

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY  
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار- عنابة

Faculté des Sciences  
Département de Biologie

Année 2016/2017

# Thèse

*Présentée en vue de l'obtention du diplôme de docteur en Sciences OPTION:*

*Biologie végétale*

**Réhabilitation des sols salés du Nord de Tébessa (Morsott- El  
Aouinet- Boukhadra)**

**par la plantation des espèces halophytes du genre *Atriplex***

***(A. halimus- A. nummularia)***

Par

**Chafika REZKALLAH**

**DEVANT LE JURY :**

**DIRECTEUR DE THÈSE : Chemseddine FEHDI** (Professeur, Université Larbi Tébessi, Tébessa)

**CO-DIRECTEUR DE THÈSE : Rachid DJAMAI** (Professeur, Université Badji Mokhtar, Annaba)

**PRESIDENT : Mokhtar BOUDELAA** (Professeur, Université Badji Mokhtar, Annaba)

**EXAMINATEURS : Mohamed BENSLAMA** (Professeur, Université Badji Mokhtar, Annaba)

**Fethi BAALI** (Professeur, Université Larbi Tébessi, Tébessa)

**Slimane KACHI** (Professeur, Université de Guelma)

## Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier notre créateur ALLAH le Tout Puissant pour toute la force et la patience qu'il m'a donné pour finir ce travail.

Je ne sais comment remercier les professeurs FEHDI Chemseddine, DJAMAI Rachid d'avoir accepté de m'encadrer car leurs consultations, corrections, répondre aux emails, ainsi que leurs sollicitudes m'ont apporté beaucoup d'appuis à ma thèse.

Je tiens à remercier chaleureusement les membres du jury, Pr. M. Boudelaa, Pr. M. Benslama, Pr F. Baali, Pr. S. Kachi, d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Un grand merci pour le directeur et tous les ingénieurs de la Haute .Commissariat.De.Steppse.

Merci à tout le personnel du laboratoire de SEMIPHOS et FERPHOS de Tébessa.

## **DEDICACE**

Je dédie le présent travail

A ma famille

A tous mes amis

A tous mes collègues

## ملخص

إعادة تهيئة الأراضي المالحة للمنطقة الشمالية لولاية تبسة مرسلط العينات بوخضرة بزراعة نوعين من نبات القطف المحلي - الأسترالي (*A. halimus*- *A. nummularia*)

تعتمد هذه الدراسة على إظهار إمكانية إعادة تهيئة الأراضي المالحة, في الجزء الشمالي لولاية تبسة الذي يشمل بلدية (العينات, مرسلط و جزء من بوخضرة), عن طريق زراعة نوعين من نبات القطف (*Atriplex* المحلي) *A. halimus* و الأسترالي (*A. nummularia*) في أوساط مختلفة الملوحة, حيث تمت التجربة على ثلاثة مراحل:

كمرحلة أولى قمنا بالزراعة في بيت زجاجي أين تمت معاملة التربة بخمس مستويات متزايدة من كلورايد الصوديوم NaCl (0, 3, 6, 12, 24 مغ), بعد شهرين أخذنا عينات من التربة المزروعة حيث لاحظنا بعد التحليل المخبري نقص كل من الناقلية الكهربائية (CE), النسبة الإجمالية للأملاح الذائبة (TDS) و نسبة الصوديوم في التربة و هذا يعكس زيادة تراكم الصوديوم على مستوى أوراق النبات المستعمل في التجربة مع أفضلية للنبات الأسترالي على المحلي. أما باقي النتائج فلم تسجل أي تحسن بالنسبة للنوعين.

في المرحلة الثانية قمنا بتحليل ملوحة التربة و مياه الآبار من جنوب إلى شمال منطقة الدراسة, حيث لاحظنا من خلال النتائج أن نسبة ملوحة التربة مرتبطة بمياه الآبار, و قد سجلت أعلى النسب في بلدية العينات و أقل نسبة في مرسلط.

في المرحلة الثالثة اخترنا أربع مناطق مختلفة الملوحة حسب تحليل التربة و الماء في المرحلة السابقة, ثم قمنا بزراعة شتلات القطف المحلي و الأسترالي المتحصل عليها من محافظة السهوب السامية لولاية تبسة, و بعد شهرين و ستة أشهر تم أخذ عينات من التربة الملتصقة بجذور الشجيرات لنوعي القطف و التربة المجاورة (تربة دون غطاء نباتي), حيث بينت النتائج أن زراعة نبات القطف يؤدي إلى تعديل الكاتيونات و الأيونات في التربة و بالتالي انخفاض في الناقلية الكهربائية (CE) و النسبة الإجمالية للأملاح الذائبة (TDS) مع حدوث العكس في التربة منخفضة الملوحة و يفسر هذا بظاهرة التعديل الأسموزي للشوارد بين جذور النباتات و التربة و أيضا إلى تفضيل نبات القطف للأوساط الغنية بالأملاح.

**الكلمات المفتاحية:** إعادة التهيئة, نبات القطف, *Atriplex*, المحلي, *A. halimus*, الأسترالي, *A. nummularia*, ملوحة التربة, الخصائص الفيزيائية و الكيميائية للتربة, شمال تبسة, الجزائر

## Abstract

### **Rehabilitation of saline soils in the northern part of Tébessa plain (Morsott-El Aouinet-Boukhadra) by planting halophytic species of the genus *Atriplex* (*A.halimus*-*A.nummularia*)**

The main object of this study is the rehabilitation of the saline soils in the Northern area of Tébessa (Morsott, El-Aouinet, Boukhadra), by the plantation of two halophytes species, a local one is (*Atriplex. halimus*) and the other Australian (*Atriplex.nummularia*), in two mediums of different salinity, the experimentation was made in three phases. .

The first phase consists in making the plantation under greenhouse, with a treatment of soil by the application of five increasing NaCl amounts (0, 3, 6, 12, 24, 48 mg), the samples taken from used soil after two months were analyzed at the laboratory, the results obtained show a reduction in electric conductivity (EC), the total dissolved salts (TDS) and the sodium content ( $\text{Na}^+$ ) in the soils, which explains the increase in accumulation of  $\text{Na}^+$  on the halophytes leaves where *Atriplex. nummularia* is higher than the *halimus*. The other parameters do not mark any improvement.

