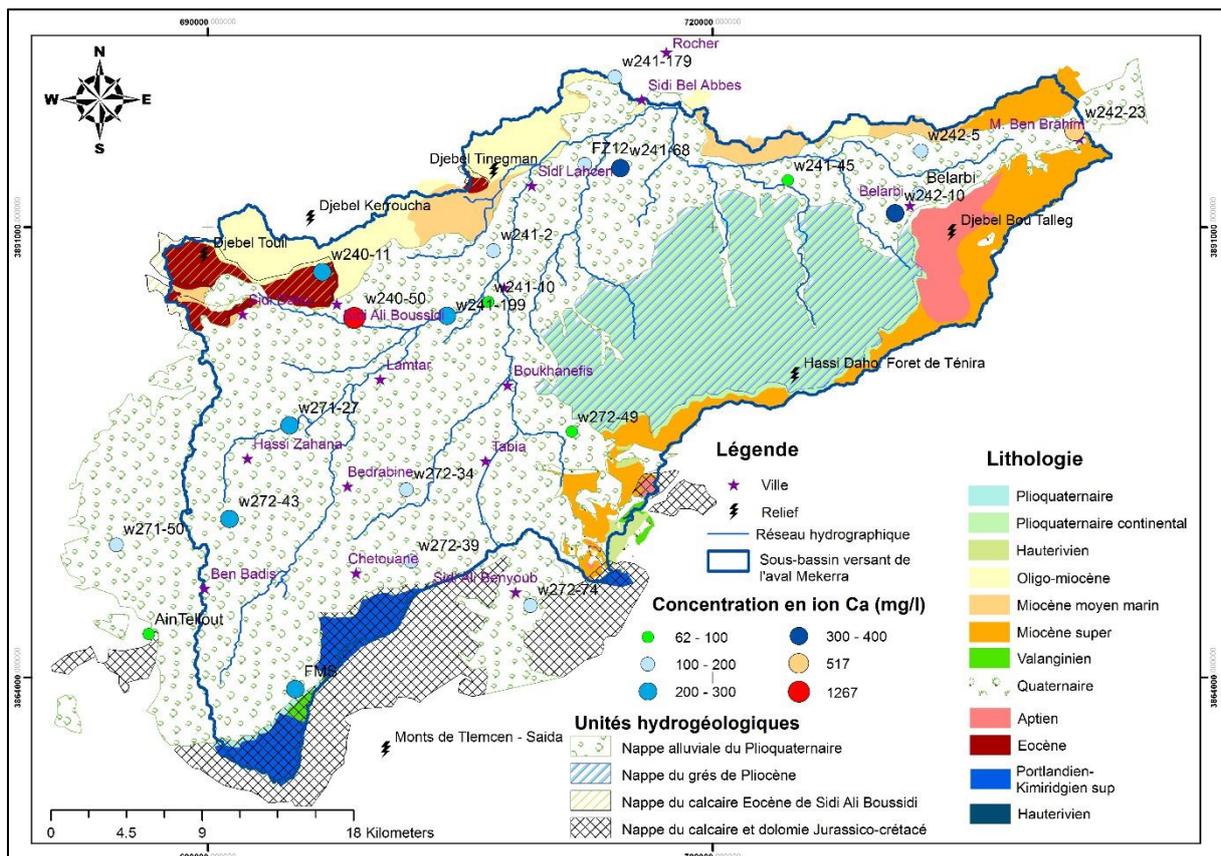


Figure III. 5. Carte d'iso-teneurs en calcium des eaux de la plaine de Sidi Bel Abbès (Juin 2008)

Les ions du calcium sont prédominants au niveau de la plaine à l'inverse du sodium qui forme avec le chlore près des formations poste nappes du Miocène et les calcaires Jurassico-crétacés le faciès chloruré sodique.

3.2.2. Le Magnésium :

Il provient de la décomposition des terrains marneux et gypseux de l'Oligo-Miocène (lessivage de l'encaissant évaporitique de l'Oligo-Miocène, semelle triasique sous les nappes de charriages), ou à la présence du niveau argileux dans les différentes formations, ou encore aux activités anthropiques.

Les teneurs en magnésium sont moins élevées comparativement au calcium, elles se concentrent près des terrains marneux et argileux de l'Oligo-Miocène (fig. III 6).

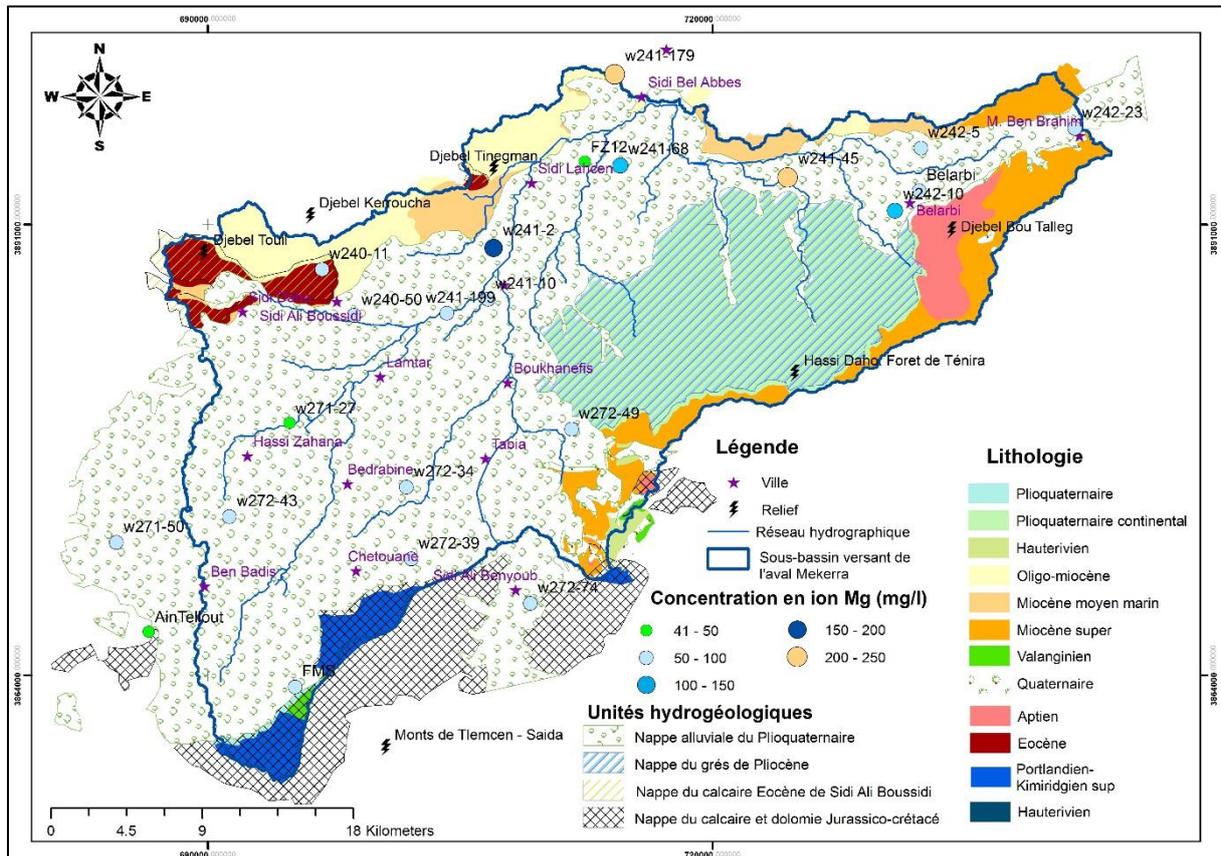


Figure III. 6. Carte d'iso-teneurs en Magnésium (Juin 2008)

3.2.3. Le Sodium et le Potassium (Alcalins) :

Le sodium provient généralement de la même origine que celle des chlorures. Il est lié généralement aux minéraux argileux et peut être ramené par les eaux des précipitations. Il peut être échangé contre les ions Ca^{++} et Mg^{++} par les minéraux argileux ou les substances organiques et provenir de l'hydrolyse des silicates.

La carte d'iso-teneur (Fig. III 7) montre que les concentrations en $Na^+ + K^+$ sont comprises entre 37mg/l (Ain Tellout) et 630mg/l (w240-50) et évoluent de la même façon que les chlorures (Fig. III 8).

