



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Batna 1

Institut des Sciences Vétérinaires et des Sciences Agronomiques

Département des Sciences Agronomiques

## THESE

Pour l'obtention du diplôme de Doctorat en Sciences

Filière : Sciences agronomiques

Option : Sciences des sols

Présentée par

**BALA Sahima**

## THÈME

**Changement de la qualité des sols mis sous culture dans  
un milieu aride. Cas de la région des Ziban**

Soutenue le : 07/06/2021

Devant le jury composé de :

Président : ABDESSELAM Salah

Rapporteur : MOSTEPHAOUI Tewfik

Examineur : BOUMARAF Belkacem

Examineur : BENMESSAOUD Hassen

Examinatrice : BOUKHALFA Hassina Hafida

Professeur. Université de Batna 1

Maître de recherche. CRSTRA - Biskra

Maître de conférences (A). Université de Biskra

Professeur. Université de Batna 1

Maître de conférences (A). Université de Biskra

Année universitaire : 2020/2021

## DÉDICACES

*Je dédie ce travail à la mémoire de mon professeur **BENSAÏD RABAH**,  
qui m'a suivi durant toutes ces années dans la réalisation de mes thèses de Magister et  
Doctorat, qui m'a orienté par ses précieux conseils pour effectuer mes recherches de  
laboratoires et sur terrain.*

*Que Dieu le tout puissant, l'ait en sa sainte miséricorde et l'accueille dans son vaste  
paradis.*

## Remerciements

Je remercie DIEU tout puissant, pour m'avoir donné la santé afin d'accomplir ce modeste travail.

Je profite de cette occasion pour rendre hommage à la mémoire de mon promoteur le professeur BENSALD Rabah. Ce n'est pas seulement son apport scientifique qui nous manquera infiniment, mais aussi sa générosité, son amour de l'existence, de l'échange et du partage. Le thème de ce travail a été proposé par le défunt en 2007.

Au terme de ce travail, je remercie vivement mon Directeur de thèse Monsieur MOSTEPHAOUI T., maître de recherche au centre de recherche CRSTRA – Biskra, qui m'a orienté pour la finalisation de ce travail, je tiens également à lui exprimer mon grand respect.

Je remercie Monsieur ABDESSELAM S., Professeur au département d'Agronomie à l'université de Batna 1, d'avoir bien voulu juger mon travail et présider le jury.

Je suis très sensible à l'honneur que me fait Monsieur BOUMARAF B., maître de conférences (A) au département d'Agronomie à l'université de Biskra, d'avoir voulu juger mon travail. Je le prie d'accepter le témoignage de ma respectueuse reconnaissance pour les conseils judicieux qu'il m'a apportés tous au long de la réalisation de cette thèse.

Mes vifs remerciements vont également à Monsieur BENMESSOUD H., Professeur au département d'Agronomie à l'université de Batna 1, d'avoir accepté de juger ce travail. Je lui exprime ici mon profond respect.

Je remercie aussi madame BOUKHALFA H., maître de conférences (A) au département d'Agronomie à l'université de Biskra d'avoir bien voulu juger mon travail et d'avoir accepté de faire partie de mon jury. J'exprime ici toute ma reconnaissance.

Mes sincères remerciements s'adressent aussi à toute l'équipe de l'ITDAS de Ain Ben Noui (Biskra), qui m'ont fait part de leur soutien pendant la réalisation de ce travail.

Un merci particulier à Monsieur BELAISSAOUI N., et Monsieur BOUALI M., anciens enseignants à l'université de Skikda pour leurs conseils avisés.

Je remercie particulièrement Hakim Hannachi maître de conférences (A) à l'université de Skikda qui m'a encouragé le long de ce travail, je lui suis reconnaissant.

Mes remerciements vont aussi à tous les amis (es) et tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail. Toute personne qui font une aide soit scientifique, technique ou administrative sache que je le garde une profonde reconnaissance. J'espère n'avoir oublié personne, merci à tous.

Enfin, je termine ces remerciements par ma famille surtout ma grand-mère.

## Résumé

L'objectif principal de notre thèse de doctorat est d'étudier le changement de la qualité des sols mis sous culture en irrigué dans un milieu aride, cas des Ziban. Région située au pied de l'Atlas saharien à 446 km au sud-est de la capitale Alger. Un autre objectif qui n'est pas moindre est d'étudier au niveau d'une station expérimentale de l'Institut Technique du Développement de l'agronomie saharienne (I.T.D.A.S) d'Ain Ben Noui à 10 km sud-ouest de Biskra, l'évolution de la salinité sous serres des sols soumis à l'irrigation par rapport à ceux des témoins (non cultivés).

Pour la première partie du travail, l'étude du milieu physique à travers l'étude géomorphologique (substratum du sol - morphologie) nous a permis de délimiter quatre catégories de zones distinctes : la première est caractérisée par la présence des sols sur sédiments gypso-calcaires, située au niveau des communes de M'ziraa et Doucen; la deuxième est caractérisée par la présence des sols sur Deb-Deb encroûté (Tolga et El Hadjeb); troisième est singularisée par la présence des sols argileux lourds et calcaires (Zeribet El Oued) et enfin, la quatrième zone est différenciée par des sols sur matériaux salés et argileux (El Outaya). Au niveau de chaque zone délimitée on a choisi des stations d'échantillonnage et d'observations. Au sein de chaque station, nous avons creusé deux profils. Le premier est localisé dans un sol cultivé et irrigué, il a été étudié profondément et où les horizons le composant sont analysés au laboratoire et interprétés. L'autre profil limitrophe est localisé dans un sol non irrigué et non cultivé, il va nous servir comme témoin.

Les résultats : les analyses de l'eau d'irrigation ont montré que :

L'eau a une salinité forte pour le site d'El Outaya (eau du barrage présente la salinité la plus faible par rapport aux autres sites), une salinité très forte pour les sites de Zeribet El Oued, M'ziraa, El Hadjeb et Tolga et enfin, le site de Doucen à une salinité excessive ;

Le Faciès chimique est de type sulfaté — calcique et secondairement sodique pour toutes les eaux.

Constats : la variation des caractéristiques des sols entre les profils cultivés et leurs témoins montre qu'il y a généralement un changement de la salinité, quant à l'irrigation pratiquée est avec des eaux salées et où le taux de matière organique, est élevé dans les horizons des profils cultivés par rapport à ceux des profils témoins et ceci est plus remarquable au niveau des horizons de surface du sol.

L'étude des variations des caractéristiques des sols fait ressortir qu'il y a un changement de la qualité des sols concernant le facteur de texture, perméabilité, réserve utile, taux de gypse, taux de calcaire et du pH.

Pour la texture, on a trouvé trois types de texture : une texture argileuse pour les sols de M'ziraa, Zeribet El Oued et El Outaya, la texture sableuse pour les sols de Doucen et enfin la texture limono-sableuse pour les sols de Tolga et El Hadjeb (Ain Ben Noui).

On a remarqué que la texture du sol a une influence directe sur la perméabilité du sol. On a pu distinguer deux catégories des sols : les sols moyennement perméables à perméables au niveau des sols de Doucen, El Hadjeb et Tolga ; et les sols peu perméables au niveau de M'ziraa, Zeribet El Oued et El Outaya.

Pour la variation du taux de calcaire et du gypse, on peut citer deux classes : la classe des sols modérément calcaires concernant les sols de Doucen, d'El Hadjeb, et la classe des sols fortement calcaires concernant les sols de M'ziraa, de Tolga et d'El Outaya. Pour le gypse, on peut individualiser des sols faiblement gypseux concernant les sols d'El Hadjeb et d'El Outaya, des sols faiblement à modérément gypseux pour les sols de M'ziraa, aussi, des sols modérément à fortement gypseux pour les sols de Tolga et Zeribet El Oued et enfin des sols excessivement gypseux pour les sols de Doucen.

Enfin, le pH présente des variations spatiales entre les régions, on peut remarquer des sols neutres pour deux régions El Outaya et Doucen et des sols alcalins pour les autres.

On peut conclure que la variation spatiale des caractéristiques des sols en milieu cultivé et irrigué varie en fonction du substratum du sol, de la qualité de l'eau d'irrigation et du milieu physique est celui-ci pour la même culture.

Concernant le l'objectif secondaire et à travers nos résultats on peut dire que la plasticulture en milieu saharien rencontre des contraintes relatives à la faible maîtrise de l'itinéraire technique. Parmi les paramètres, il y'a l'utilisation d'eau fortement minéralisée qui accentue les processus de salinisation et engendre une salinisation secondaire intense des terres. Les terres sableuses irriguées avec une eau chargée en sels peuvent se comporter d'une manière exemplaire si elles sont bien drainées, par la mise en place d'un réseau de drainage efficace et très rapproché des serres.

**Mots clés :** changement, qualité des sols, sols cultivés, aridité, salinité.

## Abstract

The main objective of our thesis work is to study the change in the quality of soils placed under irrigated cultivation in an arid environment, in the case of the Ziban. Region located at the foot of the Saharan Atlas, 446 km southeast of the capital Algiers. Another objective, which is not less, is to study at an experimental station of the Technical Institute for the Development of Saharan Agronomy (ITDAS) of Ain Ben Noui 10 km southwest of Biskra, the evolution of the salinity in greenhouses of the soils subjected to irrigation compared to those of the controls (not cultivated).

For the first part of the work, the study of the physical environment through the geomorphological study (substratum of the soil - morphology) allowed us to delimit four categories of distinct zones: the first is characterizing by the presence of soils on gypso- sediments. Limestone, located in the municipalities of M'ziraa and Doucen; the second is characterizing by the presence of soils on encrusted Deb-Deb (Tolga and El Hadjeb); the third is distinguishing by the presence of heavy clayey and limestone soils (Zeribet El Oued) and finally, the fourth zone is differentiating by soils on salty and clayey materials (El Outaya). Sampling and observation stations were choosing for each demarcated area. Within each station, we have dug two profiles. The first is located in cultivated and irrigated soil; it has been studding deeply and where the component horizons are analysing in the laboratory and interpreting. The other adjoining profile is located in non-irrigated and non-cultivated soil; it will serve as a witness.

The results: analyzes of the irrigation water showed that:

The water has higt salinity for the site of El Outaya (water from the dam has the lowest salinity compared to the other sites), a very high salinity for the sites of Zeribet El Oued, M'ziraa, El Hadjeb and Tolga and finally, the Doucen site with excessive salinity;

The chemical facies is of the sulphated - calcium type and secondarily sodium for all waters.

Observations: the variation in soil characteristics between cultivated profiles and their witnesses shows that there is generally a change in salinity as for the irrigation practiced is with saline water and where the rate of organic matter, is high in the horizons of the cultivated profiles compared to those of the control profiles, and this is most noticeable at the level of the soil surface horizons.

The study of variations in soil characteristics shows that there is a change in soil quality concerning the factor of texture, permeability, useful reserve, gypsum rate, limestone rate and pH.

For the texture, we found three types of texture: a clay texture for the soils of M'ziraa, Zeribet El Oued and El Outaya, the sandy texture for the soils of Doucen and finally the silty-sandy texture for the soils of Tolga and El Hadjeb (Ain Ben Noui).

It has been observing that the texture of the soil has a direct influence on the permeability of the soil. We could distinguish two categories of soils: moderately permeable to permeable soils at the level of the soils of Doucen, El Hadjeb and Tolga; and low permeability soils at M'ziraa, Zeribet El Oued and El Outaya.

For limestone and gypsum: the variation in the rate of limestone and gypsum leads to a change in the quality of these soils, we can cite two classes: the class of moderately calcareous soils concerning the soils of Doucen, El Hadjeb, and the class of strongly calcareous soils concerning the soils of M'ziraa, Tolga and El Outaya. For the gypsum, one can individualize weakly gypsum soils concerning the soils of El Hadjeb and El Outaya, weakly to moderately gypsum soils for the soils of M'ziraa, also, moderately to strongly gypsum soils for the soils of Tolga and Zeribet El Oued and finally excessively gypsum soils for the Doucen soils.

Finally, the pH presents spatial variations between the regions, we can notice neutral soils for two regions El Outaya and Doucen and alkaline soils for the others.

It can be concluding that the spatial variation of soil characteristics in cultivated and irrigated environments varies depending on the soil substratum of the quality of irrigation water and the physical environment is this for the same crop.

Regarding the second study, it is through our results that we can say that plasticulture in the Saharan environment encounters constraints relating to the poor mastery of the technical route. Among the parameters, there is the use of highly mineralized water, which accentuates the salinization processes and generates an intense secondary salinization of the land. Sandy soils irrigated with water laden with salts can behave in an exemplary manner if they are well draining, by the establishment of an efficient drainage network and very close to the greenhouses.

**Keywords:** change, quality of soils, cultivated soils, aridity, salinity.

## ملخص

الهدف الرئيسي من بحثنا هذا هو دراسة التغير في نوعية التربة المزروعة والمسقية في بيئة جافة كمنطقة الزيبان التي تقع على بعد 446 كلم جنوب شرق العاصمة "الجزائر".

الهدف الاخر الذي لا يقل أهمية عن ذلك هو دراسة تطور ملوحة التربة تحت البيوت البلاستيكية المسقية مقارنة بالشاهد (تربة غير مزروعة) بالمحطة التجريبية للمعهد التقني لتنمية الزراعة الصحراوية (I.T.D.A.S) في عين بن النوي على بعد 10 كلم جنوب غرب بسكرة.

بالنسبة للجزء الأول من العمل ، سمحت لنا دراسة المحيط من خلال الدراسة الجيوفيزيائية للمنطقة (الطبقة التحتية للتربة-المورفولوجيا) بتحديد أربع أنواع من المناطق الملاحظة: الأولى تتميز بوجود أترية على الرواسب الجبسية والجيرية (الكلسية ) في بلدي مزيرة والدوسن والثانية تتميز بوجود أترية على الديداب المتحجر (طولقة ،الحاجب) والثالثة تختص بوجود أترية طينية ثقيلة كلسية (زربية الواد ) وأخيرا منطقة تتميز بوجود أترية على طبقة طينية مالحة (الوطاية)، بالنسبة لكل منطقة قمنا بحفر مقطعين، الأول في التربة المزروعة والمسقية والثاني في التربة المقابلة الجرداء بمثابة شاهد ،وقد تمت دراسة هذه المقاطع بعمق حيث تم تحليل تربة افاقها في المختبر.

النتائج: أظهرت تحاليل مياه السقي أن:

-المياه ذات ملوحة عالية بالنسبة لموقع الوطاية (مياه السد لديها ملوحة أقل من ملوحة المواقع الأخرى) وملوحة جد عالية بالنسبة للمواقع زربية الواد ،مزيرة ،الحاجب وطولقة وأخيرا موقع الدوسن الذي يتميز بملوحة زائدة جدا (5.6 ديسي سيمنر/م) - السحنات الكيميائية من نوع كبريتات الكالسيوم بالدرجة الأولى والصوديوم بالدرجة الثانية لجميع عينات المياه ، ملاحظات: تظهر التغيرات في خصائص التربة بين المقاطع المزروعة وشواهدها أن هناك اختلاف بشكل عام حيث أن مياه السقي المستعملة مالحة وأيضا من ناحية نسبة المادة العضوية مرتفعة في أترية المقاطع المزروعة وهذا أكثر وضوحا على مستوى سطح التربة.

- أظهرت دراسة التغيرات في خصائص التربة أن هناك اختلافا في نوعية التربة فيما يتعلق بعامل القوام والنفذية واحتياطي التربة من الماء المفيد المستعمل وكذا في معدل أو نسبة الجبس والكلس ودرجة الحموضة.

- بالنسبة لقوام أو نسيج التربة وجدنا ثلاثة أنواع من الملمس: نسيج طيني لتربة مزرية، زربية الواد والوطاية، نسيج رملي لتربة الدوسن وأخيرا الملمس الغريني لتربة طولقة والحاجب.

- لقد لوحظ أن نسيج التربة له تأثير مباشر على نفاذية التربة حيث تمكنا من التمييز بين نوعين من التربة من حيث النفاذية : تربة متوسطة النفاذية الى نفوذة على مستوى تربة الدوسن ،الحاجب وطولقة وتربة قليلة النفاذية في مزيرة ،زربية الواد والوطاية.

بالنسبة للكلس والجبس يؤدي التباين في معدل الكلس والجبس في التربة الى تغيير في نوعية هذه التربة ويمكننا الاستشهاد بقسمين: قسم التربة متوسطة الكلس فيما يتعلق بتربة الدوسن والحاجب وقسم التربة مرتفعة الكلس يتعلق بمزيرة ،طولقة والوطاية.

بالنسبة للجبس، يمكن التمييز بين التربة قليلة الجبس فيما يتعلق بتربة الحاجب والوطاية والتربة قليلة الى متوسطة الجبس بالنسبة لتربة مزيرة وكذلك التربة المتوسطة الى مرتفعة الجبس فيما يخص تربة طولقة وزربية الواد وأخيرا التربة الجد مرتفعة الجبس بالنسبة لتربة الدوسن.

وأخيرا من خلال درجة الحموضة " pH" يمكننا ملاحظة اختلافات من منطقة الى أخرى حيث بإمكاننا التمييز بين التربة معتدلة الحموضة لمنطقتي الوطاية والدوسن والتربة القلوية لبقية المناطق.

يمكن الاستنتاج أن التغير المكاني لخصائص التربة في الوسط المزروع والمروي يختلف باختلاف الطبقة التحتية للتربة ونوعية مياه الري والمحيط الفيزيائي لنفس المحصول.

فيما يتعلق الهدف الثاني، فمن خلال نتائجنا القول أن الزراعة تحت البيوت البلاستيكية تواجه عوائق تتعلق بنقص إتقان الطرق التقنية. من بين هذه العوامل استخدام المياه عالية الأملاح التي تزيد من ملوحة التربة وتولد ملوحة ثانوية شديدة وعالية. التربة الرملية المسقية بمياه مالحة يمكننا استخدامها بطريقة مثالية اذا تم تصريف المياه للأملاح فيها جيدا من خلال إنشاء شبكة تصريف فعالة و قريبة جدا من البيوت البلاستيكية.

**الكلمات الدالة:** التغير، نوعية التربة، التربة المزروعة، الجفاف، لملوحة.



## Liste des tableaux

<b>N°</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>01</b>	Principaux types de sols au Sahara Algérien (CPCS, 1967 in Halilet, 1998)	<b>07</b>
<b>02</b>	Description géologique et hydrogéologique du site (Mostephaoui, 2015)	<b>35</b>
<b>03</b>	Analyses physicochimiques du profil n°1 (M'ziraa cultivé)	<b>45</b>
<b>04</b>	Analyses physicochimiques du profil n°2 (M'ziraa non cultivé)	<b>49</b>
<b>05</b>	Analyses physicochimiques du profil n°03 (Doucen cultivé)	<b>52</b>
<b>06</b>	Analyses physicochimiques du profil n°04 (Doucen non cultivé)	<b>56</b>
<b>07</b>	Analyses physicochimiques du profil n°05 (Tolga cultivé)	<b>59</b>
<b>08</b>	Analyses physicochimiques du profil n°4 (Tolga non cultivé)	<b>63</b>
<b>09</b>	Analyses physicochimiques du profil n°7 (El Hadjeb cultivé)	<b>66</b>
<b>10</b>	Analyses physicochimiques du profil n°08 (El Hadjeb non cultivé)	<b>70</b>
<b>11</b>	Analyses physicochimiques du profil n°09 (Zeribet El Oued cultivé)	<b>73</b>
<b>12</b>	Analyses physicochimiques du profil n°10 (Zeribet El Oued non cultivé)	<b>77</b>
<b>13</b>	Analyses physicochimiques du profil n°11 (El Outaya cultivé)	<b>80</b>
<b>14</b>	Analyses physicochimiques du profil n°12 (El Outaya non cultivé)	<b>84</b>
<b>15</b>	Données descriptives sur les eaux d'irrigation des sites de travail	<b>87</b>
<b>16</b>	Données hydrochimiques des eaux	<b>87</b>
<b>17</b>	Données hydrochimiques des eaux	<b>125</b>
<b>18</b>	Données analytiques des sols des serres et du témoin (P1)	<b>126</b>
<b>19</b>	Évaluation des stocks de sels dans la rhizosphère	<b>128</b>

## Table des matières

<b>Introduction</b>	1
<b>Chapitre I : Etat de l'art</b>	
I. État de l'art.....	5
I.1. Qualité des sols .....	5
I.2. Qualités des sols des zones arides.....	6
I.2.1. Principaux types des sols.....	6
I.2.2. Caractéristiques des sols.....	8
I.2.3. Contraintes édaphiques.....	9
I.3. Dégradation de la qualité des sols dans les zones arides.....	10
I.4. Problèmes de l'agriculture irriguée dans les zones arides (aridoculture) .....	11
I.5. Eaux d'irrigation et salinisation des périmètres irrigués dans les zones arides.....	12
I.5.1. Utilisation des eaux salées et risque de salinisation.....	13
I.5.2. Effet de la texture sur la salinité des sols.....	13
I.5.3. Valorisation des eaux d'irrigation.....	14
I.6. Sols des Ziban.....	15
I.6.1. Potentialité agricole.....	15
I.6.2. Répartition des sols des Ziban.....	16
I.6.3. Salinisation des sols des Ziban.....	17
<b>Chapitre II : Matériel et Méthodes d'étude</b>	
II.1. Étude de milieu physique.....	19
II.1.1. Situation géographique.....	19
II.1.2. Caractéristiques climatiques.....	20
II.1.2.1. Précipitations .....	20
II.1.2.2. Température.....	21
II.1.2.3. Vent.....	21
II.1.2.4. Evapotranspiration.....	22
II.1.2.5. Insolation.....	23
II.1.2.6. Humidité relative de l'air.....	24
II.1.2.7. Synthèse climatique.....	24
II.1.2.7.1. Diagramme ombrothermique de Gaussen.....	24
II.1.2.7.2. Climagramme d'Emberger.....	25
II.1.3. Géologie.....	27
II.1.3.1. Géologie générale de la région.....	27
II.1.3.1.1. Les principales unités structurales des Ziban.....	27
II.1.3.2. Stratigraphie de la région d'étude.....	28
II.1.3.2.1. La géologie de la région.....	28
II.1.3.2.1.1 Coupes géologiques.....	29
II.1.3.2.1.2. Quaternaire.....	29
II.1.3.2.1.2.1. Quaternaire actuel.....	29
II.1.3.2.1.2.2. Quaternaire Moyen.....	29

II.1.3.2.1.2.3. Quaternaire ancien (Terrasses) .....	30
II.1.3.2.1.3. Miocène.....	30
II.1.3.2.1.3.1. Miocène supérieur (Pontien) .....	30
II.1.3.2.1.3.2. Pliocène.....	30
II.1.3.2.1.4. Paléogène (nummulitique) .....	30
II.1.3.2.1.4.1. Éocène moyen (Lutétien) .....	30
II.1.3.2.1.4.2 Éocène inférieur (Yprésien) .....	30
II.1.3.2.1.5. Crétacé.....	30
II.1.3.2.1.5.1. Crétacé supérieur.....	30
II.1.3.2.1.5.2. Crétacé inférieur.....	31
II.1.3.2.1.5.3. Tectonique.....	32
II.1.4. Géomorphologie de la région d'étude.....	32
II.1.4.1 Les formes d'érosion.....	32
II.1.4.1.1 La combe du djebel Bou Rhezal.....	32
II.1.4.2 Les chevrons.....	32
II.1.4.3 Les cônes de déjection.....	32
II.1.4.4. Les glacis.....	32
II.1.4.5. Les escarpements d'érosion.....	32
II.1.4.6. Les accumulations de sable.....	32
II.1.5. Relief.....	33
II.1.6. Hydrologie de la région.....	33
II.1.7. Synthèse des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques de la région d'étude.....	34
II.1.8. Végétation.....	36
II.1.9. Étude du sol.....	37
II.2. Matériel et Méthodes d'étude.....	38
II.2.1. Choix du site de travail.....	38
II.2.2. Échantillonnage.....	38
II.2.3. Méthodes d'analyse.....	40
II.2.4. Échantillon du sol.....	40
II.2.5. Échantillon d'eau.....	41
II.2.6. Analyse minéralogique (Diffraction aux rayons X) .....	42

### **Chapitre III : Résultats et Discussion**

III.1. Caractérisation des sols des zones agroécologiques.....	43
III.1.1. Sols sur sédiments gypso-calcaires (Zone 1) .....	43
III.1.1.1. Caractéristiques morphologiques et physico-chimiques des sols de M'ziraa.....	43
III.1.1.1.1 Description morphologique du profil n° 01 (M'ziraa cultivé) .....	43
III.1.1.1.2. Caractéristiques physico-chimiques des sols de M'ziraa (Sols cultivés).....	44
III.1.1.1.3. Description morphologique du profil n° 02 (M'ziraa non cultivé) .....	46
III.1.1.1.4. Caractéristiques physico-chimiques et des sols de Mzirâa (Sols non cultivés) .....	46
III.1.1.2. Caractéristiques morphologiques et physico-chimiques des sols de Doucen.....	50
III.1.1.2.1. Description morphologique du profil n° 03 (Doucen cultivé) .....	50
III.1.1.2.2. Caractéristiques physico-chimiques des sols de Doucen (Sols cultivés) .....	50

III.1.1.2.3. Description morphologique du profil n° 04 (Doucen non cultivé) .....	53
III.1.1.2.4. Caractéristiques physico-chimiques et des sols de Doucen (Sols non cultivés) .....	53
III.1.2. Sols développés sur Deb Deb encroûtée (Zone 2) .....	57
III.1.2.1. Caractéristiques morphologiques et physico-chimiques des sols de Tolga.....	57
III.1.2.1.1 Description morphologique du profil n° 05 (Tolga cultivé) .....	57
III.1.2.1.2. Caractéristiques physico-chimiques et des sols de Tolga (Sols cultivés) .....	57
III.1.2.1.3. Description morphologique du profil n° 06 (Tolga non cultivé) .....	60
III.1.2.1.4. Caractéristiques physico-chimiques des sols de Tolga (Sols non cultivés) .....	60
III.1.2.2. Caractéristiques morphologiques et physico-chimiques des sols d'El Hadjeb - Ain Ben Noui, sol cultivé.....	64
III.1.2.2.1. Description morphologique du profil n° 09 (El Hadjeb sol cultivé - A. Ben Noui sol cultivé).....	64
III.1.2.2.2. Caractéristiques physico-chimiques des sols d'El Hadjeb (Ain Ben Noui, sols cultivés)..	65
III.1.2.2.3. Description morphologique du profil n° 08 d'El Hadjeb (Ain Ben Noui, sols non cultivés)	67
III.1.2.2.4. Caractéristiques physico-chimiques des sols d'El Hadjeb (Ain Ben Noui, sols non cultivés).....	68
III.1.3. Sols argileux (lourds) et calcaires (Zone 3) .....	71
III.1.3.1. Caractéristiques morphologiques et physico-chimiques des sols de Zeribet El Oued.....	71
III.1.3.1.1. Description morphologique du profil n° 09 (Zeribet El Oued cultivé) .....	71
III.1.3.1.2. Caractéristiques physico-chimiques des sols de Zeribet El Oued (sols cultivés) .....	71
III.1.3.1.3. Description morphologique du profil n° 10 (Zeribet El Oued non cultivé) .....	74
III.1.3.1.4. Caractéristiques physico-chimiques des sols de Zeribet El Oued (sols non cultivés) .....	74
III.1.4. Sols salés et argileux (Zone 4) .....	78
III.1.4.1. Caractéristiques morphologiques et physico-chimiques des sols d'El Outaya.....	78
III.1.4.1.1. Description morphologique du profil n° 11 (El Outaya) .....	78
III.1.4.1.2. Caractéristiques physico-chimiques des sols d'El Outaya (sols cultivés) .....	78
III.1.4.1.3. Description morphologique du profil n° 12 (El Outaya non cultivé) .....	81
III.1.4.1.4. Caractéristiques physico-chimiques des sols d'El Outaya (sols non cultivés) .....	81
III.1.5. Synthèse des données morphologiques et analytiques.....	85
III.1.5.1. Première zone agroécologique : Sols sur sédiments -gypso-calcaire.....	85
III.1.5.1.1. Sols cultivés de M'ziraa.....	85
III.1.5.1.2. Sols témoins de M'ziraa.....	85
III.1.5.1.3. Sols cultivés de Doucen.....	85
III.1.5.1.4. Sols témoins de Doucen.....	85
III.1.5.2. Deuxième zone agroécologique : Zone caractérisée par des sols développés sur Deb-Deb.....	85
III.1.5.2.1. Sols cultivés de Tolga.....	85
III.1.5.2.2. Sols témoins de Tolga.....	85
III.1.5.2.3. Sols cultivés d'El Hadjeb (Ain Ben Noui) .....	85
III.1.5.2.4. Sols témoins d'El Hadjeb (Ain Ben Noui) .....	86
III.1.5.3. Troisième zone agroécologique : Zone caractérisée par des sols argileux et calcaires.....	86
III.1.5.3.1. Sols cultivés de Zeribet El Oued.....	86
III.1.5.3.2. Sols témoins de Zeribet El Oued.....	86

III.1.5.4. Quatrième Zone agroécologique : Zone caractérisée par des sols argileux et salés.....	86
III.1.5.4.1 Sols cultivés d’El Outaya.....	86
III.1.5.4.2. Sols témoins d’El Outaya.....	86
III.2. Qualité des eaux d’irrigation.....	86
III.2.1. pH.....	87
III.2.2. Salinité.....	88
III.2.3. Sodicit�.....	88
III.2.4. Faciès chimique.....	88
III.2.5. Classification des eaux.....	89
III.2.6. Conclusion.....	92
III.3. Variation des caractéristiques des sols entre les sols cultivés et leur témoin.....	92
III.3.1. Variation des caractéristiques des sols pour la zone à sédiment gypso-calcaire.....	92
III.3.1.1. M’ziraa.....	92
III.3.1.2 Doucen.....	95
III.3.2. Variation des caractéristiques des sols pour la zone caractérisée par des sols développés sur Deb — Deb encroûtée	97
III.3.2.1. Tolga.....	97
III.3.2.2. Ain Ben Noui (El Hadjeb) .....	99
III.3.3. Variation des caractéristiques des sols pour la zone caractérisée par des sols argileux lourds	101
III.3.3.1. Zeribet El Oued.....	101
III.3.4. Variation des caractéristiques des sols pour la zone caractérisée par des sols argileux et salé (El Outaya)	103
III.3.5. Conclusion.....	105
III.4. Changement de la qualité des sols des Ziban mis sous culture.....	106
III.4.1. Caractérisation générale des sols des quatre zones agroécologiques.....	106
III.4.2. Variation des caractéristiques des sols dans chaque zone.....	106
III.4.3. Changement de la qualité des sols mis sous culture de la zone d’étude.....	107
III.5. �tude minéralogique des sols.....	108
III.5.1. Minéralogie des sols témoins (non cultivé).....	108
III.5.1.1. Sol témoin de M’ziraa.....	108
III.5.1.2. Sol témoin de Doucen.....	109
III.5.1.3. Sol témoin de Tolga.....	110
III.5.1.4. Sol témoin d’Ain Ben Noui (El Hadjeb) .....	111
III.5.1.5. Sol témoin de Zeribet El Oued.....	112
III.5.1.6. Sol témoin d’El Outaya.....	113
III.5.2. Minéralogie des sols cultivés.....	114
III.5.2.1. Sol cultivé M’ziraa.....	114
III.5.2.2. Sol cultivé de Doucen .....	115
III.5.2.3. Sol cultivé Tolga.....	116
III.5.2.4. Sol cultivé Ain Ben Noui (El Hadjeb) .....	117
III.5.2.5. Sol cultivé de Zeribet El Oued.....	118
III.5.2.6. Sol cultivé d’El Outaya.....	119
III.5.3. Synthèse des résultats diffractométriques.....	120

III.6. Dégradation de la qualité des sols sous serres dans la région d'Ain Ben Noui (Biskra).....	121
III.6.1. Choix des serres étudiées.....	121
III.6.2. Qualité des eaux.....	122
III.6.3. Caractérisation physico-chimique des sols étudiés.....	123
III.6.4. Évolution de la salinité.....	124
III.6.5. Conclusion.....	127

**Conclusion générale**

**Bibliographie**

**Annexes**

## Liste des figures

N°	Titre	Page
01	Chromatographie des sels dans le paysage et dans les sols en zone arides	08
02	Situation géographique et administrative de la wilaya de Biskra	19
03	Précipitations moyennes mensuelles durant la période (2000-2010)	20
04	Températures moyennes mensuelles enregistrées au cours de la période (2000-2010)	21
05	Vitesse moyenne mensuelle du vent durant la période (2000-2010)	22
06	Évapotranspiration calculée par la méthode de Penman (2000-2010)	23
07	Insolation moyenne mensuelle (2000-2010)	23
08	Humidité moyenne pour la période (2000-2010)	24
09	Diagramme ombrothermique de Gaussen de la région de Biskra (2000 – 2010)	25
10	Le climagramme du quotient pluviométrique $Q_2$ d'EMBERGER pour la région de Biskra durant la période 2000 – 2010.	26
11	Les principales unités structurales de la région d'étude (Mostephaoui, 2015)	27
12	Esquisse géologique de la région d'étude. « Extrait de la Carte hydrogéologique de Biskra « Carton d'esquisse géologique et tectonique »	29
13	Coupe Hydrogéologique schématique dans la région de Biskra(Kieken,1960 et Guiraud,1973)	31
14	Carte du milieu physique de la wilaya de Biskra (ANRH, 2008)	33
15	Carte pédologique de la région de Biskra (Durant J. H, 1957)	38
16	Carte de localisation des profils	39
17	Profils salins de la région de M'ziraa	47
18	Présentation sur diagramme de PIPER des solutions du sol de M'ziraa	48
19	Profils salins de la région de Doucen	54
20	Présentation sur diagramme de PIPER des solutions du sol de Doucen	55
21	Profils salins de la région de Tolga	61
22	Présentation sur diagramme de PIPER des solutions du sol de Tolga	62
23	Profils salins de la région d'El Hadjeb	69
24	Présentation sur diagramme de PIPER des solutions du sol d'El Hadjeb	69
25	Profils salins de la région de Zeribet El Oued	76
26	Présentation sur diagramme de PIPER des solutions du sol de Zeribet El Oued	76
27	Profils salins de la région d'El Outaya	83
28	Présentation sur diagramme de PIPER des solutions du sol d'El Outaya	83
29	Carte de la conductivité électrique (CE) des eaux d'irrigation de la région d'étude	90
30	Carte du SAR des eaux d'irrigation de la région d'étude	90
31	Diagramme de Piper des eaux d'irrigation	91
32	Diagramme de Riverside des eaux d'irrigation de la zone d'étude (Simler, 2013)	91
33	Diagramme de Wilcox des eaux d'irrigation (Simler, 2013)	92
34	Variation des caractéristiques des sols dans la région de M'ziraa	95
35	Variation des caractéristiques des sols dans la région de Doucen	97
36	Variation des caractéristiques des sols dans la région de Tolga	99
37	Variation des caractéristiques des sols dans la région d'El Hadjeb	101
38	Variation des caractéristiques des sols dans la région de Zeribet el oued	103
39	Variation des caractéristiques des sols dans la région d'El Outaya	105
40	Le diffractogramme du profil témoin de M'ziraa (Horizon 2)	109

<b>41</b>	Le diffractogramme du profil témoin de Doucen (Horizon 2)	<b>110</b>
<b>42</b>	Le diffractogramme du profil témoin de Tolga (Horizon 2)	<b>111</b>
<b>43</b>	Le diffractogramme du profil témoin d'El Hadjeb (Horizon 2)	<b>112</b>
<b>44</b>	Le diffractogramme du profil témoin de Zeribet El Oued (Horizon 2)	<b>113</b>
<b>45</b>	Le diffractogramme du profil témoin d'El Outaya (Horizon 2)	<b>114</b>
<b>46</b>	Le diffractogramme du profil cultivé de M'ziraa (Horizon 2)	<b>115</b>
<b>47</b>	Le diffractogramme du profil cultivé de Doucen (Horizon 2)	<b>116</b>
<b>48</b>	Le diffractogramme du profil cultivé de Tolga (Horizon 2)	<b>117</b>
<b>49</b>	Le diffractogramme du profil cultivé d'El Hadjeb (Horizon 2)	<b>118</b>
<b>50</b>	Le diffractogramme du profil cultivé de Zeribet El Oued (Horizon 2)	<b>119</b>
<b>51</b>	Le diffractogramme du profil cultivé d'El Outaya (Horizon 2)	<b>120</b>
<b>52</b>	Position des serres par rapport au drain (sans échelle)	<b>123</b>
<b>53</b>	Variation des profils salins dans la serre "S <sub>2</sub> "	<b>127</b>
<b>54</b>	Variation des profils salins dans la serre "S <sub>4</sub> "	<b>127</b>
<b>55</b>	Variation des profils salins dans le témoin "T"	<b>128</b>



# *Introduction*

### Introduction

Les régions sahariennes sont situées sous un climat hyper aride, caractérisées avec de fortes contraintes du point de vue biotique et édaphique. Elles sont caractérisées par un climat désertique avec des températures élevées, une forte évaporation et une grande intensité des vents accompagnés le plus souvent de sable et par une faible pluviométrie. Toutes ces conditions négatives rendent impossible toute pratique des cultures sans irrigation (Khadraoui, 2010).

La pédogenèse en dehors des zones endoréiques est limitée à une désagrégation physique où les processus chimiques et biologiques n'interviennent que très peu. Cela se traduit par une couverture pédologique constituée de sols minéraux bruts ou peu évolués de faibles fertilités : texture sableuse, pauvres en matière organique, sans structure construite, faible capacité de rétention en eau, faible réserve en éléments nutritifs et sujets à une forte érosion éolienne. Dans les zones endoréiques, sans exutoires naturels, représentées essentiellement par les Oasis, où les sols sont plus évolués par la suite des pratiques d'une agriculture irriguée intensive. Les sols de ces régions sont plus riches en matière organique, en éléments fins et en éléments nutritifs. Ils sont caractérisés par une structure construite, mais sujettes à une forte salinisation qui limite leur productivité (CRSTRA, 2016).

La rationalisation des écosystèmes existants aussi bien que la mise en valeur ne peuvent être réalisés que par la maîtrise du continuum eau-sol-climat. Or, les eaux d'irrigation indispensables pour le développement agricole dans ces régions entraînent une évolution des sols et un changement de leur qualité. Parmi les facteurs de cette évolution, il y a lieu de citer le contexte topographique des zones irriguées, les techniques d'irrigation et surtout les caractéristiques des sols et des eaux. Dans un tel environnement (milieu très évaporant, endoréismes, sols peu fertiles) les eaux d'irrigation, quoique de composition variable selon leur origine (type d'aquifères et eaux de surface) sont de qualité médiocre et influencent fortement la qualité des sols avec des conséquences sur la productivité et sa durabilité (CRSTRA, 2016).

L'Algérie est classée parmi les pays les plus déficitaires en eaux, en raison de son appartenance à la zone géographique du « Middle- Est and North Africa (MENA) ». La quasi-totalité de son territoire (plus de 85 %) est classée en zone désertique et sa pluviométrie moyenne annuelle est estimée à 89 mm. De ce fait, l'Algérie est classée parmi les 13 pays africains qui souffrent le plus du manque d'eau (Mouhouche, 2008). En Algérie, les zones arides sont caractérisées par des précipitations faibles très irrégulières, une évapotranspiration très importante, une végétation très clairsemée, des sols pauvres et dégradés, des dépôts géologiques salifères et des nappes phréatiques ou artésiennes salées (Halitim, 1985).

L'utilisation des terres agricoles dans le sud du pays (Sahara) est généralement déterminée par les disponibilités en eau (puits, foggaras et forages). Certes le Sahara recèle deux éléments essentiels du développement de l'agriculture : l'eau, dans certaines régions, est très abondante, mais son exploitation doit cependant obéir à des normes très strictes, afin de ne pas rompre l'écosystème fragile du Sahara. Le sol, disponible sur de vastes étendues présente des problèmes pédogénétiques nécessitant des travaux d'amélioration (Daoud et Halitim, 1994 ; Djili et al., 2003, et Khadraoui, 2010).

Appartenant à ces régions arides, les Ziban est une vaste région à haut potentiel agricole située dans la wilaya de Biskra à 500 km au sud-est de l'Algérie. Elle a toujours été une zone d'échange entre l'élevage pastoral et la culture irriguée avec près de 10 000 points d'eau (forages, nappes et sources) et deux barrages (Rechachi, 2017). La superficie agricole de la wilaya de Biskra est estimée à 1,6 million d'hectares, englobant des terres de parcours et des terres destinées à l'agriculture. La surface agricole utile (SAU) pour l'activité agricole est passée de 132 094 ha en 1999 à 190 000 ha en 2017. La superficie irriguée a également évolué de plus de 40 % depuis 1999, passant ainsi de 64 080 ha, à 111 170 ha. Une évolution qui a fait de la wilaya la première en matière de production agricole nationale. Elle a atteint le chiffre de 238 milliards de dinars, devenant ainsi la première fournisseuse nationale de produits agricoles (DSA, 2017).

Les Ziban, connus il y a une trentaine d'années, par trois principales activités agricoles, en l'occurrence la phoeniciculture, l'élevage ovin (race Ouled - Djeljel) et la céréaliculture, connaissent ces dernières années le développement des cultures sous abris Serres (plasticulture) qui ont pris un essor capital dans toute la région (Darouiche et al., 2016). La Direction des services agricoles de Biskra (DSA) en 2017 estime cette superficie à 5 444 ha.

La wilaya de Biskra (Ziban) est le bassin clé pour plusieurs spéculations agricoles et joue un rôle incontournable dans l'approvisionnement du marché national en produits de large consommation. Outre, la datte dont la région est la terre de prédilection à l'instar des wilayas d'El Oued et Ghardaïa, le marché des produits agricoles doit son approvisionnement permanent, en hors-saison, à la wilaya de Biskra, où les légumes sont produits durant toute l'année. Biskra, assure à elle seule, 26 % de la valeur de la production en matière de dattes, et 40 % en matière de cultures maraîchères (Maouchi, 2019).

Pourquoi le choix de la région d'étude les Ziban, parce qu'elle subit actuellement à la suite de l'application du programme FNDRA (Fonds National de Développement Rural et Agricole) et le PNDA (Plan National de Développement Agricole), un acharnement sans précédent de la part des agriculteurs. De nouveaux périmètres agricoles sont exploités en irrigué sans études pédologiques et hydrologiques préalables. Par conséquent l'impact de l'irrigation se répercute sur l'évolution de

la qualité des sols avec l'apparition de grandes plages de salinisation secondaire des sols (Mostephaoui et Bensaid, 2014).

Dans les zones arides d'Algérie, les études pédologiques restent très limitées et les sols sont insuffisamment connus. D'une manière générale, les sols du Sahara sont à l'exemple de la région des Ziban, les sols posent d'énormes problèmes de mise en valeur. Ils présentent souvent des croûtes calcaires ou gypseuses et sont la plupart du temps salé ou sujet à une salinisation secondaire et à l'érosion éolienne (Aubert, 1960, et Halitim, 2006).

Les sols des Ziban ont été étudiés par plusieurs auteurs, Bensaid (1999), Abd Esselam (1998), Rouahna (2007 - 2019) et Mostephaoui (2015) sur les sols gypseux. Belguemmaz (2000), Kachai (2001) et Bala (2005) sur les sols salés et Khadraoui (2010) et Rechachi (2017) sur l'irrigation et la salinisation des sols et bien d'autres... les chercheurs du Centre de recherche en régions arides (CRSTRA) a aussi, réalisé plusieurs travaux dans le cadre de ces missions sur la qualité et le comportement des sols et les cultures vis-à-vis de la salinité et leurs améliorations.

La planification rationnelle d'un développement durable dans ces régions nécessite une bonne connaissance des sols, particulièrement du point de vue pédologique. Le développement agricole passe impérativement par la connaissance aussi, de la quantité et la qualité des eaux de surface ou de profondeur, ainsi que, la maîtrise et l'optimisation de l'irrigation (Assami et al., 2014). Car, dans la plupart des études montrent que les sols du Sahara sont étroitement liés à la géomorphologie et la géologie du substratum de chaque région (Aidaoui, 1994). Par ailleurs, la région des Ziban est caractérisée par des zones agroécologiques différenciées, entrent-elles par certaines caractéristiques physico-chimiques (texture, taux de sels, gypse et calcaire).

Notre travail consistera à délimiter et caractériser les zones agroécologiques de cette région saharienne. Sur la base de la nature géologique du substratum des sols, nous avons délimité quatre catégories de zones : la première zone est caractérisée par la présence de sols sur sédiments gypso-calcaires (M'ziraa et Doucen) ; la deuxième zone est caractérisée par la présence des sols sur Deb-Deb encroûté (Tolga et Ain Ben Noui ou El Hadjeb) ; la troisième zone est caractérisée par des sols argileux lourds et calcaires et la quatrième zone est caractérisée par des sols sur matériaux salés et argileux.

A cet effet, on se propose d'étudier les sols et les eaux de ces quatre zones et analyser les changements induits par la mise en valeur en irrigué sur ces milieux.

La première zone (M'ziraa et Doucen) est occupée par le maraîchage sous serre ainsi que, les cultures de plein champ où les céréales ont irriguées sont les plus dominants. La deuxième zone de Tolga et Ben Noui est choisie pour la grande quantité de ses dattes, telle que la Deglet nour, qui est une variété connue mondialement on y trouve plus de 500 000 palmiers dattiers. On trouve aussi dans ces zones

des cultures maraîchères sous serres, alors que la troisième zone de Zeribet El Oued est connue par des cultures industrielles (tabacs, henné, épices) et des cultures céréalières. Quant à la dernière zone d'El Outaya, elle est caractérisée par des cultures céréalières et maraîchères.

Dans ces régions, la salinité porte atteinte à la production agricole. Parmi les facteurs qui sont à la base de la baisse de production on a l'accumulation des sels ; Qui à long terme, concoure à la dégradation des sols et aux dégâts de la qualité de la production agricole. Dans ce contexte, une partie de notre thèse portera sur le changement de qualité des sols mis en culture sous serres dans un milieu aride. L'irrigation avec une eau salée entraîne une accumulation des sels dans le profil. Il s'agit donc d'étudier cette accumulation dans la partie supérieure des sols irrigués et dans sa partie médiane (rhizosphère). Les essais concernent deux périodes distinctes, une période en pleine irrigation (le mois de mars) et l'autre en fin de saison (le mois de septembre), ou un bilan des transferts des dépôts salins durant la campagne agricole sera calculé.

Cette deuxième partie du travail s'est déroulée à l'Institut Technique du Développement de l'agronomie saharienne (I.T.D.A.S) d'Ain Ben Noui (Biskra). Notre choix s'est porté sur cette station expérimentale pour des raisons de proximité, la présence des cultures sous serres, la possibilité de faire de l'irrigation en permanence, la disponibilité en moyens matériels et humains qualifiés et l'accueil chaleureux.

Notre étude comporte trois chapitres :

- Le premier chapitre est réservé à une synthèse bibliographique concernant les sols et leurs distributions spatiales aux Ziban.
- Dans le deuxième chapitre, il sera question de la présentation de la zone d'étude et la présentation du matériel et méthodes d'étude.
- Le troisième chapitre sera consacré aux résultats, discussions et nous terminons enfin par une conclusion.

*Chapitre I*  
*Etat de l'art*

## I. État de l'art

### I. 1. Qualité des sols

La qualité du sol est un élément essentiel pour l'évaluation de la durabilité de la mise en valeur agricole intensive. Un aménagement du sol ne peut être durable que s'il maintient la qualité des sols et eaux ou l'améliore (Larson et Pierce, 1992). Depuis 1990, plusieurs définitions de la qualité des sols ont été proposées ; la qualité du sol était définie comme étant la résultante des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol permettant la croissance et le développement des cultures, la régulation et la partition des flux d'eau à travers l'environnement et enfin jouant le rôle de filtre épurateur vis-à-vis des polluants (Larson et Pierce, 1992) ; la qualité d'un sol est « la capacité d'un sol à fonctionner en maintenant la productivité biologique, la qualité de l'environnement et la santé des plantes et des animaux ». Cette définition est la plus citée aujourd'hui (Coll et al., 2012). D'autres précisions l'on enrichit comme l'intégration de la notion de durabilité (Doran et Zeiss, 2000) et l'importance de considérer la qualité du sol dans un contexte (Doran et Salfey, 1997) et pour utilisation donnée (Martin et al., 1999).

Cette qualité dépend de multiples facteurs. Il faut distinguer ceux intrinsèques aux sols et ceux d'origine externe, avec plus spécialement ceux liés à l'environnement (climat en particulier). Au plan physique, le sol est non seulement un support pour le passage des animaux et des engins, mais aussi un réservoir et un lieu de transit pour l'eau et les gaz. Son aptitude à permettre le transport de l'eau et des gaz d'un endroit à un autre conditionne le développement de l'ensemble de la biomasse et en particulier des végétaux. Au plan chimique, le sol est avant tout la source d'ions indispensables pour les plantes. La présence d'ions en excès utiles ou non, pour les plantes, peut alors être à l'origine de phénomènes de toxicité (Tessier et al., 1996).

La qualité biologique des sols fait référence à l'abondance, à la diversité et à l'activité des organismes vivants qui participent au fonctionnement du sol. Plus précisément, dans une perspective agronomique, on peut considérer que la qualité biologique des sols est formée de quatre composantes principales (Chaussod, 1996) :

- ✓ La fertilité c'est la capacité d'un sol à répondre aux besoins de la plante, notamment à travers l'activité des nombreux micro-organismes participant aux cycles biogéochimiques ou aux symbioses racinaires ;
- ✓ À l'état sanitaire au sens large du terme englobant les populations des ravageurs, des pathogènes et des plantes adventices.
- ✓ Les externalités (impact environnemental du fonctionnement du sol, au niveau des eaux

superficielles ou souterraines ainsi qu'au niveau de l'atmosphère)

- ✓ La résilience (caractérisant à la fois l'inertie et l'aptitude au retour à l'état initial après une perturbation).

Il est clair que la qualité biologique des sols cultivés est en fait la résultante d'un ensemble de facteurs environnementaux (type de sol, climat) et anthropiques (système de culture, pratique culturale).

La qualité des sols apparaît alors comme ayant été à la fois un facteur d'évolution de leur mise en valeur et de façon plus générale, de différenciation de nos paysages au cours du temps. À l'avenir, la qualité des sols sera sans aucun doute mieux prise en compte, car elle est un élément essentiel de toute réflexion ayant pour objectif une agriculture durable dans le respect de l'environnement (Tessier et al., 1996 ; Badraoui et al., 1998).

La reconnaissance de la qualité des sols « apparaît ainsi comme la méthode garantissant au mieux la mise en œuvre d'une politique enfin efficace pour la protection des sols (Cecillon, 2009 in Desrousseaux, 2015).

## **I.2. Qualités des sols des zones arides**

Dans les zones arides, les études pédologiques restent très limitées et les sols sont insuffisamment connus. Cependant, les travaux cartographiques réalisés ont permis de montrer la grande extension des sols salés (Halitim, 2006). La plupart de ces études montrent que les sols du Sahara sont étroitement liés à la géomorphologie et la géologie du substratum de chaque région (Aidaoui, 1994).

### **I.2.1. Principaux types des sols**

Selon la classification française (CPCS, 1967) la couverture pédologique offre une grande hétérogénéité et se compose de plusieurs classes où ressortent des groupes qui définissent le processus d'évaluation du sol, des sous-groupes pour l'intensité du processus et enfin les familles par le caractère du matériel pétrographique sur lequel se forme le sol (Tableau 01).



Tableau 01 : Principaux types de sols au Sahara Algérien (CPCS, 1967 in Halilet, 1998)

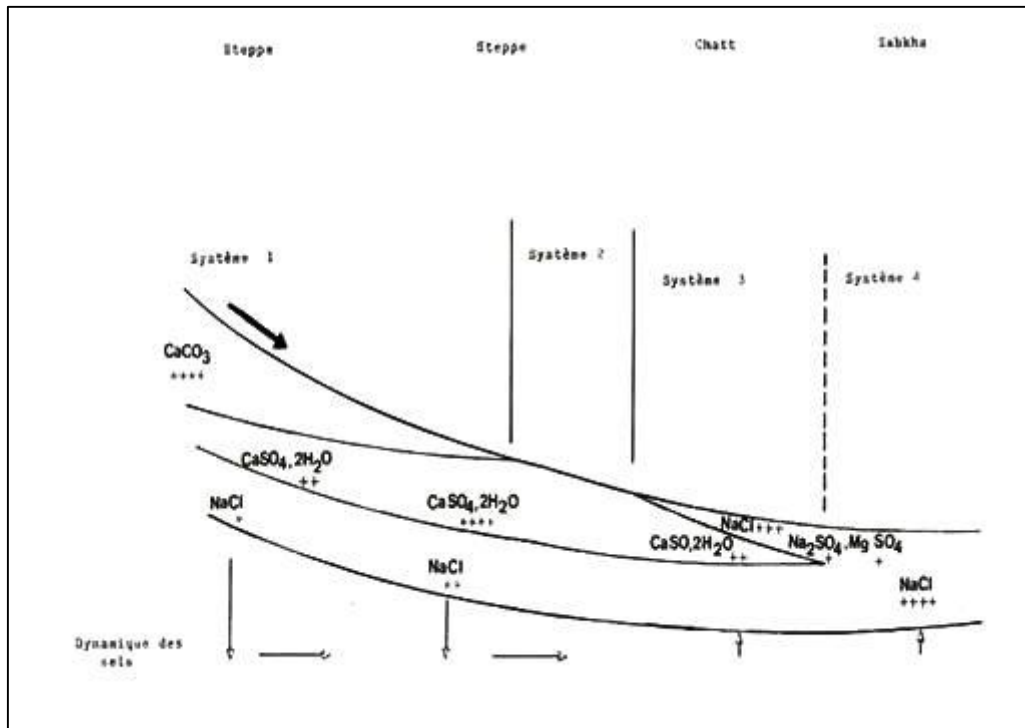
Classes	Groupes	Sous-groupes
1 –Classes des sols peu évolués non climatiques	Sols bruts d'apport	Sol anthropique (représenté dans l'extension des palmeraies vers les chotts).
		Sols hydromorphes de pseudogley.
		Sols hydromorphes d'amas, nodules et cristaux gypseux.
		Sols modaux.
2 –Classes des sols hydromorphes minéraux	Sols à Gley de surface	
	Sols à pseudogley de surface ou d'ensemble	
	Sol à accumulation de gypse	Sous-groupe à croûte ou à blanc cristallin.
		Sous-groupe à encroûtement gypseux.
		Sous-groupe à amas et cristaux gypseux.