In the second phase of the experimentation we made the analysis of assessment salinity of the soils and groundwater collected from several wells in the study area (from south to north). We noticed through the results that the salinity of the soil is related to the water wells and vary from an area to another, the highest rates are recorded in El-Aouinet zone and the lowest rate is observed in the south part of the study area near Morsott zone.

In the third phase, we chose four zones with different salinity according to the soil and groundwater analysis ter in the preceding phase. Then, we carried out the culture of the seedlings of *Atriplex. halimus* and *nummularia*, which were obtained from the High Commissariat of the steppe development(H.C.D.S) Tébessa. After two and six months of plantation, we took samples of the adherent soil with the roots of the shrubs (Rizosphere), and of the neighboring soil (pilot). The results of analysis were subjected to a comparison between the soils of the two plants halophytes and the soil pilot, which showed that the application of *Atriplex. halimus* and *nummularia* produce a reduction in the cations and anions concentrations and thus a reduction in electric conductivity (CE) and salinity (TDS) with the opposite event in the area of low salinity, this is due to the osmotic phenomenon of adjustment of the ions between the roots of the plants and the soil, and the preference of *Atriplex* for the saline mediums.

**Key words:** Rehabilitation, *Atriplex halimus*, *Atriplex nummularia*, Soil salinity, properties physical and chemical soil, North Tebessa, Algeria.

## Résumé

### *Réhabilitation des sols salés du Nord de Tébessa (Morsott-El Aouinet-Boukhadra) par la plantation des espèces halophytes du genre *Atriplex* (*A.halimus*-*A.nummularia*)*

Ce travail fait l'objet d'une étude de la possibilité de réhabilitation des sols salins de la région Nord de Tébessa (Morsott, El-Aouinet, Boukhadra), par la plantation de deux espèces halophytes, une locale (*Atriplex. halimus*) et l'autre australienne (*Atriplex. nummularia*) dans des milieux de différente salinité, l'expérimentation a été portée sur trois étapes.

La première consiste à faire la plantation sous serre, avec un traitement de sol par l'application de cinq doses croissantes de NaCl (0, 3, 6, 12, 24, 48 mg), les échantillons pris du sol utilisé après deux mois, ont été analysés au laboratoire. Les résultats obtenus montrent une diminution de la conductivité électrique (CE), aussi que le taux des sels solubles (TDS) et la teneur en sodium ( $\text{Na}^+$ ) dans les sols, ce qui explique l'augmentation d'accumulation de  $\text{Na}^+$  au niveau des feuilles des halophytes dont l'*Atriplex. nummularia* est supérieure à l'*halimus*. Les autres paramètres ne marquent aucune amélioration.

Dans la seconde expérimentation, on a fait l'analyse de bilan de salure des sols et des eaux des puits de la région d'étude (du Sud au Nord). Nous avons remarqué à travers les résultats, que la salinité du sol est liée à celle des eaux souterraines et varient d'une région à l'autre, les taux les plus élevés sont enregistrés dans la zone d'El-Aouinet et les plus faibles ont été enregistré à Morsott.

Au cours de la dernière étape, nous avons choisi quatre zones différentes en fonction de la salinité selon l'analyse des sols et de l'eau dans la phase précédente. Ensuite, nous avons procédé à la culture des plants de l'*Atriplex. halimus* et *nummularia*, qui ont été obtenus du Haut Commissariat du développement de la steppe (H.C.D.S), antenne de Tébessa. Après deux à six mois de plantation, nous avons pris des échantillons du sol adhérent avec les racines des arbustes (Rizosphere), et du sol avoisinant (témoin). Les résultats d'analyse des échantillons ont été soumis à une comparaison entre les sols des deux plantes halophytes et le sol témoin, ce qui a montré que l'application d'*Atriplex. halimus* et *nummularia* produit une diminution des cations et des anions et donc une diminution de la conductivité électrique (CE) et le taux des sels dissous (TDS) avec l'évènement opposé de la région de faible salinité, ceci est dû au phénomène d'ajustement osmotique des ions entre les racines des plantes et le sol, et la préférence d'*Atriplex* pour les milieux salins.

**Mots clés:** Réhabilitation, *Atriplex halimus*, *Atriplex nummularia*, salinité du sol, propriétés physiques et chimiques du sol, Nord Tébessa, Algérie.

## *Liste des tableaux*

<i>N°</i>	<i>Titre</i>	<i>Pages</i>
01	<i>Catégories des sols salés été sodiques (d'après Black, 1968)</i>	<b>07</b>
02	<i>Répartition numérique des espèces dans le monde (Le Houérou, 1992)</i>	<b>12</b>
03	<i>les diverses espèces d'Atriplex dans les régions d'Algérie</i>	<b>13</b>
04	<i>Station géographique de la région d'étude</i>	<b>20</b>
05	<i>Moyenne des Précipitations mensuelles</i>	<b>21</b>
06	<i>Précipitations moyennes annuelles</i>	<b>22</b>
07	<i>Moyenne de la température mensuelle</i>	<b>23</b>
08	<i>Moyenne de la température annuelle</i>	<b>24</b>
09	<i>Moyenne de l'humidité mensuelle</i>	<b>25</b>
10	<i>Evaporation en mm et en % à la station météorologique Tébessa aéroport pour la période 2000-2014</i>	<b>26</b>
11	<i>Evaporation en mm et en % selon la formule de TURC à la station météorologique Tébessa aéroport pour la période 2000-2014</i>	<b>27</b>
12	<i>Caractéristiques des espèces étudiées. Selon la Haute Commecariat De la Steppes 1999)</i>	<b>29</b>
13	<i>Caractéristiques chimiques et physiques du sol</i>	<b>30</b>
14	<i>Doses de NaCl appliquées</i>	<b>32</b>
15	<i>Analyse de la variance de l'effet d'Atriplex sur la conductivité électrique(CE) de la solution de sol</i>	<b>41</b>
16	<i>Analyse de la variance de l'effet d'Atriplex sur le taux des sels (TDS) de la solution du sol</i>	<b>43</b>