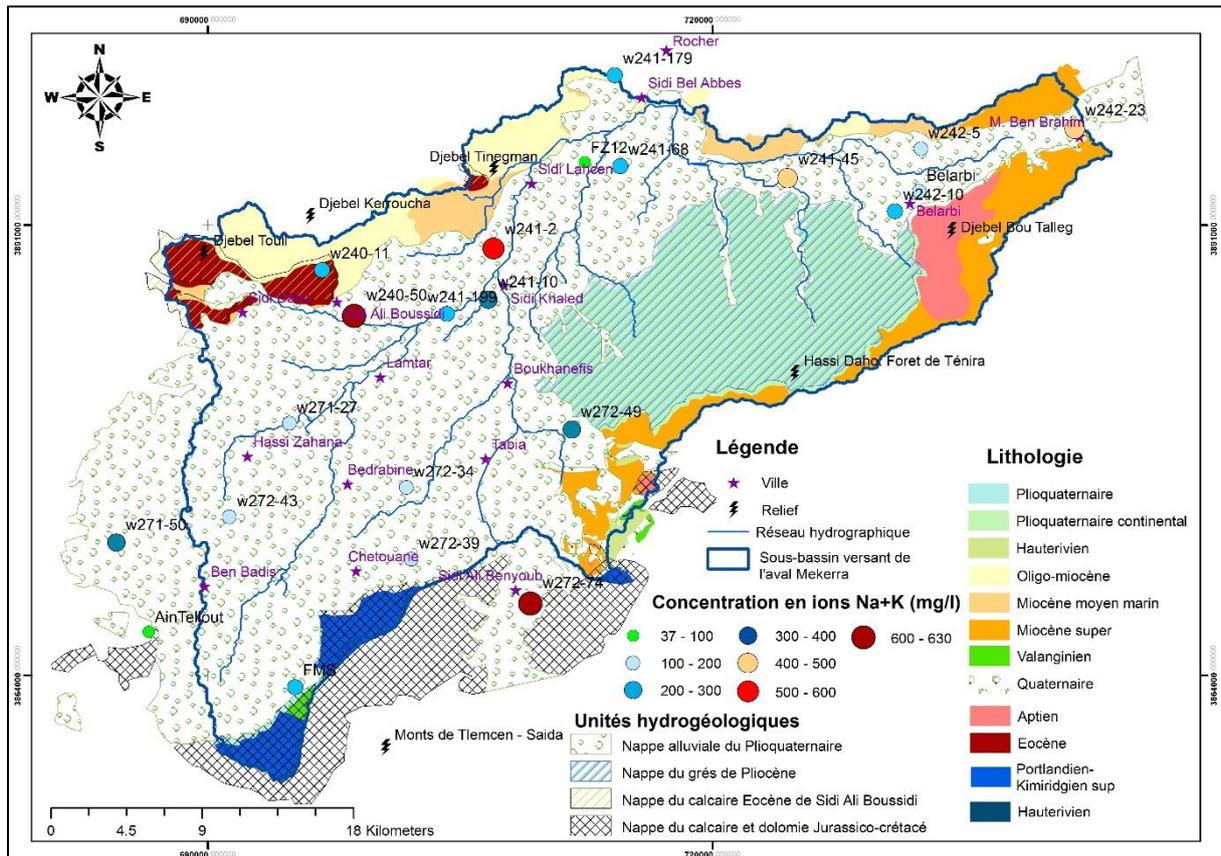


Figure III. 7. Carte d'iso-teneurs en Sodium + Potassium (Juin 2008)

3.2.4. Le Chlorure :

Naturellement, les chlorures peuvent avoir deux origines : les apports atmosphériques et la dissolution des évaporites salées. Les eaux de pluie peuvent apporter des chlorures d'origine maritime qui s'accumulent en surface puis être entraînés dans les aquifères. Également, la dissolution de certaines catégories d'évaporites est facile et peut fournir de grandes concentrations dans les eaux.

Les cartes des chlorures et Sodium (Fig. III 7 et III 8) montrent une distribution spatiale similaire à celle de la conductivité électrique (Fig. III 4).

Les concentrations élevées des chlorures au niveau de la bordure nord de la plaine responsables du taux élevés de la salinité des eaux souterraines, auraient une origine évaporitique liée aux nappes de charriages d'Oligo-Miocène et/ou anthropique surtout au niveau des grands agglomérations (Décharges sauvages).

Les teneurs élevées en chlorures (varient entre 2876 mg/l et 80 mg/l) sont enregistrées en amont de la plaine, où la profondeur de la nappe est faible (Fig. 15b). Ainsi, cette concentration peuvent avoir plusieurs origines :

- Dissolution des sels par lessivage des terrains salifères ;
- Concentration des sels en surface par évaporation intense ;
- Décharges sauvages et rejets des eaux domestiques et industrielles dans les oueds ;
- Utilisation des engrais et des pesticides agricoles.

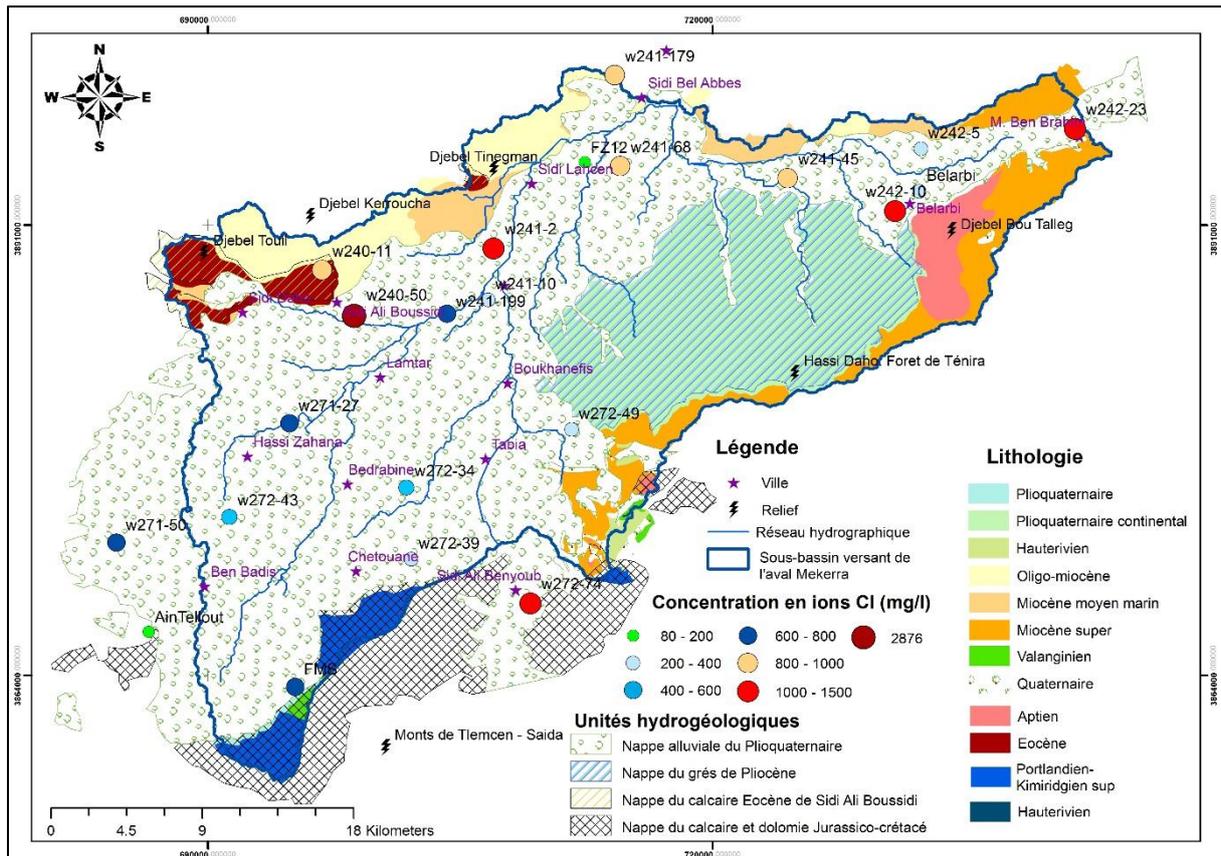


Figure III. 8. Carte d'iso-teneurs en chlorures (Juin 2008)

3.2.5. Les Sulfates :

Les sulfates peuvent avoir une origine météorique ; comme ils peuvent également provenir de l'activité agricole ou biologique naturelle, ou bien de l'utilisation domestique (détergents), ou de la présence d'évaporites (gypse).

Dans notre secteur d'étude, les teneurs en sulfates varient entre 24mg/l au sud-ouest (Ain Tellout) et 462 mg/l au sud-est (w272-49).

L'évolution des sulfates peut s'expliquer par le lessivage des formations argilo-gypseuses de l'Oligo-Miocène au nord, d'où l'augmentation de leurs teneurs du sud vers le nord de la plaine et/ou une pollution artificielle par les engrais utilisés en agriculture, notamment dans la région de Sidi Lahcen et celle de Belarbi (Fig. III 9).