Mais cette diversité ne doit pas cacher leur caractère principal et quasi général : le rôle que jouent les sels au sens large du terme (le calcaire, le gypse et les sels solubles). À l'échelle du paysage, la distribution des sels s'effectue selon un ordonnancement spatial et temporel qui s'inscrit dans des toposéquences et chronoséquences (Halitim, 2006) :

- Les fortes accumulations calcaires occupent les parties hautes et les glacis les plus anciens des séquences ;
- Les fortes accumulations gypseuses occupent les parties médianes des séquences ;
- Les fortes accumulations de sels solubles occupent les parties basses et les niveaux les plus récents des séquences.

À l'échelle du profil, la distribution verticale et l'interpénétration des différents faciès salins ont fonction de la position topographique et de la texture des sols ainsi que des caractéristiques de la nappe superficielle (Figure 01).

Plus les niveaux géomorphologiques sont récents, plus les sels solubles sont proches de la surface et moins l'individualisation du calcaire est forte. Les conditions actuelles favorisent dans ces régions une pédogenèse halomorphe et gypsomorphe au détriment de la calcimorphe (Halitim, 2006).



**Figure 01 : Chromatographie des sels dans le paysage et dans les sols en zone aride (Halitim, 2006)**

Le paysage saharien est composé généralement dans la partie amont, de sols sableux éoliens peu profonds, à croûte gypseuse, et en partie aval, de sols sableux éoliens, plus profonds à encroûtement de nappe gypseuse plus récent, les sols deviennent hydromorphes dans les dépressions hyper salées composées d'alluvion fine (Mitimet, 1998).

### I.2.2. Caractéristiques des sols

La particularité des sols du Sahara est leur régime hydrique qui est du type aridique. Ils sont généralement pauvres en élément minéral où le taux de calcaire élevé insolubilise le phosphore et diminue son assimilation, la perméabilité est élevée et provoque des pertes par lessivage d'éléments minéraux notamment les nitrates. Leur faible teneur en argile leur confère une faible capacité d'échange cationique (Daoud et Halitim, 1994 ; Rezki, 2000 ; Halilet et Dogar, 2000).

Les sols des régions arides, supportant des conditions aussi sévères, présentent un certain nombre de caractères constants : évolution lente, profondeur souvent réduite, matière organique fortement évoluée, peu abondante et superficielle ou un peu plus abondante et répartie dans l'ensemble du profil, bien affectée par la salinité (Dellal et Halitim, 1992).

En général, la structure de ces sols est faiblement définie ; éléments minéraux assez peu

altérés ; colloïdes argileux stables ; éléments solubles concentrés en surface ou partiellement lessivés et accumulés, à un niveau ou un autre du profil, jusqu'à donner naissance à des nodules ou à des croûtes calcaires, gypseuses ou salées ; fréquence, au moins dans les sols des zones semi-arides, des phénomènes d'hydromorphes. Très souvent calcaires, ces sols sont aussi fréquemment salés. (Aubert, 1960).

Un autre trait caractéristique des sols des régions arides est relatif à la nature des minéraux argileux. En effet, les principaux minéraux argileux des sols sont l'illite, les smectites et la palygorskite. Cette dernière est présente principalement dans les sols de haut de séquences géochimiques occupées par de fortes accumulations calcaires. Elle serait néoformée et palépedologique. Quant aux smectites, elles sont représentées essentiellement par des beidellites de transformation et leur quantité augmente en bas des toposéquences à smectites aux milieux amont à palygorskite (Halitim, 1989).

Dans ces régions, la pénurie et la rareté des pluies et la forte évaporation affectent l'eau et l'équilibre des sels dans le sol. Les facteurs climatiques sont très favorables à l'extension des sels, à la concentration de la solution du sol et à la précipitation des sels dans la zone racinaire et l'horizon superficiel entraînant la salinisation (Hachicha, 2007). Cette salinisation des sols est identifiée comme un processus majeur de la dégradation des terres irriguées conduisant souvent à une diminution de la production sur de nombreux périmètres selon la vulnérabilité de leur sol, particulièrement dans ces régions qui dans plusieurs des cas mettent en cause leur pérennité (Daoud et Halitim, 1994 ; Djili et al., 2003).

### **I.2.3. Contraintes édaphiques**

Les sols des régions arides présentent plusieurs contraintes agronomiques :

- Sols de profondeur avec une texture variable, gestion et méthodes d'aménagement différentes, choix des cultures, techniques culturales, pollution (Halitim, 2011) ;
- Sols basiques, calcaires ou gypseux et salés, faible fertilité, stress salin, dégradation de la structure, biodisponibilité des nutriments, entrave au développement du système racinaire, technique culturale inappropriée et faible productivité des plantes (Halitim, 1989) ;
- Tendance à l'extension de la salinisation et une sensibilité à la dégradation et à la désertification (Daoud et Halitim, 1994) ;
- Sols pauvres en matière organique (faible fertilité, dégradation de la structure, érosion, diminution de la couche arable, baisse de la réserve en eau et de la productivité (Halitim, 2011) ;
- Sols hydromorphes ; oasis, endoréisme, maîtrise de l'irrigation, drainage, choix des périmètres irrigués (Halitim, 2011) ;

### I. 3. Dégradation de la qualité des sols dans les zones arides

Actuellement, plus de 2/3 de la superficie du continent africain est couverte de zones fortement dégradées ou désertiques (Dia et Niang, 2012) in (Minda et al., 2015). La surexploitation des eaux souterraines, couplée au phénomène de la sécheresse, conduit inévitablement à la dégradation des sols et des eaux, qui se traduisent par des problèmes de salinisation, de codification et de détérioration de la structure des sols (El oumlouki, 2014). Cette salinisation est considérée comme une cause majeure de désertification et constitue donc une forme grave de dégradation des sols (Heller et al., 1998) in (Minda et al., 2015).

La matière organique du sol est un indicateur important de la dégradation de la qualité des sols en raison de sa contribution dans la stabilité du sol, l'augmentation de la capacité de rétention en eau du sol, la fixation des éléments minéraux, et le substrat pour les micro-organismes du sol. Le contenu en matière organique des sols est influencé en gros par les facteurs climatiques, la végétation, la texture du sol, les conditions topographiques, influençant le microclimat et le drainage et les pratiques culturales (Drouet, 2010).

La présence de sels à la surface du sol est utilisée comme marqueurs de caractéristiques hydro-pédologiques. Ces sels solubles se précipitent à la surface du sol à partir des nappes peu profondes pendant la longue saison sèche. La salinisation est le processus qui accroît la quantité de sels dans les sols lorsque celle-ci est trop élevée, la plupart subissent un stress qui ressemble à celui provoqué par une sécheresse. L'alcalinisation se produit lorsque le pH du sol augmente à des valeurs supérieures à 8,2. Elle est souvent accompagnée du processus de sodisation ; lorsque le sodium est l'élément majoritaire adsorbé sur les argiles, il produit un cortège d'effet physique et chimique préjudiciable pour le sol et la plante (Boualla et al., 2012).

La dégradation des sols par salinisation ou alcalinisation apparaît comme toile de fond à tous les aménagements hydro-agricoles en zone aride ou semi-aride. Dans ces régions, les eaux soumises à une forte évaporation ont tendance à se concentrer et à se saler (IRD, 2008). Une salinisation trop importante est accompagnée parfois d'une alcalinisation du complexe absorbant des sols. Ce sont là les types de dégradation la plus fréquente et couverts liés à la désertification. Plus l'aridité est forte, plus l'irrigation est incontournable à la culture et plus son usage est risqué (Boualla et al, 2012).

La dégradation des sols salés est souvent chimique, en fait c'est très compliqué et en même temps intéressant. Les différents anions et cations pèsent dans le milieu ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , etc.) co-précipitent de différente manière. Le pH du sol va être déterminé par les plus réfractaires à la précipitation. Ce sont ceux qui sont spécialement abondants et, en plus,

spécialement solubles. Suivant les cas, on obtient toutes sortes de sels différents : chlorure, sulfates, carbonates, nitrates. Lorsque le sodium est en abondance dans l'eau, le sol a tendance de se flocculer. Par contre, quand le sodium est abondant surtout au niveau de l'argile, le sol a une tendance à se disperser (Legros, 2009).

La dégradation de la qualité des sols et des eaux à la suite de l'irrigation constitue un danger sérieux pour la durabilité de ce système d'exploitation des terres. Il est bien connu que la mise en valeur agricole sous irrigation dans les zones arides conduit le plus souvent à la dégradation de la qualité des sols (Larson et Pierce, 1992 ; Boualla et al., 2012).

#### **I.4 Problèmes de l'agriculture irriguée dans les zones arides (aridoculture)**

Les régions sahariennes sont situées sous un climat hyper aride, avec de fortes contraintes du point de vue biotique et édaphique. La pédogenèse en dehors des zones endoréiques est limitée à une désagrégation physique où les processus chimiques et biologiques n'interviennent que très peu. Cela se traduit par une couverture pédologique constituée de sols minéraux bruts ou peu évolués de faibles fertilités : texture sableuse, pauvres en matière organique, sans structure construite, faible capacité de rétention en eau, faible réserve en éléments nutritifs et sujets à une forte érosion éolienne. Dans les zones endoréiques, sans exutoires naturels, représentées essentiellement par les Oasis, les sols sont plus évolués par la suite des pratiques d'une agriculture irriguée intensive. Ils sont plus riches. En matière organique, en éléments fins et en éléments nutritifs, avec des structures construites, mais sujettes à une forte hydromorphe et à une salinisation limitant leurs productivités (CRSTRA, 2016).

L'aridoculture signifie le développement d'une agriculture prenant en considération la faiblesse des précipitations, le caractère fossile des eaux souterraines et la fragilité des écosystèmes généralement peu productifs, des régions, devant être techniquement et économiquement performants, pour répondre aux besoins de la société, et respectueuse de l'environnement et durable (Halitim, 2006).

Dans ces régions, les activités agricoles sont difficiles. Elles requièrent une expérience avérée et des précautions spécifiques non négligeables. En effet, de nombreuses pratiques agricoles se sont avérées inadaptées, aussi bien pour l'environnement que pour la durabilité de l'agriculture telle que : la désertification, l'érosion, la salinisation, l'hydromorphie, la remontée des nappes superficielles, la pollution, la diminution de la biodiversité, la baisse de la fertilité des terres, la prolifération des maladies, l'entraînant ainsi qu'une chute des rendements des cultures, ajouté à cela la non-maîtrise de l'itinéraire technique (CRSTRA, 2016).

Dans les régions arides, la contrainte environnementale majeure qui limite la production agricole est la sécheresse et les températures élevées, d'où l'agriculture est exclusivement menée

dans des périmètres irrigués où la plupart des sols sont des formations calcaires, gypseuses et des sols peu évolués d'apport éolien. Néanmoins, au vu du taux de salinité relativement élevé qui caractérise les eaux souterraines dans ces régions, les agriculteurs sont confrontés à un épineux problème de la remontée des sels qui accélère la baisse du rendement des terres mises en valeur. Ce qui à long terme risquerait l'exode des populations de ces régions (Mostephaoui, 2014).

Selon Dubost (2002) et Halitim (2011), l'aridoculture est confortée aux contraintes climatiques :

- Des pluies insuffisantes (inférieures à 400mm/an) et irrégulières (déficit hydrique) mal réparties dans le temps et dans l'espace. Elle tombe souvent sous forme d'orage (inondation ruissellement et érosion), et parfois même en grêle (accident météorologique sur les cultures) ;
- Des températures élevées avec de grandes amplitudes thermiques, ce qui augmenterait l'évapotranspiration qui provoquerait une salinisation suivie d'une dégradation de la matière organique... etc.) ;
- Des vents fréquents et violents, parfois chauds (érosion éolienne, désertification, formation du paysage dunaire, menace des agglomérations, infrastructure et zones agricoles).

Dans ces régions, les principales contraintes hydriques du point de vue agronomique et environnemental, sont les suivantes : Ressources hydriques insuffisantes d'origine souterraine et souvent fossile avec un coût d'exploitation élevé, elles sont généralement de qualité médiocre à saler, elles provoquent une dégradation de la qualité des sols (salinisation, sodisation, changement de faciès géochimique), les eaux ont une forte température pouvant atteindre les 55 °C et de plus nécessitent un équipement pour refroidir (Khadraoui, 2006).

Le développement d'une agriculture saharienne moderne et à grande échelle, pouvant contribuer de manière significative à la réduction de la facture alimentaire, nécessite la mise en place d'une véritable politique nationale en la matière et la mobilisation de moyens financiers, matériels, techniques et scientifiques adéquats. Ce développement saharien passe impérativement par la maîtrise des intrants essentiels et fondamentaux qui sont l'eau et le sol (Khadraoui, 2010).

### **I.5 Eaux d'irrigation et salinisation des périmètres irrigués dans les zones arides**

Les régions climatiques désertiques sont idéales pour l'extension des caractères de salinité des sols. Ainsi, les sols de la zone saharienne en régions arides et semi-arides, ainsi que les surfaces à hautes potentialités agricoles sont de plus en plus rares et les surfaces irriguées sont en nette augmentation. Il est donc impératif d'accorder une grande importance à ces espaces irrigués (Saidi et al., 2010).

En effet, le développement des systèmes d'irrigation a permis la mise en valeur des terres

arables en zones arides et semi-arides. C'est ainsi que depuis une cinquantaine d'années, de grands périmètres d'irrigation à grande échelle ont modifié le fonctionnement des sols et accru le risque de leur salinisation (Cruet-Crgr, 1970 in Askri et Bouhlila, 2010).

### **I.5.1. Utilisation des eaux salées et risque de salinisation**

Dans les régions arides, le choix des eaux d'irrigation est limité à cause de non-disponibilité des eaux de bonne qualité à l'irrigation. Le choix des eaux d'irrigation s'effectuera en relation avec la caractérisation du sol et le profil salin compatible avec les spéculations pratiquées (Benaouda et al., 2008).

Pour l'eau d'irrigation, on parle alors de salinisation anthropique. Elle peut être très rapide et se manifester à l'échelle de l'année, de la dizaine d'années ou de quelques siècles. Ce type de salinisation est la conséquence de pratiques agricoles dues à mauvaise combinaison d'une forte évaporation et d'un apport inadapté d'eau d'irrigation en relation avec son contenu en sels dissous. La remontée de la nappe phréatique peut atteindre plusieurs dizaines de mètres (IRD, 2008).

Les eaux d'irrigation en régions arides du Maghreb sont riches en chlorures, mais aussi en sulfates, surtout les eaux de nappes profondes et les eaux géothermiques. Ces eaux ont des incidences sur les plantes et auront à long terme un impact certain sur la typologie des sols de ces régions (Halitim, 2011).

L'irrigation non contrôlée avec des eaux salées concentre les sels en surface sans pouvoir les lessiver, car le drainage est insuffisant. Elle est aussi excessive par rapport aux besoins des plantes. Elle contribue à la remonte du niveau de la nappe phréatique sous l'effet du pouvoir évaporant par accumulation des sels dans la rhizosphère dans la tranche supérieure du sol et sa surface (Bala, 2005 ; Boualla et al., 2012 et Koull, 2013).

L'utilisation d'une eau légèrement salée a augmenté de 3 à 4 fois la salinité initiale du sol à la suite de l'application des trois modes d'irrigation, le goutte-à-goutte, l'aspersion et le système gravitaire. Les concentrations en sels sont plus importantes dans l'horizon 0-20 cm et plus particulièrement dans le cas du goutte-à-goutte. La distribution verticale et horizontale des sels était plus uniforme pour le système d'irrigation gravitaire et d'aspersion, alors que les zones de forte concentration en sels ont été observées dans le cas du système goutte à goutte (Askri et Rejeb, 2000 ; Koull, 2013).

### **I.5.2. Effet de la texture sur la salinité des sols**

Dans l'ordre des textures, les sols sableux ne risquent pas de saler facilement par l'irrigation puisqu'ils ne retiennent pas l'eau, les sols à texture moyenne gardent de l'eau dans leurs horizons superficiels, cette eau a tendance à migrer vers le haut, attiré par les forces capillaires,

puis à s'évaporer et à déposer ses sels. Il faudra donc prévoir d'autant plus d'eau de lessivage que cette eau est plus chargée en sels. Les sols à texture très fine retiennent bien l'eau et laissent d'autant moins s'infiltrer que leur texture est plus fine ; chaque irrigation laissant sur le sol la quantité de sels contenue dans l'eau utilisée. Ces phénomènes rendent nécessaire un bon drainage qui malgré tout, laissera dans le sol une certaine quantité de sels dont devront s'accommoder les plantes cultivées (Durand, 1983). Dans les sols, le sodium peut s'adsorber sous forme ionique à la surface des argiles et s'accumuler à la faveur de l'évaporation sous forme de solution concentrée et de cristaux de sels (Boualla et al., 2012).

Les qualités que l'on doit rechercher pour des terres à irriguer dépendent de celles des eaux à utiliser et des quantités disponibles. Des terres sableuses nécessitent des débits très importants, mais peuvent recevoir des eaux très minéralisées, comme celles utilisées dans le sud de Tunisie qui dépassent 5 g/l, en sens inverse, les masses d'eau nécessaires sont plus réduites sur des terres lourdes, mais celles doivent être de bonne qualité et de bon drainage. Là se trouve l'une des limites pratiques de la mise en valeur des terres lourdes des zones arides (Auberts, 1960).

### **I.5.3. Valorisation des eaux d'irrigation**

On peut réduire le risque de l'utilisation des eaux salées en irrigation par l'adoption d'un mode d'irrigation qui convient le mieux dans ces régions arides (Couture, 2004). Par exemple, l'irrigation par aspersion avec des eaux salées, à des teneurs élevées en sodium et aluminium qui peuvent défolier les plantes sensibles (Benouda, 2008).

En irrigation localisée, le taux d'humidité dans la zone racinaire reste élevé, ce qui limite le risque d'accroissement de la concentration en sels et de la pression osmotique, et permet d'après Soutter et al., (2007), l'utilisation d'eau de concentrations plus élevées qu'avec les techniques traditionnelles et par aspersion.

En Tunisie, les recherches faites sur l'utilisation des eaux salées ont montré qu'il est possible d'utiliser des eaux moyennement salines en irrigation à court terme sans gros risque, en respectant certaines règles de gestion ; ces dernières ne sont pas toujours respectées par les agriculteurs, d'où la salinisation dans certains périmètres (Hachicha et al., 1994). À long terme, Hachicha et Mhiri (2003) ont montré que l'utilisation des eaux salées pour l'irrigation pourrait se traduire par une accumulation progressive des quantités de sels solubles.

L'agriculture irriguée est possible et durable en zone aride, même avec des eaux de qualité médiocre, sous réserve que les projets soient correctement étudiés et mis en œuvre avec des moyens techniques suffisants. Un contrôle permanent doit être exercé sur les moyens de production et une formation complète doit être assurée aux agriculteurs. Dans tous les cas, une agriculture irriguée



requiert un contrôle périodique du niveau et de la distribution des sels dans le sol, cela permettra de déterminer le seuil de risque, pour lequel un lessivage doit être pratiqué (Rechachi, 2017).

## **I.6. Sols des Ziban**

Comme tous les sols des régions arides du monde, les sols de la zone saharienne d'Algérie contiennent des quantités relativement importantes de sels solubles. L'accumulation de ces sels, dans ce type de climat, est due à la rareté des pluies, qui freine la lixiviation de ces sels (Halilet, 1998).

### **I.6.1. Potentialité agricole**

La région des Ziban est considérée comme un laboratoire à ciel ouvert pour les chercheurs. Elle est située dans le sud-est de l'Algérie. Elle est caractérisée par une forte potentialité phoeniciecole avec près de 10 000 points d'eau (forages, nappes et sources) et deux barrages (Rechachi, 2017). La superficie agricole est estimée à 1,6 million d'hectares, englobant des terrains de parcours et des terrains destinés à l'agriculture. La Surface agricole utile (SAU) pour l'activité agricole est de 190 000 ha. La superficie irriguée dans cette région est de 111 170 hectares, dont 24 799 ha cultivés en céréales d'hiver. La phoeniciecole occupe une superficie de 42 911 ha, soit environ 4 477 670 palmiers. Les cultures maraîchères représentent une superficie d'environ 25 671 ha (plasticulture et en plein champs), alors que les cultures fourragères n'occupent qu'une superficie de 7 592 ha. Les superficies arboricoles ne dépassent pas les 5 600 ha et celle de l'oléiculture est de 4 500 ha. Elles sont localisées dans les zones montagneuses, outre ces cultures (DSA, 2017).

Par ailleurs, dans cette région du pays, la plasticulture démontre que les cultures sous serres représentent une alternative efficace pour contourner les aléas climatiques menaçant toujours les activités agricoles. La wilaya de Biskra occupe une superficie énorme en matière de serre, que ce soit pour les serres classiques de 400 m, ou bien pour les serres canariennes d'un hectare. Ainsi la superficie cultivée dans cette wilaya est de 5 444 ha. Depuis quelques années, les programmes de développements agricoles mis en œuvre par le gouvernement ont donné des résultats probants dans cette région, même si des contraintes persistent encore, notamment en termes de mobilisation des ressources hydriques et renforcement de la mécanisation de l'activité agricole (Maouchi, 2019).

Toutes ces potentialités constituent un facteur certain de progrès et d'amélioration des conditions de vie des populations locales et de satisfaction alimentaire à l'échelle du pays. Malheureusement, cet acquis est menacé par une gestion irrationnelle des facteurs de production et notamment l'eau et le sol entraînant la dégradation du milieu et la baisse de la qualité du sol, remettant en cause le développement durable de ces espaces cultivés (Rechachi, 2017).

### I.6.2. Répartition des sols des Ziban

Selon l'étude de l'ANAT en 2003 sur « Schéma directeur des ressources en eau » de la wilaya de Biskra, la Caractérisation et la répartition des ressources en sols rencontrées de la région des Ziban sont :

- Classe des sols peu évolués (régosols) ;
- Classe des sols calcimagnésiques ;
- Classe des sols halomorphes.

La région se divise généralement en deux zones : à l'est on a le Zab el charki et à l'ouest on a le Zab el gharbi. À l'est les sols sont généralement riches en argile et en calcaire par contre à l'ouest la texture est généralement à dominance grossière et les sols sont gypseux et/ou calcaires. Cependant, à l'ouest les eaux d'irrigation sont plus salées et la remontée des eaux caractérise certaines zones. Dans la région de Biskra, le degré de la salinité des sols varie avec les zones, il est généralement plus élevé dans les zones irriguées avec les eaux salées (Masmoudi, 2012). À l'ouest, la remontée permanente des eaux ; est à l'origine de phénomènes d'encroûtements (Deb-deb) et de salure du sol, alors qu'à l'est le piedmont est tapissé de limons fins apportés de la montagne par les Oueds, accumulés au cours du quaternaire récent sur plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur parfois capables de donner des rendements énormes pour peu que l'on apporte de l'eau (Côte, 1983).

Cette immense région des Ziban offre une différenciation spéciale en tenant compte de la description et la localisation des sols dont ce qui suit : Aux confins du compartiment ouest à la limite avec la wilaya de M'Sila, les sols sont calcimagnésiques, le plus souvent gypseux de couleur brune et sont halomorphes. Plus au nord, les sols de l'oasis sont de nature peu évoluée, non climatique, d'apport alluvial, salé, en allant vers Boussaâda. De Tolga à Besbes, en passant par Sidi Khaled, Ouled Djellal, Doucen, El Ghrouss jusqu'à El Haouche, plus à l'est, les sols sont gypseux (Deb Deb) à encroûtement salin, cette large bande est entrecoupée par des sols à structure non dégradée allant de Mekhadma, Ourlel, Chetma, M'lili, Sidi Okba, à El Outaya, caractérisée par des sols peu évolués d'apports alluviaux, mais salés par les remontées de la nappe phréatique. Au beau milieu de cette bande : Biskra, El Hadjeb, Ain Zaâtout, Branis et une partie d'Oumache les sols sont plutôt halomorphes à structure non dégradée, saline à horizons superficiels friables et à encroûtement calcaire. Au pied de l'Atlas dans le compartiment est : Djemourah, M'chounech, M'ziraâ, les sols non calcimagnésiques bruns gypseux et sont halomorphes. Dans la plaine de Zeribet El Oued à El Faïdh, les sols sont à structure non dégradée et halomorphe (Côte, 1983).

Exception faite pour la région d'El Outaya et de Sidi Okba où les sols sont relativement profonds, les sols qui constituent le territoire de la wilaya de Biskra sont en général pauvres et peu

profonds, ce sont des sols éoliens d'ablation et des sols basiques. Il existe cependant en région nord des zones où le sol est absent, c'est une zone d'affleurements de la roche mère. Au sud-est de la wilaya dans la région des chotts c'est la zone des sols halomorphes (Sedrati, 2011).

### **I.6.3. Salinisation des sols des Ziban**

Comme tous les sols des régions arides du monde, les sols de la zone saharienne d'Algérie contiennent des quantités relativement importantes de sels solubles. L'accumulation de ces sels, dans ce type de climat, est due à la rareté des pluies, qui freine la lixiviation de ces sels (Halilet, 1998).

D'après Khadraoui (2010), l'inventaire des sols salés, a permis de mettre en évidence la teneur de leur salinité. Respectivement dans la région des Ziban leurs superficies se présentent ainsi :

- Très forte avec 11 694 ha (14,42 %),
- forte avec 51 790 (63,89 %) ;
- Moyenne avec 16 390 ha (20,22 %) ;
- Faible avec 1 177 ha (1,45 %).

Des centaines d'hectares situés dans la région des Ziban sont nouvellement aménagés et exploités par des agriculteurs qui ont bénéficié de l'aide octroyée par l'Etat (2004) dans le cadre du programme FNDRA (Fonds National de Développement Rural et Agricole) et PNDA (Plan National de Développement Agricole). Ces programmes dont l'objectif général est d'assurer la sécurité alimentaire visent aussi l'amélioration du niveau de vie des populations rurales et la protection de milieux naturels fragiles. Ce programme est un succès sur le plan technique, mais malheureusement la dimension scientifique a été omise. Les conséquences sont diverses dont l'apparition de phénomènes de salinisation secondaire des sols au bout de la troisième année d'exploitation des périmètres irrigués. Le taux de salinisation est multiplié par 10. On note aussi l'apparition et de l'ensablement et la désertification. Il faut signaler que la région est caractérisée par des formations gypseuses, gypso-calcaires et salés au niveau des sebkhas, dans ces conditions et pour la réussite de ces programmes, une connaissance a priori des ressources en sols et en eau est essentielle (Mostephaoui et Bensaid, 2014).

En effet, dans cette région saharienne l'eau d'irrigation, à cause de sa forte concentration en sels, a un impact négatif sur le développement et la productivité des cultures, mais il diffère selon plusieurs paramètres (caractéristiques des sols, types de sels, nature des plantes et stade physiologique. Parmi les voies et les moyens permettant de lutter contre la salinité des eaux et de sels, il est fait souvent appel à l'amélioration génétique par le biais de la biotechnologie et la sélection des espèces et/ou variétés adaptées à ces conditions extrêmes du milieu d'une part et à la maîtrise du couple

irrigation drainage et à l'amélioration azotée d'autre part, d'où la nécessité d'une véritable stratégie nationale impliquant tous les secteurs (Rechachi, 2017).

La planification rationnelle d'un développement durable de ces régions nécessite une bonne connaissance des sols particulièrement du point de vue d'inventaire pédologique. (Assami et al., 2014). Une aridoculture performante dans le cadre d'un développement durable suppose une évaluation des ressources naturelles par l'utilisation de technique adéquate (SIG, Télédétection) en vue d'adopter une stratégie en relation avec la réalité du développement et qui comprend l'organisation, la planification et la gestion de ces ressources (Halitim, 2011).

L'agriculture durable en milieu aride ne peut être possible que si on maîtrise la gestion de l'eau et du sol. Le suivi de l'évolution des sols sous irrigation apparaît indispensable pour garantir une agriculture irriguée rentable et durable dans la région des Ziban.

La gestion commune des sols et des eaux est incontournable. La mise en place d'observatoires de la qualité des sols et des eaux dans les zones irriguées apparaît donc nécessaire pour assurer la durabilité du système de production. Cependant, la prédiction de l'aspect géochimique de la salinité des eaux est une démarche originale qui pourrait s'avérer fructueuse pour une meilleure connaissance des conséquences de cette salinité sur les sols et l'environnement dans la région d'étude (Boualla et al., 2012).

## *Chapitre II*

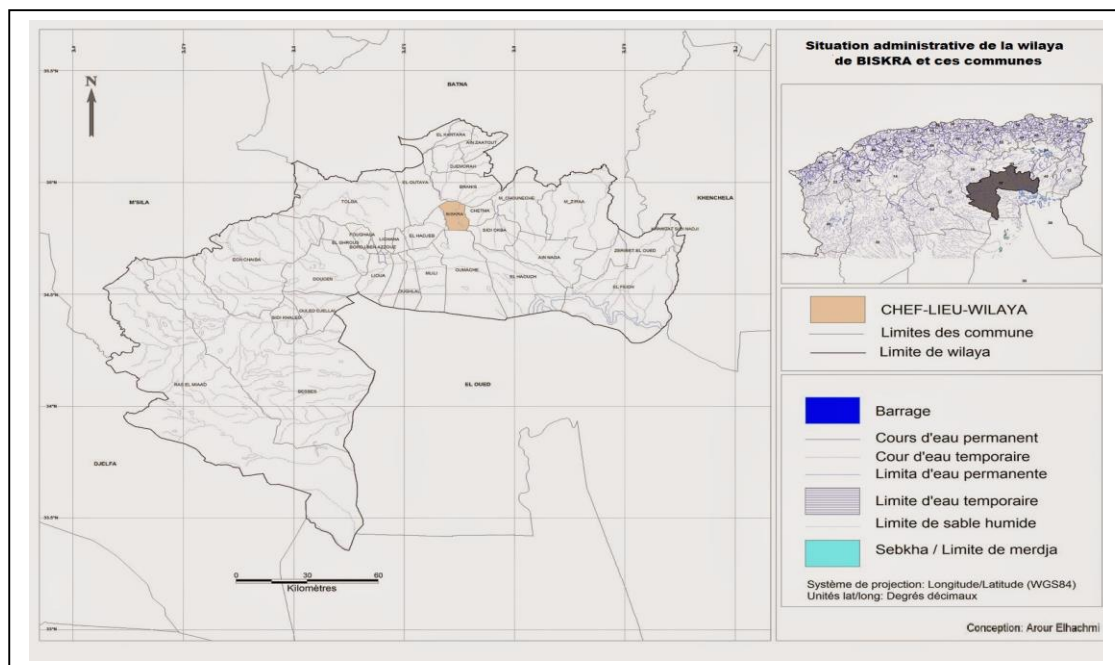
### *Matériel et Méthodes d'étude*

## Chapitre II : Matériel et Méthodes d'étude

### II.1. Étude de milieu physique

#### II.1.1. Situation géographique

Les Ziban sont situés au pied de l'Atlas Saharien, à 446 km au sud-est d'Alger. Ils démarrent à 100 m d'altitude sur l'accident sud atlasique (Figure 02), pour aboutir aux étendues salées du chott Melghir à — 40 m en dessous du niveau de la mer (Côte, 1994). Les Ziban s'étendent sur une superficie de 21 509, 80 km<sup>2</sup>. Cet ensemble géographique est limité au nord par les départements de Batna et M'Sila, à l'est par Khenchela, à l'ouest par Djelfa et au sud par Ouargla et El-Oued (Belhadi et al., 2016).



**Figure 02 : Situation géographique et administrative de la wilaya de Biskra**

Les sites de travail sont situés dans les communes suivantes :

- M'ziraa (elle est située à l'est de la wilaya de Biskra) ;
- Doucen (elle est située à l'ouest de la wilaya de Biskra) ;
- Tolga (elle est située dans le côté sud-ouest de chef-lieu de la wilaya de Biskra) ;
- El Hadjeb et Ain Ben Noui (elle est située dans le sud-ouest la wilaya de Biskra) ;
- Zeribet El Oued (elle est située dans l'extrême est de la wilaya de Biskra) ;
- El Outaya (elle est vingt-cinq Kilomètres au nord-ouest de la wilaya de Biskra).

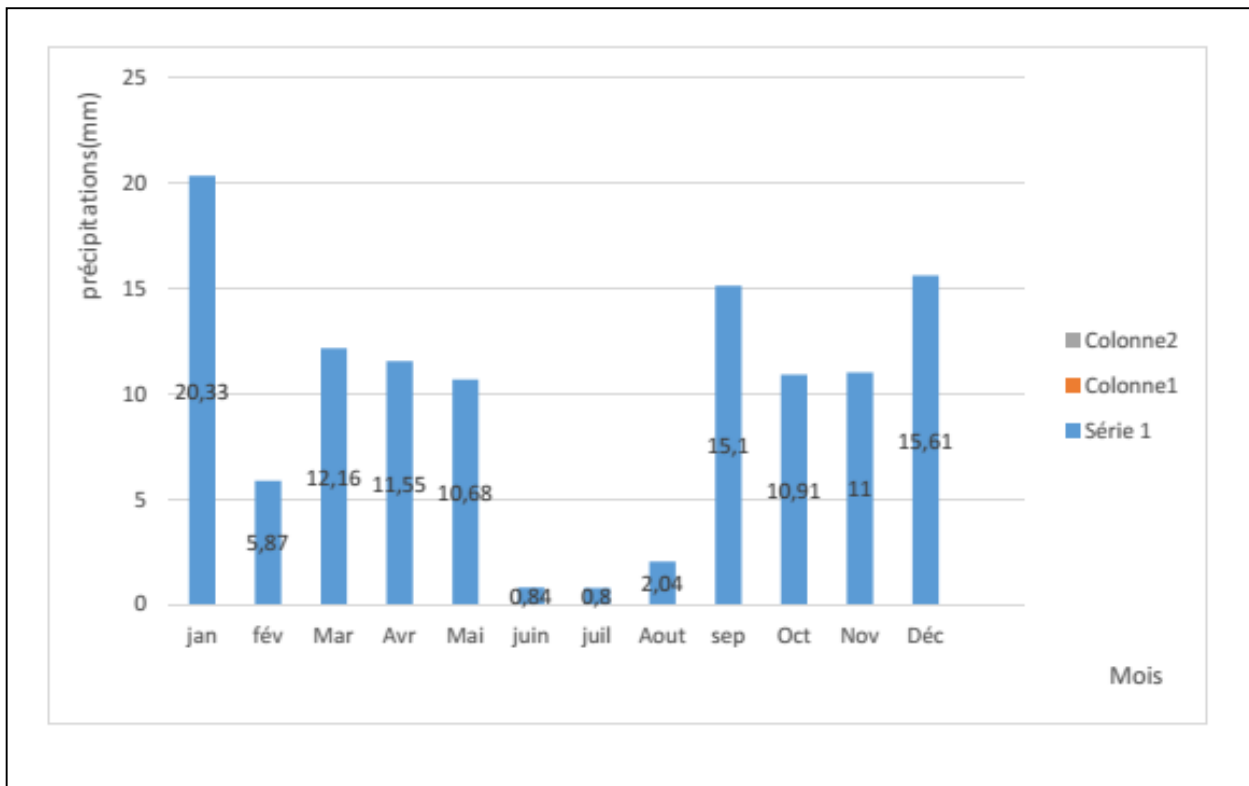
**II.1.2. Caractéristiques climatiques**

Les ziban sont parmi les zones arides caractérisées par un climat toujours peu pluvieux et parfois sec avec une pluviosité très irrégulière à 200 mm/an, une luminosité intense, une forte évaporation et de grands écarts de température (Dubost, 2002).

Nous notons par ailleurs que les données utilisées pour caractériser l'état climatique de notre région d'étude émanent de l'ONM (office national de la météorologie) de la wilaya de Biskra. Dans l'annexe 01, nous avons présenté les données climatiques concernant les précipitations, les températures, le vent, l'évapotranspiration, l'insolation et l'humidité relative de la région de Biskra durant la période (2000-2010).

**II.1.2.1. Précipitations**

La région de Biskra se caractérise par une très faible pluviométrie, variant entre 0 et 200 mm par an. Les pluies tombent d'une manière irrégulière et peuvent être torrentielles. Le régime des précipitations dans la région d'étude est consigné dans la figure 03.

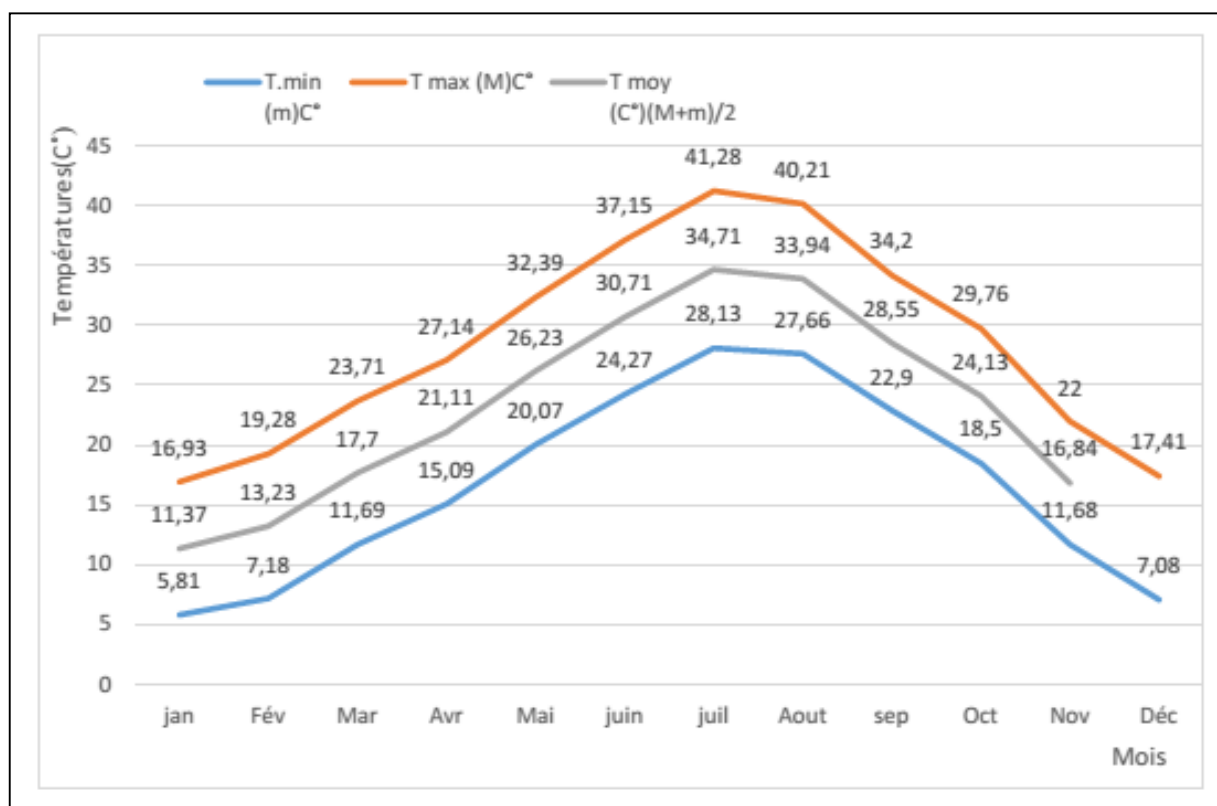


**Figure 03 : Précipitations moyennes mensuelles durant la période (2000-2010)**

Cette figure montre une grande irrégularité des précipitations mensuelles moyennes. Elle varie de 0,80 mm (juillet) à 20,33 mm (janvier) par la période (2000-2010). Le total des précipitations annuelles dans cette région est très faible (116,89 mm).

### II.1.2.2. Température

La température est également un facteur climatique important. Il a une action majeure sur le fonctionnement et la multiplication des êtres vivants et comme elle varie selon un schéma géographique net, les espèces animales et végétales se distribuent selon des aires de répartition souvent définissables à partir des isothermes (Barbalut, 2000). La figure 04, nous indique que la région de Biskra est caractérisée par de fortes températures pouvant atteindre une moyenne annuelle de 22,59 °C, avec de fortes variations sont enregistrées entre le mois le plus chaud (juillet) avec une moyenne mensuelle de 34,71 °C et le mois le plus froid (janvier) avec une moyenne mensuelle de 11,37 °C.



**Figure 04 : Températures moyennes mensuelles enregistrées au cours de la période (2000-2010)**

### II.1.2.3. Vent

Le vent est un agent important de la désertification. En effet, il accentue l'évapotranspiration et contribue à abaisser l'humidité (Ozenda, 1983). Dans la région de Biskra, les vents sont fréquents durant toute l'année.

Le sirocco reste le vent qui mérite le plus d'attention en raison de l'action nuisible qu'il peut exercer sur les cultures. Il souffle de sud pendant la saison sèche amenant avec lui sable et poussière.



La vitesse maximale du vent a été enregistrée au cours du mois d'avril avec une moyenne de 5,73 m/s. Par contre, la minimale a été relevée en octobre de 3,57 m/s (Figure 05).

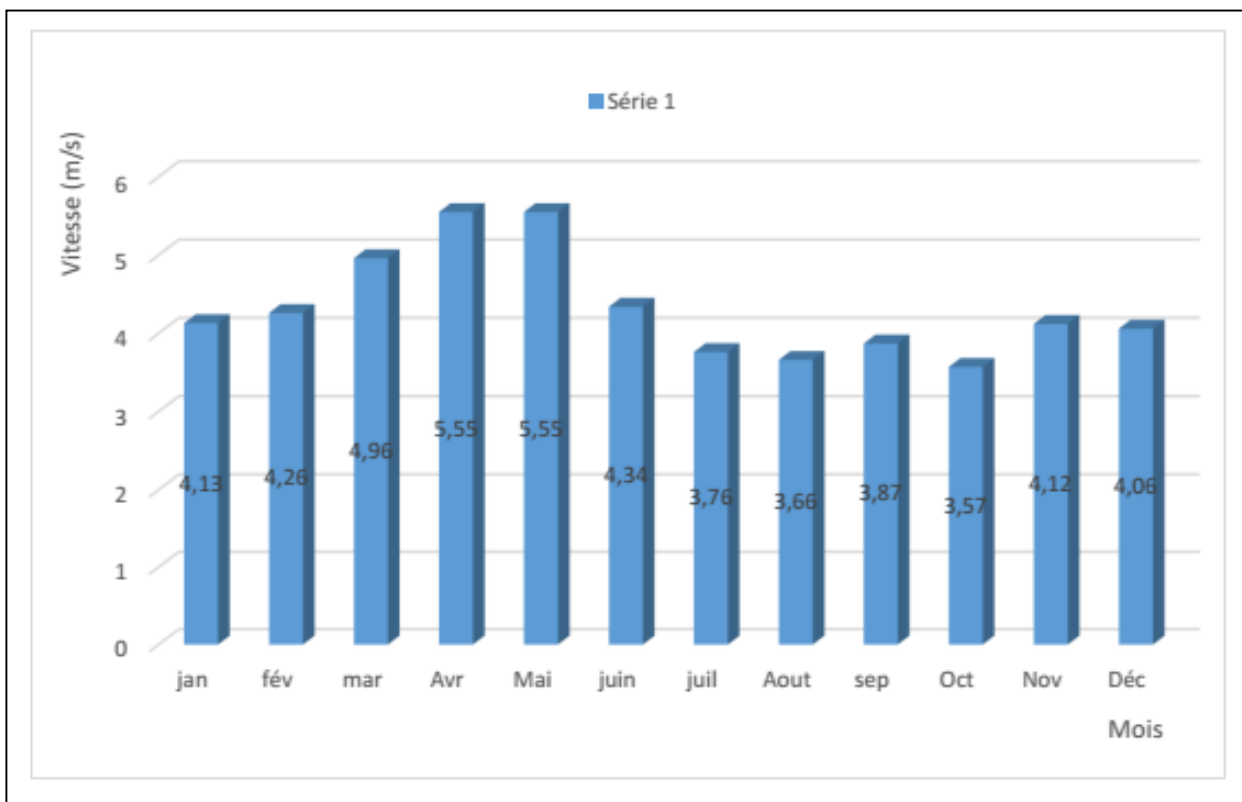


Figure 05 : Vitesse moyenne mensuelle du vent durant la période (2000-2010)

#### II.1.2.4. Evapotranspiration

L'évapotranspiration est très importante surtout quand elle se trouve renforcée par les vents notamment ceux qui sont chauds comme le sirocco. La figure 06 montre que L'ETP la plus élevée est observée au mois de juillet avec 444,2 mm par contre L'ETP la plus faible se rencontre au mois de décembre avec 101,68 mm. La moyenne de L'ETP est évaluée à 238 mm environ.

Les données nous montrent l'importance des besoins en eau des cultures ce qui entraîne l'exploitation importante des aquifères pour l'irrigation.

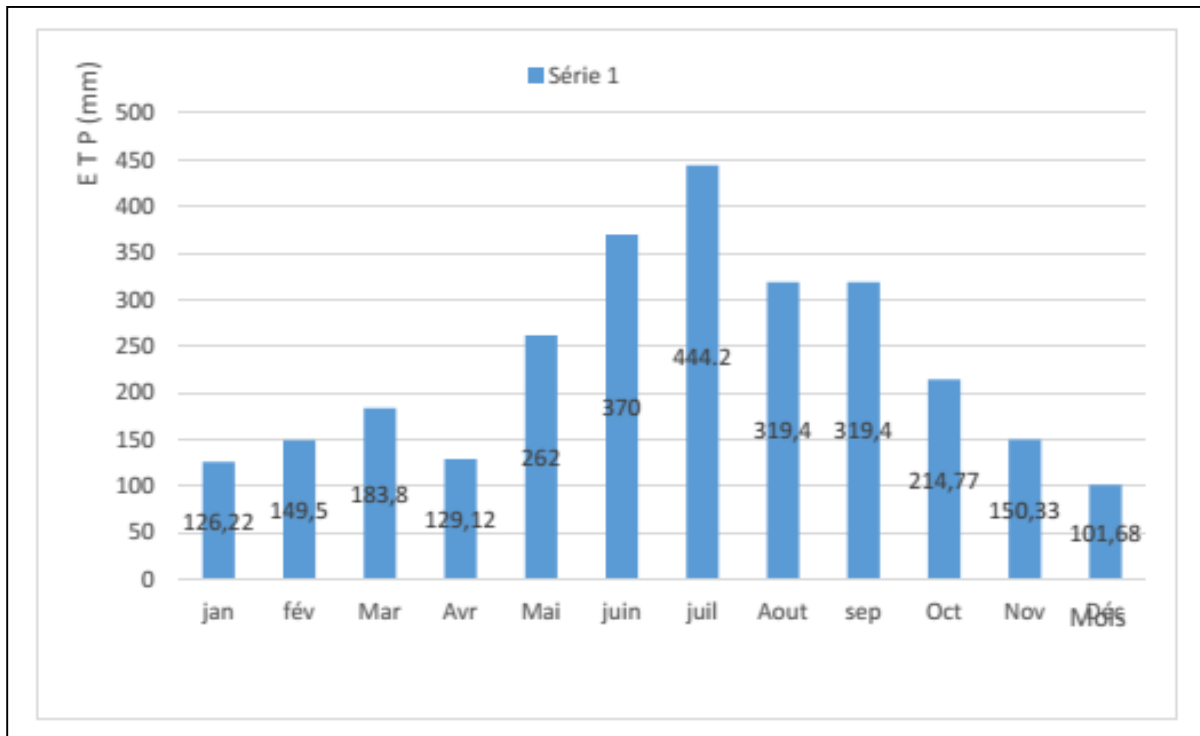


Figure 06 : Évapotranspiration calculée par la méthode de Penman (2000-2010)

### II.1.2.5. Insolation

La région de Biskra reçoit une intensité lumineuse très importante surtout pendant les périodes les plus chaudes, car l'atmosphère présente une grande pureté durant toute l'année.

Le nombre moyen annuel d'heures d'insolation est de 280,78 heures ce qui correspond à 11.70 heures par jour, le phénomène passant des minimums en décembre de 221,4 heures à un maximum en juillet de 356,7 heures (Figure 07).

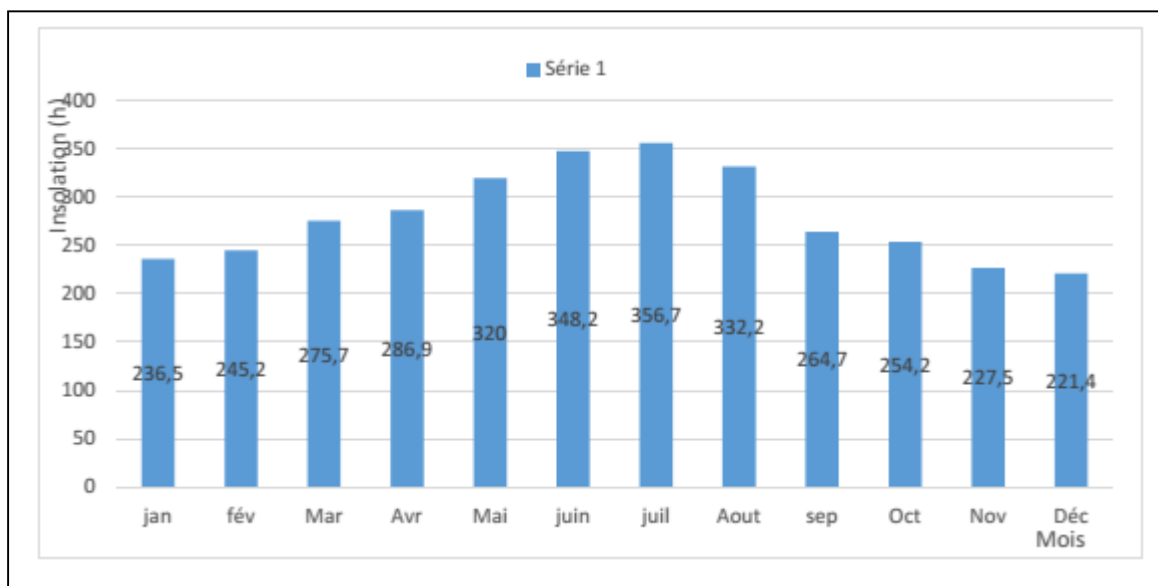


Figure 07 : Insolation moyenne mensuelle (2000-2010)

### II.1.2.6. Humidité relative de l'air

L'humidité relative de la région est très faible, elle varie durant l'année, d'un maximum de 59,34 % pour le mois de décembre à minimum de 25,06 % en juillet (Figure 08).

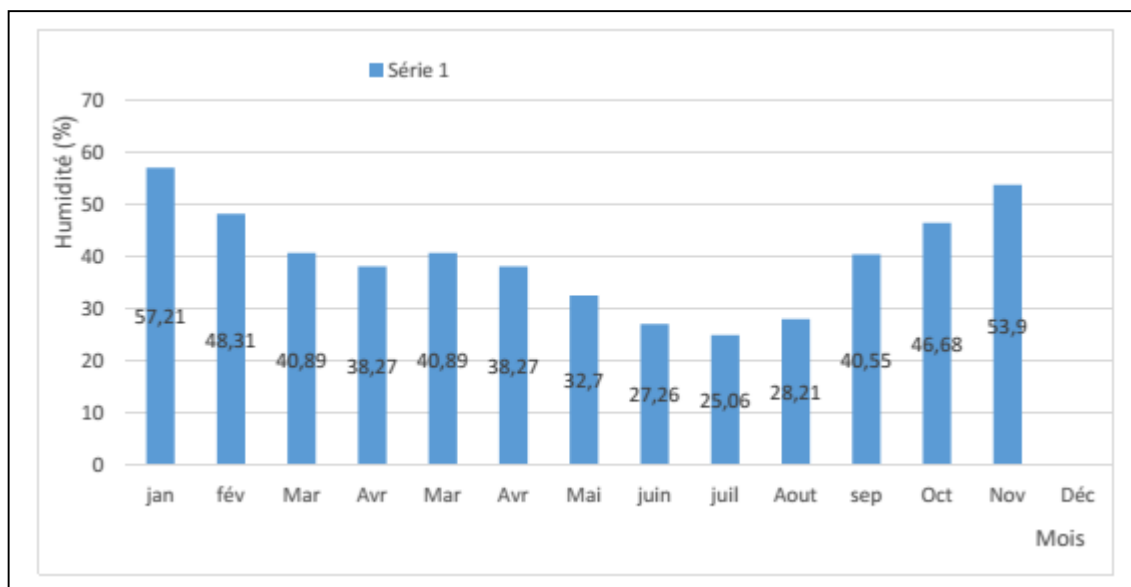


Figure 08 : Humidité moyenne pour la période (2000-2010)

### II.1.2.7. Synthèse climatique

La synthèse climatique consiste à déterminer la période sèche et la période humide par le biais du diagramme ombrothermique de Gausson ainsi que l'étage bioclimatique de la région d'étude grâce au Climagramme pluviométrique d'Emberger.