17	<i>Analyse de la variance de l'effet d'Atriplex sur la teneur en sodium de la solution du sol</i>	<b>44</b>
18	<i>Analyse de la variance de l'effet d'Atriplex sur la teneur en potassium de la solution du sol</i>	<b>46</b>
19	<i>Analyse de la variance de l'effet d'Atriplex sur le pH de la solution du sol</i>	<b>47</b>
20	<i>Analyse de la variance de l'effet de l'Atriplex sur le Calcaire total de la solution du sol</i>	<b>49</b>
21	<i>Analyse de la variance de l'effet d'Atriplex sur le Calcaire actif de la solution du sol</i>	<b>50</b>
22	<i>Analyse de la variance de l'effet de L'Atriplex sur le Phosphore de la solution du sol</i>	<b>52</b>
23	<i>Analyse de la variance de l'effet de L'Atriplex sur la matière organique de la solution du sol</i>	<b>53</b>
24	<i>Analyse de la variance de l'effet de la salinité sur l'accumulation de Na<sup>+</sup> dans les feuilles de la plante</i>	<b>55</b>
25	<i>Analyse de la variance de l'effet de salinité sur l'accumulation de K<sup>+</sup> dans les feuilles de la plante</i>	<b>56</b>
26	<i>Moyennes des résultats des analyses des sols (Novembre 2013)</i>	<b>59</b>
27	<i>Coefficients des corrélations de l'analyse de sol</i>	<b>84</b>
28	<i>Différentes variables et axes</i>	<b>87</b>
29	<i>Corrélations entre les variables et les facteurs</i>	<b>88</b>
30	<i>Résultats d'analyse inorganique d'eau de la région d'étude</i>	<b>91</b>
31	<i>Analyse de la variance de l'effet d'Atriplex sur la conductivité Electrique (us/cm) de la solution du sol salé</i>	<b>105</b>
32	<i>Analyse de la variance de l'effet d'Atriplex sur le taux des sels TDS (mg/l) de la solution du sol salé</i>	<b>107</b>

33	<i>Analyse de la variance de l'effet d'Atriplex sur le pH de la solution du sol salé</i>	<b>109</b>
34	<i>Analyse de la variance de l'effet d'Atriplex sur la teneur de sodium de la solution du sol salé</i>	<b>112</b>
35	<i>Analyse de la variance de l'effet d'Atriplex sur la teneur de calcium de la solution du sol salé</i>	<b>114</b>
36	<i>Analyse de la variance de l'effet d'Atriplex sur la teneur de potassium de la solution du sol salé</i>	<b>116</b>
37	<i>Analyse de la variance de l'effet d'Atriplex sur la teneur en magnésium de la solution du sol salé</i>	<b>118</b>
38	<i>Analyse de la variance de l'effet d'Atriplex sur la teneur en chlore de la solution du sol salé</i>	<b>120</b>
39	<i>Analyse de la variance de l'effet d'Atriplex sur la teneur de sulfate de la solution du sol salé</i>	<b>122</b>
40	<i>Analyse de la variance de l'effet d'Atriplex sur la teneur en chlorure de la solution du sol salé</i>	<b>124</b>
41	<i>Analyse de la variance de l'effet d'Atriplex sur la teneur en nitrate de la solution du sol salé</i>	<b>126</b>

---

## *Liste des figures*

<i>N°</i>	<i>Titre</i>	<i>Page</i>
01	<i>Situation géographique de la région d'étude</i>	<b>16</b>
02	<i>Carte topographique de la région d'étude (digitalisée par l'O.R.G.M sur Mapinfo à partir des cartes topographiques au 1/50000)</i>	<b>17</b>
03	<i>Photo satellite montrant les différents oueds de la région d'étude (Source : Google 2007, Cnrs/Spot image)</i>	<b>18</b>
04	<i>Variations des précipitations moyennes mensuelles (2000-2014)</i>	<b>20</b>
05	<i>Variation des précipitations moyennes inter annuelles (2000-2014)</i>	<b>21</b>
06	<i>Variation des températures moyennes mensuelles (2000-2014)</i>	<b>23</b>
07	<i>Variation des températures moyennes inter annuelles (2000-2014)</i>	<b>24</b>
08	<i>Abaque de l'Indice d'aridité annuel de Martone (1923)</i>	<b>28</b>
09	<i>Dispositif expérimental</i>	<b>31</b>
10	<i>Carte d'échantillonnage de sol de la région d'étude</i>	<b>33</b>
11	<i>Photos d'échantillonnages des sols</i>	<b>34</b>
12	<i>Carte d'échantillonnage de l'eau de la région</i>	<b>35</b>
13	<i>Carte de parcelle de plantation d'Atriplex dans la région d'étude</i>	<b>36</b>
14	<i>Photos de parcelle de de la zone 1 avant la plantation d'Atriplex</i>	<b>37</b>
15	<i>Méthode de plantation dans une parcelle</i>	<b>38</b>
16	<i>Photos de labour et préparation de la parcelle N°3 (Zone de Rmila)</i>	<b>38</b>
17	<i>Photo de la parcelle trois après six mois de plantation (zone de Rmila)</i>	<b>39</b>
18	<i>Moyennes de la conductivité électrique (CE) de la solution du sol d'Atriplex halimus</i>	<b>41</b>