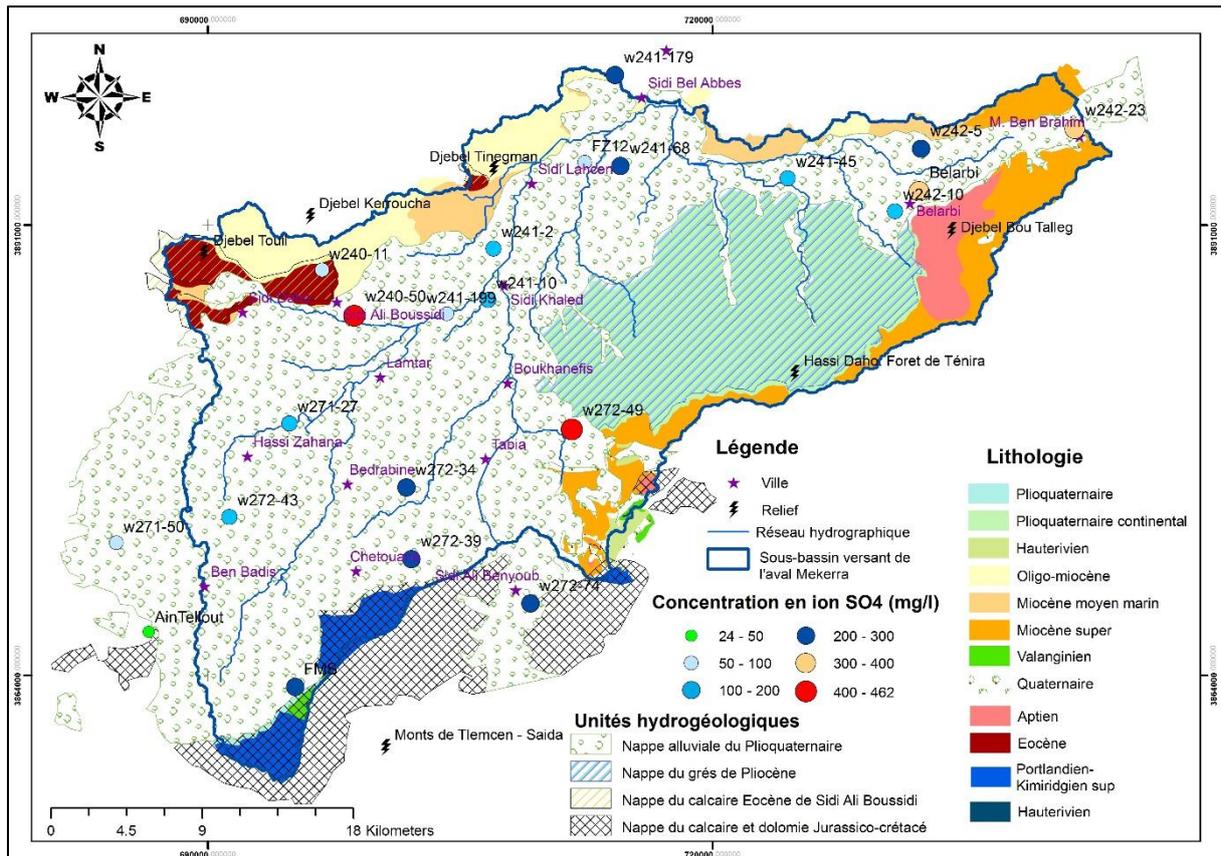


Figure III. 9. Carte d'iso-teneurs en sulfates (Juin 2008)

3.2.6. Les Bicarbonates :

Les ions HCO₃ prennent naissance à partir de la dissolution des carbonates par le CO₂ des eaux de pluie et de percolation, selon l'équation chimique :



Les teneurs en HCO₃⁻ oscillent entre 24 mg/l (w271-27) en amont d'oued Tissaf et 515 mg/l (w241-10) en aval, suivant l'axe principal d'écoulement. En effet, les valeurs les plus élevées se concentrent au Sud et à proximité des oueds Mekerra et Tissaf, leur origine est probablement liée aux apports des sources des calcaires du Jurassico-Crétacé au Sud et à une réduction des sulfates à l'Est de la plaine. En allant vers le centre de la plaine, ces valeurs sont moins prononcées (Fig. III 10).

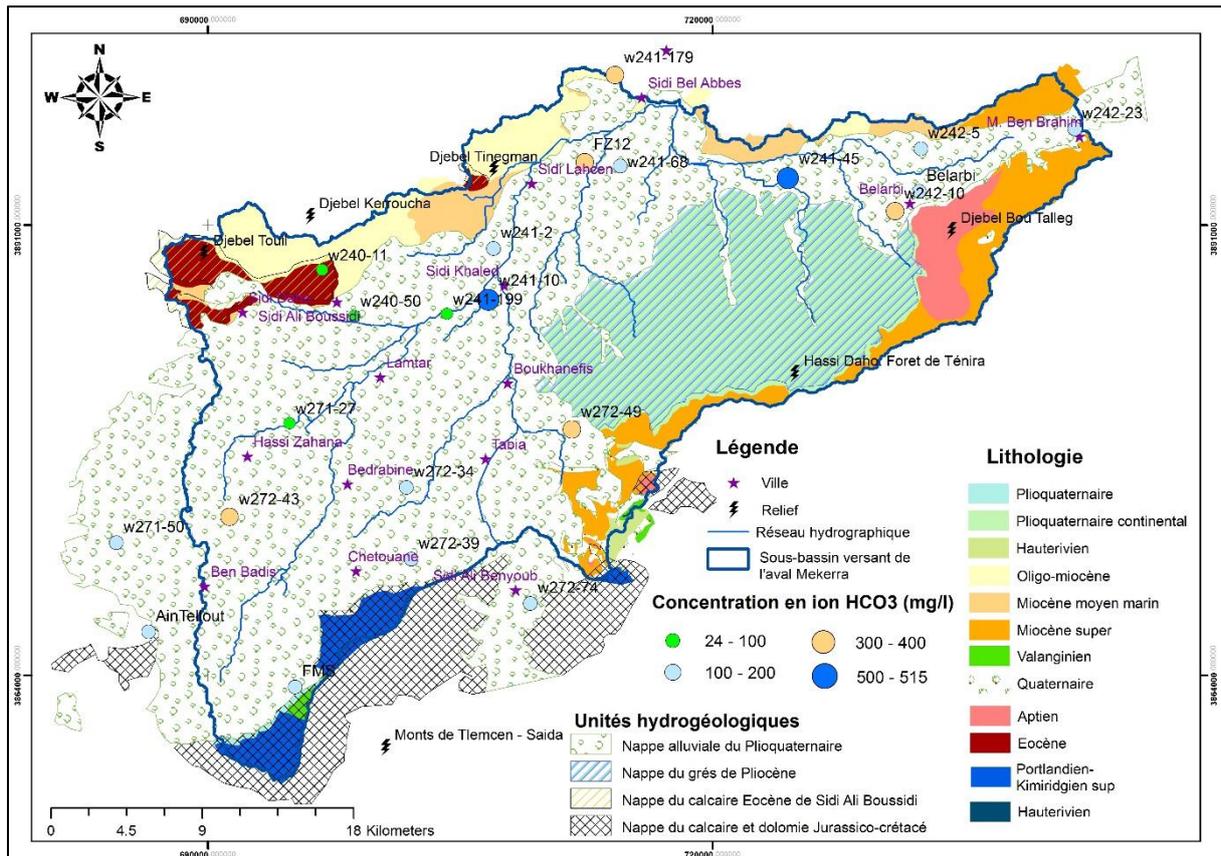


Figure III. 10. Carte d'iso-teneurs en bicarbonates (Juin 2008)

3.2.7. Les nitrates :

A partir d'analyses recueillies auprès du laboratoire de l'ANRH d'Oran, un bilan relativement exhaustif a pu être établi quant à la qualité de l'eau au niveau de nombreux ouvrages de la plaine, de 1970 à 2007 (Fig. III 11),

Les teneurs en NO_3^- sont inférieures à 50 mg /l dans la plupart de nos points d'eau (concentrations en nitrates conformes à la réglementation de l'OMS), Par ailleurs, les concentrations importantes sont localisées pratiquement dans la zone avale de la plaine que le taux de nitrates dépasse les normes de qualité (inférieur à 50), ce qui signifie une pollution d'origine humaine due principalement à l'utilisation excessive d'engrais chimiques notamment pour l'activité agricole.