#### II.1.2.7.1. Diagramme ombrothermique de Gausson

Gausson considère le climat d'un mois comme sec si les précipitations en mm sont inférieures du double de la température moyenne en C. Le climat est sec quand la courbe des températures est au-dessus de celle des précipitations, humide dans le cas contraire, le diagramme ombrothermique réalisé est caractérisé par une période sèche qui dure toute l'année (Figure 09) :

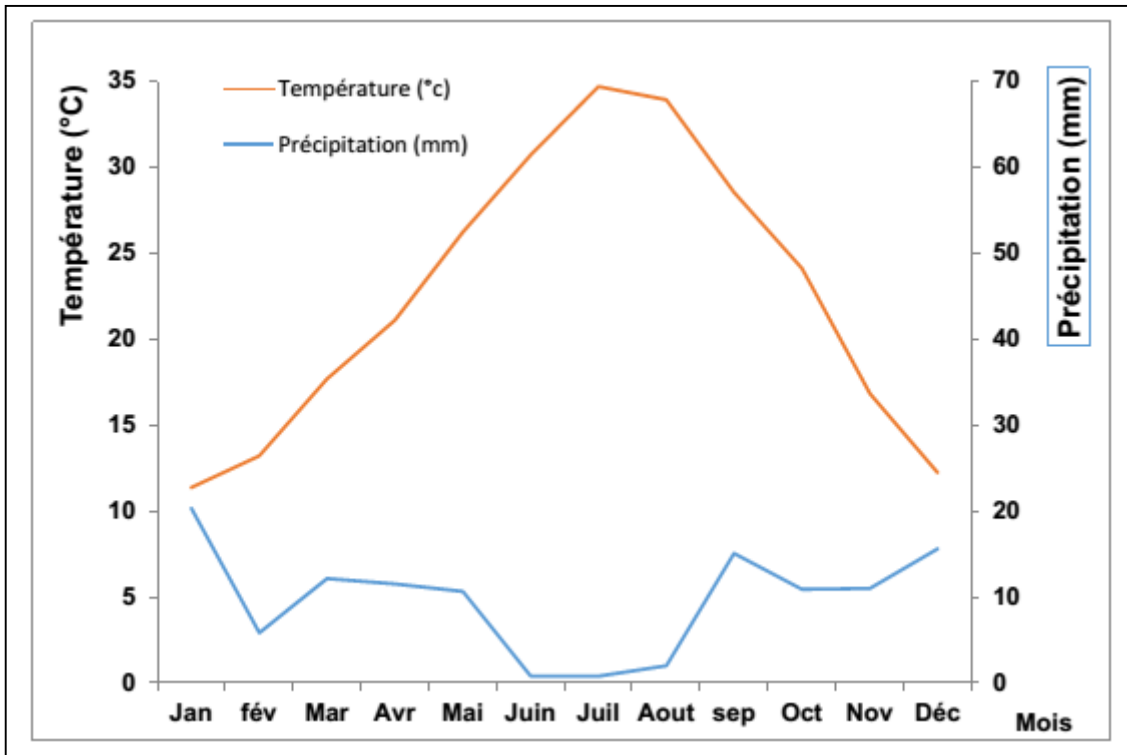


Figure 09 : Diagramme ombrothermique de Gausson de la région de Biskra (2000 - 2010)

### II.1.2.7.2. Climagramme d’Emberger

La formule du quotient pluviométrique d’Emberger a été modifiée par Stewart (1969) et est comme suit :

$$Q2 = 3.43 - P / (M - m) \quad \text{Equation 1}$$

Avec :

**Q** : Quotient pluviométrique d’Emberger.

**P** : Pluviométrie annuelle en mm.

**M** : Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud (C).

**m** : La moyenne des températures minimales du mois le plus froid(C).

$$Q2 = 3.14 (116.89) / (41.28 - 5.81) = 10.34 \quad \text{Equation 2}$$

En rapportant cette valeur sur le climagramme d’Emberger (Figure 10) nous notons que la région de Biskra se situe dans l’étage bioclimatique saharien à hiver tempéré et se caractérise par des précipitations faibles, de fortes températures, une grande luminosité et une évaporation intense.

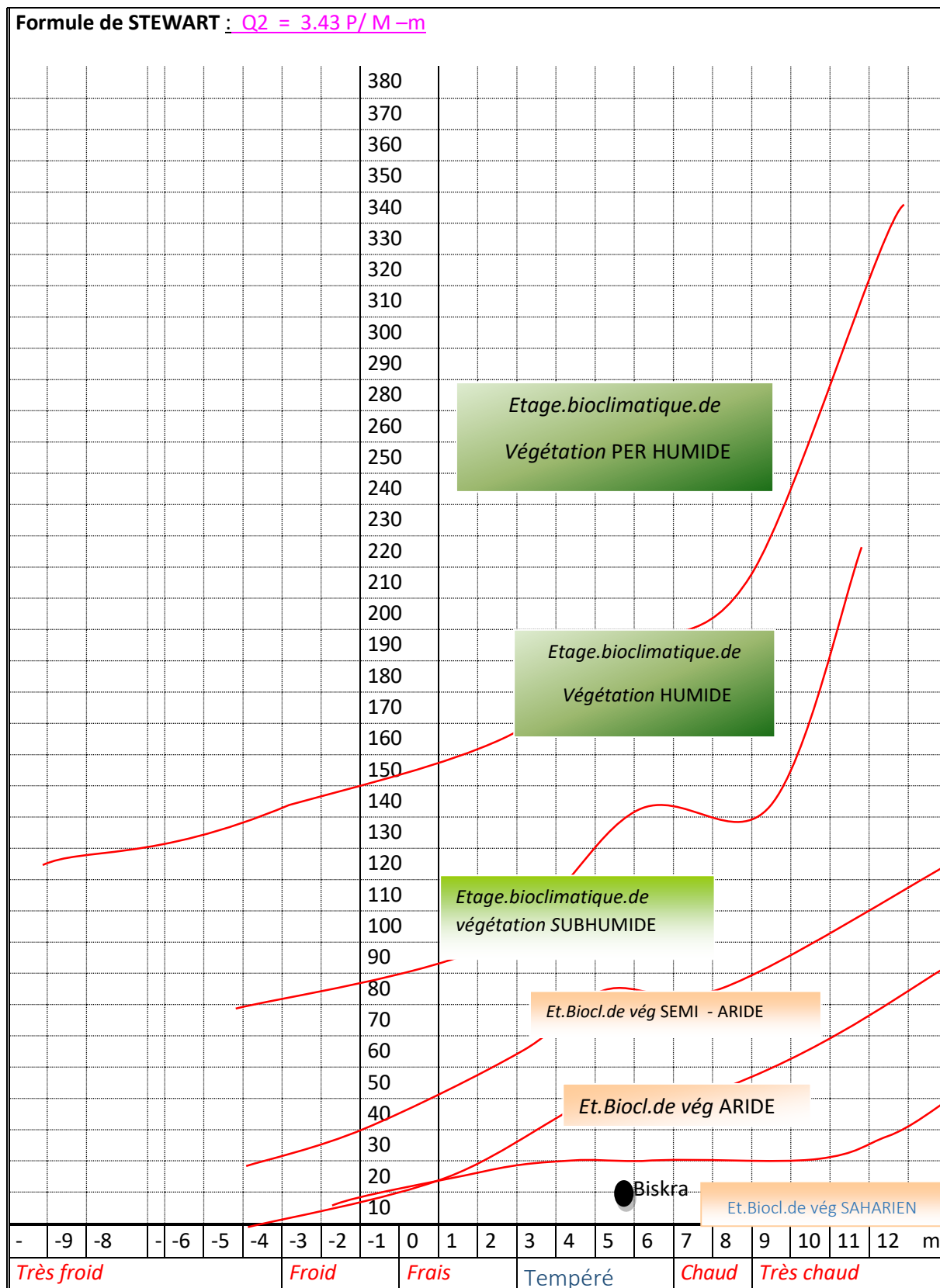


Figure 10 : Le climagramme du quotient pluviométrique  $Q_2$  d'Emberger pour la région de Biskra durant la période 2000 - 2010

### II.1.3. Géologie

#### II.1.3.1. Géologie générale de la région

##### II.1.3.1.1. Les principales unités structurales des Ziban

La région de Biskra appartient aux deux grands ensembles structuraux (Figure 11) :

- ✓ **L'atlas saharien** : au nord formant une longue suite de reliefs orientés NE-SO, c'est le domaine de la berbérie, limité au sud par la flexure sud atlasique (Chabour, 2006). L'atlas saharien est né d'un long sillon subsidents compris entre les hauts plateaux et la plate-forme saharienne. Durant le Tertiaire, une tectonique compressive réactive les structures extensives antérieures en failles et structures inverses aboutissant à la formation de cette chaîne montagneuse ;
- ✓ **Les monts des Aurès** prolongent l'Atlas saharien vers le nord-est. Ils se présentent sous forme d'une série de synclinaux et anticlinaux de direction ENE (G). Sa jonction avec la plaine d'El Outaya et Biskra se fait par l'intermédiaire des djebels Metlili, El Azreg (dans sa partie méridionale) ;
- ✓ **La plate-forme saharienne** : relativement stable, où la tectonique est moins prononcée, appartient au craton africain. Elle est caractérisée, en général, par des régions plates (Chabour, 2006). Elle comprend un socle précambrien sur lequel repose en discordance une puissante couverture sédimentaire, structurée au Paléozoïque en plusieurs bassins sédimentaires. Ces derniers sont délimités par différents éléments tectoniques et dans lesquels la lithostratigraphie est plus ou moins complète.

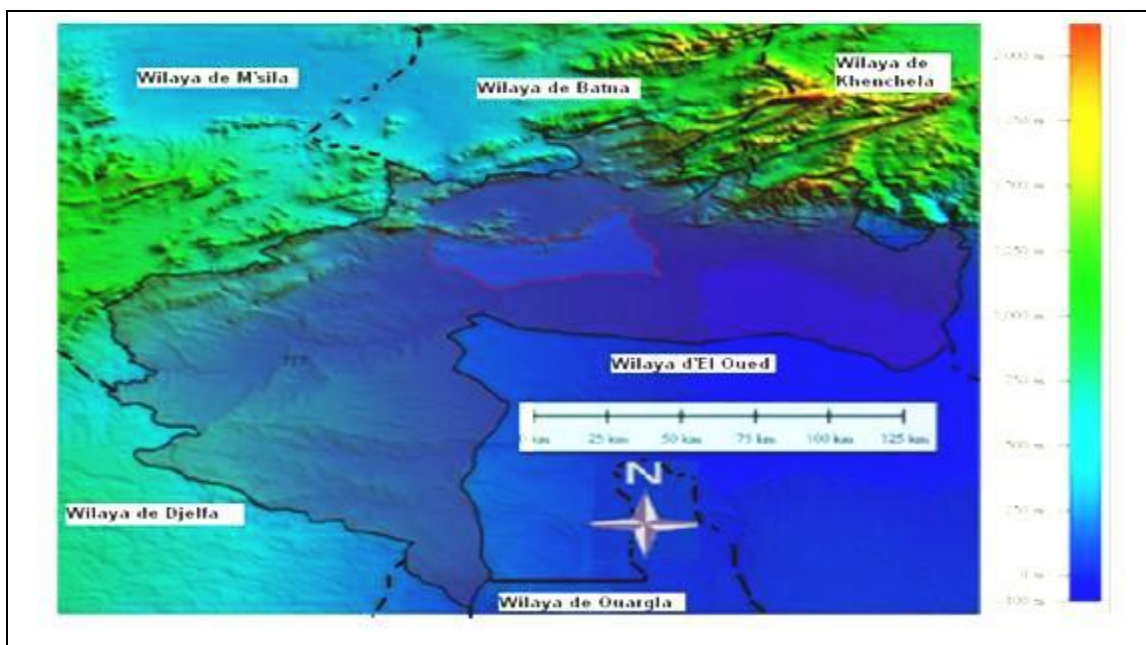


Figure 11 : Les principales unités structurales de la région d'étude (Mostephaoui, 2015)

### II.1.3.2. Stratigraphie de la région d'étude

#### II.1.3.2.1. La géologie de la région

La région de Biskra a fait l'objet de plusieurs études géologiques, dont celle de Gousskov (1964), Mauget (1957) et les travaux de Chebah (2007) ; qui constitue les références de base utilisées dans la synthèse géologique du Sahara Algérien.

Du point de vue stratigraphique la région de Biskra représente un paysage de transition structurel et sédimentaire. Une transition progressive entre le domaine atlasique et le domaine saharien septentrional, car la continuité géologique de part et d'autre de l'accident sud atlasique est vérifiée entre Branis et Chetma. C'est une région « synorogénique » liée principalement à la tectonique de l'orogène atlasique (alpine). À tout moment les phénomènes tectoniques sédimentaires d'ampleurs diverses commandent la sédimentation, par conséquent le devenir des bassins. La région de Biskra (esquisse géologique) se caractérise par des terrains sédimentaires, allant du barrémien à la base jusqu'au Quaternaire (Figure 12).

Dans toute la région, les parties centrales des bassins sont formées par une suite de vastes dépressions remplies de sédiments quaternaires (et moi-pliocènes par endroits), séparées par des reliefs montagneux limités ou recoupés par des accidents transverses : des seuils (paléo structures) sur lesquelles affleurent le Néogène (Miocène et pliocène). Les massifs bordiers, tant au nord qu'au sud de l'accident sud atlasique, montrent des affleurements importants. Le type de l'érosion, l'absence ou la rareté de la végétation ont permis de lever des coupes dans les sédiments siliclastiques ou confinés sur les marges des bassins, tout le long du Néogène (Chabah, 2007).

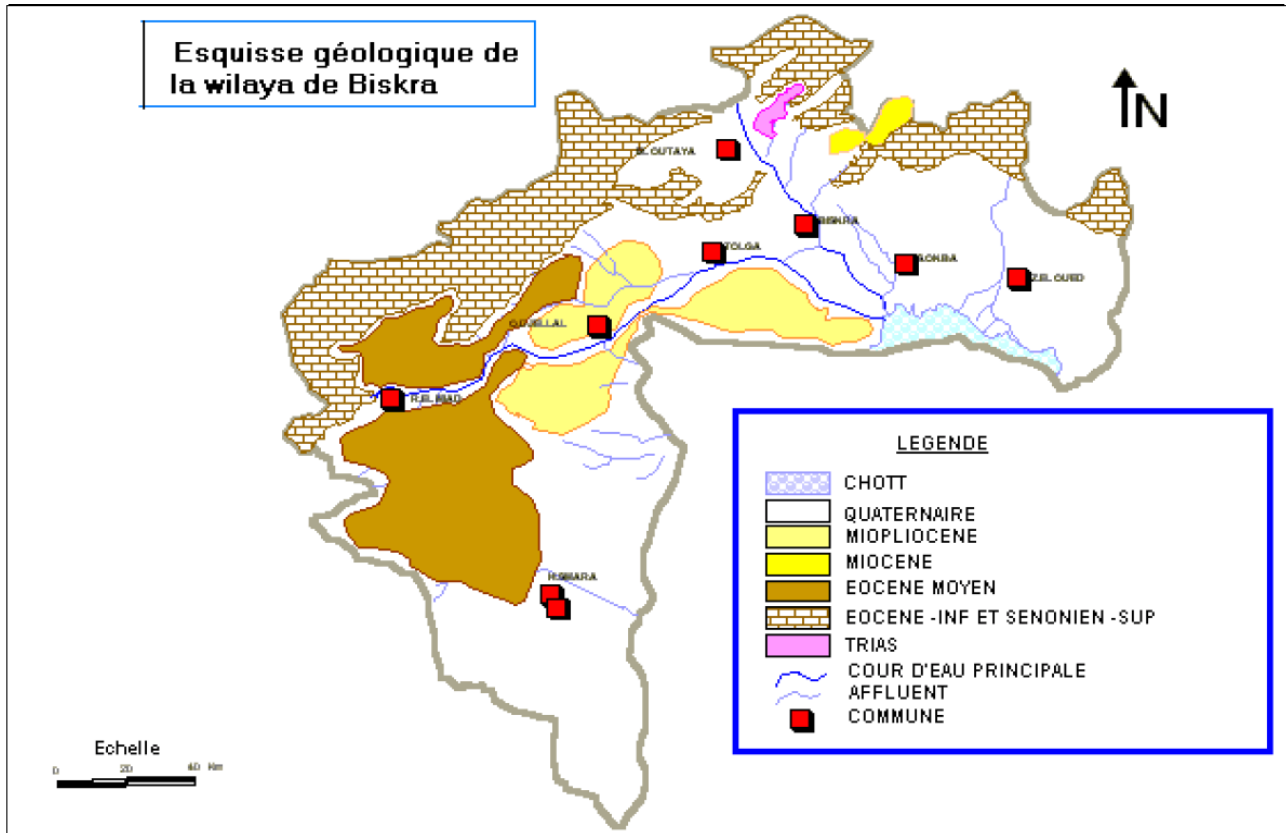


Figure 12 : Esquisse géologique de la région de Biskra (ANAT, 2003)

### II.1.3.2.1.1 Coupes géologiques

Plusieurs coupes géologiques ont été réalisées à partir de la corrélation établie entre les différents forages et sondages existants dans la région (figure 13). Ces derniers nous ont permis de déterminer l'extension des aquifères en profondeur, ainsi que l'effet des failles telles que la flexure sud atlasique sur la structure des réservoirs (Mostephaoui, 2015).

### II.1.3.2.1.2. Quaternaire

#### II.1.3.2.1.2.1. Quaternaire actuel

Ce sont principalement des éboulis et les cailloutis au pied des montages et sur les pentes des dunes constamment en mouvement et des alluvions sableuses et caillouteuses dans les lits actuels des oueds.

#### II.1.3.2.1.2.2. Quaternaire Moyen

Il se présente sous forme de croûte dite « Deb-Deb » dont le dépôt se poursuit sans doute encore de nos jours. C'est une formation calcareuse gypseuse atteignant jusqu'à deux mètres d'épaisseur. Elle occupe les contours des montagnes qui présentent des flancs calcaires (Tolga, Bouchagroun, Lichana, Ain Ben Noui), des travertins de sources anciennes qui datent aux environs des sources Oumach, Mlili et Megloub. Les sources actuelles sondent 4 à 5 m au-dessous de l'ancien



dépôt travertineux. Des alluvions sablonneuses et argileuses dans toutes les grandes plaines sur la rive gauche de l'oued Djeddi.

#### **II.1.3.2.1.2.3. Quaternaire ancien (Terrasses)**

Cette terrasse est bien développée dans la partie est de la région, vers l'Oued Biskra. Aux environs des régions montagneuses, elle est principalement formée de poudings remplacés progressivement par un dépôt sableux et argileux vers le sud de Biskra.

#### **II.1.3.2.1.3. Miocène**

##### **II.1.3.2.1.3.1. Miocène supérieur (Pontien)**

Il affleure seulement dans la dépression (combe) de l'anticlinal du djebel Bou Rhezal. Il est représenté par des argiles et des marnes multicolores souvent très sableuses. C'est un dépôt continental détritique : argiles, sables, graviers et marnes.

##### **II.1.3.2.1.3.2. Pliocène**

Il est représenté par des poudings, des bancs de grés et d'argiles sableuses à proximité des massifs passant à des couches rouges sableuses et gypseuses dans la plaine. Aussi il est représenté par la croûte calcaire-gypseuse englobant souvent des masses des poudings, des sables et des graviers dans le sud de l'Oued Djeddi.

##### **II.1.3.2.1.4. Paléogène (nummulitique)**

###### **II.1.3.2.1.4.1. Éocène moyen (Lutétien)**

C'est un dépôt exclusivement lagunaire représenté par des argiles ; du gypse en couches épaisses anhydrites et des calcaires dolomitiques. Il affleure au sud du Djebel Kahila et au sud du Djebel El Ksoum. Les Couches gypseuses et calcaires sont très développées dans la région d'Ouled Djellel, ou elles forment des niveaux constants d'une extension considérable (Rive gauche de l'Oued Djeddi).

###### **II.1.3.2.1.4.2 Éocène inférieur (Yprésien)**

Sa puissance varie entre 150 et 200 mètres représentés par des calcaires blancs riches en silex noirs, il affleure au nord de Tolga.

##### **II.1.3.2.1.5. Crétacé**

###### **II.1.3.2.1.5.1. Crétacé supérieur**

- **Cénomaniens** : Ce terrain affleure aux deux extrémités de la région de Biskra ; à la combe de l'anticlinal du Djebel Bou Rhzal et au nord-est du Bordj Chaiba. Sa puissance est de 500 m de calcaire marneux avec intercalations marneuses et gypseuses.
- **Turonien** : Il est représenté uniformément dans toute la zone montagneuse par un niveau massif de 200 à 3000 m d'épaisseur composé de calcaires cristallins, de calcaires

marneux et calcaire dolomitique.

- **Sénomaniens supérieurs** : Il est représenté par des calcaires cristallins et dolomitiques en couches très épaisses, des intercalations lagunaires marneuses et gypseuses très nombreuses à l'ouest (Djebel Gouara et sur le flanc nord du djebel Bou Rhezal). Calcaires mastrichtiens reposant sur les marnes noirâtres du campanien (à Dalaat El Hamra).
- **Sénomaniens inférieurs** : Il affleure sur le flanc nord de djebel Bou Rhezal, il est caractérisé par des calcaires gris-blanc alternant régulièrement avec des marnes grisâtres, parfois gypseuses. Sa puissance varie de 300 à 400 m.

**II.1.3.2.1.5.2. Crétacé inférieur**

- **Barrémien** : Cette couche affleure uniquement vers Chaiba, elle est constituée par les grès rouges avec plusieurs intercalations argileuses, le Barrémien est le terme le plus ancien visible dans la région de Biskra.
- **Aptien** : Cette couche est visible seulement vers Chaiba ; elle présente un faciès lagunaire avec intercalation marine, il est constitué par des argiles et des marnes multicolores, anhydrites, calcaire dolomitique et dolomies. Sa puissance est de 60.
- **Albien** : Il affleure dans la combe de l'anticlinal du Djebel Bou Rhezal et au nord-est de Chaiba, il est constitué en majeure partie par des grès de couleur rouges ou gris avec intercalation d'argiles rouges sa puissance est d'environ 250 m.

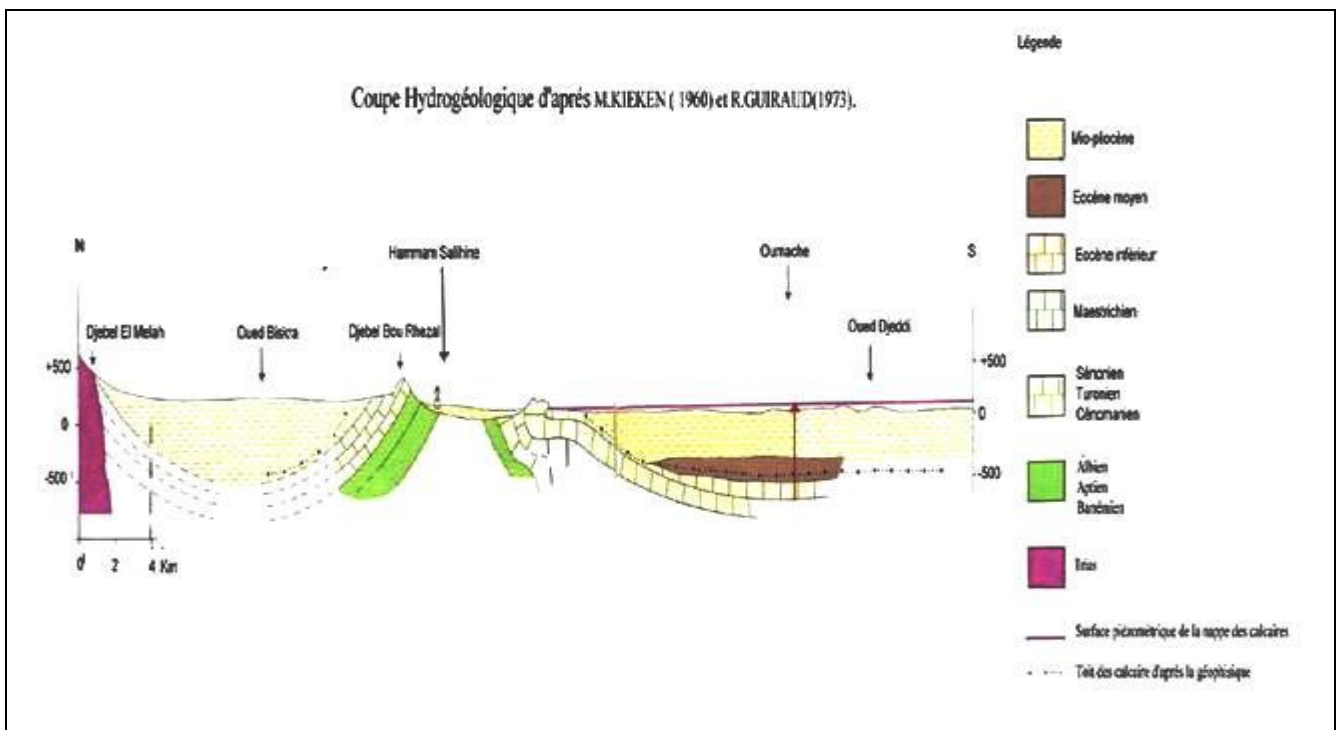


Figure 13 : Coupe Hydrogéologique schématique dans la région de Biskra (Kieken, 1960 et Guiraud, 1973)

### **II.1.3.2.1.5.3. Tectonique**

D'après l'agence nationale d'aménagement de territoire (ANAT, 2002), le nord de la wilaya est affecté par le grand accident tectonique, connu sous le nom de « la flexure sud atlasique », qui est une sorte de cassure séparant la partie nord du pays (le Tell) de la zone effondrée désertique (le Sahara). Cet accident est caractérisé par la présence de multiples failles (tectonique cassante) et d'une structure souple et plissée (tectonique souple).

### **II.1.4. Géomorphologie de la région d'étude**

La région de Biskra constitue la transition entre les domaines atlasiques plissés du nord et les régions planes et désertiques du Sahara au sud (Chebah, 2007 ; Khadraoui, 2010). Elle se présente en général comme un piémont sans relief marqué qui est relié par une pente douce des chaînes atlasiques aux étendues sahariennes du sud (Gousskov, 1964). Une seule structure celle de l'anticlinal du djebel Bou Rhezal.

#### **II.1.4.1 Les formes d'érosion**

##### **II.1.4.1.1 La combe du djebel Bou Rhezal**

L'anticlinal du djebel Bou Rhezal a subi une érosion énergique aboutissant à une inversion totale du relief. Cette combe a été formée lors de l'érosion aux Oligocènes très active qui a affecté les montagnes.

##### **II.1.4.2 Les chevrons**

Ils sont visibles surtout sur le contour de la combe.

##### **II.1.4.3 Les cônes de déjection**

La combe constitue un bassin de réception des eaux déversées. Ces derniers se concentrent au noyau pour former des cônes de déjection.

##### **II.1.4.4. Les glacis**

Ce sont des formations du quaternaire moyen, dit « Deb-Deb » qui représentent une formation calcaire-gypseuse. Ils s'étendent aux pieds des reliefs et se terminent dans les sebkhas dans l'arrière pays.

##### **II.1.4.5. Les escarpements d'érosion**

Ils se localisent dans les combes du djebel Bou Rhezal, dans les Oueds. Ils sont réalisés par l'action des eaux, les plus importantes se localisent dans l'oued Zemor et Oued Ain Oumache.

##### **II.1.4.6. Les accumulations de sable**

Ce sont les édifices éoliens les plus représentés. Ils sont encroûtés et constituent des étendues le long des glacis. Leur présence rend la mise en valeur des sols difficile.

### II.1.5. Relief

Le relief (Figure 14) du sous-bassin versant d'oued Djeddi est constitué de quatre grands ensembles géographiques (CRSTRA, 2007) :

- Les montagnes : situées au nord de la région presque découverte de toutes végétations naturelles (Dj.Sidi Ghzal et Dj.Thenia) ;
- Les plateaux : Ils s'étendent du nord au sud englobant presque la totalité des daïrâtes El Hadjeb, Oumache et une grande partie de Tolga et Doucen ;
- Les plaines : se développent vers l'est et couvrent la quasi-totalité des daïrâtes Ourlel, Mlili et m'khadma ;
- Les dépressions : dans la partie sud-ouest de la wilaya de Biskra (sebkha Oumache).

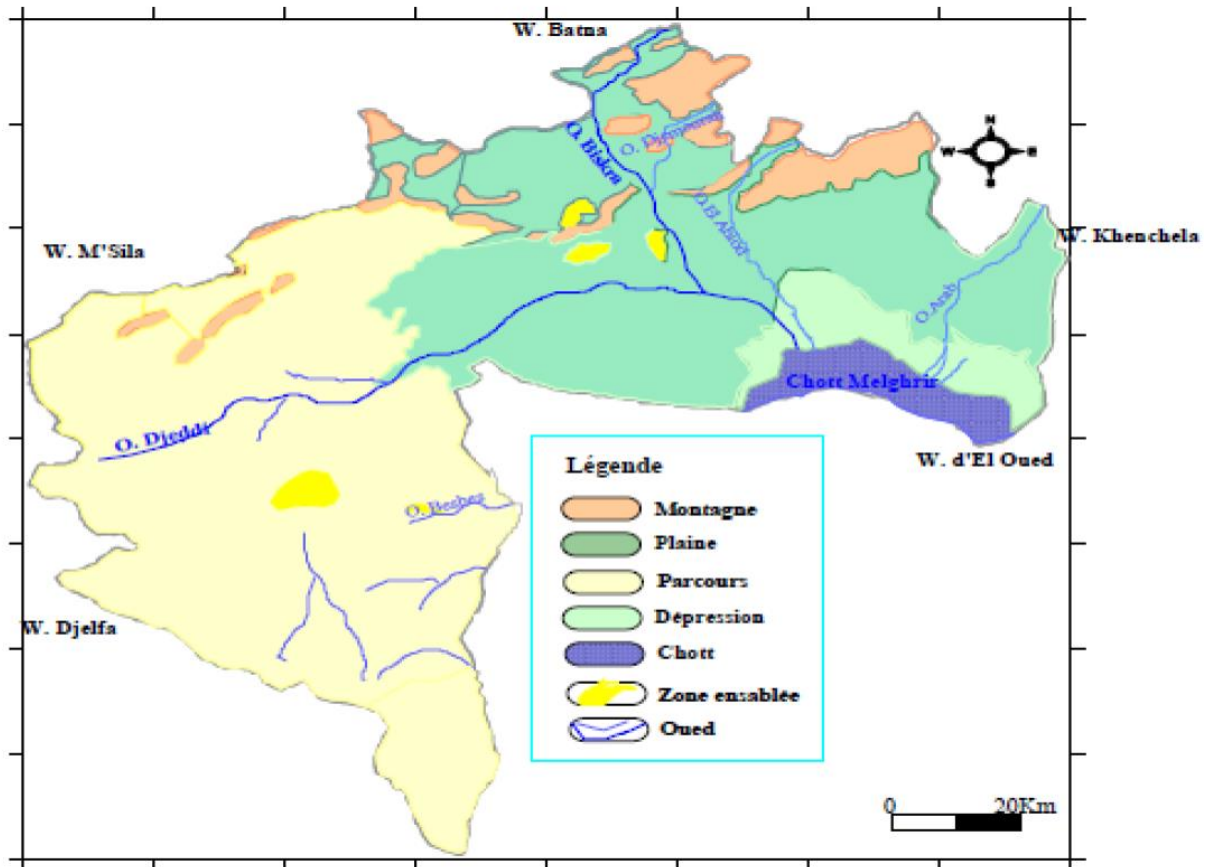


Figure 14 : Carte du milieu physique de la wilaya de Biskra (ANRH, 2008)

### II.1.6. Hydrologie de la région

Toute la région de Biskra appartient au bassin versant du Chott Melghir. D'après Hannachi et Bekkari (1994) in Mostepahaoui (2015), la région de Biskra est drainée par une série d'oueds

(Figure 13) dont les plus importants sont :

- Oued Djeddi : qui dans sa partie amont est l'Oued M'zi (Laghouat) ;
- Oued Biskra : dans sa partie amont est oued El Hai, aurait un débit annuel de 16 millions de m (Dubost, 2002) ;
- Oued Biskra, son réseau hydrographique est constitué par un grand nombre d'affluents et sous-affluents, qui collectent les eaux de ruissellement du sud-ouest de l'Aurès, au nord de la ville de Biskra, qu'ils traversent avant de se déverser dans le Chott Melghir ;
- Oued Biskra résulte de la jonction de deux affluents : oued el hait et oued Djemoura, qui draine respectivement une superficie entre 1788 et 906 km<sup>2</sup>, dont la confluence donne naissance à l'oued Biskra à une altitude de 200 m (Chabour, 2006). L'oued El Hai prend son origine sur les flancs d'Atlas saharien, qui à son tour prend sa naissance du confluent des deux oueds : oued Fedhala issu du Djebel Ich Ali (1815 m) et l'oued Tilatou qui descend des monts de Bellezma (2091 m) et coule dans la direction SE-NO. L'oued Djemoura résulte aussi de la jonction de deux oueds : oued Abdi qui prend sa source du Djebel El Azreg (1937 m) El-Arabe : sépare le massif des Aurès de celui des Nemencha ;
- Oued el-Abiod : Qui alimente le barrage foug el khorza, le débit moyen annuel de l'oued el-Abiod est estimé à 18 millions de m (Dubost, 2002).

### **1.7. Synthèse des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques de la région d'étude**

On se basant sur la description géologique des terrains ainsi que les caractéristiques hydrogéologiques de chaque formation, on a pu établir le tableau n° 02 (Mostephaoui, 2015).

Tableau 02 : Description géologique et hydrogéologique du site (Mostephaoui, 2015)

Âge	Système	Lithologie	Épaisseur	Hydrogéologie
Quaternaire	Récent	Alluvions sableuses et Argileuses	50 à 70 m	Nappe superficielle (phréatique)
	Moyen	Calcaire gypseux (Deb Deb de 2 m)		
	Ancien	Dépôts cailloutis graviers + sable et le lit actuel des Oueds		
Tertiaire	Miocène	Marnes rouges à gypse	100 à 300 m	Imperméable
	Inférieur			
	Miopliocène	Alternance argile et sable	80 à 140 m	Nappe des sables
	Éocène moyen	Argile sableuse et marne	5 à 100 m, 100 à 250 m Environ de Lioua et Oumache	Imperméable
	Éocène inférieur	Calcaire (argile)	150 m à 250 m	Nappe des calcaires
	Sénonien supérieur	Calcaire	200 m 125 m à Oum El Heubel	
	Sénonien inférieur	Argiles, gypses, sels	100 à 200 m	Imperméable
Secondaire	Turonien	Calcaires dolomitiques et dolomie	100 à 200 m	Nappe du turonien en (karst nom exploité)
	Cénomanién	Argile, marnes, marno-Calcaires et gypse	200 à 300 m	
	Albien	Calcaire Marne, grés	200 à 300 m	Nappe du continental calcaire
	Aptien	Grés, dolomies	250 m	
	Barrémien	Grés	250 m	

Le couplage des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques des formations dans le secteur étudié montre que les formations susceptibles d'être des aquifères et présentant un intérêt hydrogéologique sont représentées essentiellement par :

### 1. Nappe phréatique du quaternaire

La nappe du quaternaire, d'une profondeur comprise entre 20 et 150 m, présente un débit entre 5 et 10 l/s et d'une qualité chimique moyenne et dans certains cas, elle peut être médiocre. Elle est connue au niveau des palmeraies de Tolga et se localise souvent sur des accumulations alluvionnaires, on classe dans cette catégorie, la nappe de l'Oued de Biskra et celle de l'Oued Djeddi. Elles doivent leur alimentation normalement à partir des précipitations, d'infiltration des Oueds et des eaux d'irrigation. La plupart des eaux de cette nappe sont salées ou peu salées. Elle est fortement exploitée dans les régions d'Ouled Djellal, Sidi Khaled et la ville de Biskra (khechai, 2001 ; ANAT, 2003).

### 2. Nappe profonde (Nappe de grés)

La nappe des grés du continental intercalaire ou nappe albienne est un réservoir très important

constitué essentiellement de grès et de marne d'âge albien et barrémien. Elle est caractérisée par une profondeur oscillante entre 1600 et 2500 m avec un débit moyen de 80 l/s jaillissants la qualité de l'eau, elle est généralement de bonne qualité et ne dépasse pas les 2 g/l de résidu sec. La température de l'eau peut dépasser les 60 °C et son exploitation est très coûteuse en raison de sa profondeur (ANAT, 2003 ; Rouahna, 2007).

### 3. Nappe des calcaires

Cette nappe est constituée essentiellement de calcaire fissuré d'âge Éocène et sénonien :

- a) **Nappe des calcaires du sénonien**, d'une profondeur de 200 à 900 m avec un débit moyen de 20 l/s et d'une qualité chimique bonne à moyenne (ANAT, 2003).
- b) **Nappe des calcaires de l'Éocène inférieur**, d'une profondeur qui varie de 100 à 500 m, d'un débit moyen de 20 l/s et d'une qualité chimique moyenne (ANAT, 2003). Cette nappe est localisée dans la totalité chimique moyenne (ANAT, 2003).

Cette nappe est localisée dans la totalité de la région de Biskra. Elle est plus exploitée à l'est de Biskra à cause des faibles profondeurs relatives de captage. À l'ouest, la profondeur de la nappe varie de 150 à plus de 200 m alors qu'à l'est la profondeur ne dépasse pas les 400 m (Haouchine et al., 2010). L'alimentation de cette nappe se fait par deux zones d'affleurement de l'éocène inférieur, la première à l'ouest de Doucen et Ouled Djellal, la seconde au nord de Tolga, entre Foughala et Bouchegroune et les versants de la plaine de l'Outaya. Cette nappe subit une baisse de niveau piézométrique à la suite de la surexploitation (Khechai, 2001).

- c) **Nappe des sables**, On peut distinguer deux types de nappes :

- **Nappe des sables du pontien**, sa profondeur est comprise 500 et 900 m, d'un débit jaillissant de 8 l/s et d'une qualité chimique moyenne.
- **Nappe des sables du Mio-pliocène**, elle est captée à une Profondeur moyenne de 250 m, d'un débit moyen de 15 l/s et d'une qualité chimique moyenne (ANAT, 2003).

Cette nappe a une extension considérable. Elle est captée par de nombreux forages, son épaisseur reste faible sur les piémonts et augmente au milieu de la plaine. Son alimentation est assurée par les pluies exceptionnelles dans les zones d'affleurements, les exutoires sont constitués par les sources (telle la source de Sebaa Mgataa) et par les vastes zones d'évaporation. L'écoulement de cette nappe se fait du nord-ouest vers le sud-est pour déboucher au chott Melghir (Khechai, 2001).

#### II.1.8. Végétation

La végétation naturelle de la région des Ziban est adaptée à un climat aride presque toute

l'année, le milieu désertique est caractérisé par un couvert floristique très clairsemé, discontinu, à aspect généralement nu et isolé et très irrégulier sous l'influence des facteurs édapho climatiques qui sont très rudes. Mais le Pr. Halitim (1988) montre que ces facteurs n'inhibent pas l'apparition ou la prolifération d'une flore saharienne spontanée caractéristique que sous l'existence des conditions plus ou moins favorables favorisée par des zones géomorphologiques spécifiques. Parmi les espèces herbacées et arbustives que l'on peut rencontrer dans cette zone, on peut citer : *Salsola vermiculata* ; *Salsola* sp; *Carex* sp; *Tamarix articulata* ; *Atriplex halimus* ; *Helianthemum* sp.

Selon Dubost (2002), l'exploitation agricole est fortement influencée par les conditions physiques locales comme la géomorphologie, la topographie et la circulation de l'eau. L'une des meilleures cultures arboricoles, qui s'adapte le mieux au sol et au climat de la région, est celle du palmier dattier qui constitue la richesse principale de la population locale comme Tolga, Oumeche et Ourlel.

La région des ziban est devenue ces dernières années la première région, d'Algérie, productrice de primeurs maraîchères sous serre, détrônant même les régions traditionnelles de la plasticulture située au nord du pays (Tipaza, Boumerdès et Jijel) avec une superficie de 3079,76 m — (Belhadi et al., 2016).

### II.1.9. Étude du sol

Les sols de la région de Biskra sont inventoriés dans les classes des sols peu évolués, calcimagnésiques et halomorphes (A.N.A.T, 2003). L'étude morpho-analytique montre l'existence de plusieurs types des sols qui ont des traits pédologiques comme la salinisation, apports évolués, remontées capillaires, apports alluvionnaires et colluvionnaires (Bougherara et Lacaze, 2009).

À ce propos, Khachai (2001) a défini plusieurs groupes de sols répartis comme suit :

- Les régions sud sont caractérisées par des accumulations salées, gypseuses et calcaires ;
- Les régions est sont définies par des sols alluvionnaires, argileux fertiles et peu fertiles ;
- La plaine située au nord-ouest de la région Biskra où les sols argileux sodiques sont irrigués par les eaux fortement minéralisées qui constituent le caractère de la pédogénèse de cette région.

Par sa position géographique, la région de Biskra se distingue de point de vue pédologique par une multitude de types de sols (Figure 15). On rencontre sur l'axe nord-sud, des sols peu profonds d'apport colluvial en pente, reposant sur des croûtes calcaires ou des conglomérats, avec une charge caillouteuse en surface et en profondeur. Ce type sol est inventorié surtout dans les localités montagneuses (piémonts) au nord des régions de Ain Naga, jusqu'à Khanghet Sidi Nadji, ainsi que dans les régions de Ain Zaatout, El Kantara et Djemourah. La partie centrale et sud de la région se



caractérise généralement par des sols d'apport alluvial à texture moyenne et localement fine (plaine d'El Outaya).

Dans ces régions à topographie plane, d'apport alluvial sont généralement tous affectés de sels et peuvent présenter une formation gypseuse (Tolga) et même un niveau de nappe phréatique salé proche de la surface du sol (Durant, 1957).

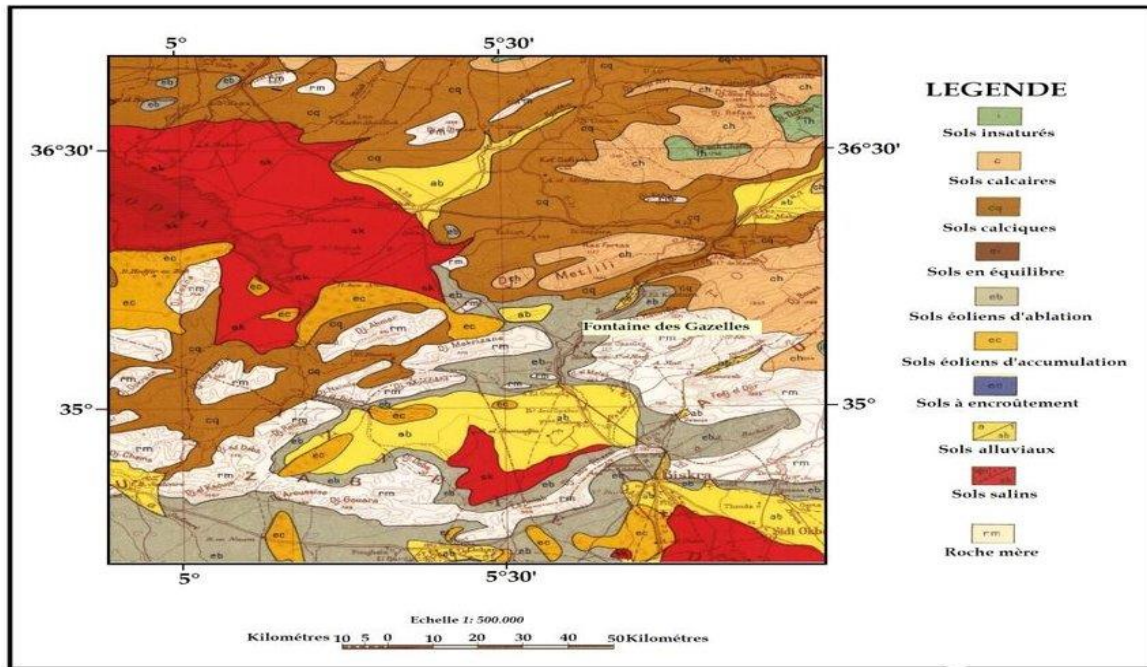


Figure 15 - Carte pédologique de la région de Biskra (Durant, 1957)

Les sols qui constituent le territoire de la Wilaya de Biskra sont en général pauvres et peu profonds, ce sont des sols éoliens d'ablation et des sols basiques. Il existe cependant en région nord des zones où le sol est absent, c'est une zone d'affleurements de la roche mère. Au sud-est de la Wilaya dans la région des chotts, c'est la zone des sols halomorphes (Sedrati, 2011).

## II.2. Matériel et Méthodes d'étude

### II.2 .1. Choix du site de travail

À la base de la géologie de du substratum des sols, nous avons délimité quatre catégories des zones ; première zone est caractérisée par la présence des sols sur sédiments gypso-calcaires (M'ziraa et Doucen), deuxième zone est caractérisée par la présence des sols sur Deb-Deb encroûté (Tolga et Ain Ben Noui ou El Hadjeb), troisième zone est caractérisée par des sols argileux lourds et calcaires et la quatrième zone est caractérisée par des sols sur matériaux salés et argileux.

### II.2.2. Échantillonnage

Pour chaque station, nous avons réalisé un profil et devant chaque profil, on a effectué un autre profil. Ce sol non irrigué et non cultivé constitue l'état de référence « témoin ». La disposition

de ces profils est illustrée par la carte de la figure 16.

L'échantillonnage du sol a été effectué en mars et avril 2010. Les profondeurs qui en considération (0-10, 10-40 et 40-70 cm) dans l'étude représentent la surface du sol, la partie médiane (la zone racinaire) et la partie basse du sol (apparition des accumulations salines). Ces profondeurs sont plus représentatives sur le plan agronomique.



Figure 16 : Carte de localisation des profils

### II.2.3. Méthodes d'analyse

Les analyses physiques, physico-chimiques, minéralogiques ont été effectuées aux laboratoires de département d'Agronomie, de Chimie et de Géologie 1 (université de Batna, de Biskra, de Skikda et d'Annaba) et aux laboratoires de l'INSID (Alger) et de l'ANRCH (Constantine).

### II.2.4. Échantillon du sol

Toutes les analyses des matériaux (sol) ont été faites sur des échantillons séchés à l'air libre, broyés et tamisés à 2 mm. Les méthodes analytiques adoptées sont les suivantes :

#### 1. Analyses physiques

- a. **Granulométrie** : Détermination des argiles par la pipette Robinson et séparation des sables fins et sables grossiers par tamisage pour les sols des sites de M'ziraa, Tolga, El Hadjeb, Zeribet El Oued et El Outaya.

Granulométrie sans élimination du gypse, lorsqu'il y'a une floculation de gypse, c'est le cas des sols de Doucen. Elle a pour objet de connaître la granulométrie du matériel total. Le protocole adopté est consigné en **annexe 02**.

Les valeurs de la réserve utile et de la perméabilité sont obtenues à partir de logiciel American : Simple model to estimate field-measured. Soil water limits. Trans. ASAE 42 : 16 091 614 (Gerakids, and A. Suleiman ;1999).

- b. **Calcaire total** : Méthode volumétrique au calcimètre de Bernard.
- c. **Gypse** : Méthode conductimétrie de RICHARD par l'utilisation de l'acétone comme réactif.

#### 2. Analyses chimiques

L'étude de la solution du sol a été réalisée en utilisant la méthode d'extraction aqueuse de rapport pondéral sol/eau 1/5, car elle est plus rapide et moins consommatrice d'eau et permet une étude de l'évolution dans le temps et/ou l'espace de la salinité par détermination du profil salin potentiel.

- a. **pH** : mesuré avec un pH mètre, le rapport sol — eau est de 1/2. 5.
- b. **Conductivité électrique CE (dS/m)** : mesuré par un conductimètre à 25 °C avec un rapport 1/5.
- c. **Carbone organique** : Méthode de WALKLEY et BLACK.
- d. **Dosage des anions solubles** : à partir de l'extrait aqueux (1/5).

- e.  $\text{Cl}^-$  : Les ions  $\text{Cl}^-$  sont dosés suivant la méthode argentométrique de Moher. Ils précipitent sous forme  $\text{AgCl}_2$  en présence d' $\text{AgNO}_3$ .
  - f.  $\text{CO}_3^{2-}$  et  $\text{HCO}_3^-$  : sont dosés par titrimétrie avec  $\text{H}_2\text{SO}_4$  en présence d'un indicateur phénolphtaléine.
  - g.  $\text{SO}_4^{2-}$  : méthode gravimétrique (principe de précipitation sous forme de  $\text{BaSO}_4$  ; sulfate de baryum).
  - h. **Dosage des cations solubles** : à partir de l'extrait aqueux (1/5)
  - i.  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$  : par absorption atomique
  - j.  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  : par photomètre à flamme
3. **Détermination des bases échangeables et la capacité d'échange** :
- Méthode Bower modifiée pour les sols salés et calcaires. On procède de la manière suivante :
- a. Extraction des cations échangeables ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ) par l'ACO Na à pH = 8,2
  - b. Déplacements du  $\text{Na}^+$  par l'ACO- $\text{NH}_4$  à pH = 7 (après lavage à l'alcool pour éliminer l'excès de  $\text{Na}^+$ ), le dosage de  $\text{Na}^+$  issu de ce déplacement, donne lieu à la valeur de la C.E.C.
  - c. la valeur de  $\text{Na}^+$  échangeable est obtenue à partir d'un autre essai pour le même sol, on utilisant l'ACO— $\text{NH}_4$  à pH = 7 comme réactifs.
  - d. Les bases échangeables sont dosées par le même appareillage et même méthode utilisée pour le dosage des cations solubles.

### II.2.5. Échantillon d'eau

Les méthodes utilisées pour les différents paramètres sont presque les mêmes que celles appliquées aux sols.

- a. pH : mesurée au pH-mètre
  - b. CE (dS/m) : mesurée au conductimètre
  - c. Détermination des éléments du bilan ionique
- **Les cations** :
    - a.  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$  : par l'absorption atomique
    - b.  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  : par photomètre à flamme
  - **Les anions** :
    - a.  $\text{Cl}^-$  : Les ions  $\text{Cl}^-$  sont dosés suivant la méthode argentométrique de Moher. Ils précipitent sous forme  $\text{AgCl}_2$  en présence d' $\text{AgNO}_3$ .
    - b.  $\text{CO}_3^{2-}$  et  $\text{HCO}_3^-$  : sont dosés par titrimétrie avec  $\text{H}_2\text{SO}_4$  en présence d'un indicateur phénolphtaléine.
    - c.  $\text{SO}_4^{2-}$  : méthode gravimétrique au  $\text{BaCl}_2$ .

### II.2.6. Analyse minéralogique (Diffraction aux rayons X)

La méthode des poudres de DEBY-SHERER consiste à faire tomber un faisceau parallèle de rayons x monochromatiques sur un échantillon composé de très petits cristaux orientés au hasard et dont certains de leurs plans réticulaires font avec le rayon incident un angle qui satisfait la relation de Bragg (Boumaraf, 2013). Dans cette méthode, utilisée essentiellement pour une analyse globale, la fraction inférieure à 2 microns est séchée, broyée puis portée sur le porte-échantillon exposé aux rayons x. Les spectres de raie de tous les minéraux sont donnés : minéraux primaires résiduels et minéraux secondaires comme les oxydes de fer, sulfates, carbonates et phyllosilicates. Leur présence révèle le degré d'évolution du sédiment. S'il y a beaucoup de minéraux primaires, l'altération a été intense et très ancienne. Ces minéraux confirment par leur présence ou absence, l'étude faite sur les minéraux argileux (Guez, 1982).

## *Chapitre III*

### *Résultats et Discussion*

## Chapitre III : Résultats et Discussion

### III.1. Caractérisation des sols des zones agroécologiques

La description des profils nous permettra d'avoir une idée globale de la nature des sols des Ziban. Quatre catégories des zones ont été déterminées :

- Première zone est caractérisée par la présence des sols sur sédiments gypso-calcaires (M'ziraa et Doucen).
- Deuxième zone est caractérisée par la présence des sols sur Deb-Deb encroûté (Tolga et Ain Ben Noui ou El Hadjeb).
- Troisième zone est caractérisée par des sols argileux lourds et calcaires (Zeribet El Oued).
- Quatrième zone est caractérisée par des sols sur matériaux salés et argileux (El Outaya).

#### III.1.1. Sols sur sédiments gypso-calcaires (Zone 1)

##### III.1.1.1. Caractéristiques morphologiques et physico-chimiques des sols de M'ziraa

###### III.1.1.1.1 Description morphologique du profil n° 01 (M'ziraa cultivé)

Nom du profil : M'ziraa cultivé.

Numéro du profil : 01

Date de description : Mars 2010

Localisation : 34° 43' 37" N, 6° 16' 26,18" E elev 31m

Pente : inférieure à 2 %

Substrat : Dépôts calcaires salés

Géomorphologie : Terrasses encroûtées

Drainage : Moyen

Végétation : nouveau palmier

Classification : Sodic Xeric Haplocalcids

##### **Horizon Ap (0-28 cm)**

Brun pâle (10YR 6/3) à l'état sec, argile limoneuse, structure polyédrique fine, très nombreuses racines fines à moyennes, très forte effervescence à l'HCl, charge en cailloux faible, transition progressive.

##### **Horizon AC (28-45cm)**

Brun pâle (10YR 6/3) à l'état sec, argileux — limoneux, structure polyédrique moyenne, nombreuses

racines moyennes, charge en cailloux très faible, très forte effervescence à l'HCl, transition diffuse.

##### **Horizon C (70-120 cm)**

Brun jaunâtre clair (10YR 6/4) à l'état sec, argileux, structure polyédrique grossière à massive, pas

de racines, charge en cailloux très faible, très forte effervescence à l'HCl.

### III. 1.1.1.2. Caractéristiques physico-chimiques des sols de M'ziraa (Sols cultivés)

Le profil est de type AC, la structure est polyédrique, la composition granulométrique donne une dominance aux argiles, il s'agit d'une texture lourde. Ces sols sont peu perméables dans l'ensemble du profil, par contre la réserve utile est faible dans le premier horizon, malgré une texture argileuse tout le long du profil et le taux de matière organique dans l'horizon 1 est le plus élevé.

Le pH est neutre dans les deux horizons supérieurs à alcalin en profondeur. Ces sols sont fortement calcaires, faiblement à modérément gypseux (Barzanji, 1973). Le taux de matière organique est moyen en surface et faible pour les autres horizons, c'est le cas des sols des zones arides (Halitim, 1988).

La capacité d'échange cationique est élevée avec des valeurs comprises entre 35,20 Cmol/kg de sol en profondeur et 46,40 Cmol/kg de sol dans l'horizon médian. La détermination des caractéristiques du complexe d'échange des sols des régions arides pose actuellement un problème dans la plupart des procédés analytiques, en raison de la présence du  $\text{CaCO}_3$  et du gypse. La notion d'ESP est affectée par une double source d'imprécision, la première est due à la CEC et la seconde à l'estimation de  $\text{Na}^+$  échangeable (JOB, 1981). Le complexe adsorbant est saturé en  $\text{Ca}^{++}$  et en  $\text{Na}^+$  (à cause de la forte salinité 2,4 dS/m).