19	<i>Moyennes de la Conductivité électrique (CE) de la solution du sol d'Atriplex nummularia</i>	42
20	<i>Moyennes des Taux de sels (TDS) de la solution du sol d'Atriplex halimus</i>	43
21	<i>Moyennes des Taux de sels (TDS) de la solution du sol d'Atriplex nummularia</i>	44
22	<i>Moyennes des teneurs en sodium de la solution du sol d'Atriplex halimus.</i>	45
23	<i>Moyennes des teneurs en sodium de la solution du sol d'Atriplex nummularia</i>	45
24	<i>Moyennes des teneurs en potassium de la solution du sol d'Atriplex halimus</i>	46
25	<i>Moyennes des teneurs en potassium de la solution du sol d'Atriplex nummularia</i>	47
26	<i>Moyennes de <math>pH_{(eau)}</math> de la solution du sol d'Atriplex halimus</i>	48
27	<i>Moyennes de <math>pH_{(KCl)}</math> de la solution du sol d'Atriplex nummularia</i>	48
28	<i>Moyennes de calcaire total du sol d'Atriplex halimus</i>	49
29	<i>Moyennes de calcaire total du sol d'Atriplex nummularia</i>	50
30	<i>Moyennes de calcaire actif du sol d'Atriplex halimus</i>	51
31	<i>Moyennes de calcaire actif du sol d'Atriplex nummularia</i>	51
32	<i>Moyennes du phosphore du sol d'Atriplex halimus</i>	52
33	<i>Moyennes du phosphore du sol d'Atriplex nummularia</i>	53
34	<i>Moyennes de matière organique du sol d'Atriplex halimus</i>	54
35	<i>Moyennes de matière organique du sol d'Atriplex nummularia</i>	54
36	<i>Moyennes des teneurs en <math>Na^+</math> dans l'Atriplex halimus</i>	55
37	<i>Moyennes des teneurs en <math>Na^+</math> dans l'Atriplex nummularia</i>	56
38	<i>Moyennes des teneurs en <math>K^+</math> dans l'Atriplex halimus</i>	57
39	<i>Moyennes des teneurs en <math>K^+</math> dans l'Atriplex nummularia</i>	57

40	<i>Variation des valeurs de la conductivité électrique (CE) et le taux des sels dissous (TDS) dans le sol de la région d'étude</i>	<b>60</b>
41	<i>Carte de Conductivité électrique CE (<math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>) du sol de la région d'étude</i>	<b>61</b>
42	<i>Carte de Taux de sel soluble TDS (mg/l) du sol de la région d'étude</i>	<b>62</b>
43	<i>Carte de salinité (mg/l) du sol de la région d'étude</i>	<b>63</b>
44	<i>Variation des valeurs de pH dans le sol de la région d'étude</i>	<b>64</b>
45	<i>Carte d'acidité pH du sol de la région d'étude</i>	<b>65</b>
46	<i>Variation des valeurs des concentrations des cations dans le sol de la région d'étude</i>	<b>66</b>
47	<i>Carte de Sodium (<math>\text{Na}^+</math>) du sol de la région d'étude</i>	<b>67</b>
48	<i>Le cycle de potassium dans le sol (Tisdale et al 1993)</i>	<b>68</b>
49	<i>Carte de Potassium (<math>\text{K}^+</math>) du sol de la région d'étude</i>	<b>69</b>
50	<i>Carte de calcium (<math>\text{Ca}^{+2}</math>) du sol de la région d'étude (mg/l)</i>	<b>70</b>
51	<i>Carte de Magnésium (<math>\text{Mg}^{+2}</math>) du sol de la région d'étude (mg/l)</i>	<b>71</b>
52	<i>Variation des valeurs des concentrations des anions dans le sol de la région d'étude</i>	<b>72</b>
53	<i>Carte des bicarbonates (<math>\text{HCO}_3^-</math>) du sol de la région d'étude (mg/l)</i>	<b>73</b>
54	<i>Relation entre les valeurs de pH et <math>\text{HCO}_3^-</math> en relation avec l'équilibre de carbonate <math>\text{CO}_3^-</math> (modifié d'après Freeze et Cheery, 1979)</i>	<b>74</b>
55	<i>Carte des chlorures (<math>\text{Cl}^-</math>) du sol de la région d'étude (mg/l)</i>	<b>75</b>
56	<i>Carte des sulfates (<math>\text{SO}_4^-</math>) du sol de la région d'étude (mg/l)</i>	<b>76</b>
57	<i>Cycle biologique de sulfure dans le sol (Trudinger et Sawain, 1979)</i>	<b>77</b>
58	<i>Le cycle de l'azote dans le sol (Hill, 1991)</i>	<b>78</b>

59	<i>Carte des nitrates ( <math>NO_3^-</math> ) du sol de la région d'étude (mg/l)</i>	<b>79</b>
60	<i>Diagramme de Piper. Présentation générale.</i>	<b>80</b>
61	<i>Diagramme de Piper</i>	<b>81</b>
62	<i>Diagramme de Scholler-Berkalof.</i>	<b>82</b>
63	<i>Diagramme de Stiff</i>	<b>83</b>
64	<i>Dendrogramme et tableau de classes des coefficients de corrélation entre les différents ions de la solution de sol. (méthode de Davis).</i>	<b>85</b>
65	<i>Histogramme des valeurs propres et variabilité cumulées</i>	<b>88</b>
66	<i>Analyse en composantes principales</i>	<b>89</b>
67	<i>Représentation graphique des Individus</i>	<b>90</b>
68	<i>Evolution de la valeur de pH dans quelques points d'eau de la région d'étude.</i>	<b>92</b>
69	<i>Carte de sodium d'eau de la région d'étude (mg/l)</i>	<b>94</b>
70	<i>Evolution des teneurs de sodium dans quelques points d'eau de la région d'étude</i>	<b>94</b>
71	<i>Evolution des teneurs de potassium dans quelques points d'eau de la région d'étude</i>	<b>95</b>
72	<i>Carte de calcium d'eau de la région d'étude (mg/l)</i>	<b>96</b>
73	<i>Carte de magnésium d'eau de la région d'étude (mg/l)</i>	<b>97</b>
74	<i>Carte des bicarbonates d'eau de la région d'étude (mg/l)</i>	<b>99</b>
75	<i>Carte des chlorures d'eau de la région d'étude (mg/l)</i>	<b>100</b>
76	<i>Carte des sulfates d'eau des puits de la région d'étude (mg/l)</i>	<b>101</b>
77	<i>Evolution des teneurs des nitrates dans quelques points d'eau de la région d'étude</i>	<b>102</b>