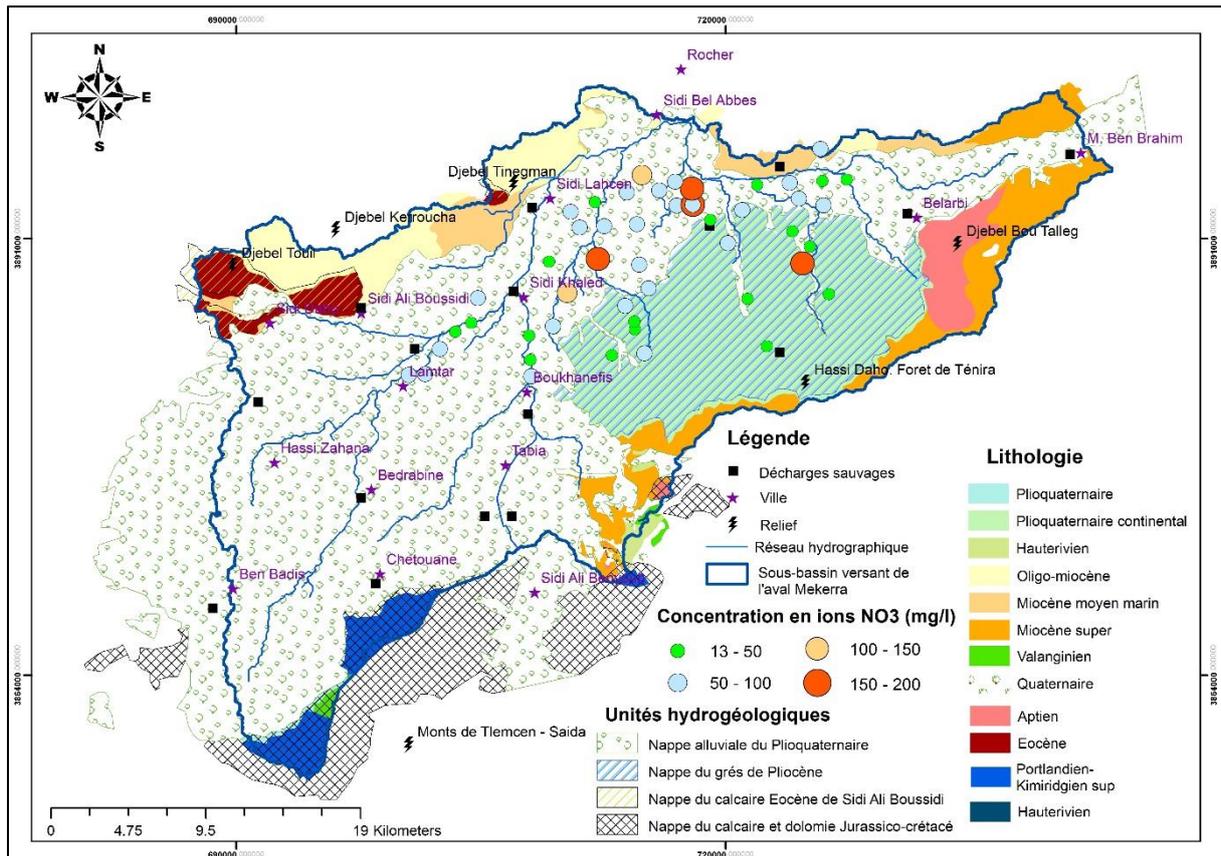


Figure III. 11. Carte d'iso-teneurs en nitrates (1970-2007, données ANRH 2010)

4. Classification des eaux :

4.1. Classification des eaux en fonction de la dureté (TH) :

La dureté d'une eau est un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés et correspond à la teneur en Ca^{+2} et Mg^{+2} et autres cations bivalents ou trivalents.

La dureté est un critère important lorsqu'il y a lieu d'étudier la convenance d'une eau à des besoins domestiques ou industriels. La dureté totale a été déterminée par l'équation suivante (Todd et al., 1980 ; Hem, 1985 ; Raghunath, 1987) :

$$TH = 2.497Ca + 4.115Mg$$

Où les concentrations de Ca et Mg sont exprimées en meq/l.

On peut considérer qu'une eau ayant une dureté inférieure à 15°F (1meq/l=5°F) comme une eau douce et qu'au-dessus de 30°F il s'agit d'une eau dure ou plus chargée en calcaires. Une eau trop dure constitue un risque important d'entartrage des canalisations.

Tableau III. 4. Classification des eaux de la nappe Plio-quaternaire selon le TH

TH	Type d'eau	Nombre d'échantillons
<75	Douce	15
75- 150	Modérément dure	06
150 – 300	Dure	01
>300	Très dure	00

Les valeurs de la dureté de l'eau de la nappe plio-quaternaire (Annexe 02) sont comprises entre 22.97 et 182.55mg/l. Basant sur la classification du tableau III 4. D'après Sawyer et McCarty (1967) et Vasanthavigare (2010), la majorité des points d'eau (15 échantillons) captent des eaux douces avec un TH inférieur à 75 mg/l, tandis que 6 sont moyennement dures ($75 < TH \text{ en mg/l} < 150$) et un seul échantillon est dure ($TH = 182.55\text{mg/l}$).

En fonction des valeurs du TH (°F), on peut dire que l'aquifère Plio-quaternaire porte des eaux :

- Très peu calcaires ($TH < 10$, « 04 échantillons ») ;
- Peu calcaires ($10 < TH \text{ °F} < 20$, « 12 échantillons ») ;
- Calcaires ($20 < TH \text{ °F} < 30$, « 05 échantillons »).

4.2. Classification géochimique :

Les faciès chimiques sont déterminés par trois classifications : STABLER (1978), diagramme losangique de PIPER, et diagramme semi-logarithmique de SCHOELLER –BERKALOFF.

Une carte des faciès chimiques a été établie pour donner une évolution globale du chimisme des eaux de la nappe alluviale de Sidi Bel Abbès.

4.2.1. Etablissement des formules caractéristiques selon STABLER :

Les valeurs des quantités en réaction illustrée dans le tableau 1 en annexe, nous ont permis de déterminer la formule caractéristique de chaque échantillon ainsi que leur faciès hydrochimique (tableau III 5 et fig. III 12).

Les faciès chimiques des eaux obtenues se rapportent aux familles suivantes :

- Chlorurée sodique (F01, F03, F05, F07, F08, F13 et F18) ;
- Chlorurée calcique (F02, F06, F10, F11, F12, F14, F16 et F21) ;
- Sulfatée sodique (F17) ;
- Bicarbonatée calcique (F09, F15, F19, F20 et F22) ;
- Bicarbonatée sodique (F04).

Tableau III. 5. Les formules caractéristiques selon STABLER des eaux de la nappe (Juin 2008)

	Forage	Anions	Cations	Facies
F01	W240-11	$rNa^+ > rCa^{++} > rMg^{++} > rK^+$	$rCl^- > rHCO_3^- > rSO_4^{--} > rNO_3^-$	Chlorurée sodique
F02	W240-50	$rCa^{++} > rNa^+ > rMg^{++} > rK^+$	$rCl^- > rSO_4^{--} > rHCO_3^- > rNO_3^-$	Chlorurée calcique
F03	W241-2	$rNa^+ > rMg^{++} > rCa^{++} > rK^+$	$rCl^- > rHCO_3^- > rSO_4^{--} > rNO_3^-$	Chlorurée sodique
F04	W241-10	$rNa^+ > rCa^{++} > rK^+ > rMg^{++}$	$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{--} > rNO_3^-$	Bicarbonatée sodique
F05	W241-45	$rNa^+ > rMg^{++} > rCa^{++} > rK$	$rCl^- > rHCO_3^- > rSO_4^{--} > rNO_3^-$	Chlorurée sodique
F06	W241-68	$rCa^{++} > rNa^+ > rMg^{++} > rK^+$	$rCl^- > rHCO_3^- > rSO_4^{--} > rNO_3^-$	Chlorurée calcique
F07	W241-179	$rNa^+ > rMg^{++} > rCa^{++} > rK^+$	$rCl^- > rHCO_3^- > rSO_4^{--} > rNO_3^-$	Chlorurée sodique
F08	W241-199	$rNa^+ > rCa^{++} > rMg^{++} > rK^+$	$rCl^- > rHCO_3^- > rSO_4^{--} > rNO_3^-$	Chlorurée sodique
F09	W242-5	$rCa^{++} > rNa^+ > rMg^{++} > rK^+$	$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{--} > rNO_3^-$	Bicarbonatée calcique

F10	W242-10	$rCa^{++}>rNa^{+}>rMg^{++}>rK^{+}$	$rCl^{-}>rHCO_3^{-}>rSO_4^{-}>rNO_3^{-}$	Chlorurée calcique
F11	W242-23	$rCa^{++}>rNa^{+}>rMg^{++}>rK^{+}$	$rCl^{-}>rSO_4^{-}>rHCO_3^{-}>rNO_3^{-}$	Chlorurée calcique
F12	W271-27	$rCa^{++}>rNa^{+}>rMg^{++}>rK^{+}$	$rCl^{-}>rSO_4^{-}>rHCO_3^{-}>rNO_3^{-}$	Chlorurée calcique
F13	W271-50	$rNa^{+}>rCa^{++}>rMg^{++}>rK^{+}$	$rCl^{-}>rHCO_3^{-}>rSO_4^{-}>rNO_3^{-}$	Chlorurée sodique
F14	W272-34	$rCa^{++}>rNa^{+}>rMg^{++}>rK^{+}$	$rCl^{-}>rHCO_3^{-}>rSO_4^{-}>rNO_3^{-}$	Chlorurée calcique
F15	W272-39	$rCa^{++}>rNa^{+}>rMg^{++}>rK^{+}$	$rHCO_3^{-}>rCl^{-}>rSO_4^{-}>rNO_3^{-}$	Bicarbonatée calcique
F16	W272-43	$rCa^{++}>rNa^{+}>rMg^{++}>rK^{+}$	$rCl^{-}>rHCO_3^{-}>rSO_4^{-}>rNO_3^{-}$	Chlorurée calcique
F17	W272-49	$rNa^{+}>rCa^{++}>rMg^{++}>rK^{+}$	$rSO_4^{-}>rCl^{-}>rHCO_3^{-}>rNO_3^{-}$	Sulfatée sodique
F18	W272-74	$rNa^{+}>rCa^{++}>rMg^{++}>rK^{+}$	$rCl^{-}>rHCO_3^{-}>rSO_4^{-}>rNO_3^{-}$	Chlorurée sodique
F19	Belarbi	$rCa^{++}>rNa^{+}>rMg^{++}>rK^{+}$	$rHCO_3^{-}>rCl^{-}>rSO_4^{-}>rNO_3^{-}$	Bicarbonatée calcique
F20	FZ12	$rCa^{++}>rNa^{+}>rMg^{++}>rK^{+}$	$rHCO_3^{-}>rCl^{-}>rSO_4^{-}>rNO_3^{-}$	Bicarbonatée calcique
F21	FMS	$rCa^{++}>rNa^{+}>rMg^{++}>rK^{+}$	$rCl^{-}>rHCO_3^{-}>rSO_4^{-}>rNO_3^{-}$	Chlorurée calcique
F22	AinTellout	$rCa^{++}>rMg^{++}>rNa^{+}>rK^{+}$	$rHCO_3^{-}>rCl^{-}>rSO_4^{-}>rNO_3^{-}$	Bicarbonatée calcique