L'étude de la salinité a montré que ces sols sont salés en surface, non salés dans le deuxième horizon et très salés en profondeur, le profil salin (Figure 17) est de type (C), c'est une forme sur laquelle se greffe un maximum superficiel de salinité.

En ce qui concerne le bilan ionique de la solution du sol (1/5), les résultats montrent que c'est l'ion  $\text{Ca}^{++}$  qui est le plus abondant avec 60 %, viennent les ions  $\text{Na}^+$  avec un taux de 19,39 %, le  $\text{Mg}^{++}$  arrive en troisième position avec 18,67 % et enfin, le  $\text{K}^+$  avec 1,41 %.

Pour les anions, les sulfates sont les plus dominants avec un taux de 62,78 % et une teneur importante en profondeur de 21,40 meq/l.

La solution du sol présente des quantités moins abondantes de Chlorures (33,98 %) et de Bicarbonates (2,79 %).

En définitive, du point de vue de l'abondance des cations et des anions et vu leur ordre de classement respectif dans la solution du sol, il y a lieu de conclure que ces sols présentent un faciès chimique de type sulfaté calcique (Figure 18).

Les données analytiques du profil sont représentées dans le tableau 03 :



Tableau n° 03 : Analyses physico-chimiques du profil n° 1 (M'ziraa cultivé)

Profondeur (cm)	* Granulométrie (%)				pH (1/2. 5)	Calcaire Total (%)	Gypse (%)	Carbone (%)	Matière Organique (%)	Bases échangeables (Cmol/Kg de sol)				CEC (Cmol/Kg de sol)	ESP (%)
	Argile	Limon	Sable	Classe texturale						Na	K+	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>		
	0 – 10	47,89	41,47	10,64						Argile	7,03	38,31	0,95		
10 – 40	48,17	41,75	10,08	Argile	7,22	37,59	1,38	0,68	1,17	6,9	1,65	30,83	7,00	46,40	14,91
40 – 70	70,46	24,47	5,07	Argile	7,56	37,23	11,50	0,62	1,08	10,2	1,70	13,94	9,29	35,20	29,17

Profondeur (cm)	C E (dS/m) 1/5	Cations (meq/l)				Somme des cations (meq/l)	Anions (meq/l)				Somme des Anions (meq/l)	SAR
		Na <sup>+</sup>	K+	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>		CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>		
0 – 10	1,00	3,26	0,25	5,06	1,85	10,42	0,00	0,16	5,00	6,27	11,43	01,76
10 – 40	0,51	0,82	0,11	3,68	0,99	05,60	0,00	0,24	2,00	1,98	4,22	00,54
40 – 70	2,40	2,96	0,35	15,93	4,99	24,23	0,00	0,32	3,00	21,40	24,72	00,92

Profondeur (cm)	+ Réserve utile (mm)	+ Perméabilité (cm/h)
0 – 10	13,54	0,25
10 – 40	40,85	0,26
40 – 70	33,56	0,36

\* Classification USDA

Les valeurs du Ca<sup>++</sup> a été ajusté à la CEC

+ Valeurs obtenues à partir du logiciel américain (Soil water limits)

**III.1.1.1.3. Description morphologique du profil n° 02 (M'zirâa non cultivé)**

Nom du profil : M'zirâa non cultivé.

Numéro du profil : 02

Date de description : Mars 2010

Localisation : 34° 43' 6,04" N, 6° 18' 22, 9" E, elev 31 m

Pente : inférieure à 2 %

Substrat : Dépôts calcaires salés

Géomorphologie : Terrasses encroûtées

Drainage : Moyen

Végétation : plantes halophiles

Classification: Sodic Xeric Haplocalcids

**Horizon A (0-10 cm)**

Brun très pâle (10YR 8/3) à l'état sec, argilo-limoneux, structure polyédrique moyenne, pas de racines, très forte effervescence à l'HCl, charge en cailloux très faible, transition progressive.

**Horizon AC (30-70cm)**

Brun pâle (10YR 6/3) à l'état sec, argileux — limoneux, structure polyédrique grossière, pas de racines, charge en cailloux très faible, très forte effervescence à l'HCl, transition diffuse.

**Horizon C (70-120 cm)**

Brun pâle (10YR 6/3) à l'état sec, argileux, structure polyédrique grossière à massive, pas de racines, charge en cailloux très faible, très forte effervescence à l'HCl.

**III.1.1.1.4. Caractéristiques physico-chimiques et des sols de Mzirâa (Sols non cultivés)**

Le profil est de type AC, la structure dominante est polyédrique, la texture dominante est argileuse avec un taux d'argile supérieur à 45 %. Ces sols sont peu perméables, la réserve utile suite la même évolution que le profil précédent à savoir qu'elle est faible dans le premier horizon, et ce résultat trouve son explication par le fait, l'horizon 1 a une texture argilo-sableux.

Le pH est alcalin dans l'ensemble du profil et le calcaire total est élevé avec un pourcentage dépasse 38 % dans tous les horizons, tandis que le gypse est faible avec un taux qui ne dépassant pas 10 %. Ces sols sont pauvres en matière organique (>1 %), cette faible évolution est liée aux conditions écologiques ; avec un faible taux de matière organique, l'activité biologique est ralentie sous un déficit hydrique (Dommergue et Mangenot, 1970).

Les valeurs de la CEC sont élevées surtout en surface en raison de la forte teneur en

argile qui dépasse 45 %. Le complexe adsorbant est saturé en  $\text{Ca}^{++}$ , c'est le cas des zones arides et le  $\text{Na}^+$  à cause de la forte salinité en surface.

Les caractéristiques détaillées de la salinité exigent la détermination des ions. Pour les effets osmotiques, la conductivité électrique du sol suffit pour une appréciation sommaire. On s'est intéressé à connaître le niveau de la salinité globale des sols par le moyen de leur CE et de leur bilan.

Selon l'échelle de salure établie par Aubert (1978), ces sols sont très salés, en surface avec un degré de salinité de 2,52 dS/m est en profondeur de 2,04 dS/m à saie, dans l'horizon médian (1,93 dS/m). Le profil salin (figure 17) est de type (C), correspondant à la reprise du processus ascendant de salinisation à l'issue d'une période de désalinisation. Le cation dominant dans la solution aqueuse (1/5) est la  $\text{Ca}^{++}$  avec un taux de 66,94 %, la valeur la plus importante est enregistrée en surface (18,80 meq/l), viennent ensuite le  $\text{Mg}^{++}$  avec une abondance de 19,73 %. Puis la  $\text{Na}^+$  arrive avec un taux de 11,97 % et enfin le  $\text{K}^+$  qui présente un taux le plus faible estimé à 1,41 %.

D'autre part, l'ordre de classement des anions est le suivant  $\text{SO}_4^{--} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$  avec des taux de 73,84 %, 24,52 % et 1,64 %.

D'après le diagramme de PIPER des cations et des anions (Figure18), le faciès chimique est de type sulfaté — calcique.

Les données analytiques du profil sont représentées dans le tableau 04.

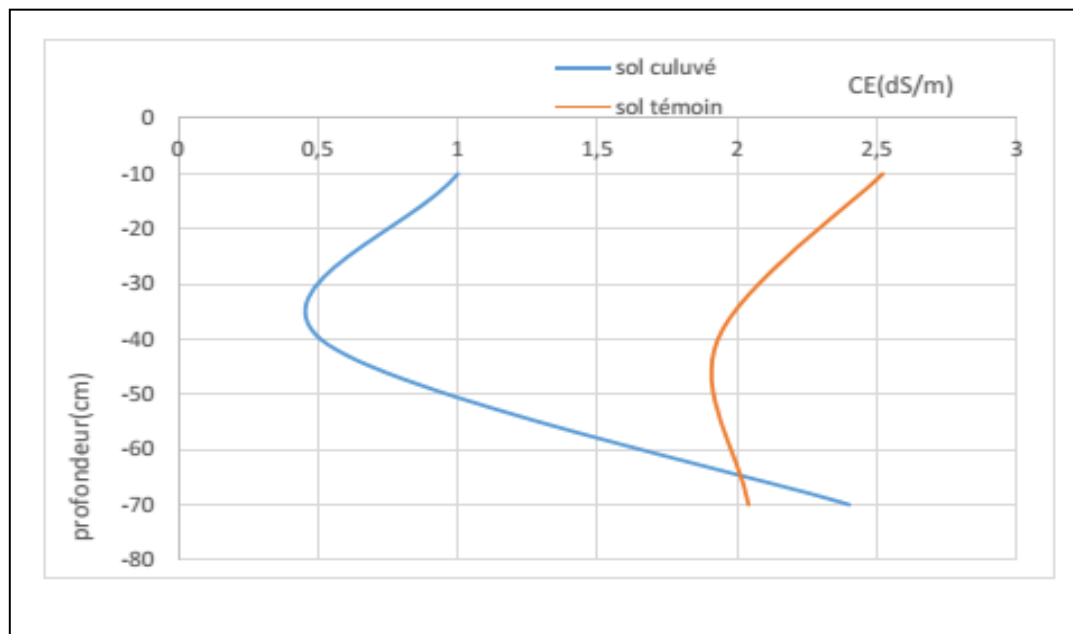


Figure n °17 : Profils salins de la région de M'ziraa

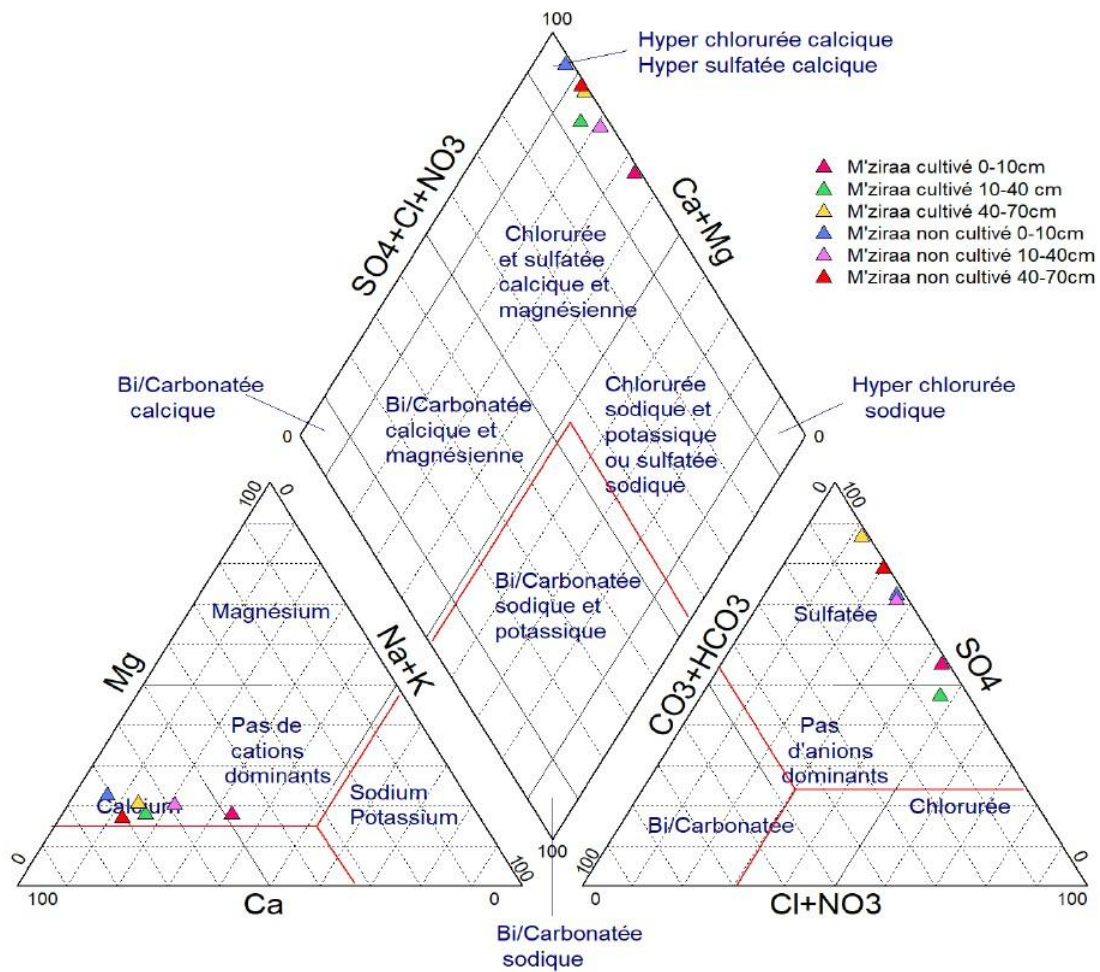


Figure 18 : Représentation sur Diagramme de PIPER des solutions du sol de M'ziraa

Tableau n° 04 : Analyses physico-chimiques du profil n° 2 (M'ziraa non cultivé)

Profondeur (cm)	* Granulométrie (%)				pH (1/2.5)	Calcaire Total (%)	Gypse (%)	Carbone (%)	Matière Organique (%)	Bases échangeables (Cmol/Kg de sol)				CEC (Cmol/Kg de sol)	ESP (%)
	Argile	Limon	Sable	Classe texturale						Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>		
0 – 10	51,78	41,16	7,06	Argile Saleuse	7,87	38,25	9,86	0,53	0,91	6,25	2,07	22,15	5,53	36,00	17,36
10 – 40	51,67	40,95	7,38	Argile	7,89	39,00	8,38	0,53	0,91	6,25	2,87	30,47	7,61	47,20	13,24
40 – 70	45,27	38,46	16,27	Argile	7,84	43,80	8,38	0,22	0,38	6,25	3,23	20,02	4,90	34,40	18,17

Profondeur (cm)	C E (dS/m) 1/5	Cations (meq/l)				Somme des cations (meq/l)	Anions (meq/l)				Somme des Anions (meq/l)	SAR
		Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>		CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>		
0 – 10	2,52	1,43	0,31	18,80	5,92	26,46	0,00	0,40	6,50	17,87	24,77	00,46
10 – 40	1,93	4,35	0,46	13,40	4,56	22,77	0,00	0,52	6,00	15,81	22,33	07,00
40 – 70	2,04	2,83	0,26	17,56	4,17	24,82	0,00	0,24	5,00	19,23	24,47	00,86

Profondeur (cm)	+ Réserve utile (mm)	+ Perméabilité (cm/h)
0 – 10	13,40	0,26
10 – 40	40,19	0,26
40 – 70	39,96	0,24

\* Classification USDA

Les valeurs du Ca<sup>++</sup> a été ajusté à la CEC

+ Valeurs obtenues à partir du logiciel américain (Soil water limits)

### III.1.1.2. Caractéristiques morphologiques et physico-chimiques des sols de Doucen

#### III.1.1.2.1. Description morphologique du profil n° 03 (Doucen cultivé)

Nom du profil : Doucen cultivé.

Numéro du profil : 03

Date de description : Mars 2010

Localisation : 34 ° 38' 06.29" N, 5 ° 6' 05.28" E, elev: 168m

Pente: plane (0–2%)

Substrat : Matériau calcaire salé

Géomorphologie : Terrasses de glacis

Drainage : normal

Végétation : en culture (maraîchage ou palmier)

Classification : Sodic Xeric

Haplocalcids

#### **Horizon Ap (0-20 cm)**

Brun pâle (10YR 6/3) à l'état sec, sableux, structure polyédrique moyenne, beaucoup de racines fines, très forte effervescence à l'HCl, charge en cailloux très faible, transition nette.

#### **Horizon AC (20-35 cm)**

Brun très pâle (10YR 7/3) à l'état sec, sableux, structure polyédrique à grossière, peu de racines, charge en cailloux est très faible, forte effervescence à l'HCl, transition graduelle.

#### **Horizon C (35-120 cm)**

Brun très pâle (10YR 7/3) à l'état sec, sableux, structure massive, peu de racines, charge en cailloux est faible, très forte effervescence à l'HCl.

#### III.1.1.2.2. Caractéristiques physico-chimiques des sols de Doucen (Sols cultivés)

Le profil est de type AC, la structure est polyédrique en surface à massive en profondeur. D'après les résultats obtenus par l'analyse granulométrique sans élimination du gypse, il ressort de cela que la texture dominante est sablo — limoneuse avec un taux de sable dépassant 50 %. Ces sols sont moyennement perméables avec une réserve utile très faible pour les premiers horizons et ceci est dû à une texture sablo-limoneuse, par contre l'horizon de profondeur a une réserve plus importante, étant donné que dans cet horizon la charge en cailloux présente une très forte effervescence à l'HCl, ce qui explique la capacité de rétention d'eau est important (cailloux calcaires).

Le pH est légèrement alcalin, ces sols sont modérément calcaires, modérément à très fortement gypseux (gypsifères) avec un taux varie de 12,39 % en surface à 36,91 % en profondeur.

Le taux de matière organique est toujours faible et varie entre 1,4 % en surface à 0,78 % dans le deuxième horizon. La capacité d'échange cationique est généralement élevée, le complexe absorbant est caractérisé par l'abondance du  $\text{Na}^+$  échangeable en surface par rapport aux autres cations à cause de la forte salinité (4,22 dS/m).

Ces sols sont extrêmement salés en surface avec un degré de salinité de l'ordre de 4,22 dS/m à très salé dans les horizons sous-jacents (2,77 et 2,6 dS/m). Le profil salin (Figure 19) et est de type (A) est associé au processus ascendant de salinisation, transfert vers le haut des solutions salines.

Le cation dominant dans la solution aqueuse (1/5) est le calcium avec un taux de 54,26 %, la valeur la plus élevée est rencontrée en surface. Vient ensuite le  $\text{Mg}^{++}$  avec une abondance de 27,08 % ; sa distribution est analogue à elle de  $\text{Ca}^{++}$ .

Le  $\text{Na}^+$  arrive en troisième rang avec un taux de 14,21 %, la valeur la plus élevée se localise en surface du profil (8,6 méq/l).

Pour les anions, les sulfates sont les plus dominants que les chlorures et les bicarbonates, leurs proportions atteignent respectivement 75,7 %, 23,19 % et 89 %.

Le faciès dans l'ensemble de profil est type sulfaté-calcique (Figure 20). Les données analytiques du profil sont illustrées dans le tableau 05.

Tableau n° 05 : Analyses physico-chimiques du profil n° 03 (Doucen cultivé)

Profondeur (cm)	* Granulométrie (%)			pH (1/2.5)	Calcaire Total (%)	Gypse (%)	Carbone (%)	Matière organique (%)	Bases échangeables (Cmol/Kg de sol)				CEC (Cmol/K g de sol)	ESP (%)
	Argile + Limon	Sable	Classe texturale						Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>		
0 - 10	45,06	54,94	Sablo Limoneux	6,95	12,29	12,39	0,81	1,4	11. 61	1,55	4,11	2,73	20,00	58,05
10 - 40	44,06	55,94	Sablo limoneux	7,13	13,73	36,48	0,45	0,78	2,9 1	1,10	39,44	9,35	52,80	5,51
40 - 70	40,14	59,86	Sablo limoneux	7,12	10,12	36,91	0,60	1,03	4,2 5	1,26	7,74	5,15	18,40	23,09

Profondeur (cm)	C E (dS/m) 1/5	Cations (meq/l)				Somme des cations (meq/l)	Anions (meq/l)				Somme des Anions (meq/l)	SAR
		Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>		CO <sub>3</sub> --	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>		
0 - 10	4,22	8,60	1,30	27,19	13,55	50,64	0,00	0,32	9,50	40,50	50,64	01,91
10 - 40	2,77	3,43	1,74	13,65	08,88	27,70	0,00	0,24	6,00	22,25	28,49	01,02
40 - 70	2,60	3,56	1,20	16,03	06,01	26,80	0,00	0,32	8,00	18,54	26,86	01,07

Profondeur (cm)	+ Réserve utile (mm)	+ Perméabilité (cm/h)
0 - 10	0,15	2,2
10 - 40	0,22	3,25
40 - 70	22,08	3,47

\* Classification USDA

Les valeurs du Ca<sup>++</sup> a été ajusté à la CEC

+ Valeurs obtenues à partir du logiciel américain (Soil water limits)



**III.1.1.2.3. Description morphologique du profil n° 04 (Doucen non cultivé)**

Nom du profil : Doucen non cultivé.

Numéro du profil : 04

Date de description : Mars 2010

Localisation : 34° 38' 16,88" N, 5° 08' 16,05" E, elev : 168 m

Pente : Pente faible (0-2 %)

Substrat : Matériaux calcaires salés

Géomorphologie : Terrasses de glacis

Drainage : normal

Végétation : Plante vivace halophile

Classification : Sodic Xeric Haplocalcids

**Horizon Ap (0-30 cm)**

Brun (10 YR 7/3) à l'état sec, sableux, structure polyédrique grossière à massive, quelques racines en surface, pas de charge en cailloux, forte effervescence à l'HCl, transition diffuse.

**Horizon AC (30-60 cm)**

Gris clair (10YR 7/2) à l'état sec, sableux, structure massive, très peu de racines, pas de charge en cailloux, très forte effervescence à l'HCl, transition diffuse.

**Horizon AC (>60 cm)**

Brun très pâle (10YR 7/3) à l'état sec, sableux, structure massive, quelque grossières racines, quelques taches blanchâtres (gypse et calcaire), très forte effervescence à l'HCl.

**III.1.1.2.4. Caractéristiques physico-chimiques et des sols de Doucen (Sols non cultivés)**

Le profil est de type AC, avec une structure polyédrique à massive. Les résultats de l'analyse granulométrique sans élimination du gypse révèlent des pourcentages de sable qui varient entre 57,25 %, à 63,46 %, la texture est sablo — limoneuse. Ces sols sont moyennement perméables en surface à perméables en profondeur avec une réserve utile faible dans l'horizon de surface et moyenne dans les horizons de profondeur malgré la même texture le long du profil.

Le pH est neutre, ces sols sont modérément calcaires avec un taux qui varie entre 17,34 % en surface et 24,21 % au deuxième horizon et très fortement gypseux avec un taux dépasse 48 %.

Ces sols sont pauvres en matière organique (>1 %). Les valeurs de la CEC sont élevées, le complexe adsorbant est saturé en  $\text{Ca}^{++}$ .

Dans l'ensemble du profil, la salinité est presque la même (2,31, 2,38 et 2,38 dS/m). Ces sols sont généralement fortement salés. Le profil salin (Figure 19) est de type D et présente une distribution de la salinité augmentant régulièrement avec la profondeur (servant, 1976).

Le taux de  $\text{Ca}^{++}$  est le plus important, il est au voisinage de 65,26 %. Le taux de  $\text{Mg}^{++}$  est supérieur à celui de  $\text{Na}^+$ , ils sont de l'ordre de 21,47 % et 12,50 % et enfin, la quantité de  $\text{K}^+$  est pratiquement négligeable par rapport aux autres éléments (0,5 %).

Les sulfates sont les anions les plus fréquents dans la solution du sol avec une abondance moyenne de 77,73 %. Le chlore «Cl» arrive en deuxième position (21,15 %), puis les  $\text{HCO}_3^-$  avec un taux très faible par rapport aux autres anions (1,11 %).

Le faciès chimique est généralement de type sulfate — calcique (Figure 20)

Les données analytiques du profil sont représentées dans le tableau 06.

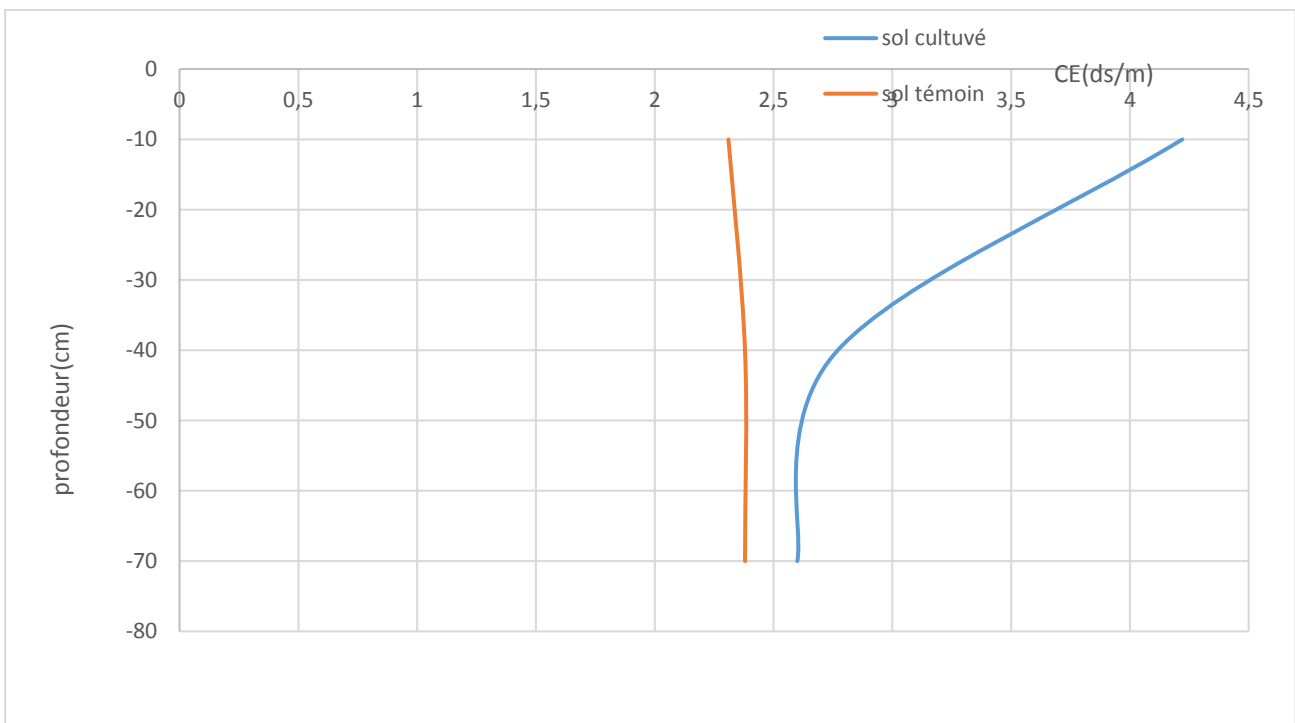


Figure 19 : Profils salins de la région de Doucen

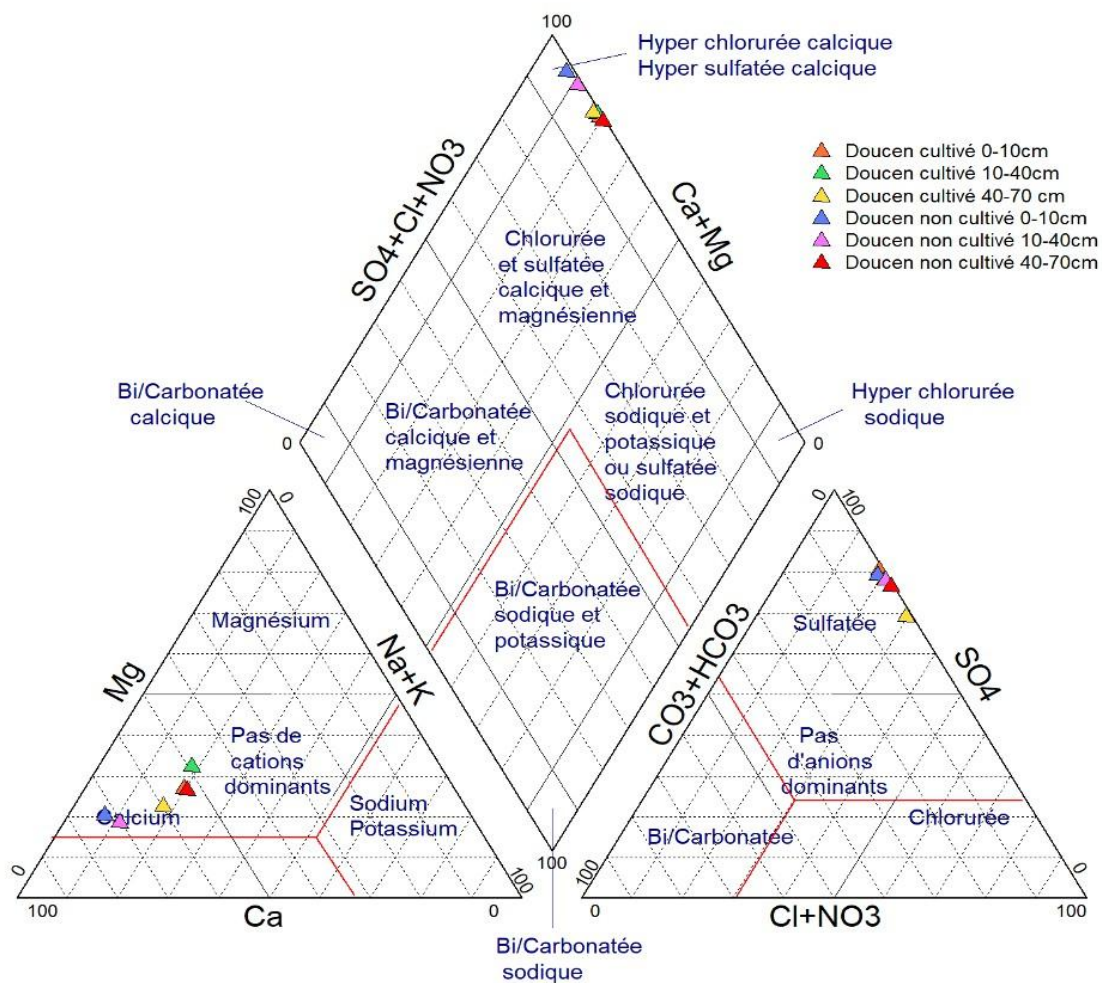


Figure 20 : Représentation sur Diagramme de PIPER des solutions du sol de Doucen

Tableau n° 06 : Analyses physico-chimiques du profil n° 04 (Doucen non cultivé)

Profondeur (cm)	* Granulométrie (%)			pH (1/2. 5)	Calcaire Total (%)	Gypse (%)	Carbone (%)	Matière organique (%)	Bases échangeables (Cmol/Kg de sol)				CEC (Cmol /Kg de sol)	ESP (%)
	Argile +Limon	Sable	Classe Texturale						Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>		
0 - 10	49,06	50,94	Sablo Limoneux	7,78	17,34	48,64	0,60	1,03	10,2 7	1,80	15,03	10,5	37,6	27,31
10 - 40	36,54	63,46	Sablo Limoneux	7,28	24,21	36,91	0,22	0,38	4,92	1,20	9,73	4,15	20,00	24,60
40 - 70	42,75	57,25	Sablo Limoneux	7,25	20,96	48,64	0,22	0,38	5,95	1,67	6,33	4,45	18,40	32,33

Profondeur (cm)	C E (dS/m) 1/5	Cations (meq/l)				Somme des cations (meq/l)	Anions (meq/l)				Somme des Anions (meq/l)	SAR
		Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>		CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>		
0 - 10	2.31	1.62	0.08	16.72	4.68	23.10	0.00	0.40	4.50	18.68	23.58	00.49
10 - 40	2.38	2.56	0.09	16.76	4.39	23.80	0.00	0.24	5.00	18.25	23.49	00.78
40 - 70	2.38	4.69	0.19	12.61	6.31	23.80	0.00	0.16	6.00	19.82	25.98	01.53

Profondeur (cm)	+ Réserve utile (mm)	+ Perméabilité (cm/h)
0 - 10	07,95	2,6
10 - 40	21,41	4,6
40 - 70	25,39	3,9

\* Classification USDA

Les valeurs du Ca<sup>++</sup> a été ajusté à la CEC

+ Valeurs obtenues à partir du logiciel américain (Soil water limits)

### III.1.2. Sols développés sur Deb Deb encroûtée (Zone 2)

#### III.1.2.1. Caractéristiques morphologiques et physico-chimiques des sols de Tolga

##### III.1.2.1.1 Description morphologique du profil n° 05 (Tolga cultivé)

Nom du profil : Tolga cultivé.

Numéro du profil : 05

Date de description : Mars 2010

Localisation : 34° 43' 0,51" N, 5° 22' 11,68" E, elev 168 m

Pente : 5-7 %

Substrat : Matériau gypsiqne sableux

Géomorphologie : Glassis encroûté de Deb Deb

Drainage : bon

Végétation : Palmeraies

Classification : Xeric Calcigypsis

##### **Horizon Ap (0-10 cm)**

Brun très pâle (10YR 8/3) à l'état sec, limono- sableux, structure polyédrique moyenne à fines, nombreuses racines moyennes à grossière, très forte effervescence à l'HCl, 15 à 20 % de graviers gypseux, transition diffuse.

##### **Horizon AC (10-50cm)**

Brun très pâle (10YR 7/4) à l'état sec, limono- sableux, structure polyédrique grossière à massive, quelques grosses racines, 25 à 30 % de gros cailloux et graviers avec quelques fragments de croûtes, forte effervescence à l'HC, transition diffuse.

##### **Horizon C (50-150 cm)**

Brun très pâle (10YR 7/4) à l'état sec, limono-sableux, structure massive, nombreuses racines calcifiées, croûte de fragment, forte effervescence à l'HCl.

##### III.1.2.1.2. Caractéristiques physico-chimiques et des sols de Tolga (Sols cultivés)

Le profil est de type AC, la structure est polyédrique en surface et massive en profondeur.

La composition granulométrique donne une dominance au limon le long du profil surtout dans le deuxième horizon. Il s'agit d'une texture limoneuse. Ces sols sont faiblement perméables en surface et en profondeur à moyennement perméables dans l'horizon médian, la réserve utile de ces sols est faible en surface par rapport aux autres horizons bien que la texture soit limoneuse en surface et limono-sableuse en profondeur et le taux de matière organique est plus faible qu'en surface.

Ces sols sont alcalins avec un  $\text{pH} > 7,5$ , ils sont fortement calcaires en surface (41 %) et modérément calcaires dans le deuxième et le troisième horizon. Pour le gypse, le taux ne dépasse pas 16 %, alors que ces sols sont fortement gypseux dans l'horizon médian à modérément gypseux dans l'horizon de surface et celui de la profondeur.

Dans l'ensemble du profil, ces sols sont pauvres en matière organique. Son taux est relativement élevé dans l'horizon de surface (1,96 %), ceci est dû au lessivage de la matière organique en profondeur sous l'effet de l'irrigation.

La CEC est moyenne à élevée dans l'horizon médian (28,00 Cmol/kg), le complexe absorbant est saturé en  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$ , le pourcentage de sodium échangeable est élevé en surface par rapport aux autres horizons (7,48 %).

Ces sols sont très salés, la CE varie de 3,00 à 2,22 dS/m, la salinité en surface est plus importante qu'en profondeur et donne un type de profil pouvant être qualifié d'ascendant (A) avec une distribution saline à maximum dans l'horizon superficiel (Figure 21).

L'étude du bilan ionique montre que le cation dominant est  $\text{Ca}^{++}$  avec un taux de 74,82 % après lui le  $\text{Na}^+$  avec un taux de 13,47 %, les valeurs les plus importantes de cet élément sont rencontrées au niveau de la surface (7,48 meq/l).

Le magnésium est présent en des quantités inférieures à celles du sodium et estimées à 10,88 %. En dernier lieu arrive le  $\text{K}^+$  avec des faibles quantités.

En ce qui concerne les anions, les sulfates sont les plus fréquents dans la solution du sol avec une abondance moyenne de 50,56 %, par la suite les chlorures leur proportion moyenne se situe à environ de 31,67 % les valeurs les plus élevées sont localisées en milieu du profil. Les  $\text{HCO}_3^-$  se trouvent en des concentrations moindres en comparaison avec les  $\text{SO}_4^{--4}$  et  $\text{Cl}^-$ .

Le faciès chimique est de type sulfaté — calcique dans l'ensemble du profil (Figure 22). Les données analytiques du profil sont illustrées dans le tableau 07.

Tableau n° 07 : Analyses physico-chimiques du profil n° 05 (Tolga cultivé)

Profondeur (cm)	*Granulométrie (%)				pH (1/2. 5)	Calcaire Total (%)	Gypse (%)	Carbone (%)	Matière organique (%)	Bases échangeables (Cmol/Kg de sol)				CEC (Cmol/Kg de sol)	ESP (%)
	Argile	Limon	Sable	Classe Texturale						Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>		
0 – 10	23,21	39,49	37,3	O Limon	7,71	41,00	10,8	1,14	1,96	8,38	0,92	5,00	3,30	17,60	47,61
10 – 40	6,01	29,11	64,88	Limon Sableux	7,59	12,40	15,6	0,38	0,65	4,09	0,30	14,17	9,44	28,00	14,61
40 – 70	6,12	30,13	63,75	Limon Sableux	7,50	14,60	12,47	0,53	0,91	4,62	0,34	10,54	6,90	22,40	20,62

Profondeur (cm)	C E (dS/m)	Cations (meq/l)				Somme des cations (meq/l)	Anions (meq/l)				Somme des Anions (meq/l)	SAR
		Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>		CO <sub>3</sub> <sup>--</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>		
0 – 10	3,00	7,48	0,33	18,24	4,71	30,76	0,00	3,70	9,50	17,22	30,42	02,21
10 – 40	2,22	1,83	0,12	22,09	2,33	26,37	0,00	5,60	9,00	11,65	26,25	00,52
40 – 70	2,33	2,56	0,13	22,73	2,50	27,92	0,00	8,25	5,00	14,17	27,96	00,72

Profondeur (cm)	+ Réserve utile (mm)	+ Perméabilité (cm/h)
0 - 10	11,78	0,66
10 - 40	28,70	4,65
40 - 70	29,15	0,60

\* Classification USDA

Les valeurs du Ca<sup>++</sup> a été ajusté à la CEC

+ Valeurs obtenues à partir du logiciel américain (Soil waterlimits)

**III.1.2.1.3. Description morphologique du profil n° 06 (Tolga non cultivé)**

Nom du profil : Tolga non cultivé.

Numéro du profil : 06

Date de description : Mars 2010

Localisation : 34° 43' 47,14" N, 5° 23' 23,53" E, elev 153 m

Pente : Plane (0-2 %)

Substrat : Matériau gypsique sableux

Géomorphologie : Glassis encroûté de Deb Deb

Drainage : bon

Végétation : Plantes halophiles

Classification : Xeric Calcigypsid

**Horizon A (0-10 cm)**

Blanc (10 YR 8/2) à l'état sec, limono-argileux, structure massive, quelques racines charge en cailloux de 15 à 20 % de grossiers gypseux ou calcaires liés à l'érosion, très forte effervescence à l'HCl, transition diffuse.

**Horizon AC (10-30 cm)**

Blanc (10YR 8/2) à l'état sec, limono-argileux, structure massive, pas de racines, pas de charge en cailloux, très forte effervescence à l'HCl, transition diffuse.

**Horizon C (30-110 cm)**

Blanc (10YR 8/2) à l'état sec, limono-argileux, structure massive, quelques grossières racines, très forte effervescence à l'HCl, pas de cailloux.

**III.1.2.1.4. Caractéristiques physico-chimiques des sols de Tolga (Sols non cultivés)**

Le profil est de type AC, la structure est massive. Les résultats de l'analyse granulométrique révèlent des pourcentages de limon qui sont supérieurs à 35 %, d'après le triangle texturale (USDA) qui permet de déterminer la classe texturale des sols, cette zone présente des sols essentiellement limoneux. Ces sols sont moyennement perméables et en corrélation avec les textures respectives ; par contre, la réserve utile est faible en surface et plus importante en profondeur.

Le pH est alcalin dans les deux horizons supérieurs et légèrement alcalin en profondeur (< 8), ceci est due à la prédominance des sels alcalins et aussi à la faiblesse du pouvoir tampon intimement liée à la texture du sol (taux d'argile inférieur à 30 %). Ceci est aussi lié aux forts taux de gypses (< 24 %). Ces sols sont modérément calcaires et fortement gypseux. Cette station présente généralement un taux faible en matière organique qui ne dépasse pas 2 %. Les valeurs de la CEC sont moyennes dans l'ensemble du profil, le complexe



absorbant est saturé en  $\text{Ca}^{++}$  et le  $\text{Na}^+$ .

Le sol est salé dans tous les horizons avec un degré moindre en profondeur, les valeurs de la CE sont comprises entre 2,33 et 2,8 dS/m. Le profil salin est de type (B) descendant (Figure 21) avec une distribution saline à maximum marqué moyennement profond. Elle est caractéristique du processus descendant de la salinisation avec individualisation d'une onde saline à maximum bien marquée ; le transfert vers le bas de sels étant sous l'influence des pluies (Servant, 1976).

Les résultats montrent que c'est l'ion  $\text{Ca}^{++}$  qui est le plus dominant dans la solution du sol (1/5) avec 60 % ; viennent ensuite les ions  $\text{Na}^{++}$  avec 19,39 % le Mg 18,67 % et enfin le  $\text{K}^+$  avec 1,93 %. Cette solution contient une quantité très importante de sulfates environ de 62,78 %, cependant les chlorures qui sont quantitativement moins présents que les sulfates avec un taux de 33,98 %. Les bicarbonates sont enfin, représentés par une valeur négligeable (2,72 %). Le faciès chimique est de type sulfaté -calcique dans l'ensemble du profil (Figure 22).

Les données analytiques du profil sont représentées dans le tableau 08.

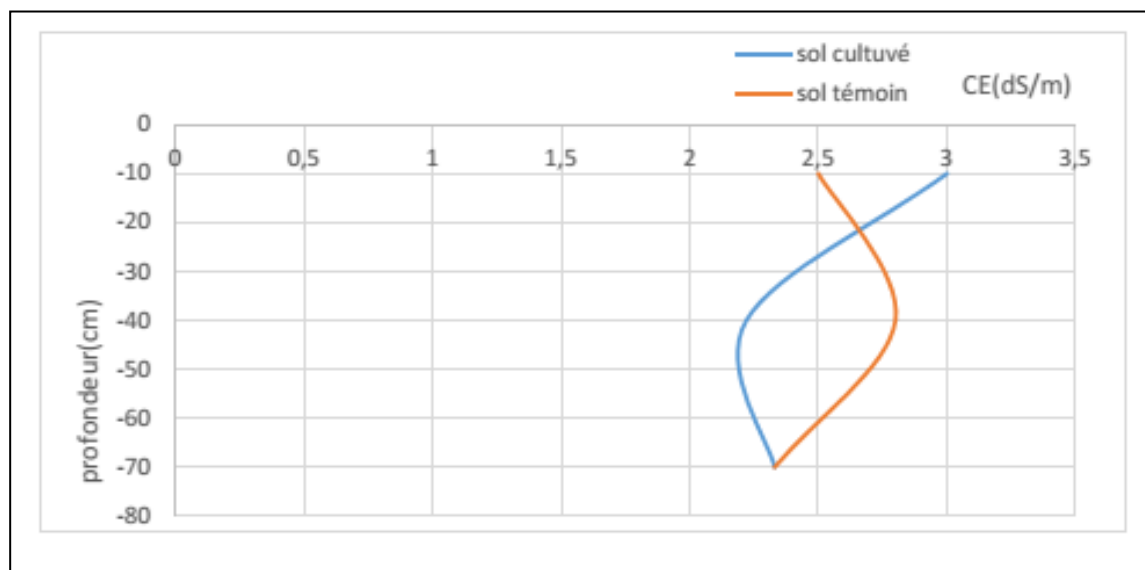


Figure 21 : Profils salins de la région de Tolga

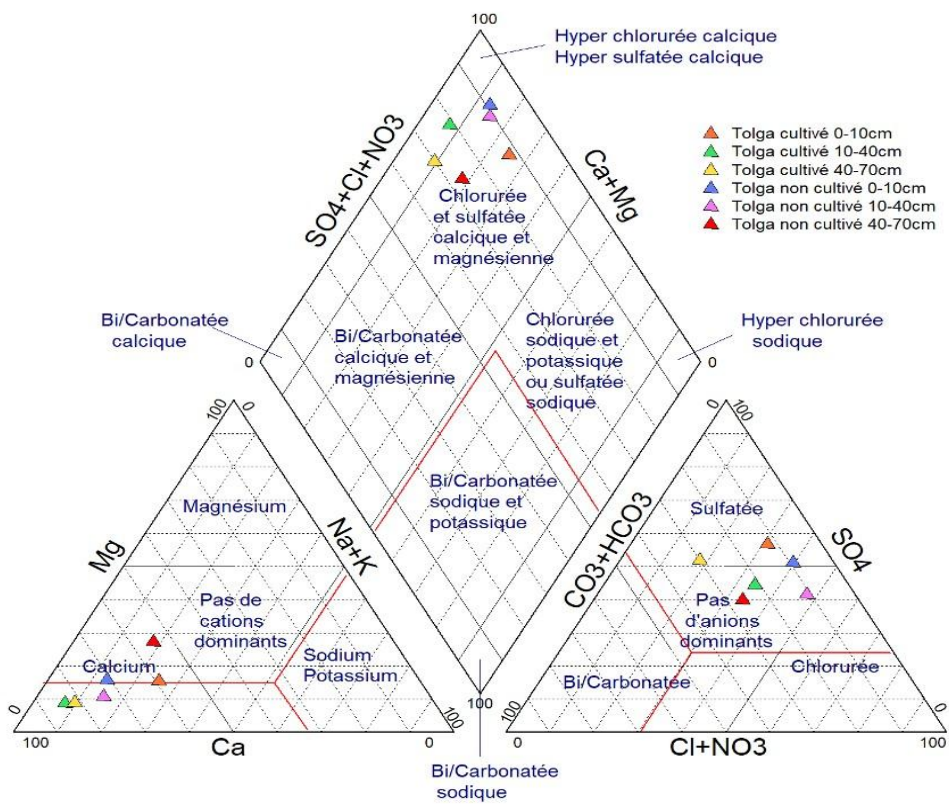


Figure 22 : Représentation sur Diagramme de PIPER des solutions du sol de Tolga

Tableau n° 08 : Analyses physico-chimiques du profil n° 4 (Tolga non cultivé)

Profondeur (cm)	*Granulométrie (%)				pH (1/2. 5)	Calcaire Total (%)	Gypse (%)	Carbone (%)	Matière organique (%)	Bases échangeables (Cmol/Kg de sol)				CEC (Cmol/Kg de sol)	ESP (%)
	Argile	Limon	Sable	Classe Texturale						Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>		
0 - 10	20,86	43,44	35,70	Limon	7,90	21,00	23,90	0,38	0,91	4,62	0,28	4,86	3,04	12,80	36,09
10 - 40	28,71	36,58	34,71	Limon argileux	7,70	12,60	23,90	0,30	0,65	9,56	0,96	4,28	2,80	17,60	54,32
40 - 70	23,37	44,26	32,37	Limon	7,45	14,80	25,60	0,30	0,65	9,21	0,98	8,41	5,40	24,00	38,37

Profondeur (cm)	C E (dS/m) 1/5	Cations (meq/l)				Somme des cations (meq/l)	Anions (meq/l)				Somme des Anions (meq/l)	SAR
		Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>		CO <sub>3</sub> <sup>--</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>		
0 - 10	2,50	3,48	0,95	23,12	5,13	32,68	0,00	3,00	13,00	16,73	32,73	01,02
10 - 40	2,80	4,78	0,31	25,22	3,63	33,94	0,00	3,50	15,50	13,54	32,54	01,26
40 - 70	2,33	4,78	0,41	15,19	7,57	27,95	0,00	7,25	9,25	10,88	27,38	01,42

Profondeur (cm)	+ Réserve utile (mm)	+Perméabilité (cm/h)
0 - 10	12,07	0,82
10 - 40	34,00	0,40
40 - 70	37,76	0,71

\* Classification USDA

Les valeurs du Ca<sup>++</sup> a été ajusté à la CEC

+ Valeurs obtenues à partir du logiciel américain (Soil water limits)

### III.1.2.2. Caractéristiques morphologiques et physico-chimiques des sols d'El Hadjeb - Ain Ben Noui, sol cultivé

#### III.1.2.2.1. Description morphologique du profil n° 09 (El Hadjeb sol cultivé - A. Ben Noui sol cultivé)

Nom du profil : Ain Ben Noui cultivé (El Hadjeb).

Numéro du profil : 07

Date de description : Mai 2010

Localisation : 34° 48' 34,20' 'N, 5° 41' 06,34'' E, elev 97 m Pente :

Pente faible (0-2 %)

Géologie : Matériau gypso-calcaire

Géomorphologie : Affleurements rocheux

Drainage : normal

Végétation : Plasticulture

Classification: Xeric Calcigypsids

#### **Horizon A(0-10 cm)**

Brun jaunâtre clair (10 YR 6/4) à l'état sec, sableux, structure polyédrique moyenne à grossières, nombreuses racines fines, charge en cailloux très faible, très forte effervescence à l'HCl, transition graduelle.

#### **Horizon AC(10-40 cm)**

Brun jaunâtre clair (10YR 6/4) à l'état sec, sableux, structure polyédrique moyenne à grossières, nombreuses racines moyennes, pores larges, charge en cailloux très faible, très forte effervescence à l'HCl, transition diffuse.

#### **Horizon C(40-120 cm)**

Brun jaunâtre clair (10YR 6/4) à l'état sec, sableux, structure massive, peu de racines, charge en cailloux faible, très forte effervescence à l'HCl.

### III.1.2.2.2. Caractéristiques physico-chimiques des sols d'El Hadjeb (Ain Ben Noui, sols cultivés)

Le profil est de type AC, morphologiquement, on peut distinguer en surface une structure polyédrique et une structure massive en profondeur. Ces sols sont des Limons sableux dans l'ensemble du profil, ils sont perméables et presque homogène le long du profil. La réserve utile est plus importante en profondeur malgré que la texture soit homogène le long du profil.

Le pH est moyennement alcalin et le taux de gypse est faible le long du profil ; il varie entre 1,98 et 5,48 %. Ces sols sont modérément calcaires avec des teneurs qui sont presque homogènes dans l'ensemble du profil, traduisant la présence d'un horizon calcique.

Le sol est pauvre en matière organique en surface et en profondeur à pauvre dans l'horizon médian. Les valeurs de la C.E.C sont généralement moyennes en raison de la présence de limon. Le complexe adsorbant du sol est saturé en  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$ .

Le sol est salé en surface (1,29 dS/m) et en profondeur (1,05 dS/m) à beaucoup salé en milieu (2,27 dS/m). Le profil salin (Figure 23) est de type (B) est caractéristique du processus descendant de salinisation avec individualisation d'une onde saline à maximum bien marqué : transfert vers le bas des sels sous l'influence des pluies ou de l'irrigation (Servant, 1976).

Le cation dominant dans la solution aqueuse (1/5) est le  $\text{Ca}^{++}$  avec un taux de 5,73 %, viennent ensuite le  $\text{Na}^+$  avec une abondance de 21,58 %, sa distribution est analogue à celle de Ca, le Mg arrive en troisième rang avec un taux de 17,22 %.

Pour les anions, les sulfates sont plus dominants que les chlorures et les bicarbonates, leurs proportions atteignent respectivement 60,60, 37,1 et 2,28 %.

Le faciès chimique dans l'ensemble du profil est de type sulfaté calcique (Figure 24). Les données analytiques du profil sont représentées dans le tableau 09.

Tableau n° 09 : Analyses physico-chimiques du profil n° 7 (El Hadjeb cultivé)

Profondeur (cm)	*Granulométrie (%)				pH (1/2. 5)	Calcaire Total (%)	Gypse (%)	Carbone (%)	Matière organique (%)	Bases échangeables (Cmol/Kg de sol)				CEC (Cmol/Kg de sol)	ESP (%)
	Argile	Limon	Sable	Classe Texturale						Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>		
0 – 10	08,23	32,06	59,71	Limon Sableux	7,80	23,25	5,48	0,45	0,78	2,91	1,05	17,88	11,76	33,60	8,66
10 – 40	09,47	37,06	53,47	Limon sableux	7,80	22,50	1,98	0,83	1,43	8,93	0,50	6,33	3,84	19,60	45,56
40 – 70	07,45	35,85	56,7	Limon sableux	7,62	24,00	2,34	0,45	0,78	11,6	0,66	1,95	0,99	15,20	76,31

Profondeur (cm)	C E (dS/cm) 1/5	Cations (meq/l)				Somme des cations (meq/l)	Anions (meq/l)				Somme des Anions (meq/l)	SAR
		Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>		CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>		
0 - 10	1,29	2,17	0,2	11,1	2,18	15,65	0,00	0,44	5	10,04	15,48	00,84
10 - 40	2,27	6,00	0,30	10,18	4,78	21,20	0,00	0,48	9,00	13,22	22,70	02,20
40 - 70	1,05	3,08	0,26	08,24	2,09	13,67	0,00	0,24	5,00	7,46	12,70	01,36

Profondeur (cm)	+ Réserve utile (mm)	+ Perméabilité (cm/h)
0 - 10	10,01	3.47
10 - 40	32,90	3,00
40 - 70	32,02	3,88

\* Classification USDA

Les valeurs du Ca<sup>++</sup> a été ajusté à la CEC

+ Valeurs obtenues à partir du logiciel américain (Soil waterlimits)

**III.1.2.2.3. Description morphologique du profil n° 08 d'El Hadjeb (Ain Ben Noui, sols non cultivés)**

Nom du profil : El Hadjeb non cultivé

Numéro du profil : 08

Date de description : Avril 2010

Localisation : 34° 48' 22" N, 5° 43' 16,93" E, elev 97 m

Pente : Plane

Substrat : Matériau gypso-calcaire

Géomorphologie : Affleurement rocheux

Drainage : normal

Végétation : Adventice.

Classification: Xeric Calcigypsids.

**Horizon A<sub>1</sub> (0-10 cm)**

Brun pâle (10 YR 6/3) à l'état sec, sableux, structure polyédrique moyenne à grossier, nombreux pores moyens, très nombreuses racines fines, très forte effervescence à l'HCl, transition diffuse.

**Horizon AC (10-32 cm)**

Brun jaunâtre clair (10YR 6/3) à l'état sec, sableux, structure polyédrique grossière, nombreux pores larges, forte effervescence à l'HCl, très nombreuses racines, transition graduelle et régulière.

**Horizon C<sub>1</sub> (32-44 cm)**

Brun jaunâtre (10YR 6/6) frais, limoneux, structure polyédrique grossière, pores fins peu nombreux, forte effervescence à l'HCl, peu de racines, transition nette.