78	<i>L'effet de plantation d'A.halimus et A.nummularia sur la moyenne de la CE (uS/cm) de la solution du sol dans les quatre zones après deux et six mois</i>	<b>104</b>
79	<i>Comparaison des moyennes de la CE (uS/cm) de la solution du sol dans les quatre zones après deux et six mois de plantation d'A.halimus et A. nummularia</i>	<b>106</b>
80	<i>L'effet de plantation d'A. halimus et A. nummularia sur la moyenne de la CE (uS/cm) du sol dans les quatre zones après deux mois et six mois</i>	<b>107</b>
81	<i>Comparaison des moyennes de TDS (mg/l) de la solution du sol dans les quatre zones après deux et six mois de plantation d'A. halimus et A.nummularia</i>	<b>108</b>
82	<i>L'effet de plantation d'A.halimus et A.nummularia sur la moyenne du pH de la solution de sol dans les quatre zones après deux et six mois de plantation</i>	<b>109</b>
83	<i>Comparaison des moyennes du pH de la solution du sol dans les quatre zones après deux et six mois de plantation d'A.halimus et A. nummularia</i>	<b>110</b>
84	<i>L'effet de plantation d'A.halimus et A. nummularia sur la moyenne de la teneur en Na<sup>+</sup> (mg/l) de la solution du sol dans les quatre zones après deux et six mois de plantation</i>	<b>111</b>
85	<i>Comparaison des moyennes de la teneur en Na<sup>+</sup> (mg/l) de la solution du sol dans les quatre zones après deux et six mois de plantation d'A. halimus et A. nummularia</i>	<b>112</b>
86	<i>L'effet de plantation d'A.halimus et A. nummularia sur la moyenne de la teneur en Ca<sup>+</sup> (mg/l) de la solution du sol dans les quatre zones après deux et six mois</i>	<b>113</b>
87	<i>Comparaison des moyennes de la teneur en Ca<sup>+</sup> (mg/l) de la solution du sol dans les quatre zones après deux et six mois de plantation d'A.halimus et A.nummularia</i>	<b>114</b>

88	<i>L'effet de plantation d'A. halimus et A.nummularia sur la moyenne de la teneur en <math>K^+</math>(mg/l) de la solution du sol dans les quatre zones après deux et six mois</i>	<b>115</b>
89	<i>Comparaison des moyennes de la teneur en <math>K^+</math> (mg/l) de la solution du sol dans les quatre zones après deux et six mois de plantation d'A.halimus et A. nummularia</i>	<b>116</b>
90	<i>L'effet de plantation d'A.halimus et A. nummularia sur la moyenne de la teneur en <math>Mg^{+}</math> (mg/l) de la solution du sol dans les quatre zones après deux et six mois</i>	<b>117</b>
91	<i>Comparaison des moyennes de la teneur en <math>Mg^{+}</math> (mg/l) de la solution de sol dans les quatre zones après deux et six mois de plantation d'A. halimus et A.nummularia</i>	<b>118</b>
92	<i>L'effet de plantation d'Atriplex halimus et nummularia sur la moyenne de la teneur en <math>Cl^-</math> (mg/l) de la solution du sol dans les quatre zones après deux et six mois</i>	<b>119</b>
93	<i>Comparaison des moyennes de la teneur en <math>Cl^-</math> (mg/l) de la solution de sol dans les quatre zones après deux et six mois de plantation d'A.halimus et A. nummularia</i>	<b>120</b>
94	<i>L'effet de plantation d'A. halimus et A.nummularia sur la moyenne de la teneur en <math>SO_4^{2-}</math> (mg/l) de la solution du sol dans les quatre zones après deux et six mois</i>	<b>121</b>
95	<i>Comparaison des moyennes de la teneur en <math>SO_4^{2-}</math> (mg/l) de la solution du sol dans les quatre zones après deux et six mois de plantation d'A.halimus et A.nummularia</i>	<b>122</b>
96	<i>L'effet de plantation d'A.halimus et A.nummularia sur la moyenne de la teneur en <math>HCO_3^-</math>(mg/l) de la solution du sol dans les quatre zones après deux et six mois</i>	<b>123</b>
97	<i>Comparaison des moyennes de la teneur en <math>HCO_3^-</math> (mg/l) de la solution du sol dans les quatre zones après deux et six mois de plantation d'A. halimus et A.nummularia</i>	<b>124</b>

98	<i>L'effet de plantation d'A. halimus et A. nummularia sur la moyenne de la teneur en <math>\text{NO}_3^-</math> (mg/l) de la solution du sol dans les quatre zones après deux mois et six mois</i>	<b>125</b>
99	<i>Comparaison des moyennes de la teneur en <math>\text{NO}_3^-</math> (mg/l) de la solution du sol dans les quatre zones après deux et six mois de plantation d'A. halimus et A.nummularia</i>	<b>126</b>

---

## ***Table des matières***

<b><i>Introduction</i></b>	<b><i>01</i></b>
<b><i>CHAPITRE I : Recherche Bibliographique</i></b>	<b><i>06</i></b>
<b><i>1. La salinité des sols</i></b>	<b><i>06</i></b>
<i>1.1. Définition de la salinité des sols</i>	<i>06</i>
<i>1.2. Origine des sels</i>	<i>06</i>
<i>1.3. Classification des sols salés</i>	<i>07</i>
<i>1.4. L'impact de la salinité</i>	<i>07</i>
<i>1.4.1. L'impact sur les sols</i>	<i>07</i>
<i>1.4.1.1. Les propriétés biologiques</i>	<i>07</i>
<i>1.4.1.2. Les propriétés physico-chimiques</i>	<i>08</i>
<i>1.4.1.3. Les propriétés physiques</i>	<i>09</i>
<i>1.4.2. L'impact sur les végétaux</i>	<i>09</i>
<b><i>2. Généralités sur l'Atriplex</i></b>	<b><i>11</i></b>
<i>2.1. Ecologie de l'Atriplex</i>	<i>11</i>
<i>2.1.1. Répartition dans le monde</i>	<i>11</i>
<i>2.1.2. Répartition en Algérie</i>	<i>12</i>
<i>2.2. Taxonomie d'Atriplex</i>	<i>13</i>
<i>2.3. Ecophysiologie de l'Atriplex</i>	<i>14</i>
<i>2.3.1. Mécanismes d'évitement</i>	<i>14</i>
<i>2.3.1.1. Mécanismes d'évasion</i>	<i>14</i>
<i>2.3.1.2. La tolérance</i>	<i>14</i>
<i>2.4. Intérêts de l'Atriplex</i>	<i>15</i>