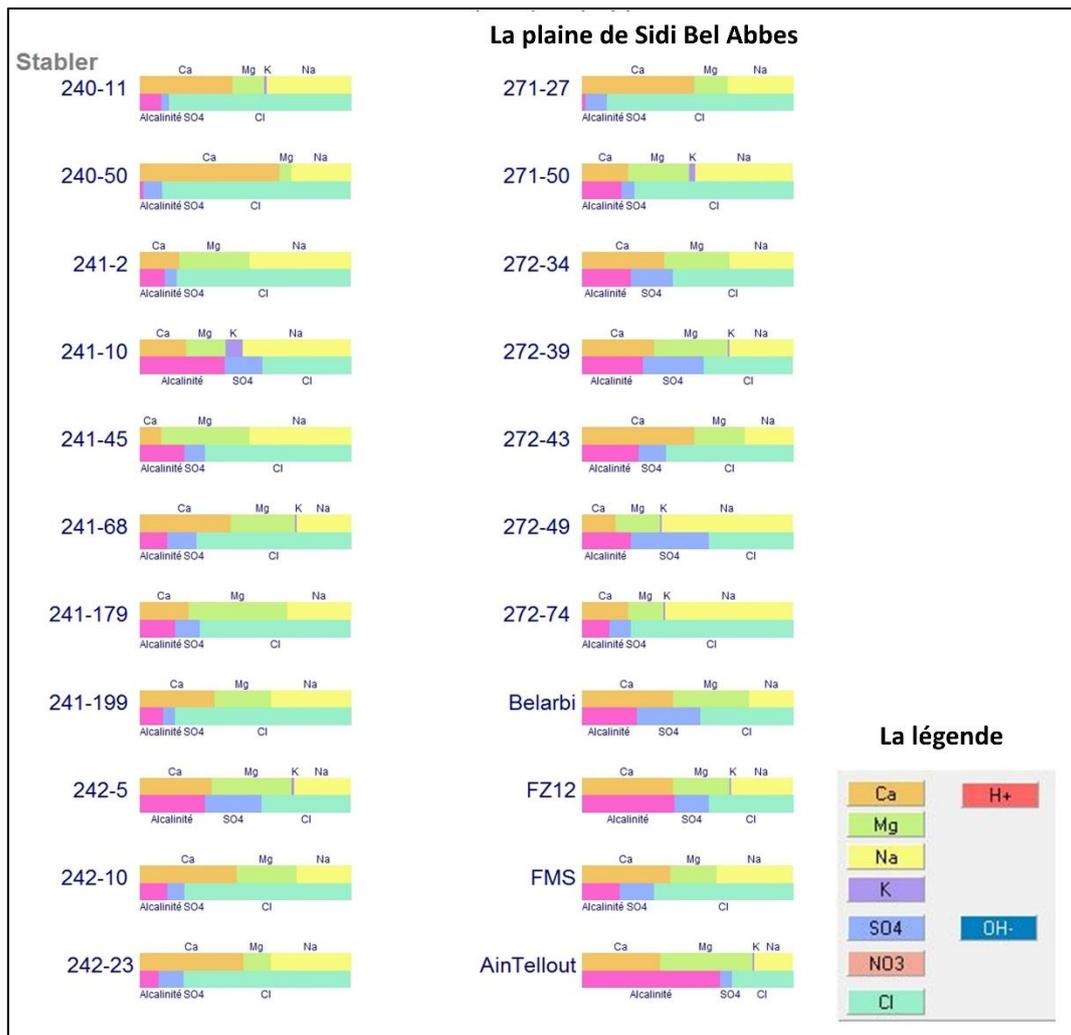


Figure III. 12. Représentation graphique des échantillons selon STABLER

Les ions prédominants dans les eaux de la nappe plio-quaternaire sont les chlorures pour les anions et le sodium pour les cations. Ce constat est bien illustré par le tableau 05, qui montre aussi, une abondance assez importante des ions calcium dans les eaux de la nappe plio-quaternaire.

4.2.2. Classification des eaux selon le diagramme losangique de Piper :

Ce diagramme Comporte un losange et deux triangles équilatéraux. Cette méthode consiste à représenter sur les deux triangles les pourcentages des quantités en réactions (r %) de chaque cation et anion, ensuite les deux points sont reportés sur le losange en un seul point qui représente la famille chimique de l'eau.

L'avantage principal de ce digramme c'est ce qu'il permet une comparaison globale d'un grand nombre d'analyses d'une façon très simple.

Le diagramme de Piper donne une vision générale du type d'eau rencontré dans l'aquifère alluvial. Le report des résultats sur ce type de diagramme montre pour la plupart des échantillons analysés que les cations sont situés dans le triangle de —non dominance— des cations et que les anions ont tendance à se rapprocher du pôle chloruré (Fig. III 13). Au niveau du losange, on distingue trois familles :

- Eaux chlorurées et sulfatées, calciques et magnésiennes (81,82%) ;
- Eaux chlorurées sodiques et sulfatées sodiques (13,64%) ;

- Eaux bicarbonatées calciques et magnésiennes (4.54%).

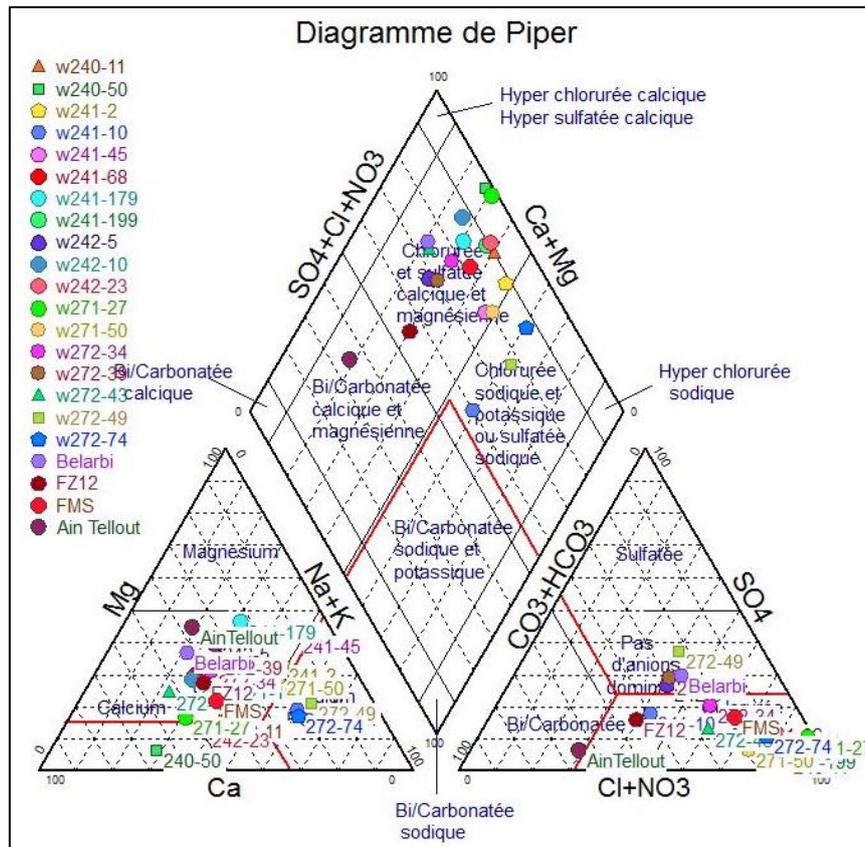


Figure III. 13. Diagramme de Piper pour les eaux de la nappe alluviale (Juin 2008)

4.2.3. Classification selon le diagramme semi-logarithmique de Schoeller-Berkaloff :

L'application de cette méthode graphique aux eaux de la plaine de Sidi Bel Abbes (Fig. III 14) montre pratiquement le même type de faciès chimique donné par les formules de STABLER. Cette classification permet non seulement de définir les faciès, mais aussi de déduire le pH d'équilibre, le CO₂ libéré en mg/l et d'avoir une idée sur la potabilité chimique de l'eau. A partir de ce diagramme.