**Horizon C<sub>2</sub> (44-83 cm)**

Brun jaunâtre clair (10YR 6/6) frais, limoneux, structure massive, très compacte, peu nombreux pores fins, forte effervescence à l'HCl, très peu de racines fines, transition diffuse.

**Horizon C<sub>3</sub> (83-120 cm)**

Brun jaunâtre clair (10YR 6/4) humide, sableux, structure massive, pores fins nombreux, forte effervescence à l'HCl, pas de racines.

#### III.1.2.2.4. Caractéristiques physico-chimiques des sols d'El Hadjeb (Ain Ben Noui, sols non cultivés)

En surface, le paysage est dominé par la présence de sable dunaire, avec une végétation adventice clairsemée. Le profil décrit est de type AC, on peut distinguer en surface un horizon à structure polyédrique et une structure massive en profondeur.

Le taux du sable varie entre 85,79 et 87,88 %. Cette répartition granulométrique est uniforme dans le profil, ces sols sont perméables avec une réserve utile relativement faible, car la texture est à tendance sableuse, néanmoins pour l'horizon médian, elle est plus importante, car dans cet horizon il y a présence de calcaire (forte effervescence et nombreux pores).

Le pH est moyennement alcalin et le taux du gypse est très faible le long du profil, ces sols sont modérément calcaires avec un taux varie entre 21,75 et 24,77 %, traduisant la présence d'un horizon calcique.

Le sol est pauvre en matière organique (1,43 %) dans l'horizon superficiel à très pauvre dans les autres horizons (0,52 et 0,13 %).

Les valeurs de la C.E.C sont faibles en raison de la faible teneur en argile et en matière organique. Le complexe adsorbant du sol est saturé en  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^+$ .

Le sol est non salé dans tous les horizons, les valeurs de la CE sont comprises entre 0,43 dS/m (en surface) à 0,10 dS/m (les autres horizons) , le profil salin est de type (A) et est associé au processus ascendant (Figure 23) de salinisation dans les sols nus à nappe salée : transfert vers le haut des solutions salines et l'évaporation du sol nu ce qui conduit à une accumulation saline superficielle (Servant, 1976).

Le cation dominant dans la solution aqueuse (1/5) est le Ca avec un taux de 81,38 % ensuite le  $\text{Na}^+$  avec une abondance de 9,47 %. Le  $\text{Mg}^{++}$  arrive en troisième rang avec un taux de 6,21 %. La distribution de ces cations dans le profil est presque homogène.

Pour les anions, les sulfates sont les plus dominants que les chlorures et les bicarbonates, leurs proportions atteignent respectivement 49,22 et 31,40 et 34,06 %.

Le faciès dans l'ensemble du profil est de type sulfaté calcique (Figure 24). Les données analytiques du profil sont illustrées dans le tableau 10.



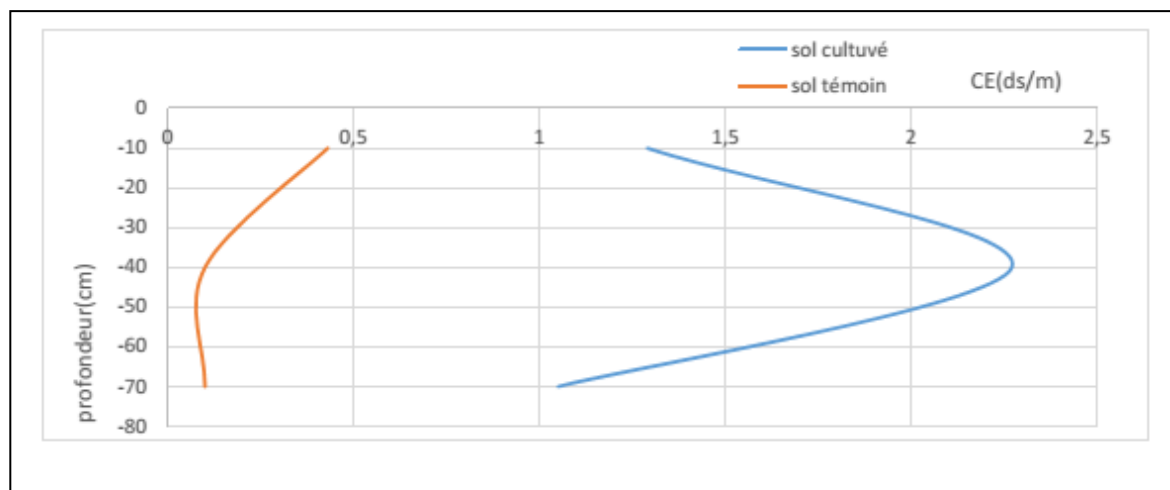


Figure 23 : Profils salins de la région d’El Hadjeb

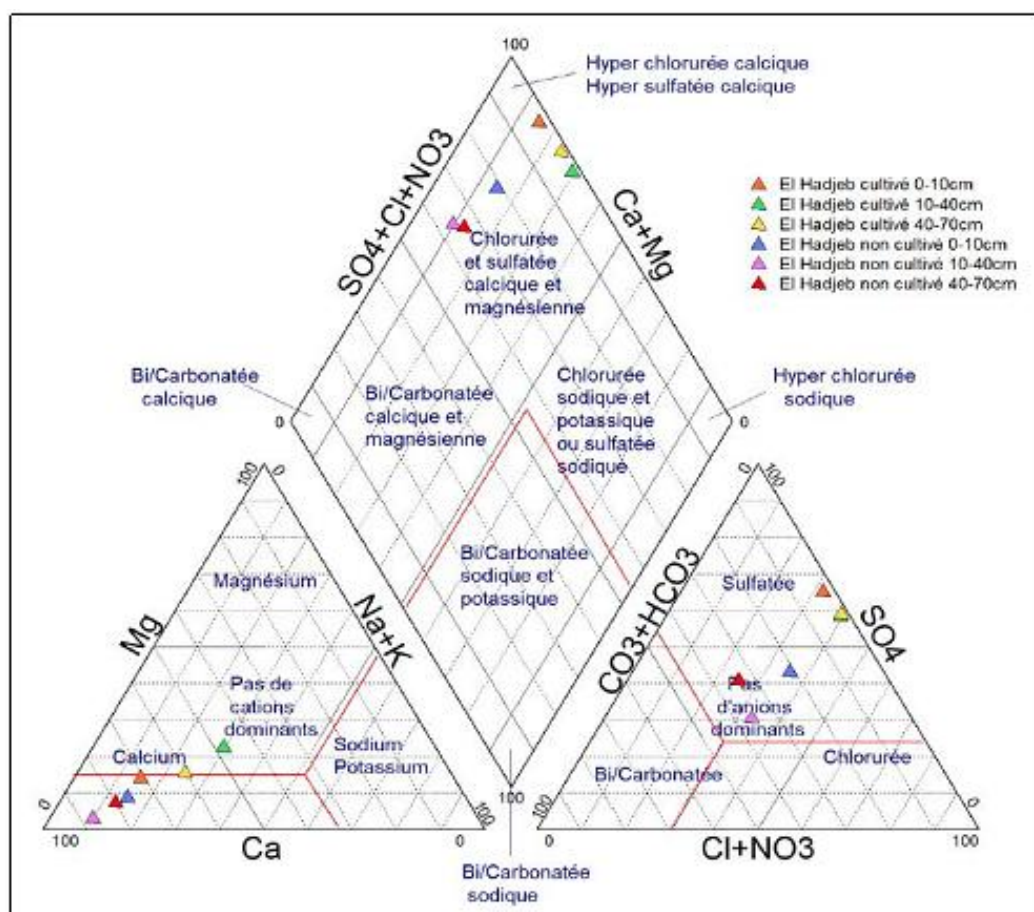


Figure 24 : Représentation sur Diagramme de PIPER des solutions du sol d’El Hadjeb

Tableau n° 10 : Analyses physico-chimiques du profil n° 08 (El Hadjeb non cultivé)

Profondeur (cm)	*Granulométrie (%)				pH (1/2.5)	Calcaire Total (%)	Gypse (%)	Carbone (%)	Matière organique (%)	Bases échangeables (Cmol/Kg de sol)				CEC (Cmol/Kg de sol)	ESP (%)
	Argile	Limon	Sable	Classe texturale						Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>		
0 – 10	05,54	09,67	85,79	Sable limoneux	7,90	24,75	0,32	0,83	1,43	1,38	2,67	1,89	1,26	7,20	19,16
10 – 40	03,01	9,11	87,88	Sable	8,02	21,75	0,36	0,30	0,52	1,55	0,34	5,59	3,72	11,20	13,84
40 – 70	02,13	12,50	85,37	Sable	8,12	23,25	0,30	0,076	0,13	1,15	0,44	4,81	3,20	9,60	16,14

Profondeur (cm)	C E (dS/cm) 1/5	Cations (meq/l)				Somme des cations (meq/l)	Anions (meq/l)				Somme des Anions (meq/l)	SAR
		Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>		CO <sub>3</sub> <sup>--</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>		
0 – 10	0,43	0,49	0,13	3,21	0,36	4,17	0,00	0,96	1,6	1,94	4,50	01,82
10 – 40	0,10	0,30	0,13	3,80	0,12	4,35	0,00	0,8	1,00	18,91	2,99	00,21
40 – 70	0,10	0,47	0,15	3,84	0,35	4,81	0,00	1,08	0,8	1,29	3,17	00,33

Profondeur (cm)	+Réserve utile (mm)	+Perméabilité (cm/h)
0 - 10	06,70	7,29
10 - 40	19,43	10,67
40 - 70	07,29	10,83

\* Classification USD

Les valeurs du Ca<sup>++</sup> a été ajusté à la CEC

+ Valeurs obtenues à partir du logiciel américain (Soil water limits)

### III.1.3. Sols argileux (lourds) et calcaires (Zone 3)

#### III.1.3.1. Caractéristiques morphologiques et physico-chimiques des sols de Zeribet El Oued

##### III.1.3.1.1. Description morphologique du profil n° 09 (Zeribet El Oued cultivé)

Nom du profil : Zeribet El Oued cultivé

Numéro du profil : 09

Date de description : Mars 2010

Localisation : 34° 42' 5,8 N", 6° 25' 30,7" E, elev 44 m

Pente : plane (0-2 %)

Substrat : Dépôts argileux calcaires

Géomorphologie : Glassis encroûté

Drainage : Faible

Végétation : Céréales

Classification : Vertic Haplocalcids

##### **Horizon Ap (0-30 cm)**

Brun (10 YR 8/3) à l'état sec, limono-sableux, structure polyédrique moyenne à fines, nombreuses racines moyennes à fine, 5à7% cailloux et gravier calcaire, très forte effervescence à l'HCl, traces d'efflorescence saline, transition abrupte.

##### **Horizon AC (10-45 cm)**

Brun (10YR 5/3) à l'état sec, argilo-limoneux, structure polyédrique moyenne à grossières, nombreuses racines fines à moyennes, charge en cailloux inférieure à 2 %, très forte effervescence à l'HCl, traces d'efflorescence saline, transition nette.

##### **Horizon C (45-100 cm)**

Brun pâle (10YR 6/3) à l'état sec, limono-argileux, structure polyédrique moyenne, très peu de racines, charge en cailloux de 5 à 7 %, très forte effervescence à l'HCl, traces d'efflorescence saline.

#### III.1.3.1.2. Caractéristiques physico-chimiques des sols de Zeribet El Oued (sols cultivés)

Le profil décrit est de type AC morphologiquement, on peut distinguer la structure polyédrique moyenne à grossière. La composition granulométrique donne une dominance aux argiles, il s'agit d'une texture lourde. Ces sols sont plus perméables en surface que dans les autres horizons malgré la présence d'argile dans cet horizon est très importante, la réserve utile est plus élevée dans le deuxième et le troisième horizon et moins importante dans le premier.

Le pH est neutre (7,14) en surface à faiblement basique (7,75 et 7,87) en profondeur. Ces sols sont fortement calcaires avec un maximum de 45,75 % (horizon médian) et ils sont modérément à fortement gypseux en profondeur.

Ces sols non cultivés sont pauvres en matière organique dans les deux premiers horizons (0,78 à 0,65 %) à moyennement pauvre en profondeur (2,08 %), ceci est dû aux lessivages de la matière organique en profondeur sous l'effet de l'irrigation et des pluies. Les valeurs de la CEC sont élevées dans le profil avec un maximum de 35,20 C mol/kg de sol et un minimum de 29,20 C mol/kg de sol, le complexe absorbant est saturé en  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{N}^{\text{a}^{++}}$  à cause de la forte salinité surtout en surface (3,88 dS/m).

Les sols sont très salés avec le niveau supérieur le plus salé (3,88 dS/m), ceci est dû à l'irrigation. Le profil salin est de type (A) ascendant avec une distribution saline à maximum dans l'horizon superficiel (Figure 25).

Le  $\text{Ca}^{++}$  est le cation dominant avec une abondance moyenne de 62,21 %, ces concentrations varient de 11,85 à 19,40 meq/l. Les valeurs sont presque identiques le long du profil. Le sodium est en quantités supérieures à celle du magnésium qui est estimée à une moyenne de 21,79 % et est rencontrée au niveau de la surface (0 - 10 cm).

En ce qui concerne les anions, les sulfates sont les plus abondants que les chlorures et les bicarbonates avec des pourcentages de l'ordre de 67,46 %, 31,58 % et 1,14 %. Le faciès chimique est de type sulfate calcique (Figure 26).

Les données analytiques du profil sont représentées dans le tableau 11.

Tableau n° 11 : Analyses physico-chimiques du profil n° 09 (Zeribet El Oued cultivé)

Profondeur (cm)	*Granulométrie (%)				pH (1/2. 5)	Calcaire Total (%)	Gypse (%)	Carbone (%)	Matière organique (%)	Bases échangeables (Cmol/Kg de sol)				CEC (Cmol/Kg de sol)	ESP (%)
	Argile	Limon	Sable	Classe texturale						Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>		
0 - 10	41,2	40,20	18,6	Argile	7,14	39,00	15,96	0,45	0,78	12,28	1,86	16,84	4,22	35,2 O	34,88
10 - 40	46,57	40,87	12,56	Argile Sableuse	7,75	45,75	12,37	0,38	0,65	6,25	1,29	17,64	4,02	29,20	21,40
40 - 70	40,20	40,38	19,52	Argile	7,87	41,25	16,34	1,21	2,08	9,60	1,02	17,66	2,92	31,20	30,88

Profondeur (cm)	C E (dS/m) 1/5	Cations (meq/l)				Somme des cations (meq/l)	Anions (meq/l)				Somme des Anions (meq/l)	SAR
		Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>		CO <sub>3</sub> <sup>--</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>		
0 - 10	3,88	12,30	0,20	19,40	2,29	34,19	0,00	0,20	15,00	20,33	35,53	03,74
10 - 40	2,38	5,30	0,15	17,85	5,10	28,40	0,00	0,36	7,00	19,97	27,33	01,57
40 - 70	2,27	2,91	0,13	18,15	5,88	27,07	0,00	0,40	7,00	18,59	25,99	00,84

Profondeur (cm)	+ Réserve utile (mm)	+ Perméabilité (cm/h)
0 – 10	10,01	3,30
10 – 40	39,96	0,25
40 – 70	39,52	0,29

\* Classification USDA

Les valeurs du Ca<sup>++</sup> a été ajusté à la CEC

+ Valeurs obtenues à partir du logiciel américain (Soil water limits)

**III.1.3.1.3. Description morphologique du profil n° 10 (Zeribet El Oued non cultivé)**

Nom du profil : Zeribet El Oued non cultivé.

Numéro du profil : 10

Date de description : Mars 2010

Localisation : 34° 41' 43,71" N, 6° 27' 14,7" E, elev 44 m

Pente : Pente faible (0-2 %)

Substrat : Dépôts argileux calcaires

Géomorphologie : Glassis encroûté

Drainage : Mauvais

Végétation : non cultivé

Classification : Vertic Haplocalcids

**Horizon A(0-12 cm)**

Brun (10 YR 5/3) à l'état sec, argileux, structure polyédrique moyenne à grossière, pas de racines, pas de charge en cailloux, très forte effervescence à l'HCl, transition diffuse.

**Horizon AC(12-35 cm)**

Brun (10YR 5/3) à l'état sec, argileux, structure polyédrique moyenne à grossière, pas de racines, pas de charge de cailloux, très forte effervescence à l'HCl, transition diffuse.

**Horizon C(>35 cm)**

Brun pâle (10YR 6/3) à l'état sec, argileux, structure polyédrique moyenne à grossière, pas de racines, pas de charge en cailloux, très forte effervescence à l'HCl.

**III.1.3.1.4. Caractéristiques physico-chimiques des sols de Zeribet El Oued (sols non cultivés)**

Le profil décrit est de type AC. Morphologiquement, on peut distinguer une structure polyédrique. La composition granulométrique donne une dominance aux argiles, il s'agit d'une texture lourde. Ces sols sont peu perméables homogènes le long du profil, avec une réserve utile qui est identique à celle du profil précédent n° 9.

Le pH est alcalin, ces sols sont fortement calcaires avec un taux qui varié entre 42 et 47 %, les teneurs de gypse sont variables dans le profil avec un minimum de 11,49 % et un maximum de 18,98 %, ce sont des sols modérément gypseux en surface à fortement gypseux en profondeur. Il est souvent admis, que, quand la quantité de calcaire augmente, la quantité de gypse diminue est vis — versa (FAO, 1990). Ces sols sont moyennement pauvres en matière organique (horizon de surface) à pauvre (les deux autres horizons).

Les valeurs de CEC sont élevées (> 40 %) en raison de la forte teneur en argile, le complexe absorbant du sol est saturé en  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Na}^+$ . Dans les sols calcaires, la détermination des cations échangeable n'offre en général que peu d'intérêt (saturation en  $\text{Ca}^{++}$ ) sauf si l'on veut connaître de potassium échangeable on si il présente un caractère dolomitique ou sodique (Baize, 1988).

Ces sols sont très salés, la CE variée de (2,6 à 3,9 dS/m), la salinité en surface (0 - 10) est plus importante qu'en profondeur et donne un type de profil pouvant être qualifié d'ascendant (A). Ces processus de salinisation dans les sols nus à nappe salée : transfert vers le haut des solutions salines, l'évaporation du sol nu qui conduit à une accumulation saline superficielle (Figure 25).

Le cation dominant est le  $\text{Ca}^{++}$  avec un taux de 57,64 %, les valeurs varient entre 20,38 meq/l en profondeur à 25,46 meq/l en surface, puis le sodium avec un taux de 23,38 %, la valeur la plus importante est rencontrée en surface (15,64 meq/l). Le  $\text{Mg}^{++}$  est présent en troisième ordre avec un taux de 14,69 %. Le  $\text{K}^+$  est enfin, représenté par une valeur moindre < 1 %. L'ordre de classement des anions est le suivant :  $\text{SO}_4^{--} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$  avec des taux de 70,56 %, 29,08 % et 0,36 %. Le faciès chimique est de type sulfaté calcique dans l'ensemble du profil (Figure 26).

Les données analytiques du profil sont illustrées dans le tableau n° 12.

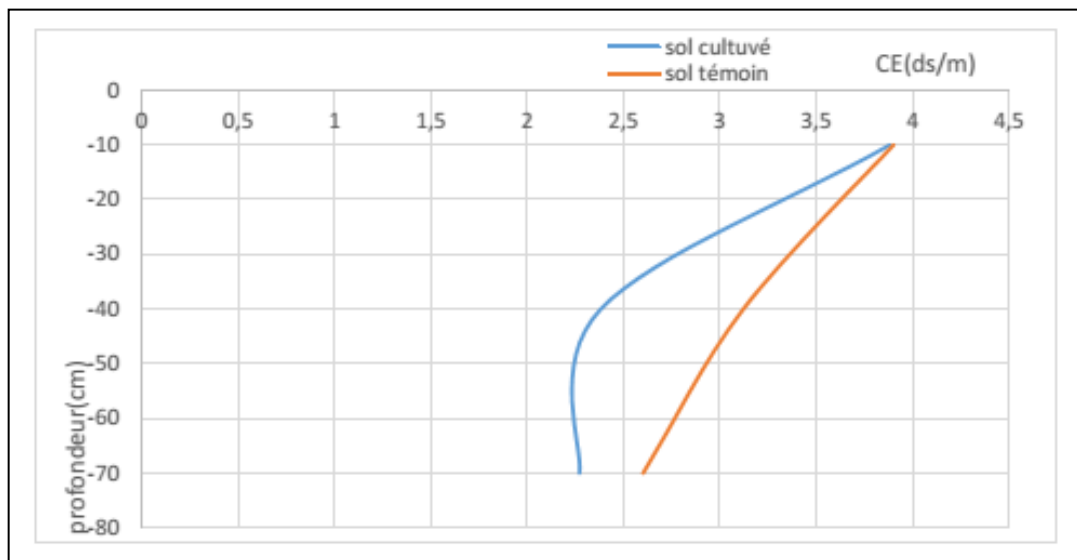


Figure 25 : Profils salins de la région de Zeribet El Oued

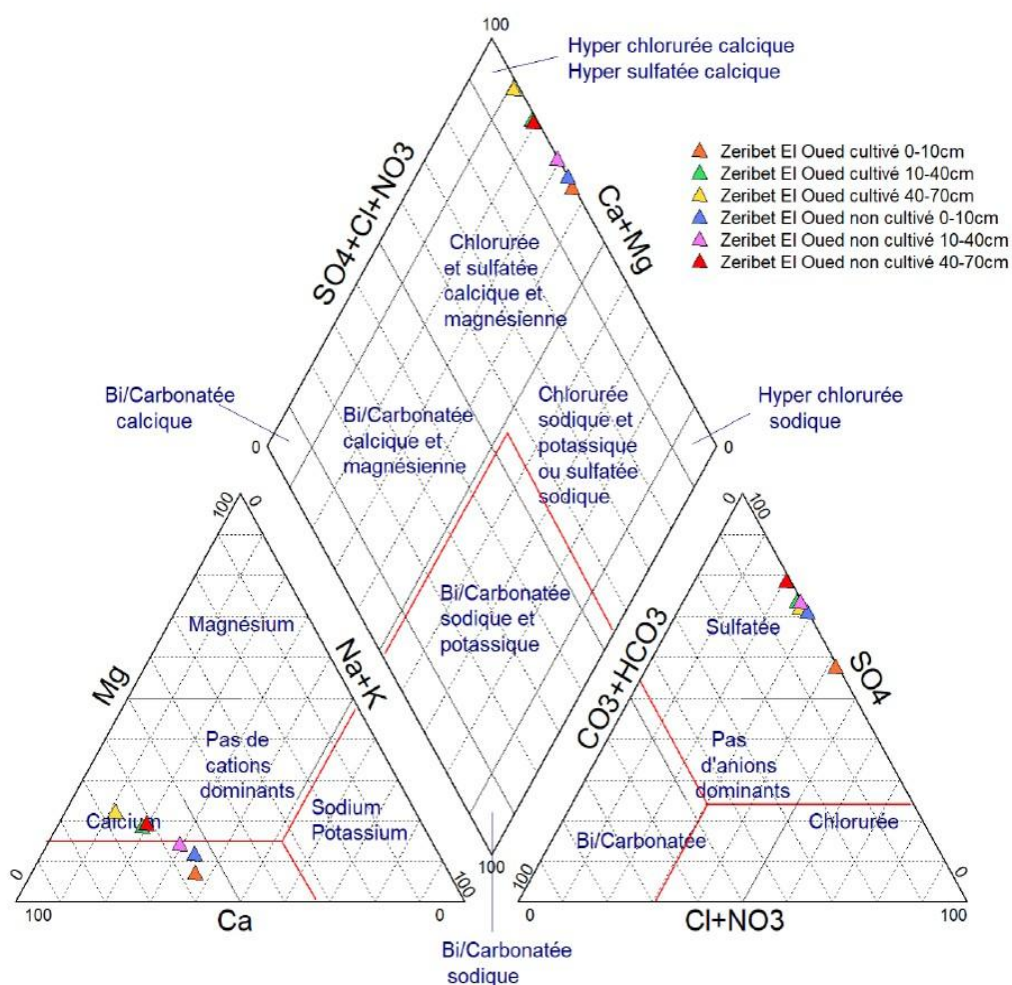


Figure 26 : Représentation sur Diagramme de PIPER des solutions du sol de Zeribet El Oued



Tableau n° 12 : Analyses physico-chimiques du profil n° 10 (Zeribet El Oued non cultivé)

Profondeur (cm)	* Granulométrie (%)				pH (1/2. 5)	Calcaire Total (%)	Gypse (%)	Carbone (%)	Matière organique (%)	Bases échangeables (Cmol/Kg de sol)				CEC (Cmol/kg de sol)	ESP (%)
	Argile	Limons	Sable	Classe texturale						Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>		
0 - 10	40,70	40,20	19,10	Argile	7,82	42,00	11,49	1,14	1,96	22,57	1,89	12,45	3,09	40,00	56,42
10 - 40	40,60	41,87	15,07	Argile sableuse	7,80	47,60	15,63	0,45	0,78	10,94	1,97	20,47	5,02	38,40	28,49
40 - 70	41,97	40,28	17,75	Argile	7,80	42,00	18,98	0,83	1,43	7,59	1,73	20,71	5,17	35,20	21,56

Profondeur (cm)	C E (dS/m) 1/5	Cations (meq/l)				Somme des cations (meq/l)	Anions (meq/l)				Somme des Anions (meq/l)	SAR
		Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>		CO <sub>3</sub> <sup>--</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>		
0 - 10	3,90	15,64	0,33	25,46	5,38	46,77	0,00	0,16	13,00	31,54	44,70	03,98
10 - 40	3,12	11,30	0,15	21,83	5,30	38,58	0,00	0,20	10,00	27,72	37,92	03,07
40 - 70	2,60	6,43	0,10	20,38	6,24	33,15	0,00	0,40	6,50	24,77	31,67	01,76

Profondeur (cm)	+Réserve utile (mm)	+Perméabilité (cm/h)
0 - 10	13,10	0,26
10 - 40	41,07	0,30
40 - 70	39,30	0,26

\* Classification USDA

Les valeurs du Ca<sup>++</sup> a été ajusté à la CEC

+ Valeurs obtenues à partir du logiciel américain (Soil waterlimits)

### III.1.4.Sols salés et argileux (Zone 4)

#### III.1.4.1. Caractéristiques morphologiques et physico-chimiques des sols d'El Outaya

##### III.1.4.1.1. Description morphologique du profil n° 11 (El Outaya)

Nom du profil : El Outaya cultivé

Numéro du profil : 11

Date de description : Avril 2010

Localisation : 34° 54' 25,87" N, 5° 37' 58,25" E, elev

198 m Pente : plane (0-2 %)

Substrat : alluviaux quaternaires salins

Géomorphologie : terrasses

Drainage : Mauvais

Végétation : cultures maraîchères

Classification : Sodic Xeric Haplocalcids

##### **Horizon Ap (0-30 cm)**

Brun jaunâtre clair (10 YR 6/4) à l'état sec, argileux, structure polyédrique moyenne, beaucoup de racines fines, charge en cailloux faible (2 à 3 %), très forte effervescence à l'HCl, transition graduelle.

##### **Horizon AC (30-60 cm)**

Brun pâle (10YR 6/3) à l'état sec, argilo-limoneux, structure polyédrique moyenne, peu de racines, la charge en cailloux est faible, très forte effervescence à l'HCl, transition diffuse.

##### **Horizon C (60-120 cm)**

Brun pâle (10YR 6/3) à l'état sec, argilo-limoneux, structure massive, peu de racines, charge en cailloux est faible (2 à 3%), très forte effervescence à l'HCl.

##### III.1.4.1.2. Caractéristiques physico-chimiques des sols d'El Outaya (sols cultivés)

Le profil est de type AC, la structure est polyédrique tandis qu'elle est massive en profondeur. La texture est généralement argileuse, ces sols sont peu perméables, les valeurs de la réserve utile sont faibles en surface et plus importantes en profondeur, car la texture dans les 2 horizons de profondeur est argileuse.

Le pH est voisin à la neutralité, le taux de CaCO<sub>3</sub> parfois dépasse 44 % donc ces sols sont fortement calcaires, faiblement gypseux. Selon Viellefon (1976) in Boumarf (2013), le gypse et le calcaire dans le sol ne sont pas indépendants l'un de l'autre. Quand la quantité de calcaire diminue, celle de gypse augmente (Halitim et al.,1987) in Boumarf (2013) montre que le gypse envahit, détruit et bloque l'évolution des accumulations

calcaires. Ils pensent que ce phénomène est dû à la pression de cristallisation de gypse ( $1100 \text{ kg/cm}^2$ ) qui détruit les individualisations calcaires par suite de l'arrivée continue de solutions sulfatées et de leur précipitation.

Ces sols de cette station sont moyennement pauvres en matière organique en surface (1,69 %) à pauvre pour les deux horizons sous-jacents, c'est le cas des sols des zones arides. La capacité d'échange cationique est élevée dans l'ensemble du profil ( $C > 28 \text{ Cmol/kg}$  de sol) en raison de la forte teneur en argile. Le complexe adsorbant est saturé en  $\text{Ca}^{++}$ .

Ces sols sont légèrement salés dans les deux horizons supérieurs (0,88 et 0,8 dS/m) à salés (1,16 dS/m) en profondeur. Le profil salin est de type (D) à une distribution saline avec augmentation régulière de la salinité avec la profondeur (Figure 27). Le maximum est profond. En ce qui concerne le bilan ionique de la solution du sol (1/5), les résultats montrent que c'est l'ion  $\text{Ca}^{++}$  qui est le plus abondant avec 63,46 %. Ensuite viennent les ions  $\text{Na}^+$  avec un taux de 21,8 % ; le  $\text{Mg}^{++}$  arrive en troisième position avec 16,72 % et enfin, le  $\text{K}^+$  avec 2,72 %.

Pour les anions, les sulfates sont les plus dominants avec un taux de 54,11 %, la solution du sol présente des quantités moins abondantes de chlorures (43,13 %) et de bicarbonates (2,77 %).

Du point de vue de l'abondance des cations et des anions vu leur ordre de classement respectif dans la solution du sol, il y a lieu de conclure que ces sols présentent un faciès chimique de type sulfaté- calcique (Figure 28).

Les données du profil sont représentées dans le tableau 13.

Tableau n° 13 : Analyses physico-chimiques du profil n° 11 (El Outaya cultivé)

Profondeur (cm)	* Granulométrie (%)				pH (1/2. 5)	Calcaire Total (%)	Gypse (%)	Carbone (%)	Matière organique (%)	Bases échangeables (Cmol/Kg de sol)				CEC (Cmol/Kg de sol)	ESP (%)
	Argile	Limon	Sable	Classe texturale						Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>		
0 - 10	34,43	41,97	23,60	Limon	7,09	44,09	1,74	0,98	1,69	1,59	1,55	33,00	3,06	39,2	4,05
10 - 40	53,23	39,68	7,09	Argile	7,22	34,37	4,12	0,68	1,17	1,25	1,15	29,52	3,28	35,2	3,55
40 - 70	58,25	35,07	6,68	Argile	7,15	42,65	1,24	0,60	1,04	3,58	1,62	19,70	3,10	28,00	12,78

Profondeur (cm)	C E (dS/m) 1/5	Cations (meq/l)				Somme des cations (meq/l)	Anions (meq/l)				Somme des Anions (meq/l)	SAR
		Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>		CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>		
0 - 10	0.88	1.29	0.17	4.15	1.52	9.18	0.00	0.32	3.50	4.84	8.66	00.77
10 - 40	0.80	0.96	0.13	6.84	1.52	9.45	0.00	0.24	4.00	4.70	8.94	00.23
40 - 70	1.16	2.09	0.36	7.12	2.03	11.6	0.00	0.24	5.50	6.70	12.44	00.98

Profondeur (cm)	+Réserve utile (mm)	+Perméabilité (cm/h)
0 - 10	10.01	0.34
10 - 40	36.21	0.26
40 - 70	34.44	0.26

\* Classification USDA

Les valeurs du Ca<sup>++</sup> a été ajusté à la CEC

+ Valeurs obtenues à partir du logiciel américain (Soil waterlimits)

**III.1.4.1.3. Description morphologique du profil n° 12 (El Outaya non cultivé)**

Nom du profil : El Outaya non cultivé.

Numéro du profil : 12

Date de description : Avril 2010

Localisation : 34° 55' 15,50'' N, 5° 37' 00,25'' E, elev 198 m

Pente : Pente faible (0-2 %)

Substrat : Quaternaire salé

Géomorphologie : Terrasses

Drainage : Mauvais

Végétation : Plantes halophiles

Classification : Sodic Xeric Haplocalcids

**Horizon A(0-15 cm)**

Brun jaunâtre clair (10 YR 6/4) à l'état sec, argilo-limoneux, structure polyédrique moyenne, pas de racines, pas de cailloux, très forte effervescence à l'HCl, transition graduelle.

**Horizon AC<sub>ca</sub>(15-35 cm)**

Brun pâle (10YR 6/3) à l'état sec, argilo-limoneux, structure polyédrique moyenne à tendance prismatique, pas de racines, pas de cailloux, très forte effervescence à l'HCl, transition diffuse.

**Horizon C(35-140 cm)**

Brun pâle (10YR 6/3) à l'état sec, argilo-limoneux, structure massive, peu de racines, pas de cailloux, très fortes effervescences à l'HCl.

**III.1.4.1.4. Caractéristiques physico-chimiques des sols d'El Outaya (sols non cultivés)**

Le profil est de type AC avec une structure polyédrique et massive dans le dernier horizon.

L'analyse granulométrique donne une dominance au sable en surface et l'argile qui dépasse 46 % dans les autres horizons donc la texture est de type limono-sableuse en surface (ensablement) et argilo-sableuse dans le reste du profil.

Ces sols sont moyennement perméables en surface à peu perméables pour les derniers horizons, les valeurs de la réserve utile sont plus élevées pour les deux derniers horizons et ceci est en relation directe avec la texture.

Le pH des sols est alcalin en surface à neutre pour les autres horizons. Ces sols sont fortement calcaires dans l'ensemble du profil, faiblement à modérément gypseux.

Ces sols sont pauvres en matière organique (> 2 %), l'horizon de surface présente le taux le plus élevé par rapport aux autres horizons. Les valeurs de la CEC sont moyennes à élever, elles sont comprises entre 21,60 et 37,60 Cmol/kg de sol. Le complexe adsorbant est saturé en  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Na}^+$  dans le deuxième et le troisième horizon à cause de la forte salinité.

Dans l'ensemble du profil, le sol est non salé en surface (0,32 dS/m) à très salé dans les horizons sous-jacents (2,44 et 3,55 dS/m). Le profil salin est de type (D) ; distribution saline avec augmentation régulière de la salinité avec la profondeur. Le maximum est profond (Figure 27). Le taux de  $\text{Ca}^{++}$  est le plus important, il est au voisinage de 46,33 %. Le taux de  $\text{Na}^{++}$  est supérieur à celui de  $\text{Mg}^{++}$ , ils sont de l'ordre de 29,88 % et 16,64 %.

La valeur de  $\text{Na}^+$  est la plus élevée par rapport aux autres cations dans le deuxième horizon, elle est estimée de 12 meq/l et enfin, la quantité de  $\text{K}^+$  est pratiquement négligeable par rapport aux autres éléments (2,12 %).

Les sulfates sont les anions les plus fréquents dans la solution du sol sauf pour le deuxième horizon, où le Chlore présente la valeur la plus importante (16 meq/l). Le Chlore « Cl » arrive en deuxième position (45,27 %), puis les  $\text{HCO}_3^-$  avec des taux très faibles par rapport aux autres anions (4,19 %) le faciès chimique est généralement de type sulfaté calcique sauf pour le deuxième horizon où, il est chloruré-sodique (Figure 28).

Les données analytiques du profil sont représentées dans le tableau 14.

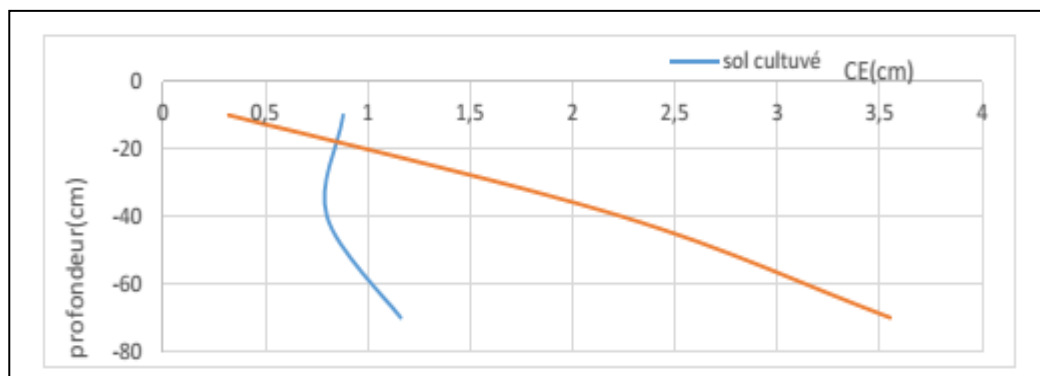


Figure 27 : Profils salins de la région d’El Outaya

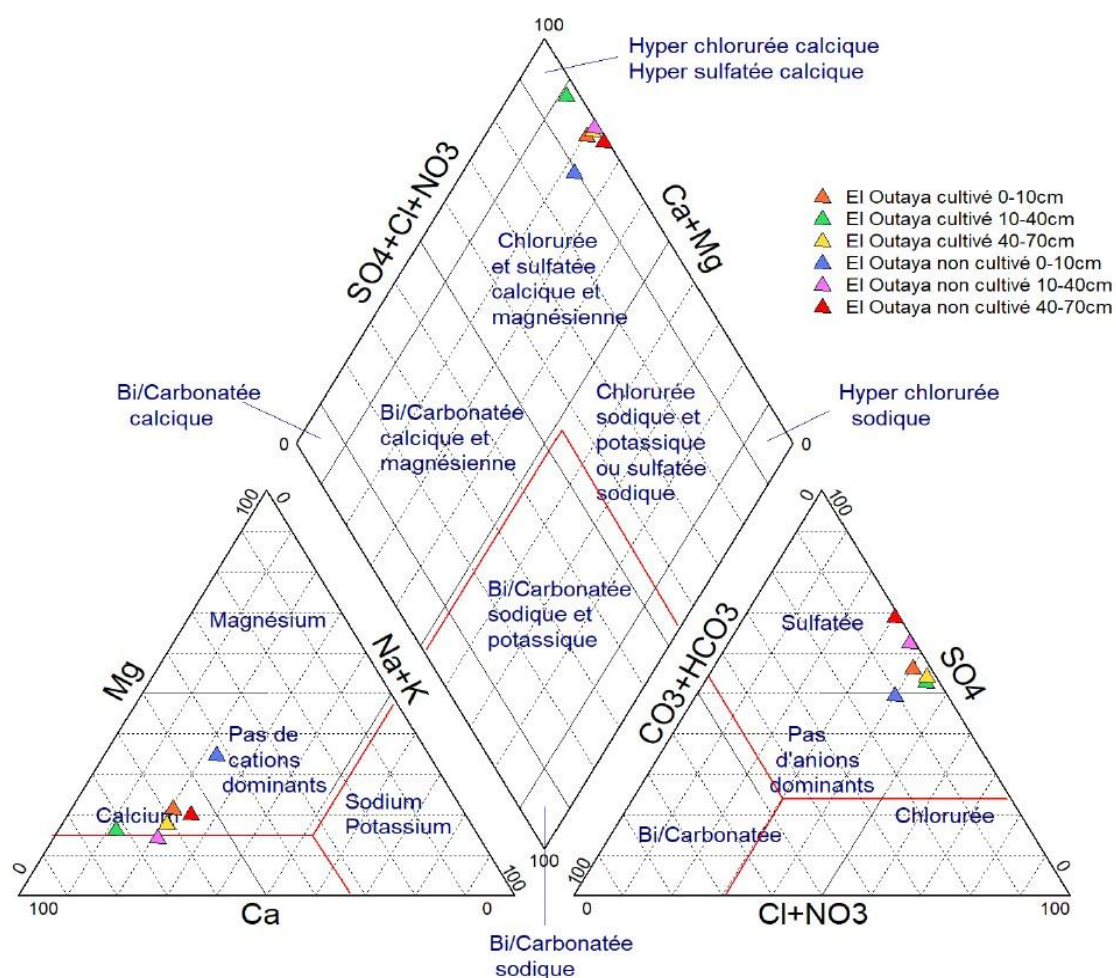


Figure 28 : Représentation sur Diagramme de PIPER des solutions du sol d’El Outaya

Tableau n°14 : Analyses physico-chimiques du profil n°12 (El Outaya non cultivé)

Profondeur (cm)	* Granulométrie (%)				pH (1/2.5)	Calcaire Total (%)	Gypse (%)	Carbone (%)	Matière organique (%)	Bases échangeables (Cmol/Kg de sol)				CEC (Cmol/Kg de sol)	ESP (%)
	Argile	Limon	Sable	Classe texturale						Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>		
0 - 10	07.41	40.94	51.65	Limon sableux	7.55	46.26	1.29	0.60	1.04	0.61	0.97	18.02	2.00	21.60	2.82
10 - 40	46.24	46.73	7.03	Argile sableuse	7.18	44.09	11.63	0.53	0.91	16.30	1.67	4.50	2.33	24.80	65.72
40 - 70	50.34	42.89	6.77	Argile	7.08	41.92	1.48	0.30	0.52	14.96	1.20	13.27	8.17	37.60	39.79

Profondeur (cm)	C E (dS/m) 1/5	Cations (meq/l)				Somme des cations (meq/l)	Anions (meq/l)				Somme des Anions (meq/l)	SAR
		Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>		CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>		
0 - 10	0.32	0.56	0.17	1.37	1.11	03.20	0.00	0.40	1.50	1.84	3.74	00.50
10 - 40	2.24	4.50	0.2	14.54	3.16	22.4	0.00	0.24	8.24	14	22.51	1.47
40 - 70	3.55	8.95	0.11	20.2	7.24	36.50	0.00	0.32	11.00	24.82	36.14	02.42

Profondeur (cm)	+ Réserve utile (mm)	+ Perméabilité (cm/h)
0 - 10	10.22	3.78
10 - 40	38.20	0.29
40 - 70	37.09	0.27

\* Classification USDA

Les valeurs du Ca<sup>++</sup> a été ajusté à la CEC

+Valeurs obtenues à partir du logiciel américain (Soil waterlimits)



### **III.1.5. Synthèse des données morphologiques et analytiques**

#### **III.1.5.1. Première zone agroécologique : Sols sur sédiments -gypso-calcaire**

##### **III.1.5.1.1. Sols cultivés de M'ziraa**

Sols Sodic Xeric Haplocalcids (calcaires et salés), argileux, peu perméable, neutre à alcalins, salés à très salés, fortement calcaires, faiblement à modérément gypseux, peu fertiles de fait de la faible teneur en matière organique, en outre, leur teneur élevée en argile leur confère une capacité d'échange cationique élevée.

##### **III.1.5.1.2. Sols témoins de M'ziraa**

Sols Sodic Xeric Haplocalcids (sols calcaires et salés), argileux, peu perméable, alcalin, salés à très salés, fortement calcaires, faiblement gypseux, pauvres en matière organique et capacité d'échange cationique élevée.

##### **III.1.5.1.3. Sols cultivés de Doucen**

Sols Sodic Xeric Haplogypsids (sols gypseux à encroûtement salin), limono-sableux, moyennement perméables, neutres, salé à très salés (en surface), modérément calcaires, excessivement gypseux, peu fertiles de fait de la faible teneur en argile et en matière organique confère une faible capacité d'échange cationique avec des carences en éléments nutritifs. En outre, ces sols fournissent peu d'eau aux plantes.

##### **III.1.5.1.4. Sols témoins de Doucen**

Sols Sodic Xeric Haplogypsids (sols gypseux à encroûtement), limono-sableux, généralement perméables, neutres, fortement salés, modérément calcaires, très fortement gypseux, pauvres en matière organique et capacité d'échange cationique élevée.

#### **III.1.5.2. Deuxième zone agroécologique : Zone caractérisée par des sols développés sur Deb-Deb**

##### **III.1.5.2.1. Sols cultivés de Tolga**

Sols Xeric Calcigypsids (sols gypseux), limono-sableux, moyennement perméables, alcalins, salés à très salés surtout en surface), fortement à moyennement calcaires, modérément à fortement gypseux avec une capacité d'échange cationique moyenne.

##### **III.1.5.2.2. Sols témoins de Tolga**

Sols Xeric Calcigypsids (sols gypso-calcaires), limoneux, moyennement perméables, légèrement à moyennement alcalins, très salés, moyennement calcaires, fortement gypseux, très pauvres en matière organique et capacité d'échange cationique moyenne.

##### **III.1.5.2.3. Sols cultivés d'El Hadjeb (Ain Ben Noui)**

Sols Xeric Calcigypsids (sols halomorphes à encroûtement calcaire), sableux,

moyennement perméables, alcalins très salés (en surface) à salés, faiblement gypseux, peu fertiles, avec faible capacité d'échange cationique de fait de faible teneur en argile et en matière organique.

#### **III.1.5.2.4. Sols témoins d'El Hadjeb (Ain Ben Noui)**

Sols Xeric Calcigypids (sols calcaires), sableux, moyennement perméables, alcalins, non salés, faiblement gypseux, moyennement calcaires, faible teneur en matière organique et faible capacité d'échange cationique.

#### **III.1.5.3. Troisième zone agroécologique : Zone caractérisée par des sols argileux et calcaires**

##### **III.1.5.3.1. Sols cultivés de Zeribet El Oued**

Sols Vertic Haplocalcids (sols calcaires salés à caractère vertique), argileux, peu perméables, alcalins, très salés (en surface) à salés, fortement calcaires, modérément à fortement gypseux, avec une capacité d'échange cationique faible.

##### **III.1.5.3.2. Sols témoins de Zeribet El Oued**

Sols Vertic Haplocalcids (sols calcaires salés à caractère vertique), argileux, peu perméables, alcalins, très salés, moyennement gypseux, fortement calcaires, faible teneur en matière organique et capacité d'échange cationique élevée.

#### **III.1.5.4. Quatrième Zone agroécologique : Zone caractérisée par des sols argileux et salés**

##### **III.1.5.4.1 Sols cultivés d'El Outaya**

Sols Sodique Xeric Haplocalcids (sols calcaires salés), sols argileux, peu perméables, neutres, salés à très salés (en profondeur), fortement calcaires, faiblement gypseux, avec une capacité d'échange cationique modérée.

##### **III.1.5.4.2. Sols témoins d'El Outaya**

Sols Sodique Xeric Haplocalcids (sols calcaires salés), limono- sableux (ensablement en surface), argileux pour les autres horizons, peu perméables, neutres, salés à très salés, fortement calcaires, modérément gypseux, pauvres en matière organique et C.E.C élevée.

### **III.2. Qualité des eaux d'irrigation**

Dans les milieux arides, du fait des conditions climatiques caractérisées par un bilan P -ETP déficitaire, le recours à l'irrigation est une nécessité vitale pour accroître et régulariser la production agricole même si l'eau utilisée est souvent chargée en sels (Abdesselam, 2013).

L'eau d'irrigation utilisée des cinq sites M'ziraa, Doucen, Tolga, El Hadjeb et Zeribet El Oued provient d'un forage, les renseignements concernant ces eaux sont représentés

dans le tableau 15 , mais l'irrigation du site d'El Outaya est assurée à partir des eaux régularisées par le barrage « Fontaine des Gazelles » par le bai d'une conduite de 1.250 m à l'intérieur du tunnel du barrage 900 mm à l'extérieur jusqu'au périmètre où se fait une autre distribution destinée exclusivement à l'irrigation avec un débit de 1 121 l/s.

Le barrage de « Fontaine des Gazelles » situé sur l'oued El Hai, dont le bassin versant est allongé dans la direction nord-est, sud-ouest et est entouré d'une chaîne montagneuse peu élevée. Il est situé au nord-est de la plaine d'El Outaya. Le réseau hydrographique qui alimente ce barrage est constitué essentiellement de l'oued Biskra à l'Est, alimenté par des pluies exceptionnelles surtout en automne et au printemps sous forme d'orage (Chabour, 2006). Le barrage mis en service en 2001 avec une capacité de 55,5 Hm<sup>3</sup>, régularise un volume annuel de 14 Hm<sup>3</sup> (A.N.R.H, 2016).

**Tableau n° 15 : Données descriptives sur les eaux d'irrigation des sites de travail**

Données- Régions	Profondeur de forage(m)	Nappe	Moded'irrigation	Débit(l/s)
M'zriaa	200	Miopllocène	Goutte à goutte	4
Doucen	140	Éocène Inférieur	Gravitaire	13
Tolga	102	Éocène Inférieur	Gravitaire	9
El Hadjeb	150	Éocène Inférieur	Gravitaire	10
Zeribet El Oued	200	Miopllocène	Goutte à goutte	4

L'analyse chimique de l'eau d'irrigation de la région d'étude est donnée par le tableau 16.

**Tableau n° 16 : Données hydrochimiques des eaux**

	Ph	CE (dS/m) à 25 °C	Cations (még/l)				Anions (még/l)			SAR	Classe	Cl/SO4
			Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>			
Zeribet El Oued	7,34	3,7	12,16	11,7	13,01	0,13	5,2	7	24,8	3,77	C4-S1	0,21
M'ziraa	7,34	3,7	16,95	11,93	13,01	0,22	2,8	5	29,2	1,85	C4-S1	0,14
Tolga	7,42	2,4	7,3	5,85	7,02	0,20	2,6	6	11,8	2,77	C4-S1	0,23
El Outaya	7,95	2,2	8,13	4,94	7,05	0,31	2,8	6	16,58	4,57	C3-S1	0,34
El Hadjeb	7,71	3,75	10,64	8,66	11,62	0,34	5	5,2	21,53	3,1	C4-S1	0,14
Doucen	7,02	5,61	27,97	26,6	10,86	0,30	5,6	4	46,5	0,23	C5-S1	0,10

### III.2.1. pH

Le pH de l'eau est une indication importante de la qualité et fournit des informations importantes de l'équilibre géochimique ou le calcul de la solubilité des microéléments. Il dépend de l'origine des eaux et de la nature géologique du substrat

(Hem, 1985).

D'après les résultats analytiques du tableau 16, le pH est neutre pour les sites de M'ziraa, Doucen, Tolga et Zeribet El Oued, à alcalin pour les deux sites d'El Hadjeb et l'Outaya. Selon Peterson (1999) in El Oumlouki (2014), le pH des eaux utilisées pour l'irrigation des cultures devrait se situer entre 6 et 7, car à ces valeurs la solubilité de la plupart de microéléments est optimale, donc les eaux utilisées à l'irrigation ont besoin de la correction du pH.

### III.2.2. Salinité

La mesure de la conductivité électrique fournit une indication de la concentration ionique et permet d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau, donc sa minéralisation. Elle dépend de la température, de la concentration et du type d'ions présents (Hem, 1985).

L'évaluation de la qualité des eaux d'irrigation de Durand (1958) pour l'Algérie (annexe 04) a montré que l'eau d'irrigation a une forte salinité pour le site d'El Outaya ,a très forte salinité pour les sites de M'ziraa,Tolga,El Hadjeb et Zeribet El Oued et a salinité excessive pour le site de Doucen. D'après les résultats du tableau 16, les eaux de surface mobilisées par le barrage d'El Outaya semblent moins chargées en sels que les eaux de l'aquifère des autres sites. La carte de la conductivité électrique (CE) des eaux d'irrigation de la région d'étude est représentée dans la figure 29.

Selon Servant (1976), la salinité des eaux est sulfatée pour les régions de M'ziraa, Doucen et El Hadjebà sulfate chloruré pour les autres régions (annexe 05).

### III.2.3. Sodicit 

La modicité est exprimée par la valeur du SAR, qui s'écrit comme suit :

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}}{2}}} \quad \text{Equation N}^\circ\text{3}$$

(Na<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>), représentent les concentrations en milli équivalents/litre dans la solution du sol ou dans l'eau d'irrigation).

Selon Servant et Servant (1966), ces eaux avec un SAR de 3,98 pour M'ziraa et 2,38 pour Doucen ne représentent aucun 'un risque d'alcalinisation. Avec un SAR de 5.56 pour Tolga, 5,86 pour Zeribet El Oued et 5.1pour El Outaya, ces eaux présentent une faible alcalinisation. Enfin un SAR de 8,16 pour El Hadjeb l'alcalinisation est moyenne (annexe 06). La répartition du SAR dans notre zone d'étude est illustrée dans la figure 30.

### III.2.4. Faciès chimique

Le report des échantillons sur ce diagramme de Riverside (Figure 31) indique que

toutes les eaux ont un faciès sulfaté calcique et secondairement sodique qui est le faciès dominant ; son origine est la nature géologique de la nappe du calcaire de l'éocène inférieur. Donc, les eaux sont généralement très chargées et ont un faciès sulfaté qui provient des importantes formations évaporitiques (Rechachi, 2017).

### III.2.5. Classification des eaux

La qualité de l'eau d'irrigation est appréciée en utilisant le diagramme de classification des eaux de l'U.S.S. L (1954), c'est un tableau à double entrée, avec les conductivités en abscisses et des SAR en ordonnées. Cependant, le diagramme proposé a été modifié par l'addition d'une cinquième classe d'après la conductivité électrique (Durand, 1958).

Les résultats de classement des eaux d'irrigation révèlent l'existence des classes suivantes (Figure 32) :

- C4 S1 ; exprime une qualité médiocre pour l'eau de Tolga, à mauvaise pour l'eau de M'ziraa, El Hadjeb et Zeribet El Oued (Figure 32) ; exclure les plantes sensibles et les sols lourds. Utilisable avec beaucoup de précautions dans les sols légers et bien drainés avec doses de lessivage et/ou apports de gypse.
- C3 S1 ; exprime une qualité médiocre pour l'eau d'El Outaya ; utilisable avec précaution. Nécessité de drainage avec doses de lessivage et/ou apports de gypse.
- C5 S1 ; exprime une qualité très mauvaise pour l'eau de Doucen ; si on veut les utiliser, il faut d'abord exclure les plantes sensibles et les sols lourds et on peut les recycler afin de les utiliser avec beaucoup de précautions dans les sols légers et bien drainés avec dose de lessivage et/ou apport de gypse.