<b><u>CHAPITRE II</u> : Description de terrain</b>	<b>16</b>
<b>1. La situation géographique de la région d'étude</b>	<b>16</b>
<b>2. Topographie</b>	<b>17</b>
<b>3. Le couvert végétal de la région d'étude</b>	<b>17</b>
<b>4. L'hydrographie de la région d'étude</b>	<b>18</b>
<b>5. Contexte socio-économique</b>	<b>19</b>
<b>6. Climatologie de la région d'étude</b>	<b>19</b>
<b>6.1 Paramètres climatologiques</b>	<b>20</b>
<b>6.1.1 Précipitation</b>	<b>20</b>
<b>6.1.2. Températures</b>	<b>22</b>
<b>6.1.3. L'humidité</b>	<b>24</b>
<b>6.1.4. La neige</b>	<b>25</b>
<b>6.1.5. Les vents</b>	<b>25</b>
<b>6.1.6. L'évaporation</b>	<b>25</b>
<b>6.1.6.1. L'évapotranspiration</b>	<b>26</b>
<b>6.1.6.2. Evapotranspiration réelle annuelle moyenne (ETR)</b>	<b>26</b>
<b>6.2. Type de climat</b>	<b>27</b>
<b>6.3. Conclusion sur la climatologie</b>	<b>28</b>
<b><u>CHAPITRE III</u> Matériel et Méthodes</b>	<b>29</b>
<b>1. La culture sous serre</b>	<b>29</b>
<b>1.1. Caractéristiques des espèces étudiées</b>	<b>29</b>
<b>1.2. Lieu et Conditions de l'expérimentation</b>	<b>29</b>
<b>1.3. Dispositif expérimental</b>	<b>31</b>
<b>1.4. Application des doses de Na Cl</b>	<b>32</b>
<b>1.5. Les paramètres étudiés</b>	<b>32</b>

1.5.1. Le bilan de salure sur extrait de pâte saturée	32
1.5.2. Les propriétés physico- chimiques	32
1.6. Etude statistique des données	32
<b>2. Description de la région d'étude</b>	<b>33</b>
2.1. L'échantillonnage	33
2.2. Paramètres étudiés	35
2.3. Etude statistique des données	36
3. Les choix des zones de plantation	36
3.1. Plantation d'Atriplex	37
3.2. L'échantillonnage du sol	39
3.3. Paramètres étudiés	39
3.4. Etude statistique des données	40
<b><u>CHAPITRE IV Résultats et Discussion</u></b>	<b>41</b>
<b>1. La culture Sous serre</b>	<b>41</b>
1.1. L'effet de plantation d'Atriplex sur Le bilan de salure du sol	41
1.1.1. Effet sur la conductivité électrique (CE)	41
1.1.2. Effet sur le taux des sels (TDS)	42
1.1.3. Effet sur la teneur en Na <sup>+</sup> soluble	44
1.1.4. Effet sur la teneur en K <sup>+</sup> soluble	46
1.2. L'effet de plantation d'Atriplex sur les propriétés physico-chimiques de la solution du sol	47
1.2.1. Effet sur le pH <sub>(eau)</sub>	47
1.2.2. Effet sur le Calcaire total	49
1.2.3. Effet sur le Calcaire actif	50
1.2.4. Effet sur le taux de phosphore du sol	52

<i>1.2.5. Effet sur le taux de matière organique du sol salé</i>	<b>53</b>
<i>1.3. L'accumulation des sels au niveau des feuilles d'Atriplex</i>	<b>55</b>
<i>1.3.1. L'accumulation de sodium (<math>\text{Na}^+</math>)</i>	<b>55</b>
<i>1.3.2. L'accumulation de potassium (<math>\text{K}^+</math>)</i>	<b>56</b>
<i>2. La Culture au niveau de la région d'étude</i>	<b>59</b>
<i>2.1. Caractérisation géochimique et identification des paramètres de salinité des sols prélevés</i>	<b>59</b>
<i>2.1.1. La conductivité électrique (<math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>) et le taux des sels dissous (<math>\text{mg}/\text{l}</math>)</i>	<b>59</b>
<i>2.1.2. Le pH</i>	<b>63</b>
<i>2.1.3. Les cations majeurs</i>	<b>65</b>
<i>2.1.3.1. Le sodium</i>	<b>66</b>
<i>2.1.3.2. Le potassium</i>	<b>67</b>
<i>2.1.3.3. Le calcium</i>	<b>69</b>
<i>2.1.3.4. Le magnésium</i>	<b>70</b>
<i>2.1.4. Les anions majeurs</i>	<b>72</b>
<i>2.1.4.1. Les bicarbonates</i>	<b>73</b>
<i>2.1.4.2. Les chlorures</i>	<b>74</b>
<i>2.1.4.3. Les sulfates</i>	<b>76</b>
<i>2.1.4.4. Les nitrates</i>	<b>77</b>
<i>2.1.5. Interprétation des résultats des analyses des sols</i>	<b>80</b>
<i>2.1.5.1. Le diagramme de Piper</i>	<b>80</b>
<i>2.1.5.2. Le diagramme de Schoeller-berkallof</i>	<b>82</b>
<i>2.1.5.3. Analyse statistique des éléments physico-chimiques du sol</i>	<b>84</b>
<i>2.1.5.3.1. Corrélation inter-éléments</i>	<b>84</b>
<i>2.1.5.3.2. Analyse en Composantes Principales (ACP)</i>	<b>86</b>