Figure III. 14. Classification des eaux selon le diagramme Schoeller Berkaloff (Juin 2008)

4.2.4. Répartition spatiale des faciès chimiques :

La représentation spatiale des faciès chimiques des échantillons montre (Fig. III 15) :

- **Les eaux bicarbonatées calciques** : se trouvent généralement en amont, juste à la bordure Sud (en contact avec la nappe de calcaire et dolomie Jurassico-crétacé « limite ouvert ») et Est (en contact avec le calcaire Aptien). Ce faciès est représenté par cinq points d'eau (22.73%). La présence de ce faciès reflète la circulation des eaux dans les alluvions grossières (graviers, galets) avec une forte possibilité de son origine calcaire.
- **Les eaux bicarbonatées sodiques** : sont représentées par un seul point d'eau (4.54%), se trouve au sud de Sidi Lahcen (centre de la plaine), sa présence peut être due au lessivage des terrains traversés et probablement à l'infiltration des eaux de surface.
- **Faciès chloruré calcique** : C'est le faciès le plus répandu, il correspond à la majeure partie des échantillons prélevés (36.36%) et s'étale pratiquement sur toute la plaine
- **Les eaux chlorurées sodiques** se situent généralement sur les bordures de la plaine près des formations post-nappes du Miocène et les grès du Pliocène, on retrouve aussi ce faciès au niveau des terrains karstiques du Jurassico-Crétacé (272-74). Il constitue 31.82% du total des échantillons analysés
- **Les eaux Sulfatées sodiques** : sont représentées par un seul point d'eau se trouve au nord-est de la ville de Tabia, juste à la bordure de la nappe des grès du pliocène

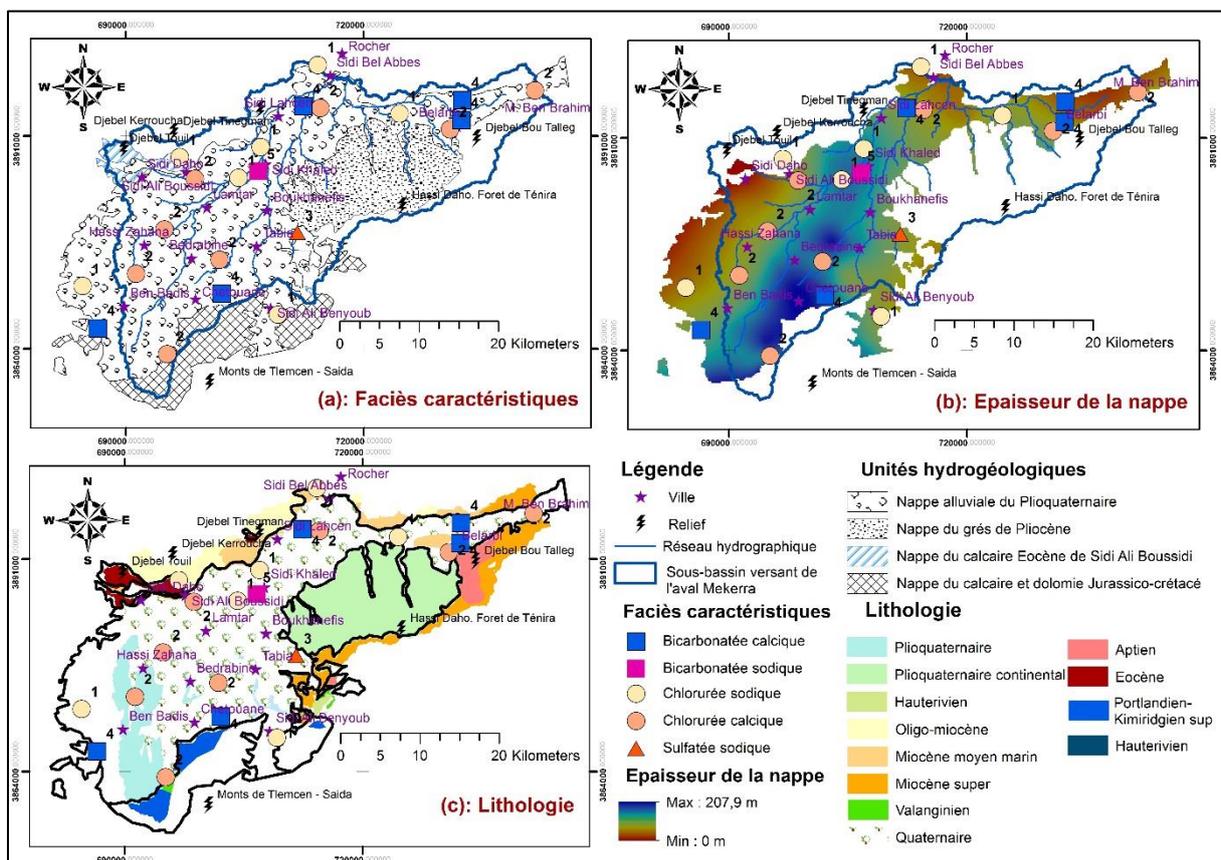


Figure III. 15. Représentation spatiale des faciès chimiques des échantillons (Juin 2008)

5. Caractéristiques chimiques des eaux de la nappe :

5.1. Agressivité et incrustante des eaux :

Pour définir le caractère agressif ou incrustant des eaux, il suffit de comparer le pH mesuré avec le pH d'équilibre obtenu par le diagramme de Schoeller Berkloff.

- PH mesuré = pH d'équilibre → eau neutre ;

- PH mesuré > pH d'équilibre → eau incrustante ;
- PH mesuré < pH d'équilibre → eau agressive.

Tableau III. 6. Agressivité et incrustante des eaux de la nappe alluviale de Sidi Bel Abbas

	<i>Forage</i>	<i>PH mesuré</i>	<i>PH d'équilibre</i>	<i>Caractère de l'eau</i>
<i>F01</i>	<i>W240-11</i>	<i>7.80</i>	<i>7.20</i>	<i>Incrustant</i>
<i>F02</i>	<i>W240-50</i>	<i>7.50</i>	<i>07</i>	<i>Incrustant</i>
<i>F03</i>	<i>W241-2</i>	<i>7.60</i>	<i>6.40</i>	<i>Incrustant</i>
<i>F04</i>	<i>W241-10</i>	<i>7.60</i>	<i>6.80</i>	<i>Incrustant</i>
<i>F05</i>	<i>W241-45</i>	<i>7.60</i>	<i>7.30</i>	<i>Incrustant</i>
<i>F06</i>	<i>W241-68</i>	<i>7.80</i>	<i>6.50</i>	<i>Incrustant</i>
<i>F07</i>	<i>W241-179</i>	<i>7.50</i>	<i>6.90</i>	<i>Incrustant</i>
<i>F08</i>	<i>W241-199</i>	<i>7.10</i>	<i>6.50</i>	<i>Incrustant</i>
<i>F09</i>	<i>W242-5</i>	<i>7.60</i>	<i>7.00</i>	<i>Incrustant</i>
<i>F10</i>	<i>W242-10</i>	<i>7.70</i>	<i>6.00</i>	<i>Incrustant</i>
<i>F11</i>	<i>W242-23</i>	<i>7.60</i>	<i>6.80</i>	<i>Incrustant</i>
<i>F12</i>	<i>W271-27</i>	<i>7.80</i>	<i>7.10</i>	<i>Incrustant</i>
<i>F13</i>	<i>W271-50</i>	<i>7.10</i>	<i>6.60</i>	<i>Incrustant</i>
<i>F14</i>	<i>W272-34</i>	<i>8.10</i>	<i>6.00</i>	<i>Incrustant</i>
<i>F15</i>	<i>W272-39</i>	<i>7.10</i>	<i>7.00</i>	<i>Incrustant</i>
<i>F16</i>	<i>W272-43</i>	<i>7.55</i>	<i>7.00</i>	<i>Incrustant</i>
<i>F17</i>	<i>W272-49</i>	<i>7.50</i>	<i>6.60</i>	<i>Incrustant</i>
<i>F18</i>	<i>W272-74</i>	<i>7.25</i>	<i>6.70</i>	<i>Incrustant</i>
<i>F19</i>	<i>Belarbi</i>	<i>7.20</i>	<i>7.10</i>	<i>Incrustant</i>
<i>F20</i>	<i>FZ12</i>	<i>7.10</i>	<i>6.40</i>	<i>Incrustant</i>
<i>F21</i>	<i>FMS</i>	<i>7.20</i>	<i>6.80</i>	<i>Incrustant</i>
<i>F22</i>	<i>AinTellout</i>	<i>7.85</i>	<i>7.30</i>	<i>Incrustant</i>

On remarque que presque la totalité des eaux analysées ont des valeurs de pH d'équilibre inférieures à celles mesurées (in situ), c'est-à-dire l'eau est saturée en CaCO₃, donc à caractère incrustant, avec un risque de dépôt de calcaire dans les conduites d'eau. Les eaux de la plaine de Sidi Bel Abbas sont chargées avec une potabilité chimique passable, médiocre ou encore mauvaise pour la plupart des échantillons.

5.2.Indice d'échange de base (i e b) :

Au cours de son trajet, l'eau souterraine entre en contact avec les constituants de la formation encaissante où des échanges peuvent se faire entre les ions de cette eau et ceux des terrains traversés. L'indice d'échange de base (i.e.b) ou indice déséquilibre chloro-alcalin, établi par Schoeller (1934), définit l'échange qui existe entre l'eau et les terrains encaissants. Il est énoncé par la formule suivante :

$$i.e.b = \frac{rCl^- - r(Na^+ + K^+)}{rCl^-}$$

Où Cl⁻, Na⁺, K⁺ sont exprimés en meq/l.

Selon Schoeler :

- Si i.e.b > 0 les ions Na⁺ et K⁺ de l'eau sont échangés contre le Ca²⁺ et Mg²⁺ de la formation.
- Si i.e.b < 0 les ions Ca²⁺ et Mg²⁺ sont échangés contre le Na⁺ et K⁺ de la formation.
- Si i.e.b = 0 il n'y a pas d'échange ionique entre la roche et l'eau (état d'équilibre).