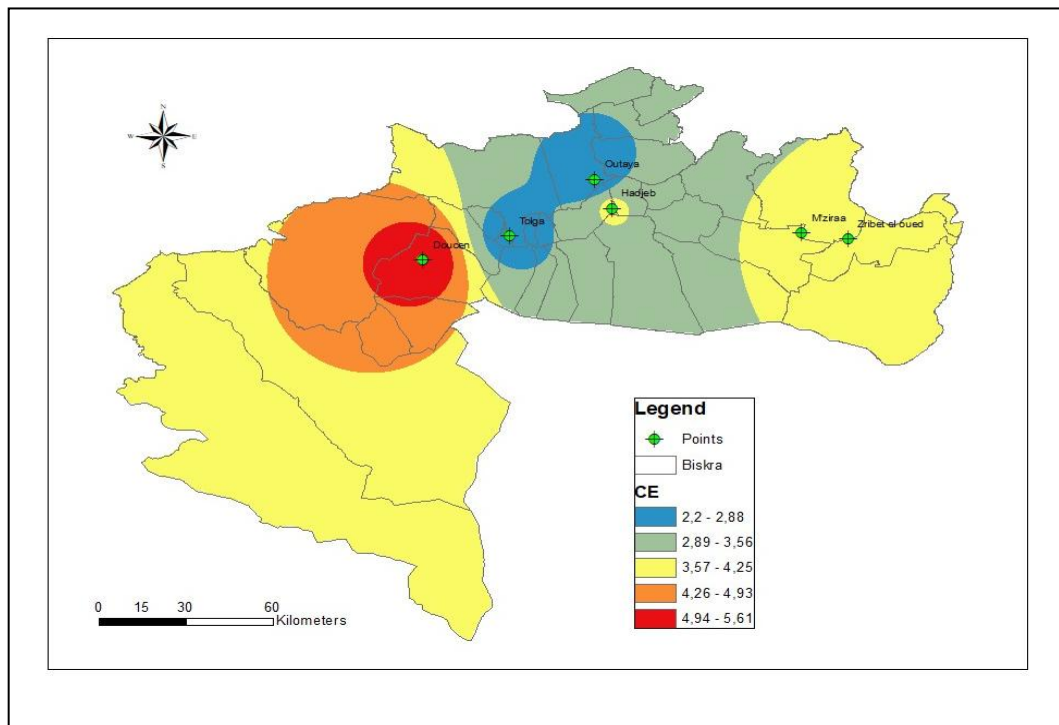


Figure 29 : Carte de la conductivité électrique (CE) des eaux d’irrigation de la région d’étude

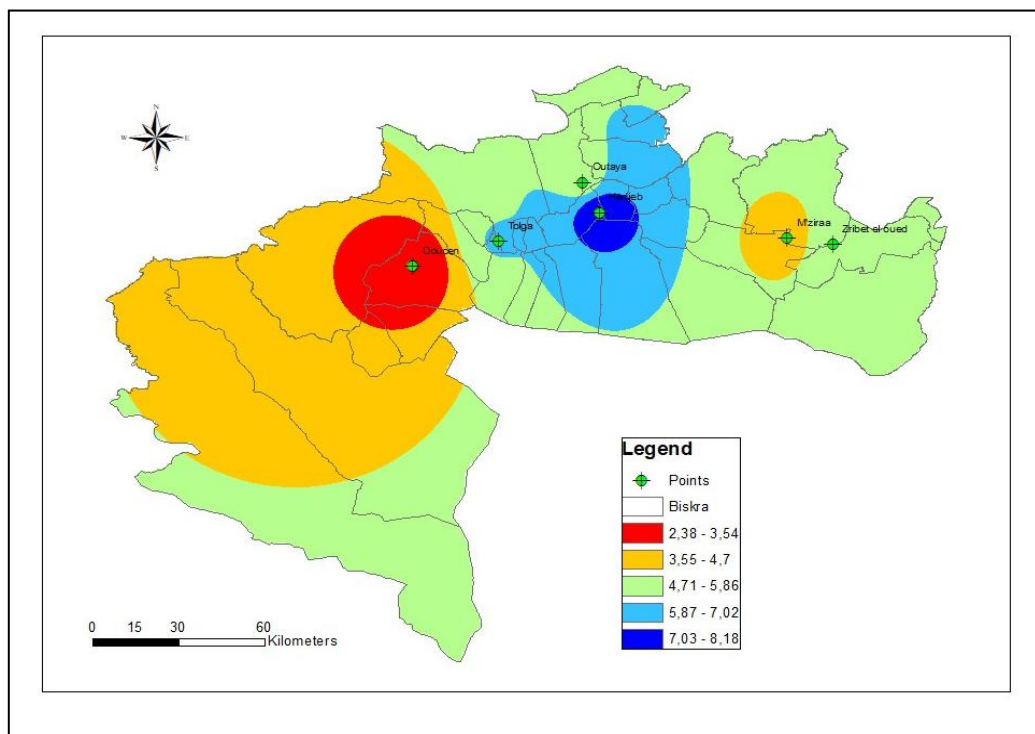


Figure 30 : Carte du SAR des eaux d’irrigation de la région d’étude

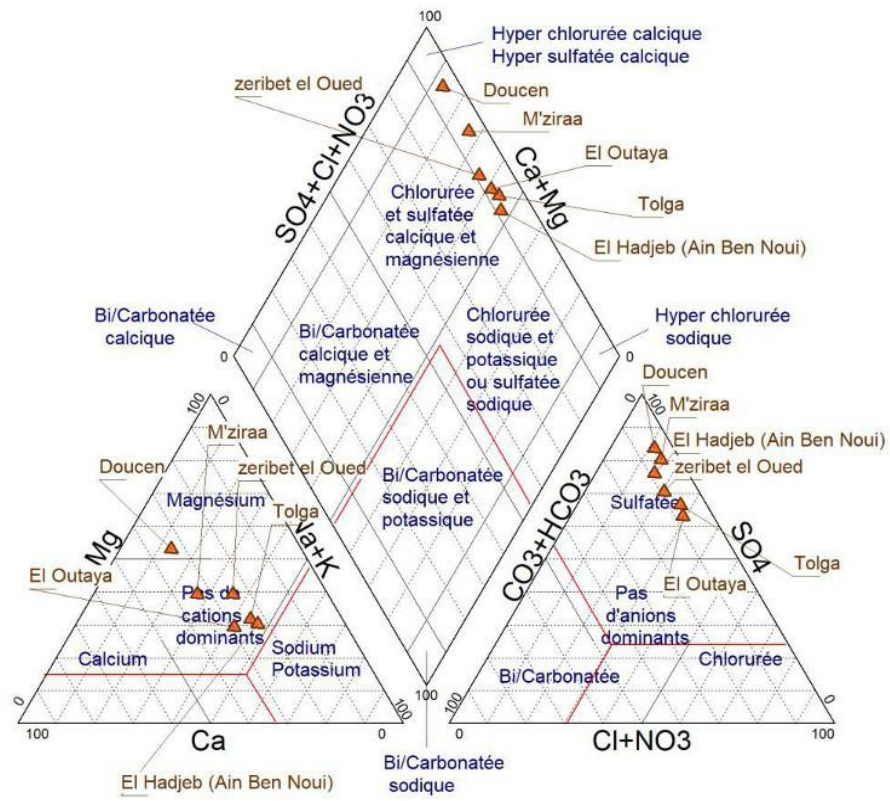


Figure 31 : Diagramme de Piper des eaux d'irrigation

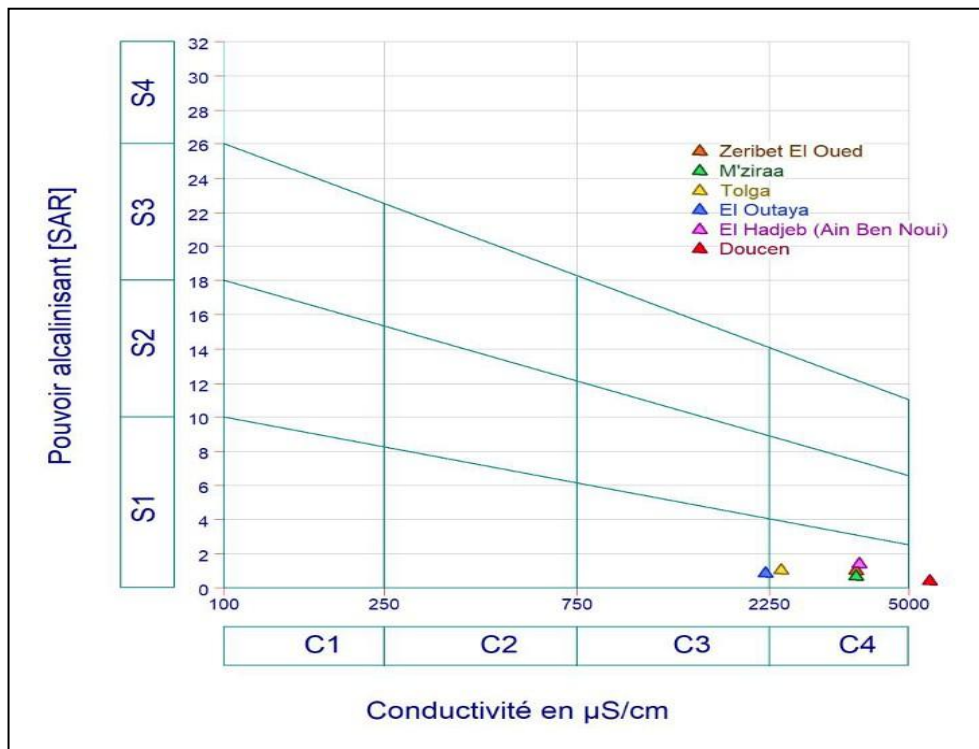


Figure 32 : Diagramme de Riverside des eaux d'irrigation de la zone d'étude (Simler, 2013)

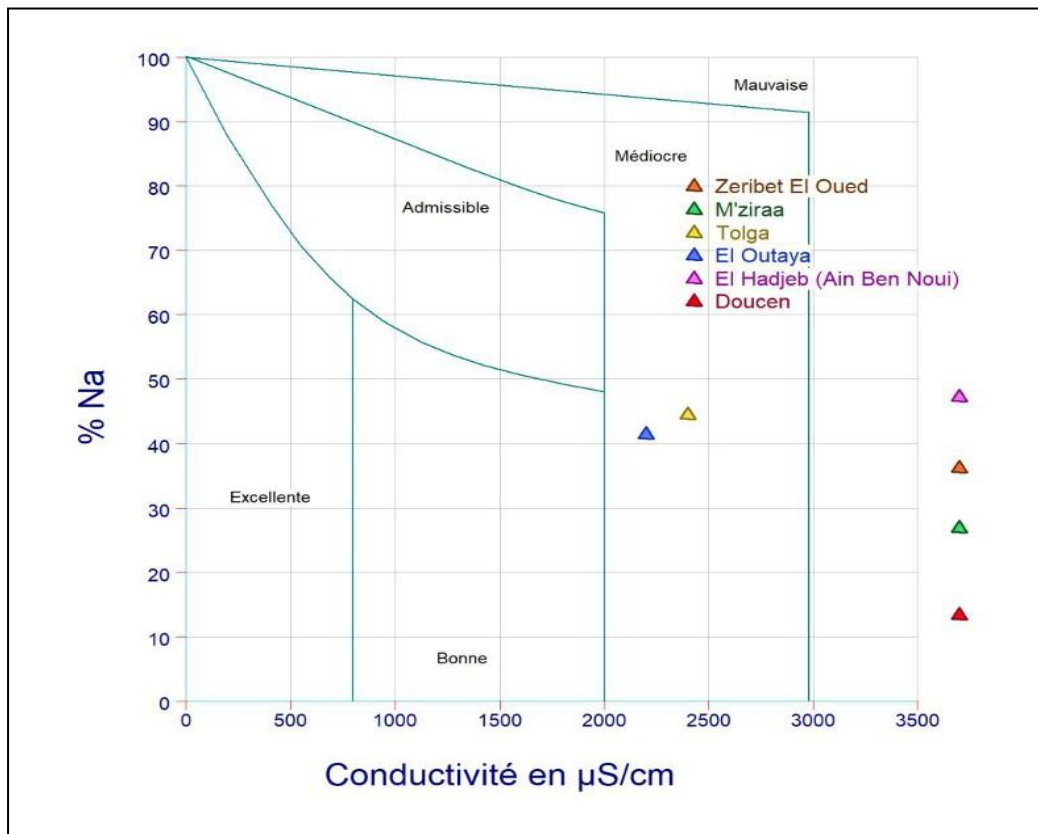


Figure 33 : Diagramme de Wilcox des eaux d'irrigation (Simler, 201



### III.2.6. Conclusion

Il ressort de cette étude faite sur les eaux d'irrigation de nos sites de M'ziraa, Doucen, Tolga, El Hadjeb, Zeribet El Oued et El Outaya que l'eau d'irrigation vient de la nappe Mioploicène pour les sites de M'ziraa et Zeribet El Oued et de la nappe Eocène inférieur pour les sites de Doucen, Tolga et El Hadjeb, mais l'eau d'irrigation d'El Outaya est assurée à partir des eaux régularisées par le barrage « Fontaine des Gazelles », dont le pH est neutre pour les régions de Zeribet El Oued, M'ziraa, Tolga et Doucen à alcalin concernant les deux régions Ain Ben Noui et El Outaya. L'évaluation de l'eau a montré que l'eau d'irrigation a une forte salinité pour le site d'El Outaya (eau de barrage qui présente la salinité la plus faible par rapport aux autres sites), a une très forte salinité pour les sites de Zeribet El Oued, M'ziraa, El Hadjeb et Tolga et a une salinité excessive concernant du site de Doucen (5,61 dS/m). Le Faciès chimique est de type sulfaté — calcique secondairement sodique pour toutes les eaux. D'après les critères du laboratoire régional de la salinité des États-Unis U.S.SalinityLaboratory Staff (1954), l'eau d'irrigation est classée C<sub>3</sub>S<sub>1</sub> avec une qualité médiocre pour le site d'El Outaya, classe C<sub>4</sub>S<sub>1</sub> pour les sites de de Zeribet El Oued, M'ziraa, El Hadjeb et Tolga avec une qualité mauvaise et enfin l'eau de Doucen avec une classe de C<sub>5</sub>S<sub>1</sub> et une qualité très mauvaise. L'eau de M'ziraa et Doucen ne présente aucun risque d'alcalinisation, les eaux de Tolga, Zeribet El Oued et El Outaya présentent une faible alcalinisation et enfin l'eau d'El Hadjeb présente une alcalinisation moyenne.

### III.3. Variation des caractéristiques des sols entre les sols cultivés et leur témoin

Nous avons tenté d'apprécier les variations des paramètres de : pH, CE, texture, perméabilité, C.E.C, taux de matière organique et calcaire total et gypse des sols sous irrigation en comparant les résultats des profils pédologiques et des témoins adjacents non cultivés.

#### III.3.1. Variation des caractéristiques des sols pour la zone à sédiment gypso-calcaire

##### III.3.1.1. M'ziraa

Les variations entre les sols cultivés et leur témoin sont représentés dans la figure 34

- La texture est généralement argileuse à l'exception de l'horizon de surface du sol témoin qui présente une texture argileux-sableuse à cause de l'ensablement sous l'effet de l'érosion éolienne.
- Le pH d'horizon du sol témoin est plus alcalin que celui du sol cultivé (apport de la matière organique).
- Les sols des horizons de profil cultivé sont peu salés en surface et salés en profondeur, mais les sols des horizons du profil témoin sont salés. La salinité est

plus élevée dans l'horizon de surface et l'horizon médian du sol témoin par rapport à celle de sol cultivé et elle est importante dans la profondeur du sol cultivé que celle du sol témoin, ceci pouvant être expliqué par la lixiviation des sels sous l'effet de l'eau d'irrigation.

- Les sols de M'ziraa pour le profil cultivé et le profil témoin sont fortement calcaires, le taux de calcaire pour le sol témoin est plus important en profondeur que celui de sol cultivé (rôle de substratum géologique).
- Les horizons du profil cultivé et du profil témoin sont faiblement gypseux à l'exception du dernier horizon du sol cultivé qui est modérément gypseux. Cela peut s'expliquer par l'origine pédogénétique du sol (sol sur substrat gypso-calcaire) dont l'occurrence est essentiellement en relation avec la présence de la nappe phréatique.
- Le taux de matière organique est convenable pour les horizons du profil cultivé par rapport à celle des horizons du profil témoin, qui est faible et ceci est remarquable surtout en surface.
- Il n'y a aucune variation de CEC des sols cultivés et celle des sols témoins qui est généralement convenables et ceci peut être expliqué par la présence de l'argile.

Les sols du M'ziraa sont généralement imperméables soit pour le sol cultivé soit pour le sol témoin à l'exception du troisième horizon du sol cultivé qui est perméable, donc la texture fine à une grande influence à la circulation de l'eau.

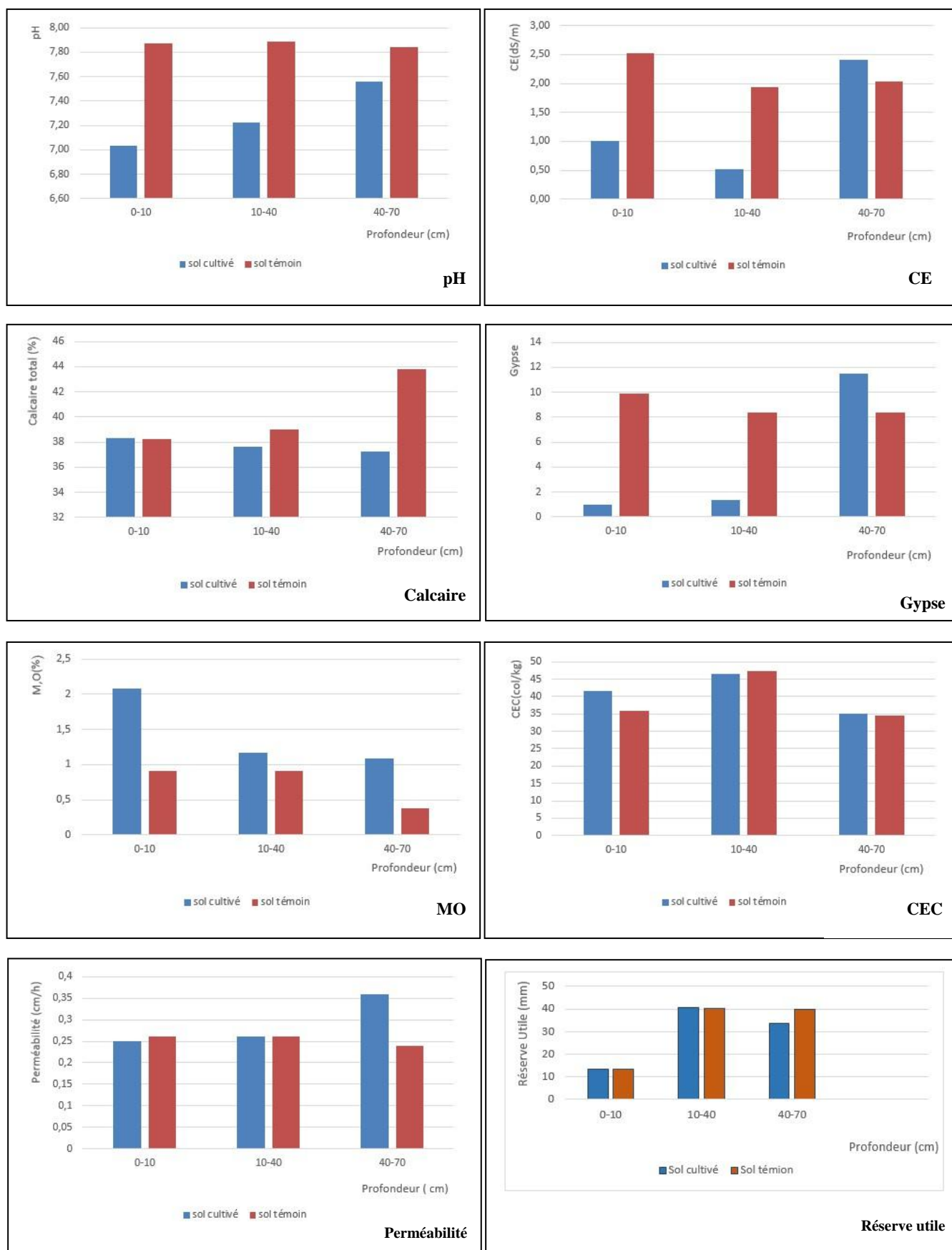


Figure 34 : Variation des caractéristiques des sols dans la région de M'ziraa

### III.3.1.2 Doucen

D'après la figure 35 des variations caractéristiques des sols entre le profil cultivé et le profil témoin sont les suivantes :

- La texture du sol est identique pour les deux profils, elle est généralement Sablo — limoneuse.
- Le pH est neutre pour les sols du profil cultivé et il est plus alcalin dans les sols du profil témoin est cela est dû à la présence et au lessivage de matière organique.
- Dans l'ensemble du profil cultivé, les sols sont très salés surtout en surface et salés dans l'ensemble du profil témoin, cette variation de la salinité résulte sous l'effet de l'eau d'irrigation qui présente une salinité excessive estimée de 5 dS/m ; l'irrigation non contrôlée avec des eaux salées concentre les sels en surface sans pouvoir lessiver par drainage insuffisant (Kool et al., 2013).
- Les sols sont modérément calcaires, mais le taux de  $\text{CaCO}_3$  est plus élevé dans le sol témoin à différentes profondeurs.
- Les sols sont généralement fortement gypseux sauf le premier horizon du sol cultivé qui est modérément gypseux. Le taux de gypse est plus élevé dans le sol témoin en surface et en profondeur, mais il est égal dans l'horizon médian (10-40) sous l'effet de l'irrigation (solubilisation du gypse).
- Le taux de matière organique est élevé en surface par rapport à la profondeur dans les deux profils (1,4 % pour le sol cultivé et 1,03 % pour le sol témoin), alors que le taux est plus élevé dans le profil cultivé par rapport à celui de témoin dans les trois profondeurs (l'apport d'engrais et de l'amendement organique).
- La CEC est moyenne dans toutes les profondeurs des sols cultivés et témoin.
- Les sols sont moyennement perméables pour les sols du profil cultivé à généralement perméables pour les sols du profil témoin, lorsqu'il s'agit d'un sol meuble (texture légère), permettant une bonne aération, une bonne circulation de l'eau (Hartmann et al., 2002).

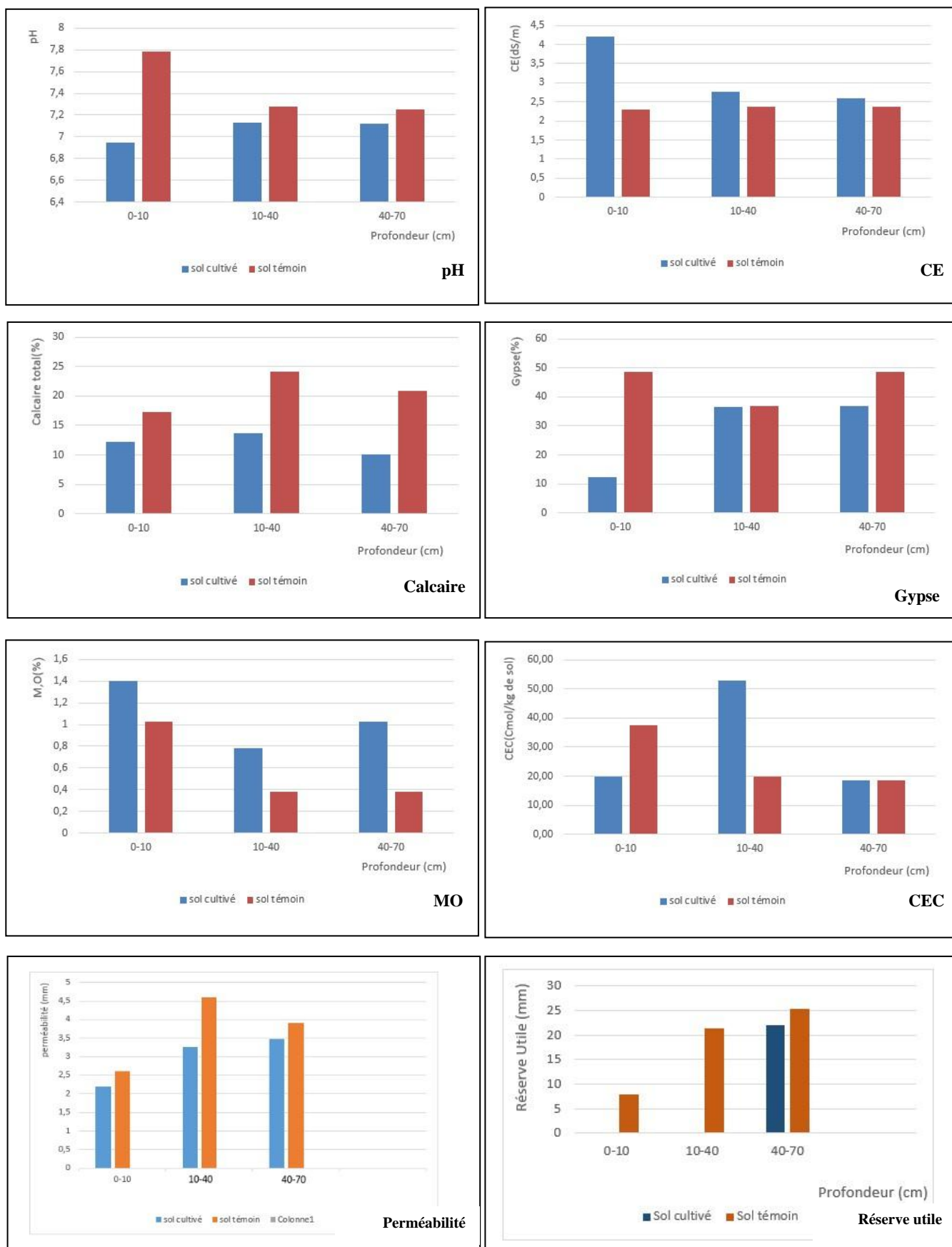


Figure 35 : Variation des caractéristiques des sols dans la région de Doucen

### III.3.2. Variation des caractéristiques des sols pour la zone caractérisée par des sols développés sur Deb — Deb encroûtée

#### III.3.2.1. Tolga

Selon les diagrammes de la figure 36, il ressort que les variations des caractéristiques des sols entre le sol cultivé et son témoin sont :

- La texture est identique, elle est presque limoneuse à Limono-sableuse.
- Les valeurs du pH sont élevées (sols alcalins), elles sont rapprochées soit pour le profil cultivé ou le sol témoin.
- Le pH est plus alcalin pour les deux premiers horizons du sol témoin par rapport à celui des horizons du sol cultivé.
- Les sols des deux types de profil sont très salés en surface et salés en profondeur. La salinité de l'horizon superficiel du profil cultivé est plus élevée à celle du sol témoin et ceci est dû à l'effet de l'irrigation avec des eaux salines qui accentue la salinité au niveau de surface.
- Les valeurs du CaCO<sub>3</sub> montrent que les sols de Tolga sont modérément calcaires, soient pour les horizons du sol cultivé, soit pour les horizons du sol témoin à l'exception de l'horizon superficiel du sol cultivé, qui est fortement calcaire.
- Les horizons du profil cultivé sont moyennement gypseux, mais ceux du profil témoin sont fortement gypseux, cela sera expliqué par la solubilité du gypse sous l'effet de l'irrigation ou la remontée capillaire des eaux de la nappe pendant la période sèche.
- Le taux de matière organique est plus important en surface du sol cultivé par rapport à celui du sol témoin (amendement) qui est convenable par rapport aux autres horizons et les horizons du sol témoin dont % qui est faible (caractéristiques des sols désertiques).
- La capacité d'échange cationique est généralement moyenne pour les sols cultivés et les sols témoins (présence de limon).
- Les sols des deux profils cultivés et témoin sont moyennement perméables ceci est dû à l'influence de la texture qui est plus ou moins grossière.

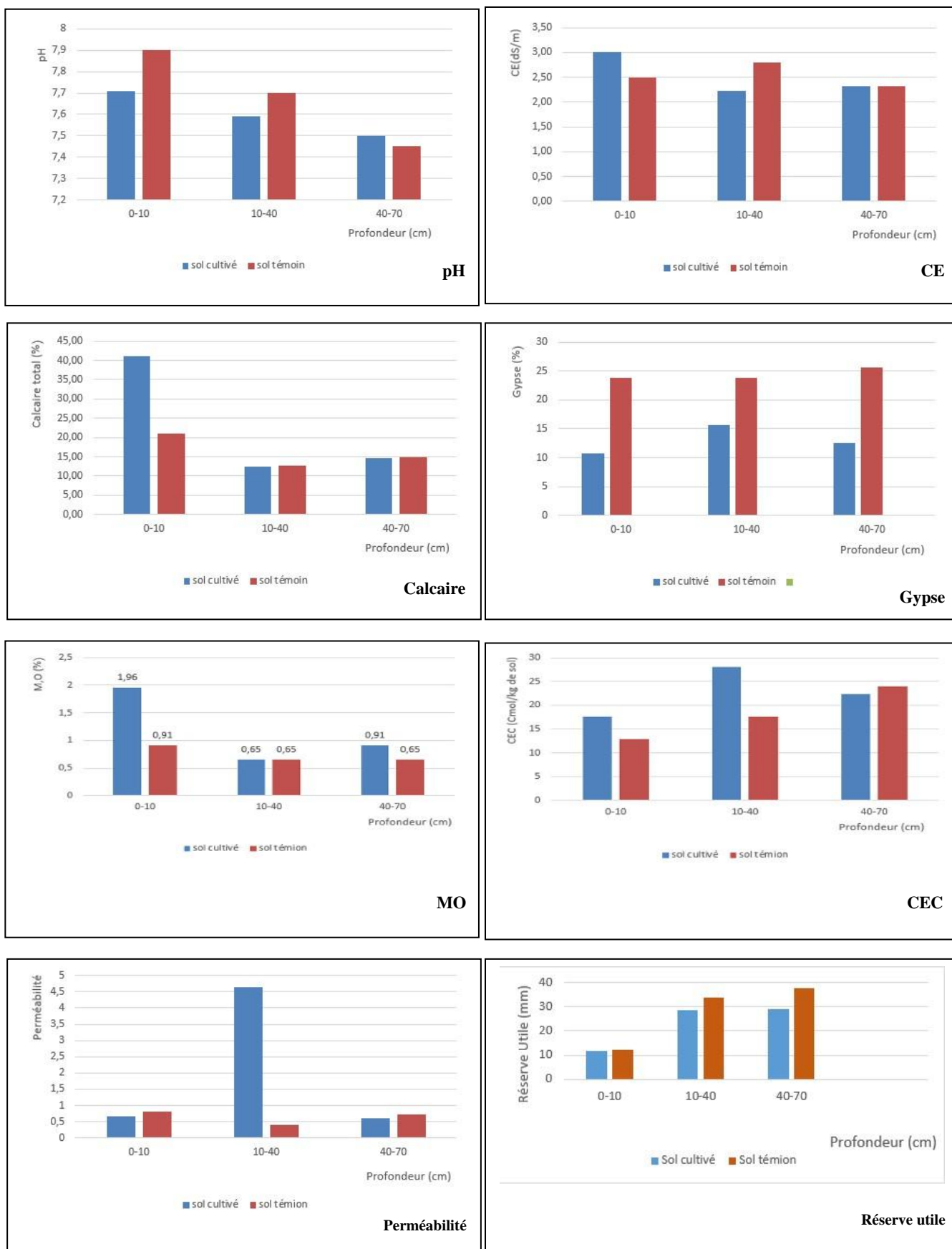


Figure 36 : Variation des caractéristiques des sols dans la région de Tolga

### III.3.2.2. Ain Ben Noui (El Hadjeb)

D'après les diagrammes de la figure 37, on constate que :

- Les sols non cultivés présentent une texture plus grossière (sableuse) que celle des sols cultivés (limon sableuse).
- Le sol témoin présente un pH plus alcalin à celui du sol cultivé dans toutes les profondeurs (0-10,10-40 et 40-70 cm). On peut expliquer cela par la présence et le lessivage de la matière organique.
- Pour la salinité, les sols du profil cultivé sont plus salés que les sols du profil témoin. Pour l'ensemble des profils (cultivé et témoin), la salinité est plus importante en surface qu'en profondeur, ceci est dû à l'irrigation concernant le sol cultivé qui entraîne une accumulation des sels dans la zone racinaire (Bala, 2005 ; Koull et al, 2003) .la salinité est importante dans le sol cultivé par rapport à celle de témoin, cela est dû à l'irrigation et à la remontée capillaire des sels dans le sol témoin.
- Les quantités moyennes de  $\text{CaCO}_3$  présentées dans les différentes profondeurs du sol cultivé sont rapprochées à celle de son témoin. Les sols sont généralement modérément calcaires pour les deux profils.
- Les sols sont modérément gypseux pour les différentes profondeurs des sols, mais les valeurs les plus élevées sont rencontrent dans le profil cultivé.
- Le taux de matière organique sur sol cultivé cultivée est faible dans les deux profils, on peut donc s'attendre à ce que la teneur en matière organique des sols désertiques soit très faible, car les faibles précipitations ne permettent pas une grande production de végétaux et par conséquent les résidus seront très limités (Derdour, 1999).
- La CEC du sol cultivé est plus importante à celle du sol témoin ceci est dû à la texture qui est plus grossière dans le témoin.
- La perméabilité du sol témoin est plus importante que celle du sol cultivé à différentes profondeurs (0-10,10-40 et 40-70cm) ceci est dû à la texture qui est plus sableuse dans le sol témoin qui favorise le mouvement de l'eau dans le sol (Duchaufour, 1988).



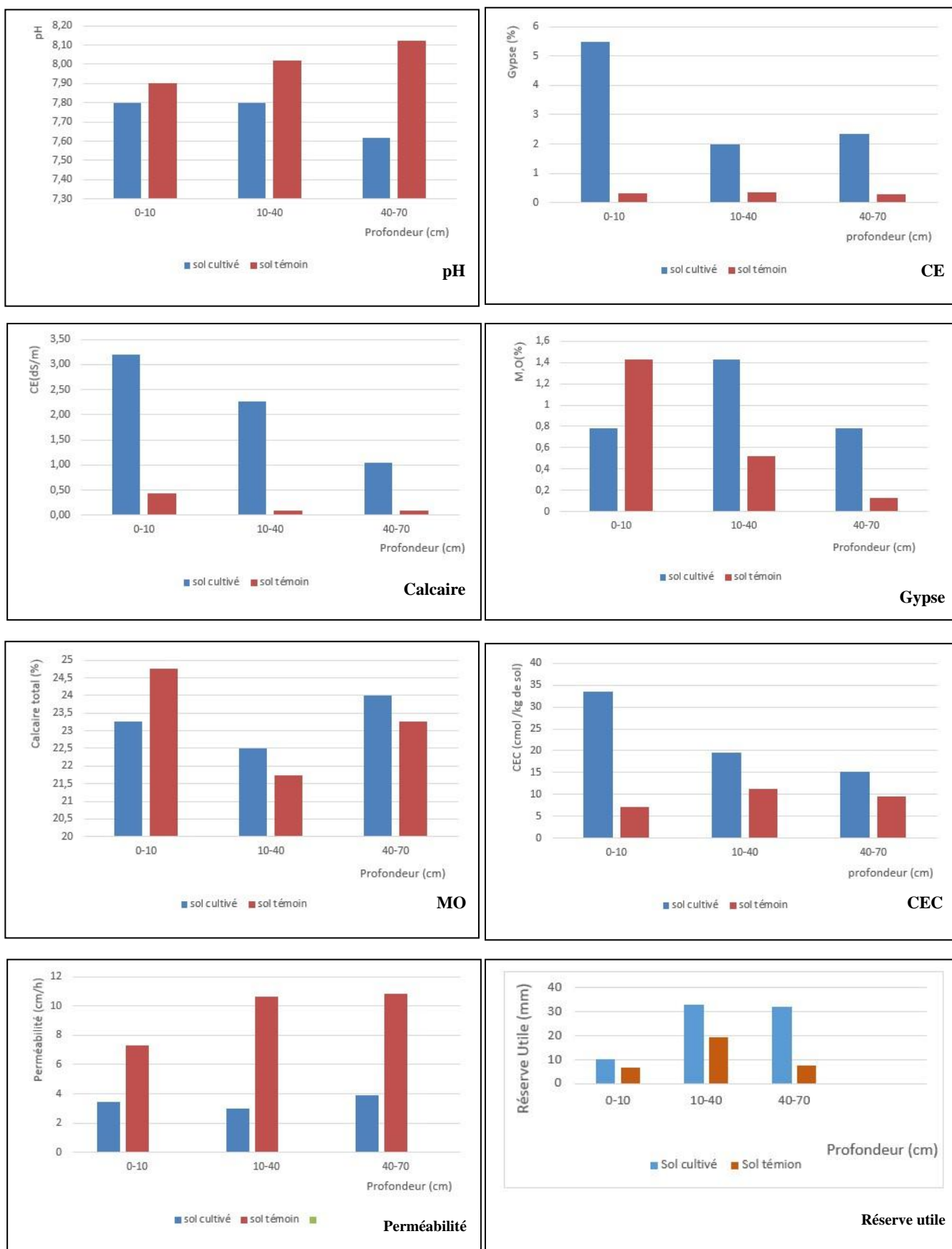


Figure 37 : Variation des caractéristiques des sols dans la région d'El Hadjeb

### III.3.3. Variation des caractéristiques des sols pour la zone caractérisée par des sols argileux lourds

#### III.3.3.1. Zeribet El Oued

D'après la figure 38 représentée par les diagrammes, on peut dire que :

- La texture est argileuse pour les sols des deux profils à différentes profondeurs.
- Le pH des sols est neutre et plus élevé dans les sols cultivés que celui de leur témoin, il est neutre dans tous les horizons des profils à l'exception du premier horizon du sol cultivé qui est alcalin.
- La salinité est forte dans les deux types de profils et elle est importante en surface, ils sont très salés dans les horizons du sol témoin. La salinité concernant les deux profils est importante en surface.
- Les sols de Zeribet El Oued sont fortement calcaires pour les deux types du profil.
- Les sols du Zeribet El Oued sont généralement gypseux concernant le profil cultivé et le profil témoin
- Le taux de matière organique est en général faible dans les deux profils, on trouve qu'il y a un lessivage de la matière organique dans le profil cultivé ,ce ci résulte de l'effet de l'irrigation.
- La CEC est moyenne pour les sols des deux profils.
- Les sols des deux profils sont peu perméables.

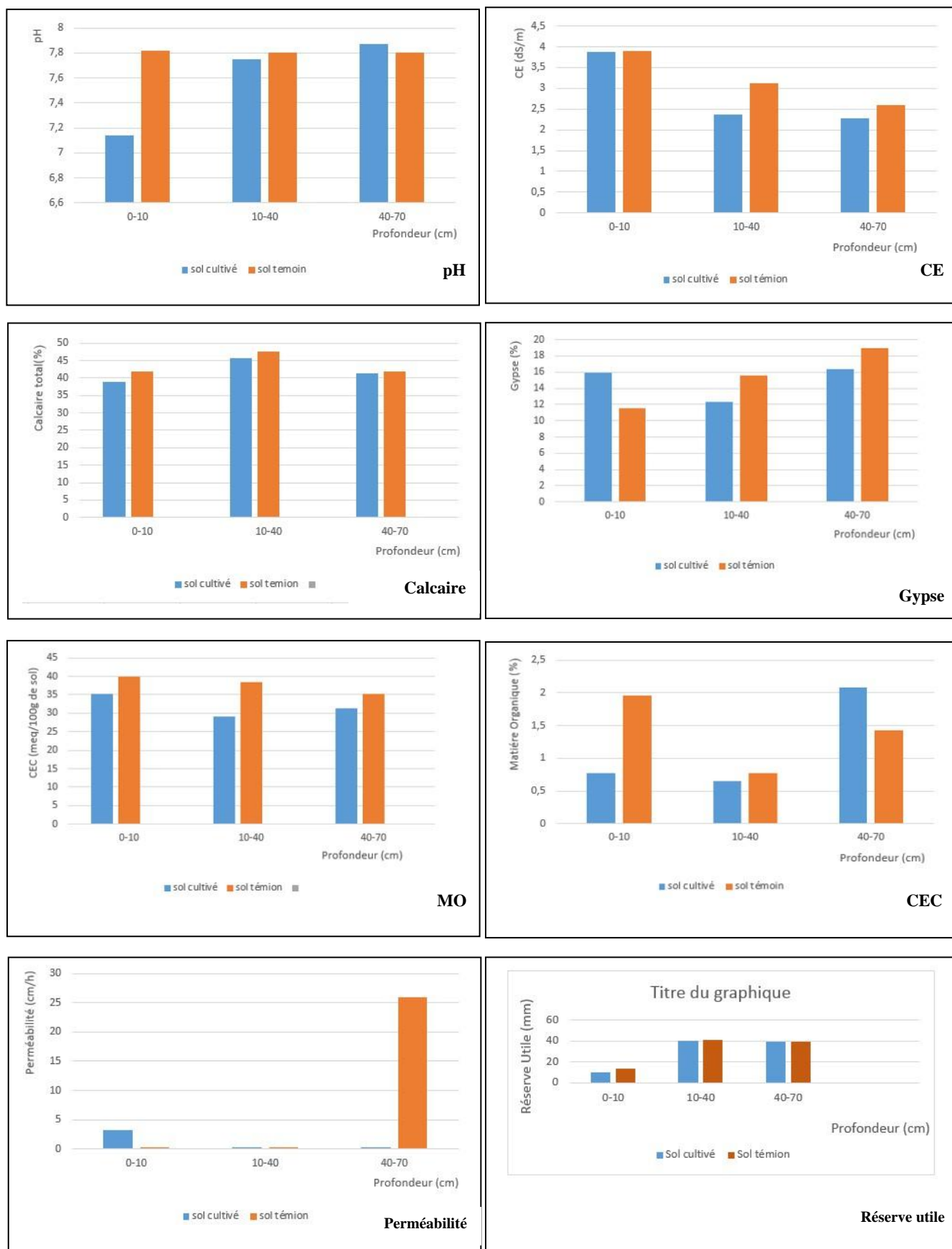


Figure 38 : Variation des caractéristiques des sols dans la région de Zeribet El Oued

### III.3.4. Variation des caractéristiques des sols pour la zone caractérisée par des sols argileux et salé (El Outaya)

La figure 39 représente des variations au niveau des sols du profil cultivé et les sols de son témoin, qui sont les suivantes :

- La texture du sol est généralement argileuse dans le profil cultivé et son témoin.
- Le pH des sols est neutre, les valeurs sont rapprochées à l'exception dans la surface où on trouve que le pH du sol témoin est plus alcalin que celui du sol cultivé.
- Le sol cultivé est plus salé en surface que le sol témoin ceci est dû à l'irrigation avec des eaux chargées (kooll, 2013). La salinité est importante en profondeur pour les deux types de profil sous l'effet de la remontée capillaire. À ce titre, d'après Van Hoorn (1995), en sols irrigués, la remontée capillaire se réalisera lors des intervalles entre les irrigations et lors d'une période de mise en jachère quand il n'y a pas des mouvements descendants par percolation et d'après Gonzalez Barrios et al. (2000), les terres laissées longtemps en jachère ou abandonnées définitivement se salinisent également par remontée capillaire et évaporation superficielle, c'est le cas du sol de témoins.
- Les sols sont fortement calcaires soit pour le profil cultivé, soit pour le profil témoin, dont les valeurs sont presque identiques.
- Les sols des profils cultivés et son témoin sont en général faiblement gypseux et sont presque identiques à l'exception du deuxième horizon de sol témoin qui présente la valeur la plus élevée et est modérément gypseux (11,63 %). Il est souvent admis que, quand la quantité du calcaire augmente, la quantité du gypse diminue est vice versa (FAO, 1990).
- Le taux de matière organique des sols du profil cultivé est plus convenable que celui de son témoin.
- La CEC est plus importante dans le sol cultivé pour les deux premiers horizons et elle est moins importante pour le dernier horizon, c'est l'influence de la texture argileuse parce que les sols cultivés dans les deux profondeurs sont plus argileux.
- Les sols sont généralement imperméables concernant le sol cultivé et son témoin à l'exception de l'horizon superficiel de témoin qui présente une texture argilo — sableuse, ceci va s'expliquer par l'effet de la texture fine (moyennement perméable).

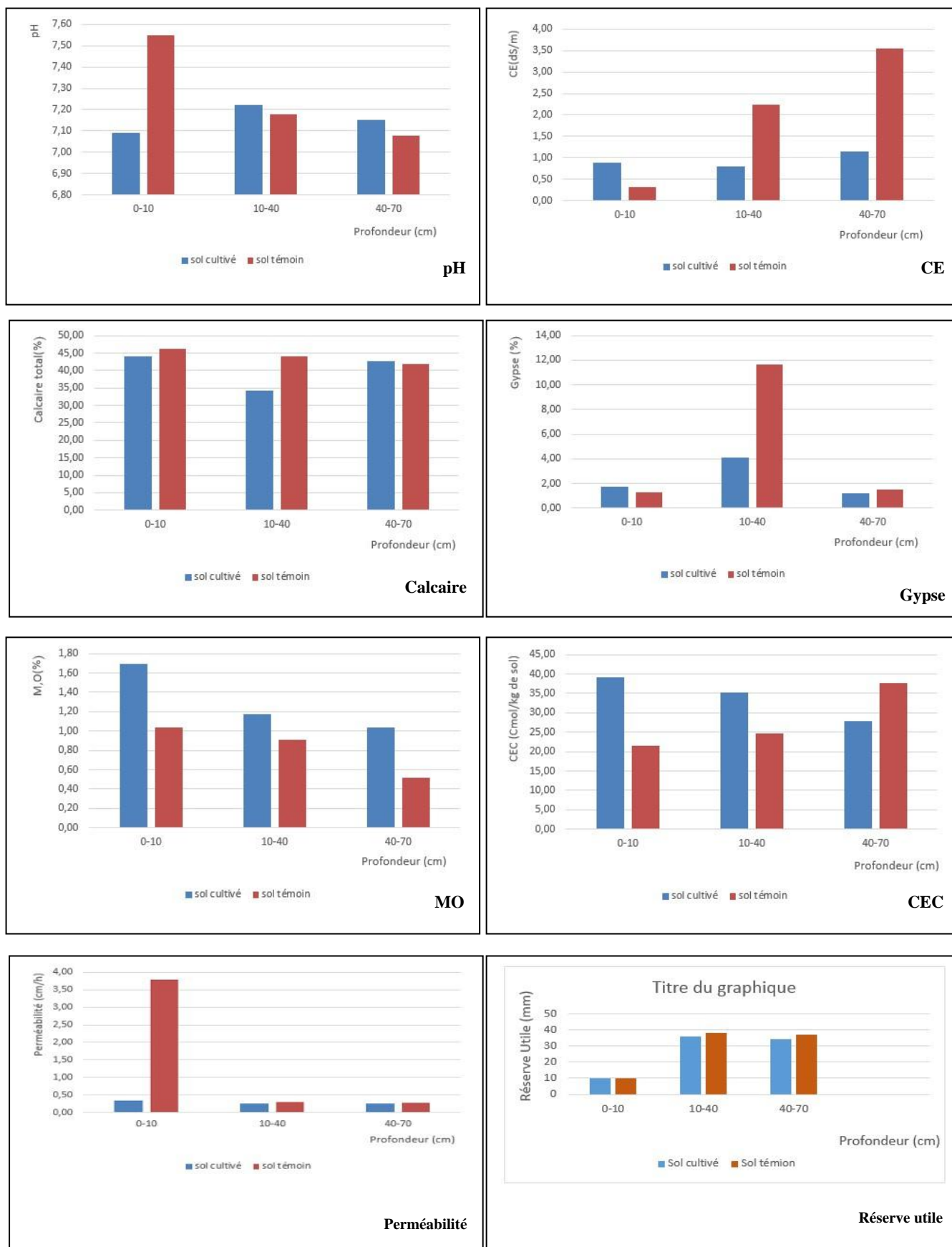


Figure 39 : Variation des caractéristiques des sols dans la région d’El Outaya

### III.3.5. Conclusion

D'après ces résultats, il ressort que :

Dans la première zone, les valeurs de texture,  $\text{CaCO}_3$ , gypse, CEC et perméabilité présentée dans les différentes profondeurs des sols des profils cultivés sont rapprochés à celle de leurs témoins, tandis que le pH des sols témoins est plus alcalin à celui des profils cultivés. La matière organique est plus convenable dans les profils cultivés (amendement, couvert végétal) et la salinité est plus élevée dans les sols cultivés en surface par le phénomène de la remontée capillaire ou en profondeur par la lixiviation des sels sous l'effet des eaux d'irrigation (Askri et Rejeb, 2000).

Dans la deuxième zone, l'étude de variation des caractéristiques des sols entre des profils cultivés et leur témoin montre qu'il n'y a aucun changement des paramètres suivants : Texture, pH,  $\text{CaCO}_3$ , CEC et perméabilité, mais on constate que la salinité est plus importante en surface des sols cultivés ce ci résulte de l'irrigation avec des eaux chargées (Askri et al, 2003 ; Koull et al, 2013) et un changement entre le taux de gypse des sols cultivés et leurs témoins et enfin le taux de matière organique est convenable pour les sols des profils cultivés par rapport à celui de leur témoin surtout en surface.

La variation des caractéristiques des sols entre le sol cultivé et son témoin dans la troisième zone est remarquée pour le pH et la matière organique.

Dans la quatrième zone, les valeurs du pH,  $\text{CaCO}_3$ , gypse, CEC et perméabilité présentée dans les différentes profondeurs des sols des profils cultivés sont rapprochés à celle de leurs témoins, tandis que la texture présente une variation au niveau de surface et la salinité est importante en profondeur dans le profil témoin.

Les valeurs de la salinité la plus élevée sont remarquées dans les régions suivantes : Doucen (4,22 dS/m en surface), Zeribet El Oued (3,9 dS/m en surface), Toga (3 dS/m en surface) et El Outaya (3,55 dS/m en profondeur).

Les profils montrent de fortes variations de la RU sur les 4 zones composant la surface étudiée, la RU la plus faible étant de moins de 1 mm dans la zone 1 et la plus importante de 41 mm dans la zone 3. Plusieurs facteurs permettent d'expliquer ces différences, le premier paramètre qui influe sur la RU est la texture. En effet ce sont les sols de forts taux d'argile et limon, qui vont présenter les plus fortes réserve en eau. La pierrosité peut également influencer les RU de manière non négligeable et notamment les pierres calcaires engendrant de fortes variations dans les réserves utiles du sol.

### III.4. Changement de la qualité des sols des Ziban mis sous culture

#### III.4.1. Caractérisation générale des sols des quatre zones agroécologiques

Les sols des six stations du Ziban présentent les caractéristiques suivantes :

- Les sols de M'ziraa sont argileux, neutres à alcalins, salés à très salés, fortement calcaires, faiblement à modérément gypseux, peu fertiles de fait de la faible teneur en matière organique. En outre, ces sols sont peu perméables, leur teneur élevée en argile leur confère une capacité d'échange cationique élevée.
- Les sols de Doucen sont sableux, moyennement perméables, neutres, salés à très salés (en surface), modérément calcaires, excessivement gypseux, peu fertiles de fait de la faible teneur en argile et en matière organique qui leur confère une faible capacité d'échange cationique avec des carences en éléments nutritifs. En outre, ces sols fournissent peu d'eau aux plantes.
- Les sols de Tolga sont Limono-sableux, alcalins, salés à très salés surtout en surface, fortement à modérément calcaires, modérément à fortement gypseux, moyennement perméables avec une capacité d'échange cationique moyenne.
- Les sols d'Ain Ben Noui (El Hadjeb) sont généralement sableux, alcalins très salés (en surface) à salés, faiblement gypseux, peu fertiles, moyennement perméables avec faible capacité d'échange cationique de fait de faible teneur en argile et en matière organique.
- Les sols de Zeribet El Oued sont argileux, alcalins, très salés (en surface) à salés, fortement calcaires, modérément à fortement gypseux, peu perméables avec une capacité d'échange cationique faible.
- El Outaya est caractérisée par des sols argileux, neutres, salés à très salés (en profondeur), fortement calcaires, faiblement gypseux, peu perméables avec une capacité d'échange cationique modérée.

#### III.4.2. Variation des caractéristiques des sols dans chaque zone

- Dans la première zone agroécologique à sédiment gypseux et calcaire de M'ziraa et Doucen, on trouve certaines variations entre les deux régions, qui sont en premier ordre de texture de du sol, qui est argileuse pour M'ziraa et sableuse pour Doucen, la texture à son tour a une influence directe sur la capacité d'échange cationique, la perméabilité et la réserve utile des sols. En deuxième ordre, le taux de calcaire et de gypse est plus élevé dans les sols de M'ziraa (fortement calcaires) par rapport aux sols de Doucen(modérément calcaires) par contre le taux de gypse est plus élevé dans la région de Doucen(excessivement gypseux) à celui de M'ziraa (faiblement gypseux).

Dans la deuxième zone agroécologique (zone caractérisée par des sols développés sur Deb-Deb) de Tolga et El Hadjeb (Ain Ben Noui), la variation des caractéristiques du sol réside dans la texture du sol qui est limono-sableuse concernant les sols de Tolga et sableuse pour les sols d'El Hadjeb. Pour le taux de gypse, les sols de Tolga sont plus gypseux que ceux d'El Hadjeb.

L'étude des variations des caractéristiques des sols fait ressortir qu'il y a un changement de la qualité des sols concernant le facteur de texture, taux de calcaire et le taux de gypse.

#### III.4.3. Changement de la qualité des sols mis sous culture de la zone d'étude

L'étude des variations des données analytiques (texture, perméabilité, réserve utile pH, CE, calcaire, gypse) a permis de constater un changement de la qualité des sols de six régions qui sont les suivantes :

- Premier constat, on trouve trois types de texture ; texture argileuse pour les sols de M'ziraa, ZeribetEl Oued et El Outaya, la texture sableuse pour la région de Doucen et enfin la texture limono-sableuse pour les sols de Tolga et Ain Ben Noui (El Hadjeb). Les variations entre horizons et profils peuvent s'expliquer essentiellement par des différences des caractéristiques de la roche mère et aussi par des différenciations d'origine pédogénétiques (Halitim, 2006) : altération, la croissance cristalline de gypse, le caractère calcaire de nos sols et la calcite remplace le quartz.