<i>2.1.5.3.3. Analyse des cercles ACP</i>	<i>89</i>
<i>2.2. Variation de la composition chimique d'eau de la région d'étude</i>	<i>91</i>
<i>2.2.1. La conductivité électrique (<math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>)</i>	<i>91</i>
<i>2.2.2. Le pH</i>	<i>92</i>
<i>2.2.3. Les cations majeurs</i>	<i>93</i>
<i>2.2.3.1. Le sodium</i>	<i>93</i>
<i>2.2.3.2. Le potassium</i>	<i>95</i>
<i>2.2.3.3. Le calcium</i>	<i>95</i>
<i>2.2.3.4. Le magnésium</i>	<i>96</i>
<i>2.2.4. Les anions majeurs</i>	<i>97</i>
<i>2.2.4.1. Les bicarbonates</i>	<i>98</i>
<i>2.2.4.2. Les chlorures</i>	<i>99</i>
<i>2.2.4.3. Les sulfates</i>	<i>100</i>
<i>2.2.4.4. Les nitrates</i>	<i>101</i>
<i>2.2.5. Conclusion</i>	<i>102</i>
<i>2.3. Effet de plantation d'Atriplex halimus et nummularia</i>	<i>104</i>
<i>2.3.1. Effet sur la conductivité électrique (C.E)</i>	<i>104</i>
<i>2.3.2. Effet sur le taux des sels (TDS)</i>	<i>106</i>
<i>2.3.3 Effet sur le pH du sol</i>	<i>108</i>
<i>2.3.4. Effet sur la teneur en <math>\text{Na}^+</math></i>	<i>110</i>
<i>2.3.5. Effet sur la teneur du sol en <math>\text{Ca}^{+2}</math></i>	<i>113</i>
<i>2.3.6. Effet sur la teneur du sol en <math>\text{K}^+</math></i>	<i>115</i>
<i>2.3.7. Effet sur la teneur du sol en <math>\text{Mg}^{+2}</math></i>	<i>117</i>
<i>2.3.8. Effet sur la teneur du sol en <math>\text{Cl}^-</math></i>	<i>119</i>
<i>2.3.9. Effet sur la teneur du sol en <math>\text{SO}_4^{-2}</math></i>	<i>121</i>

<i>2.3.10. Effet sur la teneur du sol en <math>\text{HCO}_3^-</math></i>	<i>123</i>
<i>2.3.11. Effet sur la teneur du sol en <math>\text{NO}_3^-</math></i>	<i>125</i>
<i>2.3.12. Conclusion</i>	<i>127</i>
<i>Conclusion Générale</i>	<i>128</i>
<i>Référence bibliographie</i>	
<i>Annexes</i>	

# Introduction

## Introduction

---

Dans les écosystèmes arides et semi arides, résulte des fortes évaporations d'eau à partir du sol (Munns et *al*, 2006), et une irrégulière et insuffisante pluviométrie (Mezni et *al*, 2002). Elle provient également de l'irrigation le plus souvent mal contrôlée (Ben Naceur et *al*, 2001). Chaque année, les surfaces perdues à cause de la salinité des sols, varient autour de 20 millions d'hectares dans le monde. Ainsi, les surfaces agricoles affectées dans le monde seraient de 340 millions d'hectares, soit 23% des terres cultivées dans le monde (Cheverry, 1995). Selon Szabolcs (1994), un milliard d'hectares est menacé, dont trois millions deux cent mille d'hectares en Algérie (Belkhodja et Bidai, 2004).

La salinisation est un processus d'enrichissement d'un sol en sels solubles qui aboutit à la formation d'un sol salin. La salinisation peut aussi être définie comme un processus d'accumulation des sels solubles. D'après Mermoud (2006), cette accumulation des sels à la surface du sol et dans la zone racinaire, occasionne des effets nocifs sur les végétaux et le sol; ensuite une diminution des rendements et la stérilisation du sol. La salinisation se produit généralement par la quantité d'eau perdue du sol par évapotranspiration dépassant celle provenant de l'infiltration des précipitations.

La salinisation entraîne un accroissement de la pression osmotique ce qui rend l'eau plus difficile à mobiliser par les plantes, une toxicité de certains ions pour les végétaux (Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, etc....) et une dégradation du sol (modifications de l'état structural, diminution de la conductivité hydraulique etc.....) (Nafzaoui, 1991 ; Aidoud et *al*, 2006 ; Belkhodja et Bidai, 2004 ; Abbad et *al*, 2004).

L'origine des sels peut être variée. Ils proviennent souvent de la décomposition de roches salifères sous l'influence des agents climatiques et des facteurs biologiques. (Benchetrit, 1956). Bien que l'altération des roches et les minéraux primaires soit la source principale de tous les sels, les sols salés sont rarement formés par accumulation de sels, plusieurs causes sont à l'origine de ce phénomène (Maillard, 2001).

En régime naturel, les conditions climatiques (précipitations, évaporation) différencient des dynamiques verticales descendantes, ascendantes ou complexes qui caractérisent les profils salins des sols halomorphes (Loyer, 1988). La surface des sols sodiques est parfois recouverte d'une véritable croûte saline ; ce phénomène a déjà été décrit il y a bien longtemps par Durand (1958).

Selon Servant (1986) la contamination des terres par les sels s'effectue par l'intermédiaire de l'eau qui est le vecteur de la salinité dans la majorité des cas, exception

## Introduction

---

faite, toutefois, des particules des sels pouvant être transportées par le vent lorsque les sols salés présentent une structure poudreuse, pseudo sableuse, riche en microcristaux de sel.

La richesse du sol en sels solubles ou en ions défloculants tels que le sodium se répercute dans sa morphologie, en surface et plus ou moins en profondeur. Dès que la salinité atteint un certain seuil, celle-ci provoque la dégradation des propriétés physiques du sol (notamment la structure), des propriétés chimiques et bioclimatiques (toxicité de certains éléments tels que le chlore et le sodium) (De Boodt, 1993). Qui contiennent ou ont contenu aux premiers stades de leur évolution un excès de sels solubles, son le principal problème de la mise en valeur et cela dans les Hautes Plaines où ils forment de vastes placages aux alentours des chotts. Ce sont surtout des solontchak où les chlorures de sodium qui sont en quantités, telles que la végétation naturelle de la région qui laisse place à une végétation halophile qui disparaît d'elle-même lorsque la proportion des sels augmente trop (Bonneau et al, 2010 ; Rezkallah et al, 2015).