L'examen des valeurs de l'indice d'échange de base montre que la plupart des valeurs calculées sont positives (annexe 2), donc, le K⁺ et Na⁺ de l'eau sont échangés contre le Ca²⁺ et Mg²⁺ de l'encaissant. Par ailleurs, les points d'eau w272-49 et w241-10 présentent des valeurs négatives donc Ca²⁺ et Mg²⁺ de l'eau sont échangés contre le Na⁺ et K⁺ de l'encaissant.

Alors, la formation aquifère de notre zone d'étude libère beaucoup plus de calcium que de sodium et potassium et marquée par un échange des alcalins traduisant la relation rCl⁻ - r(Na⁺ + K⁺) > 0, cela signifie que les eaux de la nappe se chargent plus vite en chlorure qu'en sodium et potassium.

5.3.Potabilité minéralogique :

En comparant les résultats des analyses chimiques des eaux de la plaine de Sidi Bel Abbes aux normes de l'organisation mondiale de la santé « OMS » (Tableau III 7), on trouve que la concentration en élément chimique maximale admissible est dépassée pour la majorité des échantillons, notamment pour les chlorures, le calcium et le sodium.

Tableau III. 7. Les normes chimiques fixées par l'OMS

<i>Éléments chimiques</i>	<i>Concentrations</i>	
	<i>Maximale acceptable (mg/l)</i>	<i>Maximale admissible (mg/l)</i>
<i>Calcium (Ca⁺⁺)</i>	75	200
<i>Magnésium (Mg⁺⁺)</i>	50	150
<i>Sodium (Na⁺)</i>	20	150
<i>Potassium (K⁺)</i>	10	10
<i>Sulfates (SO₄²⁻)</i>	200	400
<i>Chlorures (Cl)</i>	200	600
<i>Nitrates (NO₃⁻)</i>	50	50
<i>PH</i>	7 à 8.5	< 6.5

Le Magnésium présente des concentrations inférieures à la maximale admissible pour la totalité des eaux analysées, sauf certains points d'eau (241-2, 241-45, 241-68 et 241-179) ;

Ainsi, la plupart des points d'eau donnent des valeurs admissibles pour le Potassium, à l'exception les trois points suivants (241-10, 241-68, 271-50 et 272-74).

Par ailleurs, plus de 86% des points donne des concentrations inférieures aux valeurs admissibles pour les sulfates, dont 36% sont inférieures aux valeurs maximales acceptables.

Le pH se situe dans la fourchette de la norme maximale acceptable.

5.4. Aptitude des eaux à l'irrigation :

Sidi Bel Abbès est une région à vocation agricole, l'évaluation de la qualité des eaux de la nappe alluviale utilisées pour l'irrigation est en fonction de la salinité et du risque d'alcalinisation des sols (Dosso, 1980). En effet, les eaux d'irrigation renferment des sels. Ces sels migrent essentiellement par voie liquide, c'est donc la teneur en sels solubles dans le sol qui pose préjudice à la production agricole.

Les principaux critères d'irrigation sont :

- **La conductivité** : les sels dissous conditionnent la pression osmotique qui peut, lorsqu'elle est trop élevée, rendre difficile l'absorption de l'eau du sol par les plantes ;
- **Les éléments toxiques** : une accumulation exagérée de certains ions tels que les chlorures et le sodium au niveau du couvert végétal modifie la croissance des plantes, brûlures du feuillage ;
- **Baisse de la perméabilité** : liée d'une façon générale aux différents sels et particulièrement à l'ion sodium, dont la présence entraîne des changements importants dans la structure, la perméabilité et l'aération du sol, affectant directement le développement de la plante (Person, 1978).
L'ion Na^+ , en se fixant sur les argiles provoque une alcalinisation du sol. L'effet entraîne un risque d'asphyxie des racines qui se répercute sur la croissance d'où perte le plus souvent définitive du périmètre irrigué (Abtout, 2013)

Le risque de baisse de perméabilité est évalué par le coefficient d'absorption du sodium S.A.R (Sodium Absorption Ratio) défini par la relation :

$$SAR = \frac{rNa^+}{\sqrt{\frac{rCa^{2+} + rMg^{2+}}{2}}}$$

Dont les concentrations sont exprimées en Meq/l.

- SAR < 10 : eau utilisée avec peu de danger d'alcalinisation des sols ;
- 10 < SAR < 18 : eau utilisée avec un danger appréciable d'alcalinisation ;
- 18 < SAR < 26 : eau peut provoquer un danger d'alcalinisation ;
- SAR > 26 : eau présentant un danger d'alcalinisation très fort.

Les résultats du SAR obtenus, oscillent entre 0.82 et 9.07 (annexe 2).

La projection des différentes valeurs obtenues avec celles de la conductivité sur le diagramme de Riverside (fig. III 16), a donné les résultats suivants :

- La plupart des analyses appartiennent aux classes (C4, S1), (C4, S2) avec une forte salinité et présentent un danger faible à moyen de l'alcalinité. Par ailleurs, l'échantillon 272-74 révèle un danger fort de l'alcalinité (C4, S3). D'après le diagramme de Wilcox, cette catégorie d'eau est d'une qualité médiocre à mauvaise

sels minéraux vers l'aquifère. C'est le cas des chlorures, du calcium et du sodium qui se concentrent dans les bordures Nord de la nappe. De plus, ces eaux très minéralisées se situent à proximité des grands accidents du bassin qui affectent les formations Oligo-miocènes et les formations karstiques du Jurassico-Crétacé. Elles pourraient donc être le résultat de l'infiltration et la circulation des eaux pluviales dans ces formations (Megherfi, 2010).

6. Conclusion

L'étude hydro-chimique des eaux de la nappe alluviale de Sidi Bel Abbes nous a permis d'apprécier la qualité chimique de ces eaux et de mettre en évidence les caractéristiques suivantes :

- Dominance des faciès chlorurés, sulfatés, calcique et sodique sur la majeure partie de la plaine
- La majorité des points d'eau (15 échantillons) captent des eaux douces avec un titre hydrométrique inférieur à 75 mg/l, tandis que 6 sont moyennement dures ($75 < TH$ en $mg/l < 150$) et un seul échantillon est dure ($TH = 182.55mg/l$).
- La qualité des eaux de la nappe est admissible par endroits, mais surtout, médiocre à mauvaise pour la majorité des échantillons
- L'abondance des chlorures qui fait augmenter la salinité qui est particulièrement due aux échanges en liaison avec la relation nappe-oued
- La nappe offre une eau incrustante par rapport au PH d'équilibre

La comparaison avec les valeurs recommandées par l'OMS permet de mettre en évidence ces concentrations en eaux, qui sont globalement très minéralisées (fort résidu-sec) et contiennent de grandes quantités en chlorures. En égard, au contexte hydrogéologique et au climat semi-aride de la zone d'étude (évaporation intense), plusieurs causes de la minéralisation des eaux souterraines peuvent être considérées. Elles seraient liées principalement aux activités agricoles et à la nature des formations encaissantes. Cependant vers le nord de la plaine, où la nappe circule à faible profondeur, la forte minéralisation est surtout liée au phénomène de recyclage des eaux de retour d'irrigation concentrées en sels. En effet, le lessivage des sels par les eaux d'infiltration constitue une source potentielle des fortes salinités des eaux souterraines.

Conclusion générale

Références bibliographiques

Conclusion générale

A travers ce travail, nous avons commencé par le cadre physique de la région d'étude incluant les contextes géographiques, climatiques et morphologiques.

L'étude géologique, basée sur les travaux de plusieurs auteurs ayant étudié la région a permis de distinguer les principales formations aquifères de cette région à savoir :

- Aquifères poreux :
 - o Le remplissage du Plio - Quaternaire de la plaine de Sidi Bel-Abbes ;
 - o Les grès pliocènes de la forêt de Tenira.
- Aquifères fissurés et karstiques :
 - o Les formations calcaires et de dolomies Jurassico-crétacés des monts de Sidi Ali Ben Youb
 - o Les calcaires éocènes de Sidi Ali Boussidi ;
 - o Les calcaires de Zygone (Aptien) de la forêt de Belarbi.

La carte piézométrique a permis de fournir des informations sur le sens d'écoulement souterrain et sur le mode d'alimentation du système aquifère. Dans notre secteur, les cartes piézométriques révèlent un sens d'écoulement des eaux souterraines, orienté sud-ouest/nord-est et une direction secondaire Est-Ouest dans la vallée de Belarbi-Mostapha Ben Brahim.

L'alimentation de l'oued par la nappe est toujours présente et montre que la nappe alluviale alimente en partie les Oueds Mekerra et Tissaf sur toute l'étendue de la plaine, ce qui indique un contact permanent entre la nappe et les oueds.