Les propriétés physiques des sols (perméabilité et réserve utile) peuvent évoluer de façon considérable en fonction des caractéristiques de leurs granulométries. La texture du sol a une influence directe sur la perméabilité du sol ; on distingue deux catégories des sols, sols moyennement perméables à perméables pour les sols de Doucen, El Hadjeb et Tolga et sols peu perméables pour les sols de M'ziraa, Zeribet El Oued et El Outaya. La réserve utile d'un sol dépend de ses capacités de rétention, liées à ses propriétés physiques qui déterminent essentiellement sa porosité (texture et densité) et certaines propriétés chimiques (teneurs en matière organique et CEC).

- Deuxième constat, la variation du taux de calcaire et du gypse entraîne un changement de la qualité de ces sols, on peut citer deux classes ; classe des sols modérément calcaires concernant la région de Doucen, Ain Ben Noui et classe des sols fortement calcaires concernant les sols des régions de M'ziraa, Tolga et El Outaya. Pour le gypse, on peut distinguer des sols faiblement gypseux concernant la région d'Ain Ben Noui et El Outaya, des sols faiblement à modérément gypseux pour la région de M'ziraa, des sols modérément à fortement gypseux pour la région de Tolga et



Zeribet El Oued et enfin des sols excessivement gypseux pour la région de Doucen. En fin, le pH présente des variations entre les régions, on peut remarquer des sols neutres pour deux régions d'El Outaya et Doucen et des sols alcalins pour les autres régions, en liaison avec la nature de la roche mère selon notamment les teneurs en calcaire et la teneur en matière organique. Les teneurs en calcaire sont en relation avec la nature de la roche mère (Halitim, 2006), mais aussi avec le degré de la croissance cristalline de gypse.

De ces résultats, on peut dire que le changement de la qualité des sols mis sous culture dans la région de Ziban est influencé par la texture du sol qui agisse directement sur la perméabilité et la réserve utile du sol, sur le taux de calcaire, sur le taux de gypse et enfin sur le pH.

### III.5. Étude minéralogique des sols

Les analyses minéralogiques des échantillons finement broyés, effectuées sur les horizons médians (10-40 cm) pour chaque profil.

#### III.5.1. Minéralogie des sols témoins (non cultivé)

##### III.5.1.1. Sol témoin de M'ziraa

L'analyse minéralogique de l'échantillon montre que le sol contient (Figure 40) :

Quartz	Calcite	Gypse	Dolomite	Argiles
++	+++			+

–Des carbonates avec des raies principales de calcite à  $3,11 \text{ \AA}$  et  $2,08 \text{ \AA}$  en forte concentration.

–Du quartz ( $\text{SiO}_2$ ) avec une raie principale de  $3,34 \text{ \AA}$ .

–Pour les argiles, elles se présentent en faible concentration.

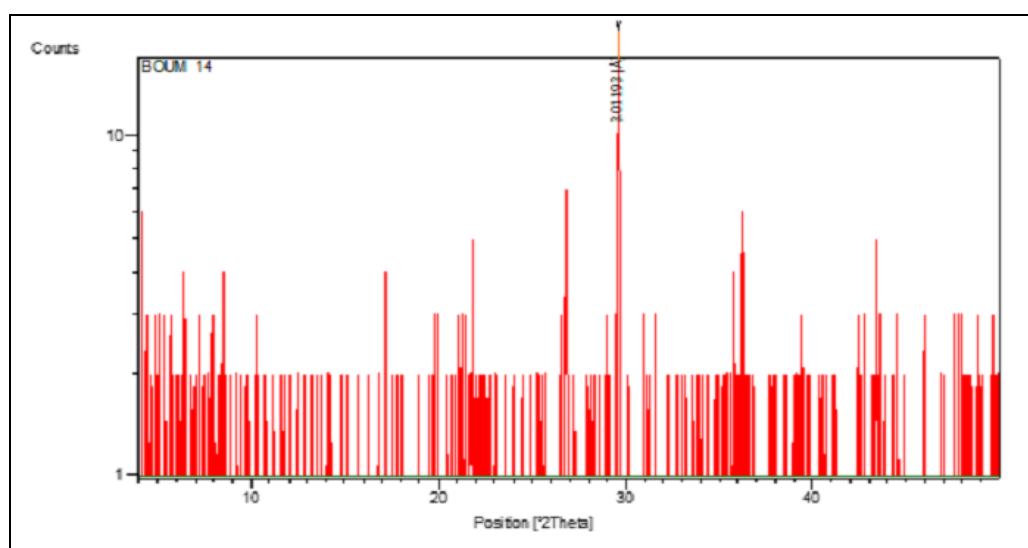


Figure 40 : Le diffractogramme du profil témoin de M'ziraa (Horizon 2)

III.5.1.2. Sol témoin de Doucen

L'analyse minéralogique de l'échantillon montre que le sol contient (figure 41) :

Minéral	Quartz/ Feldspaths	Calcite	Gypse	Dolomite	Argiles
Abondance	++	+++		+	palygorskite

- Des carbonates avec des raies principales de calcite de 2,98 A °, 2.25 A ° et 2,06 A °.
- Du quartz (SiO<sub>2</sub>) avec une raie principale de 3,28 A °.
- De la dolomite avec des raies principales à 3,75 A ° et 1,79 A °.
- Des argiles en très faible concentration.

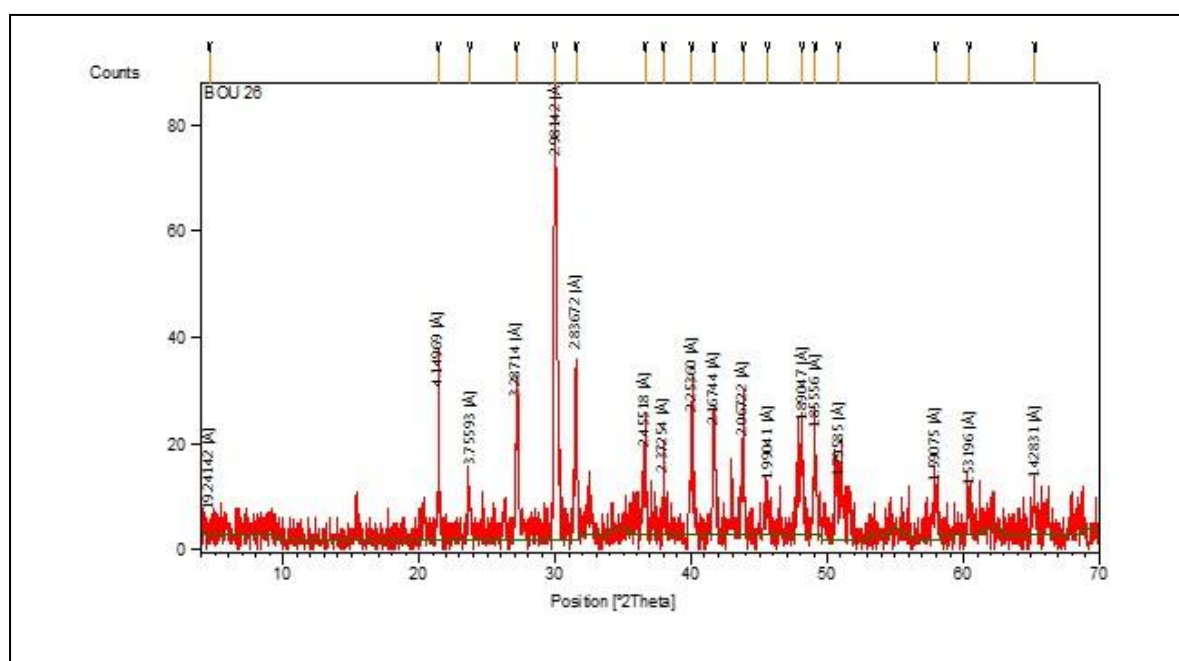


Figure 41 : Le diffractogramme du profil témoin de Doucen (Horizon 2)

III.5.1.3. Sol témoin de Tolga

L'analyse minéralogique de l'échantillon montre que le sol contient (figure 42) :

Minéral	Quartz/ Feldspaths	Calcite	Gypse	Dolomite	Argiles Palygorskite motmorillonite Vermiculite Illite
Abondance	++	++	+++	+	+++

- Du gypse  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  avec une raie principale à  $2,79 \text{ \AA}$ .
- Des carbonates avec des raies principales de calcite à  $2,99 \text{ \AA}$  et  $2,26 \text{ \AA}$ .
- Du feldspath et du quartz ( $\text{SiO}_2$ ) avec une de raie principale à  $1,83 \text{ \AA}$ .
- Des argiles en intensités bien définies (palygorskite, illite, montmorillonite et vermiculite).

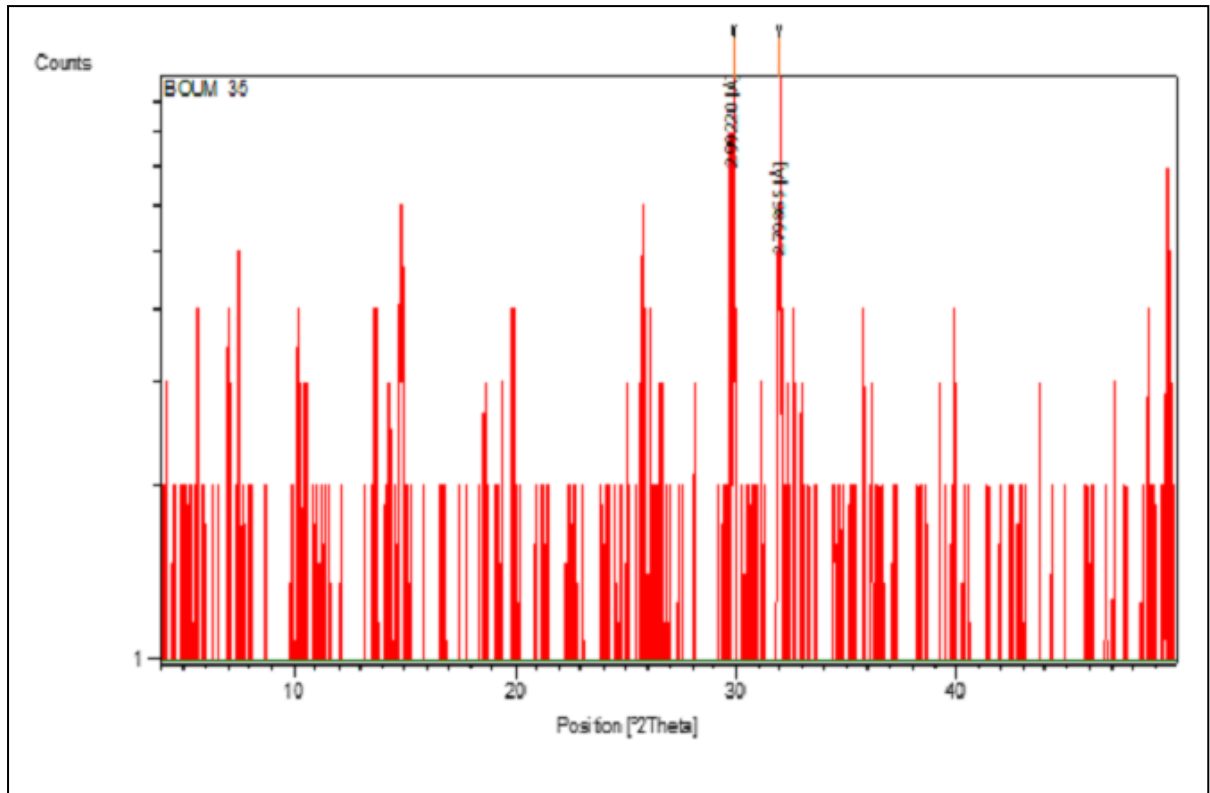


Figure 42 : Le diffractogramme du profil témoin de Tolga (Horizon 2)

## III.5.1.4. Sol témoin d'Ain Ben Noui (El Hadjeb)

Qualitativement on peut dire que les sols contiennent (Figure 43) :

Minéral	Quartz	Calcite	Gypse	Dolomite	Argiles
Abondance	++	+++	-	+	Kaolinite

+++ Dominant, ++ Moyen, + Faible -

- Des carbonates avec des raies principales de calcite à  $2,25 \text{ \AA}$ ,  $2,98 \text{ \AA}$  et  $2,06 \text{ \AA}$  en forte quantité.
- Du quartz ( $\text{SiO}_2$ ) avec une raie principale de  $3,28 \text{ \AA}$ .
- De la dolomite et de la kaolinite avec des raies principales de  $1,8 \text{ \AA}$  et  $3,75 \text{ \AA}$  à très faibles concentrations.

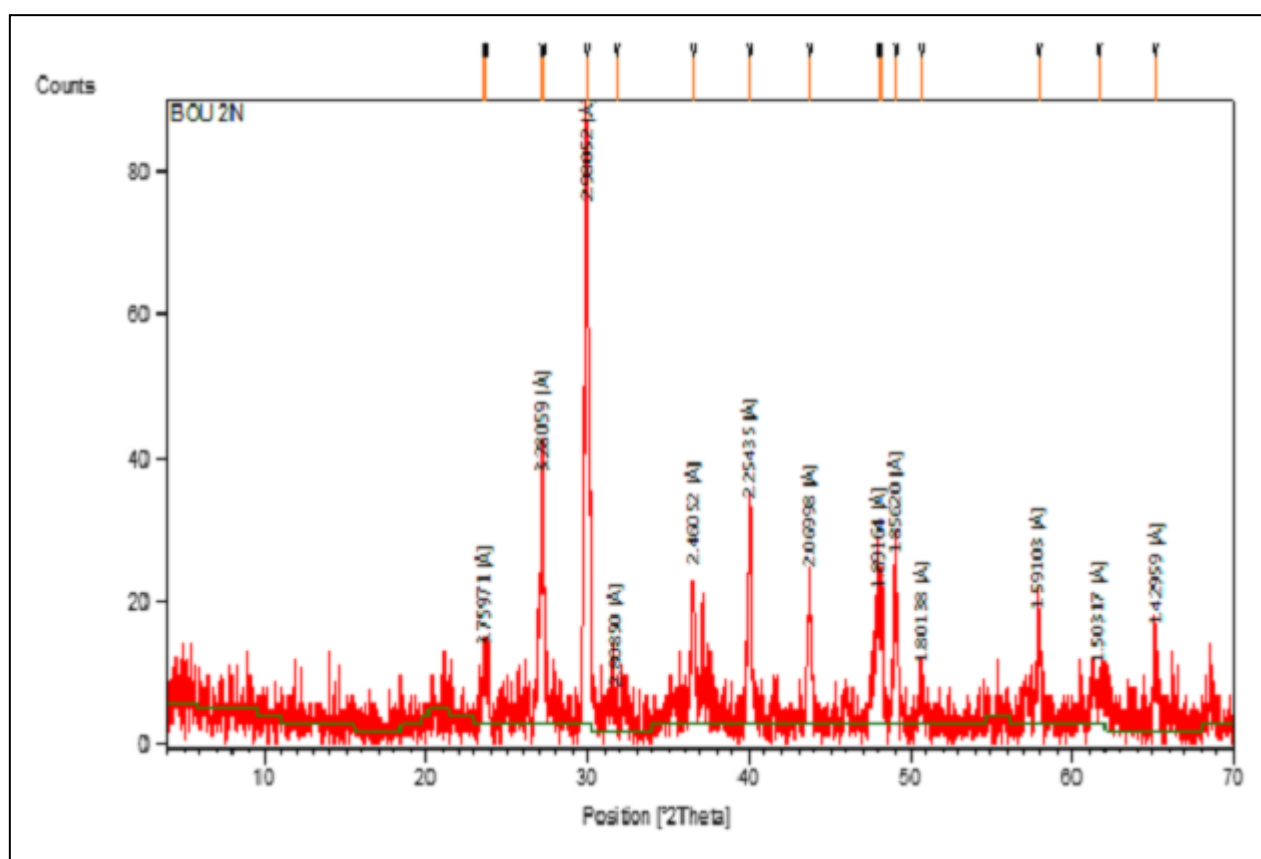


Figure 43 : Le diffractogramme du profil témoin d'El Hadjeb (Horizon 2)

## III.5.1.5. Sol témoin de Zeribet El Oued

Qualitativement on peut dire que les sols contiennent (Figure 44) :

Minéraux	Quartz/ Feldspaths	Calcite	Gypse	Dolomite	Argiles Palygorskite
Abondance	++	+++	+	-	+

- Des carbonates avec des raies principales de calcite à  $3,11 \text{ \AA}$  et  $1,87 \text{ \AA}$  en forte concentration.
- Du quartz ( $\text{SiO}_2$ ) et du feldspath avec une raie principale de  $3,34 \text{ \AA}$ .
- Du gypse en mélange de la calcite à une raie principale de  $1,9 \text{ \AA}$ .
- Des argiles en faible concentration (palygorskite et montmorillonite).

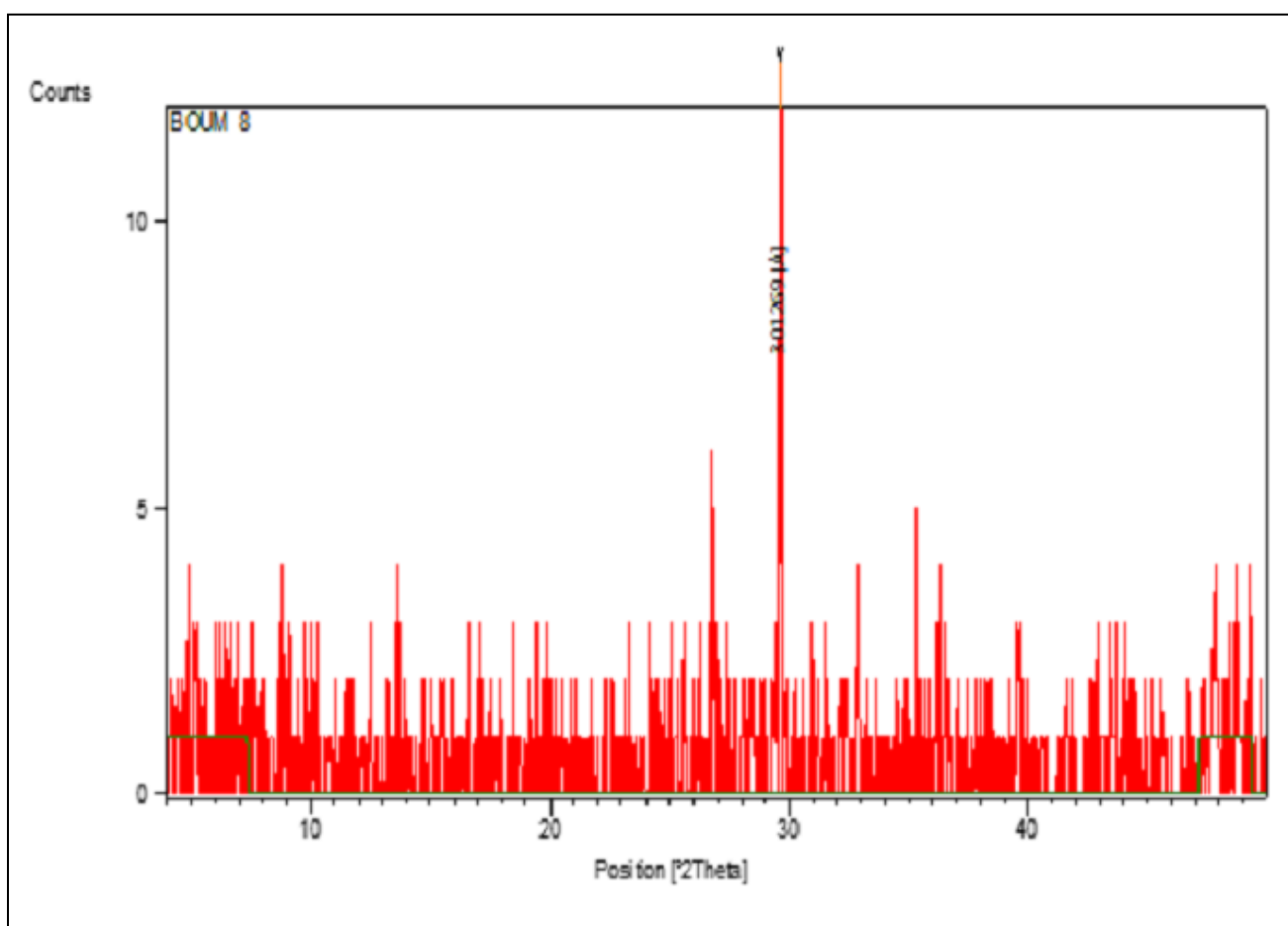


Figure 44 : Le diffractogramme du profil témoin de Zeribet El Oued (Horizon 2)

### III.5.1.6. Sol témoin d'El Outaya

L'analyse minéralogique de l'échantillon montre que le sol contient (Figure 45) :

Minéral	Quartz /Feldspaths	Calcite	Gypse	Dolomite	Argiles
Abondance	++	+++	-	+	Palygorskite Vermiculite

- Des carbonates avec des raies principales de calcite à  $2,97 \text{ \AA}$ ,  $2,08 \text{ \AA}$  et  $1,8 \text{ \AA}$  en forte quantité et des traces de dolomite  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)$ .
- Du quartz ( $\text{SiO}_2$ ) avec une raie principale de  $3,34 \text{ \AA}$ .
- Des argiles en degré moyen (feldspath, palygorskite, chlorite et vermiculite).

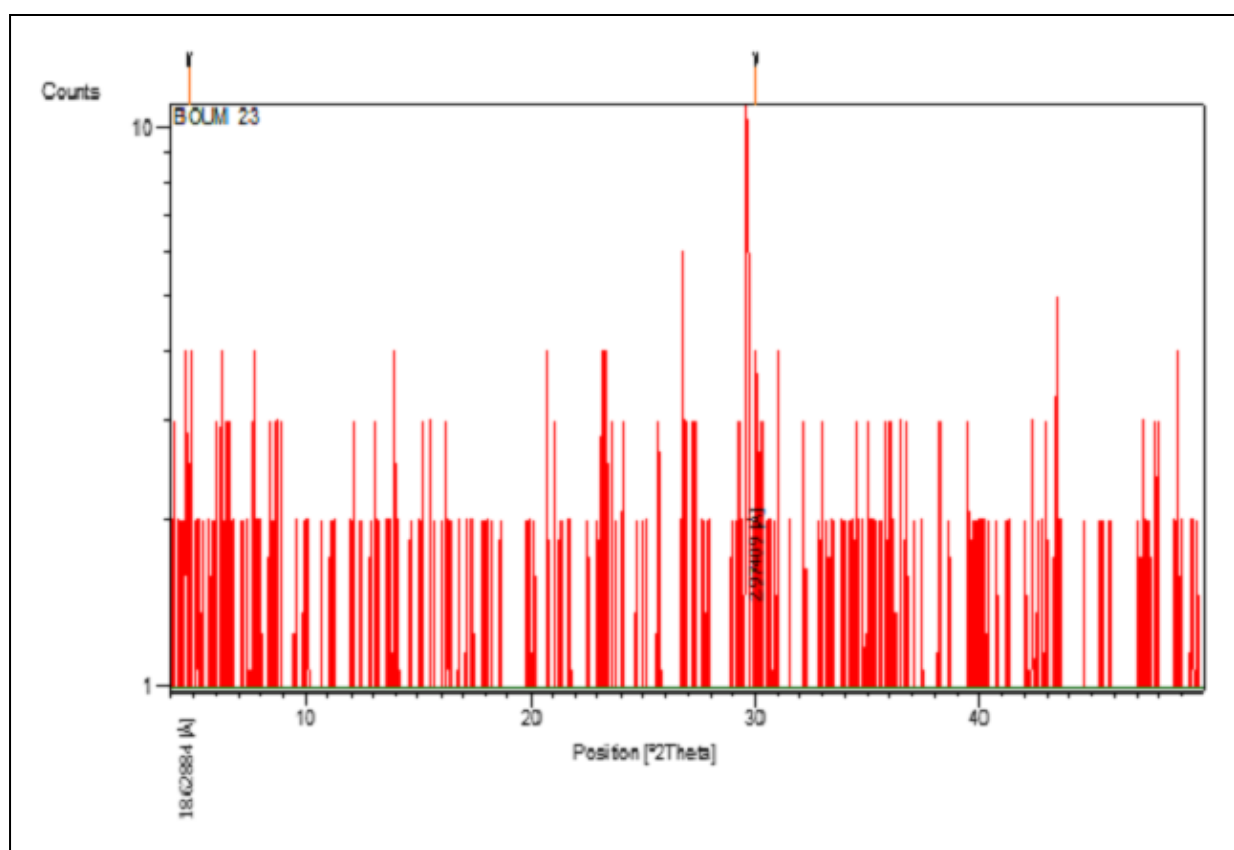


Figure 45 : Le diffractogramme du profil témoin d'El Outaya (Horizon 2)

## III.5.2. Minéralogie des sols cultivés

### III.5.2.1. Sol cultivé M'ziraa

D'après l'analyse minéralogique, il ressort de la que cet échantillon du sol contient

(Figure 46) :

Minéral	Quartz	Calcite	Gypse	Dolomite	Argiles
Abondance	++	+++	+	-	-

- Des carbonates avec des raies principales de calcite à  $3,02 \text{ \AA}$ ,  $2,1 \text{ \AA}$  et  $1,87 \text{ \AA}$  en forte concentration.
- Du quartz ( $\text{SiO}_2$ ) avec une raie principale de  $3,14 \text{ \AA}$ .
- Du mélange gypse-calcite avec une raie à  $1,9 \text{ \AA}$ .

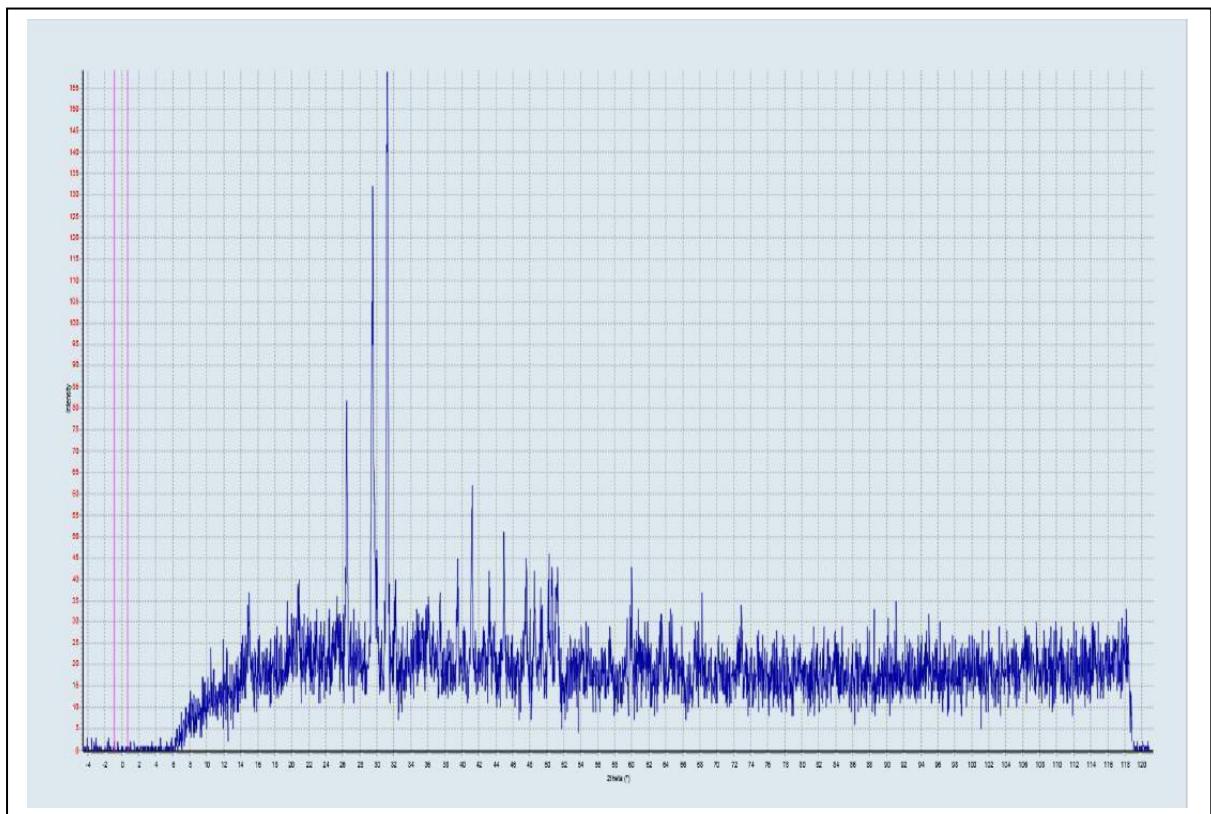


Figure 46 : Le diffractogramme du profil cultivé de M'ziraa (Horizon 2)

## III.5.2.2. Sol cultivé de Doucen

Qualitativement on peut dire que les sols contiennent (Figure 47) :

Minérale	Quartz	Calcite	Gypse	Dolomite	Argiles
Abondance	+	+++	+++		

- Des carbonates avec des raies principales de calcite à  $3,02 \text{ \AA}$ ,  $2,08 \text{ \AA}$  et  $1,87 \text{ \AA}$  en forte concentration.
- Du gypse en forte concentration à une raie principale de  $2,85 \text{ \AA}$  et du mélange gypse-calcite avec une raie à  $1,9 \text{ \AA}$ .
- Du quartz ( $\text{SiO}_2$ ) avec une raie principale de  $3,14 \text{ \AA}$ .

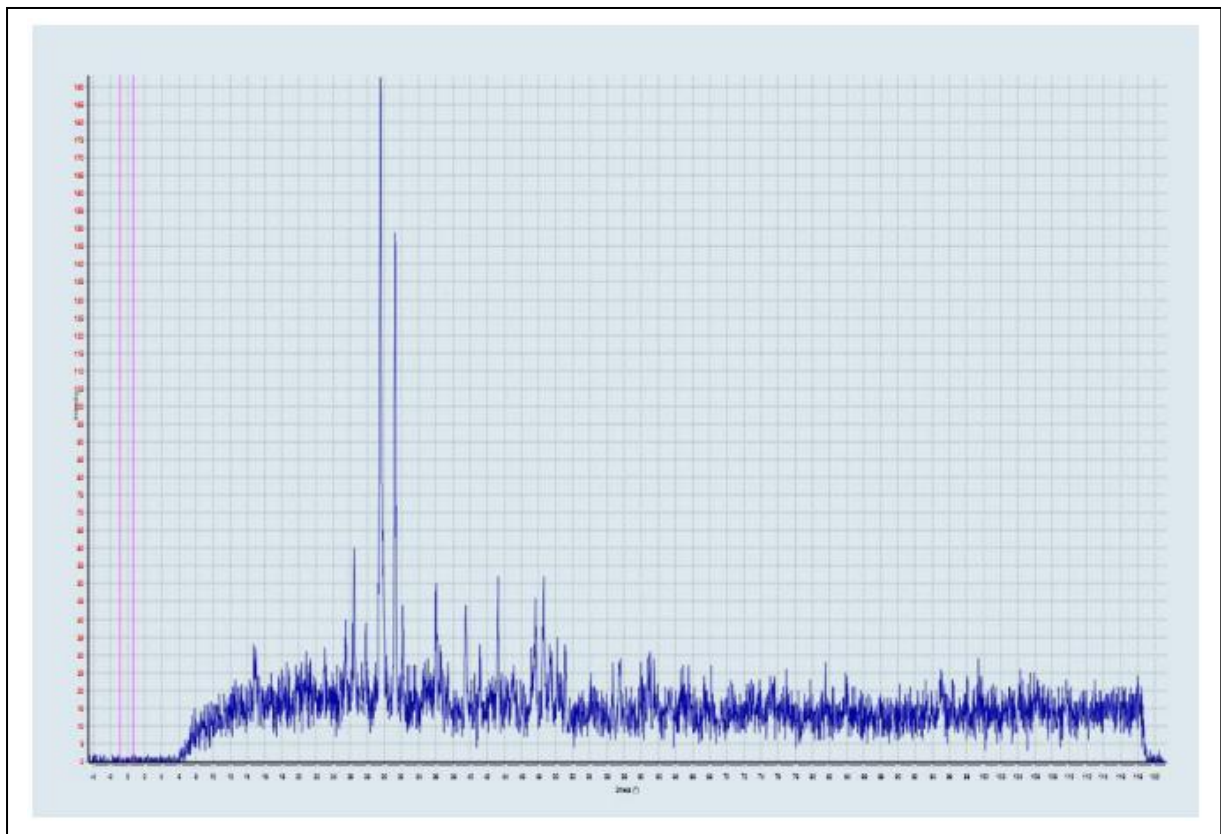


Figure 47 : Le diffractogramme du profil cultivé de Doucen (Horizon 2)



## III.5.2.3. Sol cultivé Tolga

L'analyse minéralogique de l'échantillon montre que le sol contient (Figure 48) :

Minéral	Quartz	Calcite	Gypse	Dolomite	Argiles
Abondance	++	+++	+++	+	

- Du gypse, avec des raies principales à  $3,35 \text{ \AA}$  et  $1,9 \text{ \AA}$  gypse-calcite.
- Des carbonates avec des raies principales de calcite à  $3,02 \text{ \AA}$ ,  $2,1 \text{ \AA}$  et  $1,87 \text{ \AA}$  en forte concentration.
- Du quartz ( $\text{SiO}_2$ ) avec une raie principale de  $3,14 \text{ \AA}$ .
- Du mélange gypse-calcite avec une raie à  $1,9 \text{ \AA}$ .
- De dolomite avec une raie principale à  $2,2 \text{ \AA}$ .

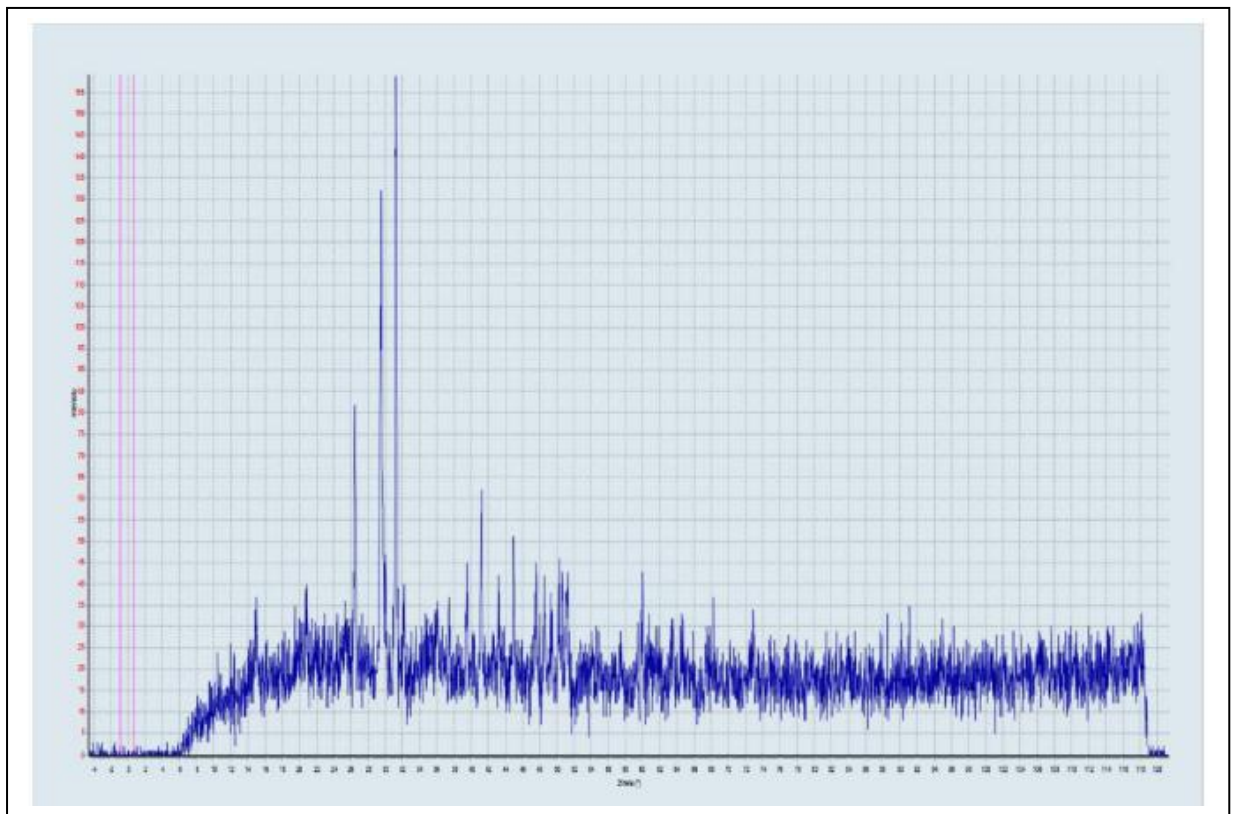


Figure 48 : Le diffractogramme du profil cultivé de Tolga (Horizon 2)

## III.5.2.4. Sol cultivé Ain Ben Noui (El Hadjeb)

L'analyse minéralogique de l'échantillon montre que le sol contient (Figure 49) :

Minéral	Quartz/ Feldspaths	Calcite	Gypse	Dolomite	Argiles
Abondance	++	+++		+	palygorskite

- Des carbonates avec des raies principales de calcite à  $3,02 \text{ \AA}$  et  $2,26 \text{ \AA}$  en forte quantité et des traces de dolomite  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)$ .
- Du quartz ( $\text{SiO}_2$ ) avec une raie principale de  $3,42 \text{ \AA}$ .
- Des argiles en degré faible (feldspath, palygorskite, chlorite et vermiculite).

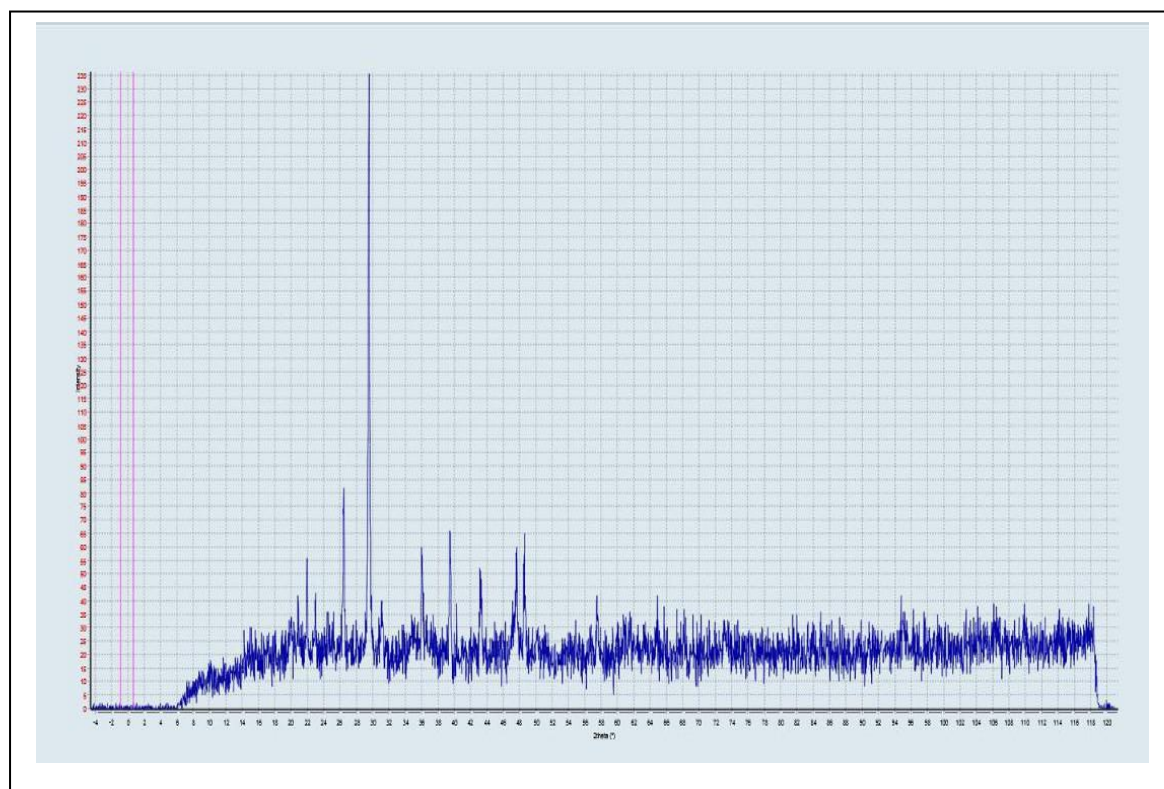


Figure 49 : Le diffractogramme du profil cultivé d'El Hadjeb (Horizon 2)

## III.5.2.5. Sol cultivé de Zeribet El Oued

Qualitativement on peut dire que les sols contiennent (Figure 50) :

Minéral	Quartz	Calcite	Gypse	Dolomite	Argiles
Abondance	++	+++	+		

- Des carbonates avec des raies principales de calcite à  $3,08 \text{ \AA}$  et  $2,91 \text{ \AA}$  en forte concentration.
- Du quartz ( $\text{SiO}_2$ ) avec une raie principale de  $3,42 \text{ \AA}$ .
- Un ensemble de gypse et calcite avec une raie principale à  $1,9 \text{ \AA}$ .

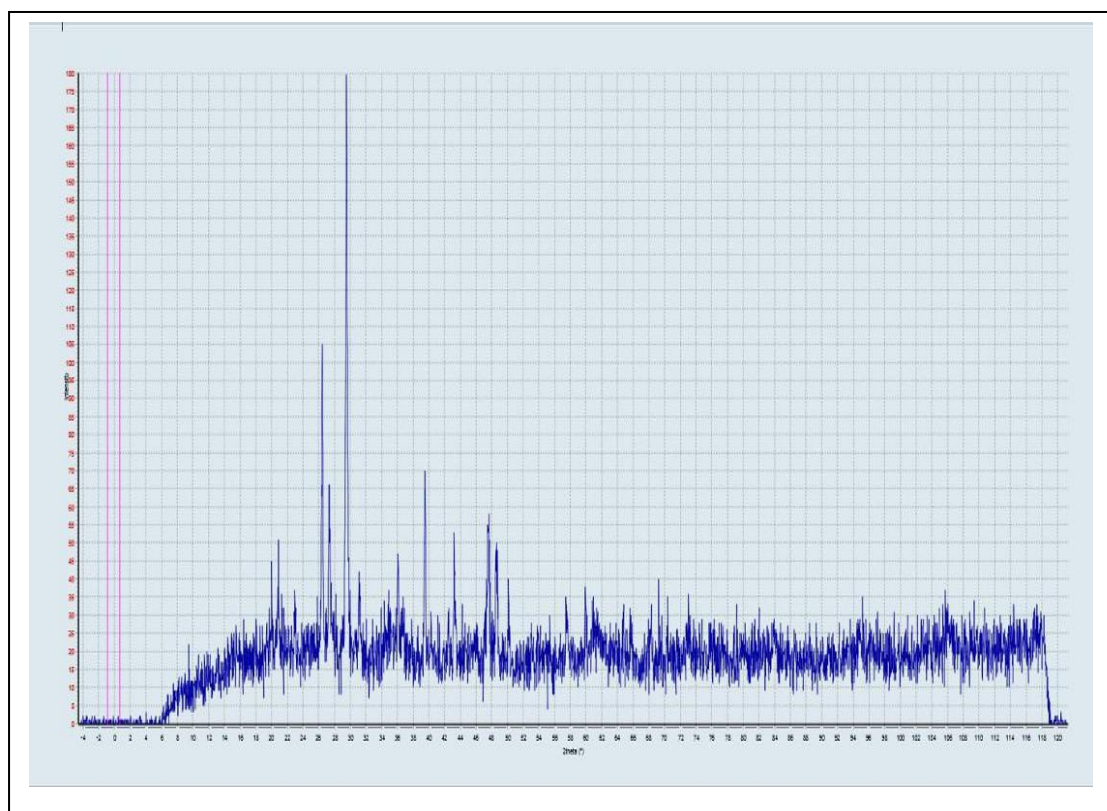


Figure 50 : Le diffractogramme du profil cultivé de Zeribet El Oued (Horizon 2)

### III.5.2.6. Sol cultivé d'El Outaya

D'après l'analyse minéralogique, il ressort de la que cet échantillon du sol contient (Figure 51) :

Minéral	Quartz	Calcite	Gypse	Dolomite	Argiles
Abondance	++	+++	+		

- Des carbonates avec des raies principales de calcite à  $3,02 \text{ \AA}$ ,  $2,26 \text{ \AA}$  et  $1,87 \text{ \AA}$  en forte concentration.
- Du quartz ( $\text{SiO}_2$ ) avec une raie principale de  $2,42 \text{ \AA}$ .
- Du gypse et un ensemble de gypse et calcite avec des raies à  $2,85 \text{ \AA}$  et  $1,9 \text{ \AA}$ .

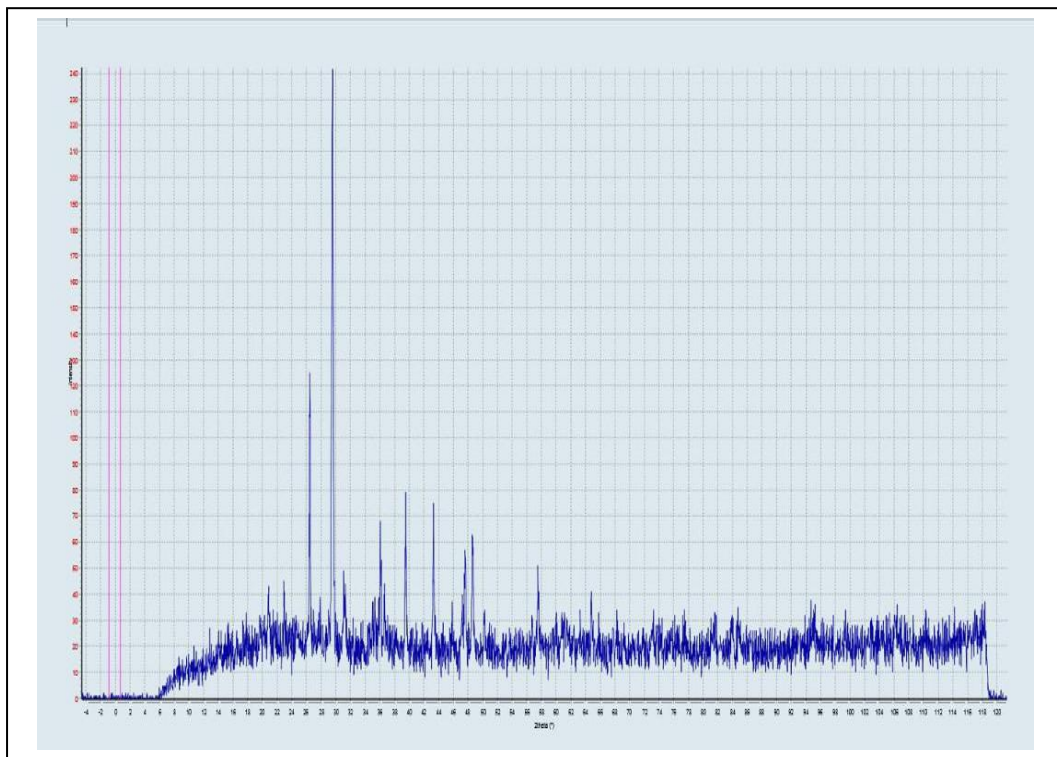


Figure 51 : La diffractogramme du profil cultivé d'El Outaya (Horizon 2)

### III.5.3. Synthèse des résultats diffractométriques

Les résultats des analyses minéralogiques montrent que les minéraux identifiés sont dans la plupart des minéraux primaires (feldspath et quartz). Cependant les carbonates décelés dans nos sols : calcite et dolomite expriment le caractère calcaireux de nos sols identifier par l'analyse chimique.

Le gypse malgré que sa présence moyennement faible dans les diffractogrammes, ne peut interagir ni par envahissement, destruction et blocage de l'évolution des accumulations calcaires ni par sa pression de cristallisation du gypse ( $1100\text{km/cm}^2$ ) en détruisant les agrégats carbonatés. Robert et al., (1978) font le même constat pour le quartz et d'autres minéraux secondaires.

Les minéraux secondaires exprimés par l'illite, la montmorillonite et enfin la palygorskite qui ne seraient dans cet environnement qu'issue d'un héritage se manifestent que faiblement cela est dû au procédé analytique utilisées en effet la méthode des poudres lors de la diffraction et le processus de la séparation de la fraction argiles (inf à 2 microns) établies par Robert et Tessier en 1970 ne l'a pas été appliquée avec la rigueur escomptée donnant ainsi des réflexions qui peuvent être assimilés à des instratifications illite montmorillonite .de toute façon leur présence ne peuvent être d'issue de transformation in situ en raison des conditions pédoclimatiques actuelles.

Les analyses minéralogiques des échantillons finement broyés, effectuées sur les horizons médians (10- 40 cm) pour chaque profil, montrent qu'il n'y a pas de différences notables concernant leur composition minéralogique.

### III.6. Dégradation de la qualité des sols sous serres dans la région d'Ain Ben Noui

#### (Biskra)

Les Ziban (Biskra), ensemble géographique connu pour la célèbre datte DegletNour et la race ovine Ouled-Djellal, sont devenus ces dernières années la première région d'Algérie, productrice de primeurs maraîchères sous serres. L'introduction par des agriculteurs privés, des cultures sous serres, vers la fin des années 1970 et 80 a modifié le paysage agricole des Ziban et insufflé une dynamique certaine à l'agriculture de cette région aride (Belhadi et al., 2016).

Dans cette région saharienne, la mise en culture du sol est le plus souvent confrontée à la contrainte de la salinisation. Parmi les facteurs concourant à l'aggravation de ce problème, il y a notamment, l'aridité du climat, la présence de roches-mères salifères, les nappes salées, la topographie et la mise en œuvre de mauvaises techniques d'irrigation (Daoud et Halitim, 1994). L'irrigation non contrôlée avec des eaux d'irrigation salées excessives par rapport aux besoins des plantes ; remonte le niveau de la nappe phréatique et sous l'effet du pouvoir évaporant concentre les sels en surface sans pouvoir les lessiver, le drainage étant insuffisant, cela provoque l'accumulation des sels dans la rhizosphère dans la tranche supérieure du sol et en surface (Koull et al., 2013). À long terme, on assiste à la dégradation des sols sous l'effet de la salinité et à la détérioration de la qualité de la production agricole. Dans ce contexte, nous avons étudié le changement de qualité des sols mis en culture sous serres dans un milieu aride. L'irrigation avec une eau salée entraîne une accumulation des sels dans le profil. Il s'agit donc d'étudier cette accumulation dans la partie supérieure des sols irrigués et dans sa partie médiane (rhizosphère). Les essais concernent deux périodes distinctes ; une période en pleine irrigation en mars et l'autre en fin de saison en septembre. Un bilan des transferts des dépôts salins durant la campagne agricole sera calculé. Cette partie du travail s'est déroulée à l'Institut Technique du Développement de l'Agronomie saharienne (I.T.D.A.S) d'Ain Ben Noui (Biskra).

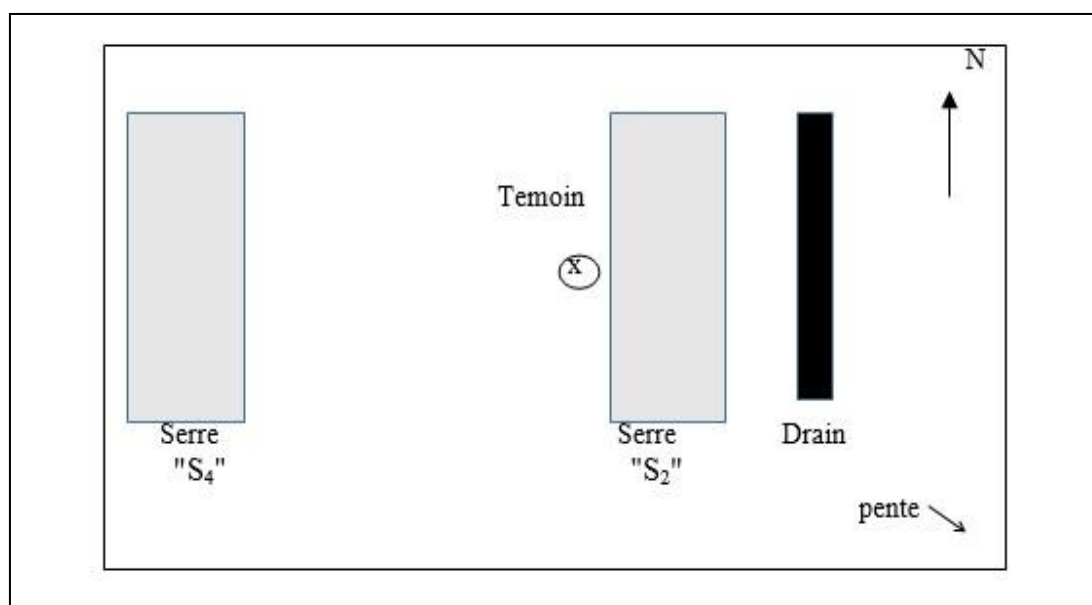
La station expérimentale de l'Institut Technique du Développement de l'Agronomie saharienne (ITDAS) d'Ain Ben Noui est située à 10 km au Sud-Ouest de la ville de Biskra, à 600 km au sud-est d'Alger, elle s'étend sur une superficie de 20,4 ha.

#### III.6.1. Choix des serres étudiées

Le choix des sols s'est fait sur deux prélèvements à la tarière au milieu de chaque serre et à son extérieur (témoin) durant les mois de mars et septembre 2003. Ces prélèvements ont porté sur la couche 0-10 cm où la concentration en sels est plus importante puis sur tous les

20 cm de profondeur jusqu'à 110 cm (0-10 cm, 10-30 cm, 30-50 cm, 50-70 cm, 70-90 cm et 90-110 cm). Les serres ont été installées dans la station en 1990, avec un matériau originel à base de dunes de sable, qui ont été aplaties puis exploitées sous serres avec une irrigation au goutte-à-goutte. L'ouverture du drain pour l'évacuation des eaux en excès a été réalisée en 1997 (ITDAS, 2003).

Les deux serres sélectionnées sont cultivées et irriguées au goutte à goutte (S<sub>2</sub> et S<sub>4</sub>). L'une de des deux serres cultivées est située près du drain et l'autre est plus éloignée (Figure 52). L'échantillonnage des sols non travaillé (témoin) a été réalisé de la même manière.



**Figure 52 : Position des serres par rapport au drain (sans échelle)**

L'eau d'irrigation provient d'un puits de 60 m de profondeur avec un débit de 6 l/s est fourni une dose d'irrigation de 7 l/h. L'eau de drainage a été prélevée au niveau du drain qui se trouve au voisinage des serres.

### III.6.2. Qualité des eaux

L'eau d'irrigation vient de la nappe calcaire dite des sables, dont la conductivité électrique est de 6,96 dS/m, le rapport d'adsorption de sodium (SAR) est de 11,73, les Cl<sup>-</sup> et le Na<sup>+</sup> sont les ions prédominants dans cette eau (tableau 17). D'après les critères du laboratoire régional de la salinité des États-Unis U.S. Salinity Laboratory Staff (1954), l'eau d'irrigation est classée C5S4, présente un risque important de salinisation. Elle est normalement inutilisable pour l'irrigation, sauf pour les sols très perméables avec un bon drainage et une eau appliquée en excès. Pour le lessivage, les plantes cultivées devront être

tolérantes aux sels.

L'eau de drainage est excessivement salée avec une conductivité électrique évaluée à 24 dS/m est un risque d'alcalinisation très élevé. Selon l'ordre de classement des anions et des cations, le NaCl est le sel le plus drainé.



Tableau 17 : Données hydrochimiques des eaux

	pH	CsE (dS/m) à 25 °C	Cations (méq/l)				$\Sigma$ Cations	Anions (méq/l)			$\Sigma$ anions	SAR	Rnaadj	Classe
			Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>		HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>				
Eau d'irrigation	7,73	6,96	28,1	5,83	48,33	0,62	82,88	1,8	65,25	11,6	78,65	11,73	13,46	C <sub>5</sub> -S <sub>4</sub>
Eau de drainage	7,98	24	34,05	12,5	229,7	0,87	277,12	1,6	210	36,76	248,36	47,85	-	-

### III.6.3. Caractérisation physico-chimique des sols étudiés

Les sols de la station sont des sols peu évolués (CPCS, 1973). Les analyses ont montré que ces sols contiennent 79 % de sables, la réaction de la solution de ces sols est neutre à faiblement alcaline. Ces sols sont généralement modérément calcaires (9,35 à 20,26 %) et légèrement gypseux (1,73 à 11,45 %) avec un taux de matière organique inférieur à 2 %. Leur faible teneur en matière organique et en argile leur confère une faible capacité d'échange cationique généralement inférieure à 10 Cmol/kg, ce qui ne permet pas une bonne nutrition minérale des plantes. Le pourcentage de sodium échangeable oscille entre 2,6 et 13,36 %, les valeurs les plus fortes concernent la partie superficielle des sols sous serres. Ces sols sont salés à fortement salés dans certains cas ; la conductivité électrique (1/5) moyenne tourne autour de 2,74 dS/m, avec une valeur minimale de 1,53 dS/m est une valeur maximale de 5,9 dS/m (tableau 18). Le cation Ca<sup>++</sup> et l'anion SO<sub>4</sub><sup>--</sup> sont les ions prédominants dans la solution du sol.

Tableau 18 : Données analytiques des sols des serres et du témoin (P1)

	Profondeur (cm)	Granulométrie (%)			Ph (1/2, 5)	CEdS/m (1/5)	CaCO <sub>3</sub> (%)	Gypse (%)	C (%)	MO (%)	CEC(T) (Cmol/kg)	E.S.P (%)
		A+L	S. F	S.G								
	0-10	25,28	48,2	26,52	8,03	5,9	10,91	4,75	1,01	1,74	12,65	13,36
	10-30	25,41	49,55	25,04	8,08	3,82	9,35	4,75	0,43	0,74	7,83	12,26
Serre S2	30-50	27,87	51,9	20,23	8,34	3,02	10,52	4,1	0,47	0,81	7,93	04,66
	50-70	24,82	59,08	16,1	8,3	2,74	17,14	3,67	0,58	1	6,16	03,08
	70-90	25,67	56,22	18,11	8,17	1,6	18,7	1,73	0,51	0,88	6,16	3,25
	90-110	28,93	54,7	16,37	8,34	1,53	20,26	1,94	0,39	0,67	6,16	2,60
	0-10	21,18	55,76	23,06	8,26	3,65	15,58	4,54	0,9	1,55	10,26	10,81
	10-30	17,93	57,59	24,48	8,24	2,34	14,03	4,32	0,9	1,55	8,71	04,47
Serre S4	30-50	15,54	54,34	30,12	8,17	2,57	13,64	4,75	0,8	1,38	6,91	04,48
	50-70	14,05	57,91	28,04	8,31	2,46	11,69	6,26	0,6	1,03	6,27	08,29
	70-90	22,67	51,48	25,85	8,16	2,53	10,13	11,45	0,6	1,03	7,27	07,43
	90-110	20,13	55,28	24,59	8,14	2,55	11,3	8,86	0,4	0,69	10,27	6,04
	0-10	22,73	49,03	28,24	8,06	2,32	14,41	4,1	0,8	1,38	5,58	5,91
	10-30	19,54	51,47	28,99	8,33	2,35	15,19	4,54	0,66	1,13	5,57	7,00
Témoin T	30-50	14,11	54,92	30,37	8,28	2,43	15,19	2,38	0,51	0,88	6,1	6,56
	50-70	14,82	53,55	32,63	8,19	2,34	12,86	5,62	0,15	0,26	8,9	4,16
	70-90	21,05	57,16	21,79	8,27	2,83	13,25	6,7	0,04	0,07	11,07	04,43
	90-110	17,12	57,48	25,4	8,07	2,4	12,86	2,59	0,04	0,07	10,97	04,10

#### III.6.4. Évolution de la salinité

Entre le prélèvement du sol du mois de mars et celui de septembre, nous avons remarqué une augmentation de la salinité. Les données des sols montrent clairement que la zone de surface est la plus sujette aux mouvements de sels. Le type des profils salins ascendant ne change pas dans les serres, mais dans le témoin, l'allure du profil devient de type ascendant pour le premier prélèvement.

Dans la serre cultivée (S<sub>2</sub>), le niveau de la salinité est resté pratiquement constant en surface (0-10 cm). Par contre, nous avons observé une diminution du degré de la salure dans les deux couches sous-jacentes (10-30 et 30-50 cm) ; cette diminution est due à la lixiviation des sels solubles de la surface par l'irrigation excessive, pour s'accumuler en profondeur entre 70-90 cm et 90-110 cm (Figure 53).

Pour la serre (S<sub>4</sub>), il y a une évolution de la salinité en surface et degré de la salinité

est passé de très salé à extrêmement salé (Figure 54). L'accumulation des sels à la surface a été favorisée par l'irrigation avec des eaux salines et aussi par l'évaporation élevée durant les mois de juillet et août.

Concernant le témoin, nous avons remarqué une augmentation de la salinité sur tous les niveaux du sol ; elle passe du degré salé à celui de très salé dans les couches 0-10, 10-30 et 50-70 cm (Figure 55).

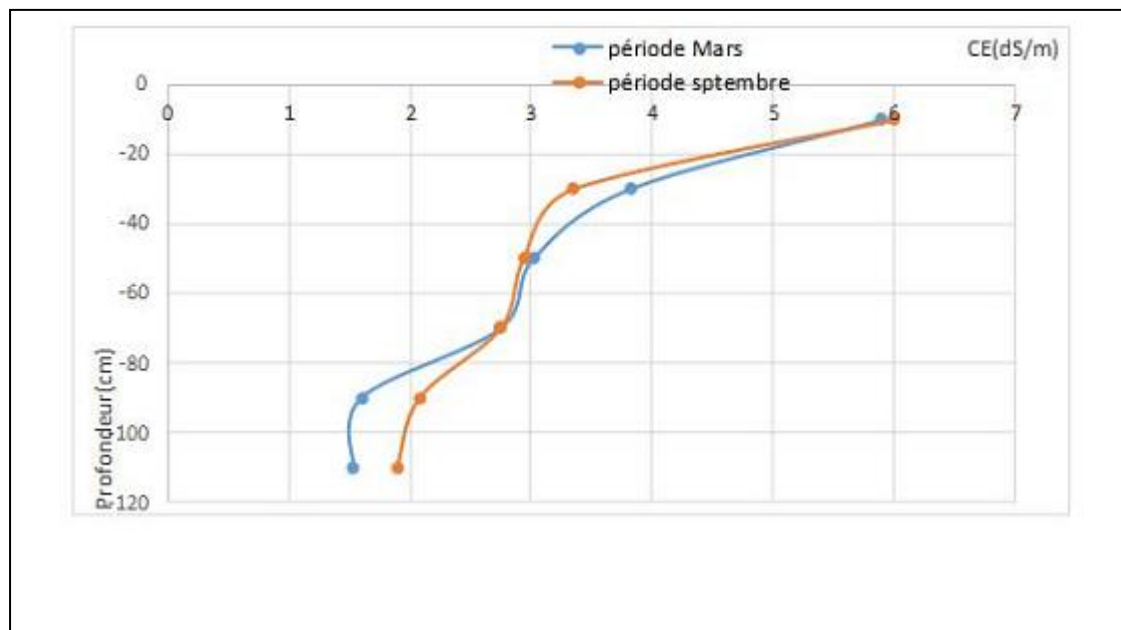


Figure 53 : Variation des profils salins dans la serre « S2 »

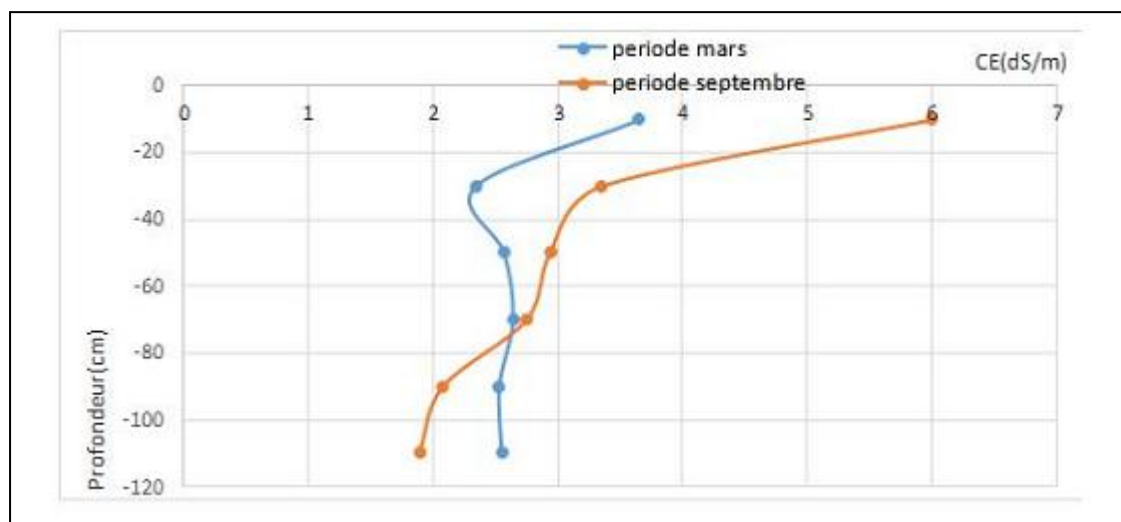
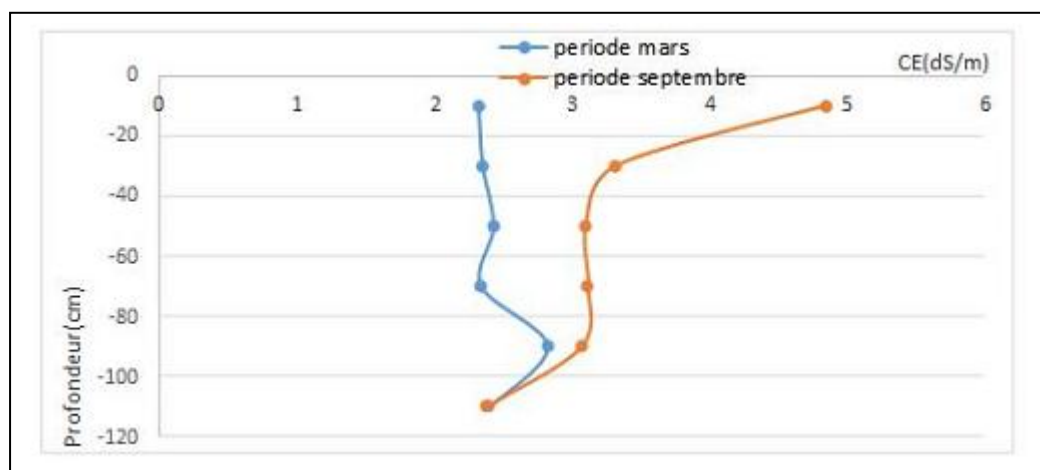


Figure 54 : Variation des profils salins dans la serre « S4 »



**Figure 55 : Variation des profils salins dans le témoin « T »**

Selon l'emplacement des serres par rapport au drain, les résultats auxquels nous avons abouti (tableau 19) ont montré que le stock de sels dans la rhizosphère (0-30 cm) entre mars (P1) et septembre (P2) a augmenté dans la serre cultivée loin du drain (S4) et le témoin respectivement de 54 810 et 48 720 kg/ha. La salinité dans cette couche a été accentuée par la fluctuation de la nappe d'eau salée et l'insuffisance des eaux de pluie et d'irrigation pour lessiver les sels en profondeur. Dans la serre cultivée (S2) la plus proche du drain, on note que le stock de sels a diminué de 5220 kg/ha ; ceci résulte de l'action de lixiviation des sels sous l'effet d'irrigation et drainage.

**Tableau 19 : Évaluation des stocks de sels dans la rhizosphère**

	Prélèvement	Profondeur (cm)	Serre S2	Serre S4	Témoin
Prélèvement	P1 (%)	0-10	1,89	1,17	0,74
	P2 (%)	10-30	1,22	0,75	0,75
Total		0-30	3,11	1,92	1,49
Prélèvement	P1 (%)	0-10	1,92	2,21	1,55
	P2 (%)	10-30	1,07	0,97	1,06
Total		0-30	2,99	3,18	2,61
Bilan d'accumulation des sels (en %)(P1- P2)			-0,12	+1,26	+1,12
Stock de sels(Kg/ha)			-5220	+54 810	+48 720

D'autre part, il a été remarqué que la quantité de sels déposée dans la serre (S4) est plus importante que celle de témoin (T). Lorsque l'eau d'irrigation est chargée et que les doses sont mal estimées, l'utilisation du goutte-à-goutte entraîne une accumulation de sels autour des racines (Askri et Rejeb, 2000), ce qui est le cas de la serre (S4).

En effet, l'utilisation dans l'irrigation en zones arides d'eau fortement minéralisée, accentue le processus de salinisation et conditionne l'évolution pédologique des sols (Askri et al., 2003). Les concentrations en sels sont plus importantes dans la couche 0-20 cm et particulièrement dans le cas du goutte à goutte (Koull et al., 2013). Les terres laissées longtemps en jachère ou abandonnées définitivement se stalinisent. Egalement par remontée capillaire et évaporation superficielle (Gonzalez-Barrios et al., 2002), c'est le cas du sol témoin.

Dans le milieu aride bien que l'irrigation reste de mise, le drainage doit jouer le premier rôle non négligeable, le tracé du réseau de drainage doit être bien étudié. Les fossés de drainage doivent être très proches des parcelles.

Les travaux de l'ITDAS ont permis de souligner les différences de comportement de plusieurs cultures vis-à-vis de la contrainte saline. D'une manière générale, le rendement des cultures de piment, poivron, courgette et tomate a baissé avec l'accroissement de la salinité de la solution du sol avec le temps. À cet effet, ces serres ont été abandonnées, ce qui rend aléatoire l'amélioration des pratiques agricoles pour une rentabilité durable des cultures sous serres dans ces régions sahariennes.

### **III.6.5. Conclusion**

La plasticulture en milieu saharien rencontre des contraintes relatives à la faible maîtrise de l'itinéraire technique. Parmi les paramètres, il y'a l'utilisation d'eau fortement minéralisée qui accentue les processus de salinisation et engendre une salinisation secondaire intense des terres.

La serre éloignée du drain et le témoin ont subi une accumulation des sels dans la zone racinaire et ceci malgré la présence d'un réseau de drainage situé à quelques mètres. Cependant, la serre située aux abords immédiats du canal de drainage a enregistré un lessivage accentué des sels. Ceci laisse penser que ce genre de terres sableuses irriguées avec une eau chargée en sels peuvent se comporter d'une manière exemplaire si elles sont bien drainées, par la mise en place d'un réseau de drainage efficace et très rapproché des serres.

D'autre part, l'irrigation par goutte à goutte mal utilisée favorise l'accumulation des sels. Pour ceci, l'utilisation agricole durable de ces sols nécessite une opération de dessalage couplée avec des apports d'amendements organiques afin d'améliorer leur fertilité et la réserve d'eau utile. Pour diminuer la salinité dans ces sols, il est conseillé d'optimiser les apports d'eau selon le calendrier d'irrigation.

# *Conclusion Générale*

## Conclusion générale

Les sols des écosystèmes arides sont des milieux fragiles à toutes formes de changement et de mise en valeur non étudiée, qui pourraient les fragiliser à long terme par une salinisation secondaire ou par une désertification. Tout en sachant que l'effet de certains changements, comme une agriculture en irrigué avec des eaux chargées en sels n'est pas visible à court terme. Seule l'utilisation de certains indicateurs (analyse physico-chimique) pourrait nous informer sur la qualité des sols et des eaux de ces écosystèmes et éventuellement leurs devenir si les interventions des agriculteurs ne sont pas mesurées aux préalables. C'est dans ce cadre-là que l'objectif principal de notre travail de thèse a été proposé pour étudier le changement de la qualité des sols mis sous culture dans quatre (4) zones spatialement distribuées choisies sur la base de leurs localisations et leurs substrats différents appartenant à une région aride, la région des ziban.

D'une manière générale, les quatre (4) catégories de zones d'étude délimitées sur la base de la lithologie et le relief sont caractérisées par la présence des sols sur sédiments gypso-calcaires comme c'est le cas de la première zone M'ziraa et Doucen. La deuxième zone, celles s'étendant entre Tolga, Ain Ben Noui et El Hadjeb est caractérisée par la présence des sols gypseux sur Deb-Deb encroûté. La troisième zone est caractérisée par des sols argileux lourds et calcaires (Zeribet El Oued) et enfin, la quatrième zone qui est caractérisée par des sols sur matériaux salés et argileux (El Outaya).

Le constat majeur découlant de notre travail montre que l'interaction des facteurs du milieu physique et du climat semble donner lieu à un contexte exceptionnel de la formation des sols de la région d'étude. Une formation gypseuse, calcaire-gypseuse et salée considérée comme austère et entravant le développement de l'agriculture surtout, en irrigué. La salinité des sols reste une composante majeure du milieu contre laquelle il faut agir sciemment. Car si certains aménagements n'ont pu susciter la motivation des agriculteurs (céréaliculture par exemple), il n'en reste pas moins que l'on n'y a pas maîtrisé la pratique de l'irrigation et par-delà la préservation des sols et de tous les périmètres exposés aux risques salin et alcalin. En état des observations sur terrain de certains périmètres on peut attribuer la dégradation qui affecte l'espace agricole à l'action combinée de la nature lithologique du sol et entropiques (mauvaises pratiques d'irrigation). Certes, le climat joue un rôle important quant à un certain nombre de caractères classiques du climat méditerranéen aride, à savoir : une pluviosité annuelle très faible et très irrégulière, des températures moyennes assez élevées et une sécheresse très prononcée et longue avec une évaporation intense. Tous ces facteurs sont déterminants dans la remontée des sels par capillarité et leur importance pourraient être éventuellement grande aussi bien dans les périmètres irrigués, que dans la région tout entière.

L'eau d'irrigation vient de la nappe Miopliocène pour les sites de M'ziraa et Zeribet El Oued et de la nappe Eocène inférieure pour les sites de Doucen, Tolga et El Hadjeb. L'eau d'irrigation d'El Outaya est assurée à partir des eaux régularisées par le barrage « Fontaine des Gazelles » dont le pH est neutre pour les régions de Zeribet El Oued, M'ziraa, Tolga et Doucen, mais il est alcalin concernant les deux régions Ain Ben Noui et El Outaya. L'évaluation de l'eau a montré que l'eau d'irrigation a une forte salinité pour le site d'El Outaya (eau de barrage qui présente la salinité la plus faible par rapport aux autres sites), a une très forte salinité pour les sites de Zeribet El Oued, Mziraa, El Hadjeb, Tolga et a une salinité excessive concernant le site de Doucen . Le Faciès chimique est de type sulfaté calcique et secondairement sodique pour toutes les eaux.

D'après les critères du laboratoire régional de la salinité des États-Unis U.S. Salinity Laboratory Staff (1954), l'eau d'irrigation est classée C3S1 avec une qualité médiocre pour le site d'El Outaya, classer C4S1 pour les sites de de Zeribet El Oued, Mziraa, El Hadjeb et Tolga avec une qualité mauvaise et enfin l'eau de Doucen avec une classe de C5S1 et une qualité. Très mauvaise. L'eau de M'ziraa et Doucen ne présente pas de risque d'alcalinisation, les eaux de Tolga, Zeribet El Oued et El Outaya présentent une faible alcalinisation et enfin l'eau d'El Hadjeb présente une alcalinisation moyenne.

Les résultats de la variation des caractéristiques des sols entre les profils cultivés et leurs témoins montrent qu'il y a généralement un changement de la salinité et du % de matière organique dans les horizons des profils cultivés plus élevés par rapport à ceux des profils témoins et celui-ci est encore plus perceptible au niveau de l'horizon de surface.

L'étude des variations des données analytiques (texture, pH, CE, calcaire, gypse, perméabilité et réserve utile) a permis de constater des changements de la qualité des sols des zones choisies par rapport à :

#### 1. La texture du sol

On a constaté la présence de trois types de texture différente.

- ✓ Une texture argileuse pour les sols de M'ziraa, Zeribet El Oued et El Outaya ;
- ✓ Une texture sableuse pour la région de Doucen ;
- ✓ Et enfin, la texture est limono-sableuse pour les sols de Tolga et Ain Ben Noui (El Hadjeb).

Les propriétés physiques des sols (perméabilité et réserve utile) peuvent évoluer de façon considérable en fonction des caractéristiques de leurs granulométries. La texture du sol a une influence



directe sur la perméabilité du sol. On distingue deux catégories des sols : i) les sols moyennement perméables à perméables ceux des communes de Doucen, El Hadjeb et Tolga et ii) les sols peu perméables ceux des communes de M'ziraa, Zeribet El Oued et El Outaya.

La réserve utile d'un sol dépend de ses capacités de rétention, liées à ses propriétés physiques qui déterminent essentiellement sa porosité (texture et densité) et certaines propriétés chimiques (teneurs en matière organique et CEC). Les profils montrent de fortes variations de la réserve utile (RU) sur les quatre zones étudiées.

La RU la plus faible étant de moins de 1 mm remarqué dans la zone 1 et la plus importante de 41 mm dans la zone 3. Plusieurs facteurs permettent d'expliquer ces différences parmi eux le premier paramètre qui agit sur la RU est la texture. En effet ce sont les sols de forts taux d'argile et limon, qui vont présenter les plus fortes réserves en eau. La pierrosité peut également influencer les RU de manière non négligeable et notamment les pierres calcaires engendrant de fortes variations dans les réserves utiles du sol.

## 2. La variation du taux de calcaire et du gypse

La variation du taux de calcaire et du gypse entraîne un changement de la qualité de ces sols. Pour le calcaire, on peut citer deux classes :

- ✓ La classe des sols modérément calcaires concernant les sols de Doucen, d'Ain Ben Noui;
- ✓ Et la classe des sols fortement calcaires concernant les sols de M'ziraa, de Tolga et d'El Outaya.

Pour le gypse, on peut distinguer quatre classes :

- ✓ Des sols faiblement gypseux concernant les sols d'Ain Ben Noui et d'El Outaya;
- ✓ Des sols faiblement à modérément gypseux pour les sols de M'ziraa,
- ✓ Des sols modérément à fortement gypseux pour les sols de Tolga et Zeribet El Oued
- ✓ Et enfin des sols excessivement gypseux pour les sols de Doucen.

## 3. Le pH.

Le pH présente des variations entre les régions. On a constaté que :

- ✓ Les sols neutres concernant deux régions El Outaya et Doucen ;
- ✓ Les sols alcalins pour les autres régions, en liaison avec la nature de la roche mère selon notamment les teneurs en calcaire et la teneur en matière organique. Les teneurs

en calcaire sont en relation avec la nature de la roche mère, mais aussi avec la croissance cristalline de gypse des sols des profils.

De ces résultats on peut dire que le changement de la qualité des sols mis sous culture dans la région de Ziban est sous l'influence de la texture, de la perméabilité, de la réserve utile, du taux de calcaire, et du taux de gypse et enfin du pH.

Les analyses minéralogiques des échantillons finement broyés, effectuées sur les horizons médians (10-40 cm) pour chaque profil, montrent qu'il n'y a pas de différences notables concernant leur composition minéralogique.

Les pratiques de l'irrigation et du drainage sont étroitement liées à l'aménagement hydroagricole dans le cas des sols avec des problèmes de salinité. En effet, qu'il s'agit de désalinisation de sols fortement salés, dans tous les cas, le drainage des terrains constitue le préalable indispensable à la mise en œuvre de ces pratiques, les drains doivent évacuer non seulement l'excès d'eau, mais également l'excès de sel.

D'une manière très générale, la pratique des amendements gypseux s'avère indispensable pour favoriser la percolation des eaux vers les drains, même dans le cas des sols salés calcaires.

La plasticulture en milieu saharien rencontre des contraintes relatives à la faible maîtrise de l'itinéraire technique. Parmi les paramètres, il y'a l'utilisation d'eau fortement minéralisée qui accentue les processus de salinisation et engendre une salinisation secondaire intense des terres. De terres sableuses irriguées avec une eau chargée en sels peuvent se comporter d'une manière exemplaire si elles sont bien drainées, par la mise en place d'un réseau de drainage efficace et très rapproché des serres.

D'autre part, l'irrigation par goutte à goutte mal utilisée favorise l'accumulation des sels. Pour ceci, l'utilisation agricole durable de ces sols nécessite une opération de dessalage couplée avec des apports d'amendements organiques afin d'améliorer leur fertilité et la réserve d'eau utile. Pour diminuer la salinité dans ces sols, il est conseillé d'optimiser les apports d'eau selon le calendrier d'irrigation.

## **Perspective**

L'un des enjeux majeurs auxquels l'humanité sera confrontée au cours de ce nouveau millénaire est la gestion durable des deux ressources fondamentales, le sol et l'eau, particulièrement face aux demandes pressantes et multisectorielles d'une population sans cesse croissante pour ces

ressources limitées surtout dans les pays arides et semi-arides. Cette situation est encore plus préoccupante pour la ressource en eau quand on tient compte des caprices du climat, qui n'autorisent que peu d'espoir pour plus d'eau que ce qui est disponible. Malgré les efforts des gouvernements, des institutions nationales et internationales et de la société civile en faveur de la sauvegarde et de l'exploitation durable des ressources naturelles comme l'eau et les sols. Il reste beaucoup à faire pour freiner la tendance à la dégradation des terres et à la désertification de même que pour une meilleure valorisation du potentiel d'eau de surface.

Ainsi, il faut veiller, en l'absence d'une connaissance complète des ressources en sols de nos régions, à continuer à développer des réseaux de mesure permettant d'évaluer de façon non biaisée l'évolution effective des propriétés des sols dans ces paysages. Il serait souhaitable aussi de faire beaucoup d'études plus approfondies de terrain en multipliant le nombre d'échantillons ceci permettrait de construire une base de données commune relative des sols des régions arides, afin d'optimiser les analyses très coûteuses et relativement lourdes des sols d'une part et modéliser pour généraliser et étendre des mesures ponctuelles pour combler notre méconnaissance des sols. Il nous semble aussi, que dans l'état actuel des recherches en sols dans nos régions surtout arides et semi-arides, de combiner les mesures directes in situ avec la modélisation afin de croître nos connaissances et d'assurer une gestion raisonnée de la ressource en sol.

*Références*

*Bibliographiques*

## **Bibliographie**

- ABDESSELAM S., 1998** — Contribution à l'étude des sols gypseux au nord-est du Sahara Algérien : Caractérisation et genèse. Cas des Oasis de Tolga (région des Ziban) — Thèse Mag.I.N.A.(El-h-Harrach), 147p.
- ABDESSELAM S., 2013** — Impact de la mise en culture en irrigué sur les sols et les eaux dans un bassin endoréique en zone aride. Cas du sud du Hodna (Algérie). Thèse doctorat. Université Hadj Lakhdar Batna, 202p.
- AIDAOUI S., 1994** — Ressource en eau et aménagement hydroagricole dans la région de Biskra « Ziban » (Algérie) ; thèse Doctorat. Université de Nancy II. 327 p.
- ANAT, Agence Nationale d'Aménagement de territoire, Algérie., 2003** — Schéma directeur des ressources en eau. Wilaya de Biskra. Rapport de synthèse, 100 p.
- ANRH., 2008** — Inventaire des points d'eau et enquêtes sur les débits extraits de la wilaya de Biskra (2008),rapport .
- ANRH., 2016** — Efficacité de l'irrigation GPI d'El Outaya. Rapport de l'Agence Nationale des Ressources hydriques de Biskra.
- ASSAMI T., HAMDIAISSA B., HALITIM A., MOSTEFAOUI T et ROUAHANA H., 2014-**  
Apport de la télédétection dans l'étude de la relation entre états de surface et pédopaysages en milieu aride : Exemple de la région d'El Outaya (Biskra, Algérie). Algerian Journal of arid environment, volume 4 n°1, pp. :60–71.
- ASKRI H. et REJEB S., 2000** — Effets de différentes techniques d'irrigation sur deux cultures Maraîchères irriguées avec une eau saumâtre. Compte rendu du séminaire sur l'économie de l'eau en irrigation. Numéro spécial des annales de l'Institut National de Recherche en Génie Rural. Hammamet, 14-16 novembre 2000, PP : 218-232.
- ASKRI B et BOUHLILA R., 2010** — Évaluation de la salinisation dans une oasis moderne de la Tunisie. Étude et gestion des sols vol 17, 3-4, 197-212 p.
- AUBERT G., 1960** — Les sols de la zone aride, étude de leur formation, de leurs caractères, de leur utilisation et de leur conservation. Colloque général sur les problèmes de la zone aride, 11-18mai1960. Commun (5). UNESCO/NS/AZ/S14, Paris, 30p.
- AUBERT G., GUILLEMIN C et PIERROT R., 1978** — Précis de minéralogie. Paris : Masson, 332p.
- BADRAOUM., SOUDI B., et FARHAT A., 1998** — Variation de la qualité des sols : une base pour évaluer la durabilité de la mise en valeur agricole sous irrigation par pivot au Maroc. Étude et Gestion des Sols ; volume 5 n° 4, PP : 227-234.
- BAIZE D., 1988** — Guide des analyses courantes en pédologie. Choix, expression, présentation, interprétation. I.N.R.A. Paris, 172p.
- BALA S., 2005** — Évolution de la salinité des sols sous serres en milieu aride. Cas de la station de l'ITDAS de Biskra. Thèse Mag I.N.A. (El Harrach). 129 p.
- BARBALUT R., 2000** - Écologie générale, structure et fonctionnement de la biosphère 5<sup>e</sup> Éd.DUNOD, 326p.

- BARZANJI A. F., 1973** —The gypsiferous soil of Irak. Thèse de Doctorat. Genet., 199 p.
- BELGHEMMAZ S., 2000** — Contribution à l'étude de l'évolution de la salinité et du complexe Adsorbant d'un sol saharien soumis à l'irrigation goutte à goutte. Cas du périmètre du Groupement El-Moustakbal ; Zeribet El Oued Biskra-Thèse Magister Inst.Agro. Batna101p.
- BELHADI A., MEHENNI M., REGUIEG L et YEKHLEF H., 2016** — Apport de la plasticulture à la dynamique agricole de la région de Ziban (Biskra). Revue Agriculture, 1 : 93-99.
- BENAOUDA L., 2008** — **ASSAMI T., MERIDJA W., HALITIM S. et HALITIM A.** Changement de la qualité des sols irrigués de la plaine d'El Outaya (Biskra) : Données de base et hypothèses. Colloque international sur l'aridoculture — optimisation des productions agricoles et développement durable. Biskra, C. R.S.T.R.A, 13-14 Décembre 2008.
- BENSAID R., 1999** — Les sols à accumulations gypso-calcaires de la région d'Ain — Benoui (Biskra). Annales de l'Institut National Agronomique El Harrach — Vol N° 1 et 2, 8p.
- BOUALLA N., BENZIANE A et DERRICH Z., 2012** — origine de la salinisation des sols de la plaine de M'léta (bordure sud du bassin sebkha Oran). Journal of Applied Biosciences 53:3787–3796 pp.
- BOUGHERARA A et LACAZE B., 2009** — Étude préliminaire des images Landsat et Alsat pour le suivi des mutations agraires des Ziban (extrême Nord-est du Sahara algérien) de1973 à 2007. Journées d'animations scientifiques. J.A.S 9. Alger, 6 p
- BOUGAFLA F.et BENZAOUZ M. T.,-2013** — Eaux d'irrigation et salinisation des sols de périmètres irrigués dans la vallée de l'Oued Righ. Journal algérien des régions arides (CRSTRA) ,12 : 97-102.
- BOUMARAF B., 2013** — Caractéristiques et fonctionnement des sols dans la vallée d'Oued Righ, Sahara Nord Oriental, Algérie. Thèse Doctorat. Université de Reims Champagne-Ardenne, 97p.
- CHABAH M., 2007** — Lithostratigraphie, sédimentation et modèles les deux Bassins des dépôts néogènes de la région de Biskra, de part et d'autre de l'occident Sud Atlasique (Ziban, Algérie). Thèse doctorat d'État, 417 p.
- CHABOUR N., 2006** — Hydrogéologie des domaines de transition entre l'Atlas saharien et la plateforme saharienne à l'est de l'Algérie. Thèse doctorat en géologie. Université de Constantine, 176p.
- CHAUSSOD R., 1996** — La qualité biologique des sols : Évaluation et implications. Eude et Gestion des sols ; volume 3 n° 4, PP : 261-277.
- COLL P., LE VELLY R., LE CADRE E., et VILLENAVE C., 2012** — La qualité des Sols : associer perceptions et analyses des scientifiques et des viticulteurs. Étude et Gestion des sols ; volume 19 n° 2, PP : 79-89.
- COTE M., 1983** — L'espace algérien : les prémices d'un aménagement. Ed.OPU.Alger.280 p.
- COTE M., 1994** — Mise en valeur nouvelle sur une vieille frange présaharienne : piémont des Ziban (Algérie). Séminaire « Mise en valeur des franges des franges présahariennes du Maghreb », Gabès (Tunisie), 4-6 novembre.
- GOUSCOV N., 1964** — Notice explicative de la carte géologique au 1/200. 00 ° de Biskra (48), service géologique de l'Algérie, sp13.

- COUTURE I., 2004** — Analyse d'eau pour fin d'irrigation. MAPAQ Montérégie-Est, Agri-Vision, 8 p.
- CPCS, 1967** — Classification des sols. Laboratoire de géologie, pédologie de l'E.N.S.A, Paris Grignon, 87 p.
- CRSTRA., 2007** — Atlas de la faune et la flore des Ziban. Ed 2007.
- CRSTRA., 2016** — Les sols du Sahara et les changements de leur qualité sous irrigation : cas des Ziban. Projets FNR du centre. Division Sol en région Arides.
- DAOUD Y. et HALITIM A., 1994** — Irrigation et salinisation au Sahara algérien. Sécheresse ; 3 (5), PP : 151-160.
- DELLAL A et HALITIM A., 1992** — Activités microbiennes en conditions salines : cas de quelques sols salés de la région de Relizane (Algérie). Ed cahiers de l'agriculture 1 ; 335-340.
- DESROUSSEAUX M., 2015** — La protection de la qualité des sols. Présentation des travaux des médaillés d'argent. Séance du 4 novembre 2015.
- DJILI K., DAOUD Y., GUAOUAR A et BELJOUDI Z., 2003** — La salinisation secondaire des sols au Sahara : conséquences sur la durabilité de l'agriculture dans les nouveaux périmètres de mise en valeur. Sécheresse ; 14 (4), PP : 241-246.
- DOMMERGUES Y. et MANGENOT F., 1970** — Ecologie microbienne des sols. Edition Masson, 1976.
- DORAN J.W et SAFLEY M., 1997**- Heath .CAB International, Wallingford, Oxon, Uk ,pp:1–28.
- DORAN J. W et ZEISS M.R., 2000**- Soilhealth and sustainability, mnaging Definig and assessing soil health and sustainable productivity, eds., C.Pankhurst , B.M. Double et V.V.S.R.Gupta, Biological Indicators of Soil the biotic component of quality. Appl. Soil Ecol.,15, pp.: 3–11.
- DROUET T.,** — Pédologie BING-F-302,137 p.
- DROUCHE A.M., CHAIB W., REZEG A., BOUGHRIRA N., HAMZAOUI W. et DJABRI L., 2013** — Risque de contamination des eaux souterraines par les nitrates en régions arides ; cas d'El Ghrous (région des Ziban — Sud-Est algérien). Algerian Journal of arid environment, n° special, pp: 65–75.
- DSA., 2018** — Bilan final des statistiques de la direction des services agricoles de la Wilaya de Biskra 2017.
- DUBOST D., 2002** - Ecologie, Aménagement et Développement des Oasis Algériennes. Edition CSTR A, 243p.
- DURAND J.H., 1958** — Les sols irrigables. Étude pédologique. S.E.S. 193 p.
- DURAND J.H., 1983** — Les sols irrigables. Étude pédologique. Agence de coopération culturelle et technique. Presses universitaires de France, 339 p.
- EL OUMLOUKI K., MOUSSADEK R., ZOUAHRI A., DAKAR H., CHATI M., EL OUMRANI M., 2014** — Eude de la qualité physico-chimique des eaux et de sols de la région Souss Massa, (Cas de périmètre Issen), Maroc. Journal of Materials and Environmental Science, 5(S2), pp.: 2365–2374.
- EMBERGER L., 1955** — Une classification biogéographique des climats. Trav. Inst. Bot. Montpellier.

- FAO., 1990** — Management of gypsiferous soils. Soils bulletin 62, Rome, 81p.
- GUEZ C., 1982** — L'analyse minéralogique des sédiments par Diffraction de Rayons X. PhsioGéo, n° 3. Centre de Documentation du C.N.R.S., PP : 73-84.
- GUIRAUD R., (1973)** — Evolution post – triasique de l'avant pays de la chaîne alpine en Algérie d'après l'étude du bassin du Hodna et des régions voisines. Thèse Sc . Univ . Nice, 270p,
- GUISSE A., 2015** — Influence des caractéristiques physico-chimiques des sols sur la flore et la végétation ligneuse de trois stations du tracé de la grande muraille verte du Tchad. Journal of Applied Biosciences 95, pp. 8937–8949.
- HACHICHA M., JOB J. O et MTIMET A., 1994** — Les sols salés et la salinisation des sols en Tunisie. Bulletin de la direction des sols « sols de Tunisie » n° 15, PP : 270-341.
- HACHICHA M. et MHIRI A., 2003** — Utilisation des eaux salées et risque de salinisation en Tunisie . Congrès de : ADENIT. Association des anciens de l'école Nationale d'ingénieurs de Tunisie — SHF société hydrotechnique de Tunisie et avec le soutien de la Direction de l'eau du Ministère de l'Écologie et du Développement durable de la République française. Tunis, les 20-21 mai 2003, PP : 185-191.
- HACHICHA M., 2007** — Les sols salés et leur mise en valeur en Tunisie. Sécheresse vol.18, n° 1, pp.45-50.
- HALILET M. T., 1998** — Étude expérimentale de sable additionnée d'argile. Comportement physique et organisation saline et sodique. Thèse Doctorat. I.N.A.P.G., Paris, 250 p.
- HALILET M.T. et DOGAR M.A., 2000** — Rôle de la fertilisation azotée et potassique sur blé en Zones sahariennes. Actes du premier symposium international sur la filière blé — Enjeux et stratégie (blé 2000, Algérie). Algérie, OAIC - Alger, 7-9 février 2000, PP : 213-234.
- HALITIM A., 1989** — Sols des régions arides d'Algérie. Éd. O.P.U. Alger, 384p.
- HALITIM A., 2006** — Les sols des régions arides d'Algérie. Journées internationales sur la Désertification et le de Développement durable. Biskra 10 au 12 juin, PP : 27-33.
- HALITIM A., 2011** — L'aridoculture et le développement durable. Journal des régions arides, vol 1, n ° 1. Janvier 2011, pp. 3-9.
- HALITIM S., 2006** — Contribution à l'étude de la réserve utile en eau des sols de Cedraies dans les Aure : Influence des facteurs édaphiques. These Magister, Université de Batna, 117p.
- HEM JD., 1985** — Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water, USGS Water Supply Paper, 2254, pp:117–120.
- IRD., 2008** — Les dossiers thématiques de L'Institut de Recherche pour le Développement. Les sols sont fragiles : 1<sup>ers</sup> partie, Salinisation et sodisation des sols 2<sup>e</sup> partie, la dégradation des sols par salinisation ou alcalisation.
- JOB.J.O. 1981** — Some problems in analysis of soils in arid areas. International soil classification workshops. Damas : ACSAD, PP : 219-234.
- KHADRAOUI A., 2006** — Ressource en eau au Sahara et leur impact environnemental. Actes des journées



internationales sur la désertification et le développement durable, Biskra, du 10 au 12 juin 2006, PP : 49-54.

**KHADRAOUI A., 2010** — Sols et hydraulique agricole dans les Oasis algériennes. Caractérisation — Contraintes et propositions d'aménagement. Office des publications universitaires. Edition n° 5125,311p.

**KHECHAI S., 2001** — Contribution à l'étude du comportement hydrophysique des sols du Périmètre irrigué de l'I.T.D.A.S., dans la plaine de l'El Outaya (Biskra). Thèse Magister , Inst. Agro. Batna, 179p.

**KOULL K., KHRRAZE M. H., LAKHDARI K., BENZAOUI T., HELIMI S., LAOUISSA M.S., KHERFI Y., BOUGAFLA A., MIMOUNI F., MEZRAG M. et BENAZOUZ M. T., 2013-** Eaux d'irrigation et salinisation des sols des périmètres irrigués dans la vallée de L'Oued Righ. Journal algérien des régions arides, PP : 97-103.

**LARSON W.E et PIERCE F.J., 1992** — Conservation and enhancement of soil quality. In evaluation for sustainable land management in the developing world.Vol. 2: Technical papers. Bangkok, Thailand, Inter. Board for Research and Management, 1991, IBSRAM Proceedings n°12(2), pp.: 75-203.

**LAVELLE P., LEGROS J-P., LEPRETRE A., et STERCKEMAN T., 1999** — Le suivi de la qualité des sols en France, la contribution de l'Observation de la Qualité des Sols. Étude et Gestion des Sols, 6, PP : 215-230.

**LEGROS J-P., 2009** — La salinisation des terres dans le monde. Académie des Sciences et Lettres de Montpellier. Séance du lundi 22-06-2009, conférence n° 4069. Bull. n° 40, PP : 257 -269.

**MAOUCHI Y., 2019** — Biskra, le jardin potager de l'Algérie. Le magazine promotionnel de l'Algérie — El-Djazair n° 21 — juin.

**MARTIN S., BAISE D., BONNEAU M., CHAUSSOD R., CIESIELSKI H., GAULTIER J-P., LAVELLE P., LEGROS J-P., LEPRETRE A., et STERCKEMAN T., 1999** — Le suivi de la qualité des sols en France, la contribution de l'Observation de la Qualité des Sols. Étude et Gestion des Sols, 6, PP : 215-230.

**MASMOUDI A., 2012** — Problème de la salinité lié à l'irrigation dans la région des Ziban. Thèse doctorat. Université de Biskra 137p.

**MAUGET G., 1957** — L'évolution des ressources hydriques dans les oasis du bas Sahara algérien. Recherche sur l'Algérie. Édition CNRS Paris, PP : 68-75.

**MINDA M-S., DILLO M-D., NDIAYE O., NIANG K., SANE S., TOUROUMGAYE G.,MATTY F et LAVELLE P., LEGROS J-P., LEPRETRE A., et STERCKEMAN T., 1999** — Le suivi de la qualité des sols en France, la contribution de l'Observation de la Qualité des Sols. Étude et Gestion des Sols, 6, PP : 215-230.

**MOSTEPHAOUI T est BENSALD R., 2014** — Caractérisation des sols gypseux dans les zones arides par télédétection. Cas du sous-bassin versant d'oued Djeddi — Biskra. Lebanse Science Journal, vol .15. N° 1, PP : 99-115.

- MOSTEPHAOUI T., 2015** — les sols gypseux : Localisation et relation avec le milieu physique. Thèse Doctorat. Université de Batna, 240p.
- MTIMET A., 1998** — Gestion durable de l'eau et du sol dans les oasis tunisiennes .16em Congrès mondial de science du sol. Symposion n° 29, enregistrement : 1462.
- OENDA P., 1983** — Flore du Sahara. 2<sup>ème</sup>Edition. Ed. C.N.R.S. Paris, 622 p.
- RECHACHI M Z., 2017** — Impact de la qualité des eaux d'irrigation sur la salinisation des sols en régions arides et semi-arides : cas de la région des Ziban. Thèse doctorat. Université de Biskra 250p.
- REZKI M., 2000** — La culture du blé en zones sahariennes : potentialités et contraintes. Actes du premier symposium international sur la filière blé. - Enjeux et stratégie (blé 2000). Algérie, OAIC -Alger, 7-9 février 2000, PP : 221-228.
- ROUAHNA H., 2007** — Relation entre les nappes et la salinité dans les sols gypseux de la région d'Ain Ben Noui (Biskra). Mém. Mag, Univ Batna, 98 p.
- ROUAHNA H., 2019** — l'individualisation de gypse dans les sols de la plaine d'El Outaya. Thèse doctorat. Université de Biskra 355p.
- SAIDI A., HAMMAMI M., DAGHR H., HATIRA A., LTIFI W et HCHANI K., 2010** Bilans d'eau et des sels dans le périmètre irrigué de Kalaat Landalous (Tunisie), Sécheresse, vol.21, n° (1e) : 1-5.
- SEDRATI N., 2011** — Origines et caractéristiques physico-chimiques des eaux de la wilaya de Biskra sud algériens. Thèse Doctorat. Université d'Annaba, 252p.
- SERVANT J.M et SERVAT E., 1966** — Introduction à l'étude des sols salés littoraux du Languedoc. Boussillon. Ann. Agro. 17 (1), PP : 53-73.
- SERVANT J.M., 1976** — La salinité dans le sol et les eaux. Caractérisation et problèmes d'irrigation drainage. S.E.S.n °310, Montpellier, 27p.
- SOUTTER M., MERMOUD A et MUSY A., 2007** — Ingénierie des eaux et du sol, processus et aménagement. 1<sup>ère</sup> édit, science et technologie de l'environnement. 294 p.
- TESSIER D., BRUAND A., LE BISSONNAIS Y et DAMBRINE E., 1996** — Qualité chimique et physique des sols : Variabilité spatiale et évolution. Étude et Gestion des sols; Volume 3 n° 4, PP : 229-244.s
- U.S. Salinity Laboratory Staff-1954-** Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U.S.S.L. L. U.S.D.A.Editor Handbook n° 60, 160 p.
- VAN HOORN J.W., 1995** — Développent de la salinité du sol dans la zone racinaire. Comptes rendus : Acad.d'Agic de France — Action (4), vol 81 (2), Paris (Sciences spécialisées du 22 mars 95), PP : 61-72

# *Annexes*

## Annexe 01

### Annexe 01

**Tableau 01 : précipitations moyennes mensuelles durant la période (2000-2010)**

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	Total
Précipitations (mm)	20,33	5,87	12,16	11,55	10,68	0,84	0,80	2,04	15,10	10,91	11	15,61	116,89

**Tableau 02 : Températures moyennes mensuelles enregistrées au cours de la période (2000-2010)**

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Moy
T.min (m) °C	5,81	7,18	11,69	15,09	20,07	24,27	28,13	27,66	22,90	18,50	11,68	7,08	16,67
T max (M) °C	16,93	19,28	23,71	27,14	32,39	37,15	41,28	40,21	34,2	29,76	22	17,41	28,45
T moy (°C) (M+m)/2	11,37	13,23	17,7	21,11	26,23	30,71	34,71	33,94	28,55	24,13	16,84	12,25	22,56

**Tableau 03 : Vitesse moyenne mensuelle du vent durant la période (2000-2010)**

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	Moy
Vitesse de vent (m/s)	4,13	4,26	4,96	5,73	5,55	4,34	3,76	3,66	3,87	3,57	4,12	4,06	4,33

**Tableau 04 : Évapotranspiration calculée par la méthode de Penman (2000-2010)**

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	Total
ETP (mm)	126,22	149,5	183,8	129,12	262	370	444,2	319,4	319,4	214,77	150,33	101,68	2853,72

**Tableau 05 : Insolation moyenne mensuelle (2000-2010).**

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	Moy
Insolation (heures)	236,5	245,2	275,7	286,9	320	348,2	356,7	332,2	264,7	254,2	227,5	221,4	280,78

**Tableau 06 : Humidité moyenne pour la période (2000-2010)**

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	Moy
Humidité (%)	57,21	48,31	40,89	38,27	32,70	27,26	25,06	28,21	40,55	46,68	53,9	59,34	41,53

## **Annexe 02**

### **Granulométrie sans élimination du gypse**

Peser une quantité de terre fine (10 à 20 g)

Éliminer les matières organiques avec de l'eau oxygénée

Procéder à l'agitation mécanique de l'échantillon

Séparer les sables fins et les sables grossiers par tamisage

Récupérer la fraction argile plus limon restante

Porter les échantillons à l'étuve à une température ne dépassant 70 ° C.



Figure 01 : profil pédologique du sol (M'ziraa cultivé)



Figure 02 : profil pédologique du sol (M'ziraa non cultivé)



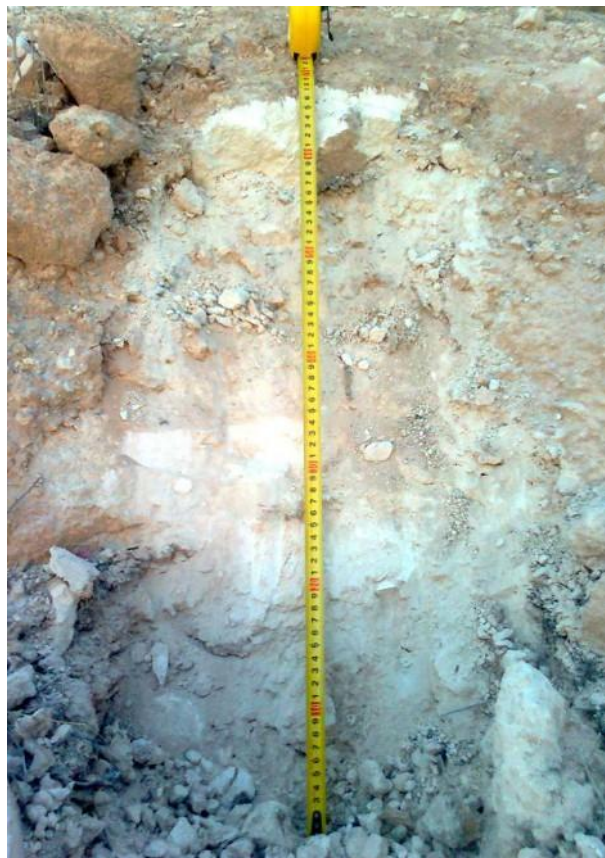
**Figure 03 : profil pédologique du sol (Doucen cultivé)**



**Figure 04 : profil pédologique du sol (Doucen no cultivé)**



**Figure 05 : profil pédologique du sol (Tolga cultivé)**



**Figure 06 : profil pédologique du sol (Tolga non cultivé)**





**Figure 07 : profil pédologique du sol (El Hadjeb cultivé)**



**Figure 8 : profil pédologique du sol (El Hadjeb non cultivé)**



**Figure 09 : profil pédologique du sol (El Outaya cultivé)**



**Figure 10 : profil pédologique du sol (El Outaya non cultivé)**



**Figure 11 : profil pédologique du sol (Zeribet El Oued cultivé)**



**Figure 12 : profil pédologique du sol (Zeribet El Oued non cultivé)**

## Annexe 04

Tableau : Évaluation de la qualité des eaux d'irrigation

Conductivité Electrique (dS/m)	Concentration (g/l)	Évaluation Américaine	Evaluation Russe	Évaluation de Durand pour l'Algérie
CE<0,25	<0,25	Faible salée	Faible qualité	Non saline
0.25 <CE<0,75	0.2-0.5	Moyennement salée	Risque de salinisation	Salinité moyenne
0.75< CE <2,25	0.5-1.5	Fortement salée	Risque de salinisation	Forte salinité
2.25 < CE <5	1.5-3	T. Fortement salée	Risque de salinisation	Très forte salinité
5 < CE <20	3-7	Salinité excessive	Ne peut être utilisée sans lessivage	Salinité excessive

## Annexe 05

Rapport Cl/SO<sub>4</sub> (SERVANT, 1976) supérieur à 5 :

Eau chlorurée.

de 1 à 5 : Eau chlorurée sulfatée.

de 0,2 à 1 : Eau sulfatée chlorurée.

moins de 0,2 : Eau sulfatée.

## Annexe 06 :

S.A.R	Degré d'alcalinisation
Inférieur à 4	Pas d'alcalinisation
4 - 8	Faible alcalinisation
8 - 12	Alcalinisation moyenne
12 - 18	Alcalinisation forte
Supérieur à 18	Alcalinisation intense