L'étude hydrochimique a permis de caractériser les principaux paramètres physico-chimiques des échantillons d'eau prélevés au cours de la campagne de terrain du juin 2008, les résultats de ces analyses physico-chimique montrent que ces eaux sont caractérisées par :

- o Les faciès hydrochimiques rencontrés sont de type Chloruré (calcique et magnésien)
- o Du point de vu potabilité, les eaux souterraines de la zone d'étude, présentent des teneurs assez élevées en Chlorure, en Calcium et en Sodium, qui dépassent largement les normes de potabilité algériennes.
- o Le diagramme de Wilcox montre que les eaux de la nappe alluviale de Sidi Bel Abbès présentent une qualité médiocre pour l'irrigation.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Auclair, D., Biehler, J., 1967. *Etude géologique des Hautes Plaines oranaises entre Tlemcen et Saïda*. Publ. Serv. Géologique L'Algérie Nouv. Sér. 34, 3–45.
- Dosso, M., 1980. *Géochimie des sols salés et des eaux d'irrigation (PhD Thesis)*. Toulouse.
- Emberger, L., 1954. *Sur les Ginkgoales et quelques rapprochements avec d'autres groupes systematiques*. Kurt Lindberg.
- Faraoun, F., Benabdeli, K., 2010. *Cartographie et caractérisation physico-chimique des sols de la plaine de Sidi Bel Abbès (Algérie occidentale)*. Afr Sci 6, 18–26.
- Fedan, B., Thomas, G., 1985. *Découverte de dépôts néogènes déformés par l'accident nord-moyen atlasique (Maroc). Implications sur son activité mio-plio-quadernaire au Nord de Boulemane*. Géologie Méditerranéenne 12, 151–154.
- Gausson, H., Bagnouls, F., 1953. *Saison sèche et indice xéothermique*. Toulouse Fr. Univ. Toulouse Fac. Dês Sci.
- Hem, J.D., 1985. *Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water*. Department of the Interior, US Geological Survey.
- Megherfi, K., 2010. *Contribution à la protection des villes contre les inondations cas de la ville de Sidi Bel Abbès (PhD Thesis)*.
- Otmane, 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)*. Tlemcen.
- Person, S 1978. *Irrigation et drainage en Tunisie, Problemes poses par la salinité des sols et des eaux*.
- Raghunath, H.M., 1987. *Ground water*. New Age International.
- Rodier, J., Legube, B., Merlet, N., Brunet, R., 2005. *Water Analysis: Natural Waters, Wastewaters, Sea Water*. Ed Dunod Paris 1384.
- Schoeller, H., 1934. *Les échanges de bases dans les eaux souterraines ; trois exemples en Tunisie*. Bull. Société Géologique Fr. 4, 389–420.
- Seltzer, P., 1946. *Le climat de l'Algérie*. Inst. Météor. Et de Phys-Du globe. Univ Alger.
- Sourisseau, B., 1973. *Étude hydrogéologique de la nappe de Sidi Bel Abbès*. Rapp. Dir. Études Milieu Rech. Hydraul. 30.
- Sourisseau, B., 1972. *Etude hydrogéologique de la plaine de Ghriss*. Rapp. Agence Natl. Ressour. Hydraul. Alger Algér.
- Stabler, R.N., Chesick, J.P., 1978. *A program system for computer integration of multistep reaction rate equations using the Gear integration method*. Int. J. Chem. Kinet. 10, 461–469.
- Todd, J., Waldren, R., Freer, D., Turner, R., 1980. *The quadrupole ion store (QUISTOR). Part X. Space charge and ion stability. B. On the theoretical distribution and density of stored charge in RF quadrupole fields*. Int. J. Mass Spectrom. Ion Phys. 35, 107–150.

Annexes

Annexes

Annexe 1

Coordonnées (UTM zone 30 N)			Cations (mg/l)				Anions (mg/l)				Cations (meq/l)			Anions (meq/l)		
/ point d'eau	X	Y	Ca	Mg	Na	K	S04	HCO ₃	Cl	r%Ca	r%Mg	r%(Na)	r%K	r%S04	r%HCO ₃	r%Cl
240-11	696792.52	3888301.87	245	52	258	9	60	181	863	12.25	4.28	11.22	0.23	1.25	2.97	25.92
240-50	698705.44	3885557.18	1267	72	621	9	415	121	2876	63.35	5.92	27	0.23	8.65	1.98	86.37
241-2	706988.39	3889595.35	174	184	515	5	128	305	1241	8.7	15.13	22.39	0.13	2.67	5	37.27
241-10	706665.87	3886520.32	100	53	276	69	180	515	319	5	4.36	12	1.77	3.75	8.44	9.58
241-45	724480.87	3893817.57	84	202	437	6	194	503	934	4.2	16.61	19	0.15	4.04	8.25	28.05
241-68	714517.54	3894541.96	337	140	230	14	260	302	995	16.85	11.51	10	0.36	5.42	4.95	29.88
241-179	714201.39	3899985.2	180	216	271	5	204	369	934	9	17.76	11.78	0.13	4.25	6.05	28.05
241-199	704209.72	3885676.31	201	96	246	4	76	181	799	10.05	7.89	10.7	0.1	1.58	2.97	23.99
242-5	732396.18	3895579.81	129	91	117	4	225	332	259	6.45	7.48	5.09	0.1	4.69	5.44	7.78
242-10	730859.73	3891832.58	397	150	262	8	178	350	1214	19.85	12.34	11.39	0.21	3.71	5.74	36.46
242-23	741548.25	3896762.32	517	82	465	2	312	305	1500	25.85	6.74	20.22	0.05	6.5	5	45.05
271-27	694850.59	3879120.99	265	50	177	4	112	24	719	13.25	4.11	7.7	0.1	2.33	0.39	21.59
271-50	684565.25	3871961.29	123	99	304	34	78	317	703	8.14	8.14	13.22	0.87	1.63	5.2	21.11
272-34	701807.66	3875266.15	192	93	173	4	235	339	489	9.6	7.65	7.52	0.1	4.9	5.56	14.68
272-39	702106.61	3870974.88	135	82	131	4	257	332	277	6.75	6.74	5.7	0.1	5.35	5.44	8.32
272-43	691288.91	3873503.67	269	73	131	4	149	399	518	13.45	6	5.7	0.1	3.1	6.54	15.56
272-49	711626.47	3878741.5	80	62	347	5	462	366	375	4	5.1	15.09	0.13	9.63	6	11.26
272-74	709175.02	3868308.41	196	93	616	11	216	336	1169	9.8	7.65	26.78	0.28	4.5	5.51	35.11
Belarbi	732294.26	3893018.24	188	98	106	4	305	336	334	9.4	8.06	4.61	0.1	6.35	5.51	10.03
FZ12	712399.87	3894769.72	104	41	83	5	98	359	184	5.2	3.37	3.61	0.13	2.04	5.89	5.53
FMS	695186.51	3863309.46	237	75	235	4	213	306	634	11.85	6.17	10.22	0.1	4.44	5.02	19.04
AinTellout	686478.67	3866611.87	62	45	35	2	24	310	80	3.1	3.7	1.52	0.05	0.5	5.08	2.4

Annexes

Annexe 2

<i>Point d'eau</i>	<i>Rs (mg/l)</i>	<i>CE (µS/cm)</i>	<i>TAC (°F)</i>	<i>E (%)</i>	<i>TH (mg/l)</i>	<i>TH (meq/l)</i>	<i>TH (°F)</i>	<i>ieb</i>	<i>SAR</i>
<i>240-11</i>	1993.2	3020	14.85	-3.72	48.20	2.41	12.05	0.56	3.90
<i>240-50</i>	5194.2	7870	9.9	-0.26	182.55	9.13	45.64	0.68	4.59
<i>241-2</i>	2369.4	3590	25	1.54	83.98	4.20	21.00	0.40	6.49
<i>241-10</i>	1049.4	1590	42.2	3.03	30.43	1.52	7.61	-0.44	5.55
<i>241-45</i>	2257.2	3420	41.25	-0.47	78.84	3.94	19.71	0.32	5.89
<i>241-68</i>	2336.4	3540	24.75	-1.94	89.44	4.47	22.36	0.65	2.66
<i>241-179</i>	2072.4	3140	30.25	0.42	95.56	4.78	23.89	0.58	3.22
<i>241-199</i>	1927.2	2920	14.85	0.35	57.56	2.88	14.39	0.55	3.57
<i>242-5</i>	1425.6	2160	27.2	3.27	46.89	2.34	11.72	0.33	1.93
<i>242-10</i>	2818.2	4270	28.7	-2.36	100.34	5.02	25.09	0.68	2.84
<i>242-23</i>	2488.2	3770	25	-3.37	92.28	4.61	23.07	0.55	5.01
<i>271-27</i>	1518	2300	1.95	1.72	50.00	2.50	12.50	0.64	2.61
<i>271-50</i>	2059.2	3120	26	4.17	53.82	2.69	13.46	0.33	4.63
<i>272-34</i>	1689.6	2560	27.8	-0.54	55.45	2.77	13.86	0.48	2.56
<i>272-39</i>	1537.8	2330	27.2	0.47	44.59	2.23	11.15	0.30	2.19
<i>272-43</i>	1339.8	2030	32.7	0.10	58.27	2.91	14.57	0.63	1.83
<i>272-49</i>	1603.8	2430	30	-5.02	30.97	1.55	7.74	-0.35	7.07
<i>272-74</i>	1884.96	2856	27.55	-0.68	55.95	2.80	13.99	0.23	9.07
<i>Belarbi</i>	1224.3	1855	27.55	0.64	56.64	2.83	14.16	0.53	1.56
<i>FZ12</i>	1504.8	2280	29.45	-4.46	26.85	1.34	6.71	0.32	1.74
<i>FMS</i>	660	1000	25.1	-0.28	54.98	2.75	13.74	0.46	3.40
<i>AinTellout</i>	513.48	778	25.4	2.39	22.97	1.15	5.74	0.35	0.82