En Algérie, comme pour la plupart des pays méditerranéens, dans les zones arides et semi-arides, la sécheresse observée depuis longtemps a conduit manifestement au processus de salinisation des sols (Ozenda, 1954). Cette dernière est non seulement liée aux conditions climatiques mais également au recours à l'irrigation, souvent mal contrôlée. Le fort ensoleillement et la faible pluviométrie font accumuler les sels dissous en surface (Bennacer et al, 2001). La combinaison de ces contraintes naturelles, sécheresse et salinité, devient de plus en plus stressante pour la croissance et le développement des plantes, dans leur milieu (Lauchli et Epstein, 1990), et une menace pour l'équilibre alimentaire (Kinet et al, 1998). Les dernières données montrent que plus de trois millions deux cent mille d'hectares sont salés en Algérie (Ministère de l'Agriculture, 2000).

D'après Quezel (1999) les steppes constituent, du point de vue biogéographique et écologique, une zone de transition entre le Sahara et la région méditerranéenne ; leur composition floristique est relativement pauvre et peu variée. En suivant le même auteur, d'après cette composition floristique, il est possible de distinguer cinq grands groupements: steppe à *Artemisia*, steppe à *Stipa tenacissima*, steppe avec des *Chenopodiacees*, steppe sur *substrats gypseux*, et steppe *halophyles*. Selon la composition spécifique et aussi d'autres caractéristiques qui ont été définies par plusieurs associations à l'intérieur de ces cinq grands groupements (Barry et Faurel, 1963).

En Algérie, il n'est recensé aucune étude cartographique fiable et précise permettant de délimiter les zones touchées par la salinité des terres et la quantification de la teneur des sels

## Introduction

---

dans le sol, néanmoins il existe quelques données fragmentaires qui donnent une idée générale sur le phénomène de salinité et de la dégradation des terres.

D'après Szablocs (1989) trois millions deux cent mille d'hectares subissent à des degrés de sévérité variable de phénomène de salinisation dont une bonne partie se trouve localisée dans les régions steppiques, où le processus de salinisation est plus marqué du fait des températures élevées durant presque toute l'année, ainsi que l'absence de drainage efficient.

Dans ce sujet, il y a une bonne présentation de la salinité de la nappe phréatique confirmée dans des études passées de la région nord du bassin d'effondrement Tébessa-Morsot, située à cheval entre deux communes (Morsot et El Aouinet) et caractérisées par une forte dynamique démographique et agricole. La région sera un pôle de développement des deux communes pour les prochaines décennies, classée de zone steppique s'étendant sur l'étage climatique semi-aride (300 à 400 mm), elle est dominée par une végétation particulière telle que l'armoïse (*Artemisia herba alba*), l'Alfa (*Stipa tenacissima*), le sparte (*Lygeum spartum*) et l'arroche (*Atriplex halimus*) (FAO, 2010).

L'introduction d'espèces végétales tolérantes aux stress abiotiques et de haute valeur socio-économique, constitue une des approches pour la réhabilitation des sols salins. Le choix idéal d'une végétation appropriée à ces conditions, constitue la première étape pour résoudre le problème de la salinité. C'est ainsi que l'introduction des espèces halophiles qui complètent leurs cycles de vie à des niveaux de salinité élevés et qui ont l'habileté d'accumuler de fortes concentrations en micronutriments, supérieures aux niveaux normaux (Wang et al, 1997; Saikachout et al, 2009) sont prometteuses pour le dessalement des sols dans les zones arides et semi-arides (Messedi et Abdelly, 2004).

Les plantes répondent aux contraintes de l'environnement par de nombreux changements, révélant le caractère multifactoriel des mécanismes de tolérance et d'adaptation aux stress abiotiques.

Selon Ozenda (1982) la famille des Chénopodiacées fournit le contingent majoritaire dans ces types de peuplements ; beaucoup de ses représentants halophiles ont une apparence de plantes grasses à rameaux articulés.

Les halophytes pérennes varient dans leur capacité à tolérer la salinité (Khan, 2002). Cette variation pourrait être due à un certain nombre de facteurs tels que la lumière, la température, et les variations de l'humidité (Baskin et Baskin, 1998., Mahmoud et al, 1983., Noe et Zedler, 2000 ; Zia et Khan, 2004).

Actuellement on appelle halophyte toute plante qui est en contact par une partie quelconque de son organisme avec des concentrations anormalement fortes de sels : végétations, plantes de bords de mer, de déserts, marais ou lacs salés. Les halophytes comprennent en réalité des espèces manifestant « en culture comparée » un meilleur développement dans les milieux enrichis en sels solubles et des espèces dites halo-résistantes en fait les plus nombreuses, qui tolèrent plus ou moins ces mêmes éléments (Corre, 1975). Les halophytes sont un groupe d'espèces végétales spécialisées du point de vue écologique, physiologique et biochimique, se développant sur des substrats salés, capables de produire des masses vertes et des graines pendant la période de vie (Aronson, 1985., O'Leary, 1985., Shamsutdinov, 1993 ; Shamsutdinov et Shamsutdinov, 2008).

Les halophytes, plantes adaptées aux salinités sévères, représentent l'un de ces groupes de plantes, qui constituent une phytoressource à intérêts multiples sur le plan fondamental, elles forment un outil d'étude pour les mécanismes impliqués dans la tolérance au sel et une source génétique pour l'amélioration des espèces cultivées. Ainsi, certaines halophytes apparentées à la glycophyte modèle *A. thaliana* ont été sélectionnées.

Les halophytes ont montré une tolérance remarquable à plusieurs contraintes abiotiques autres que la salinité, en effet plusieurs études ont montré des interconnexions des mécanismes de réponse à ces contraintes avec ceux de la réponse à la salinité. Il s'agit d'un phénomène connu sous le nom de «cross-tolérance». D'un point de vue fondamental, elles permettent d'élucider les différences des réponses adaptatives entre les halophytes et les glycophytes aux contraintes abiotiques en conditions de salinité (Moez Shiri, 2014).

Les avantages de l'utilisation de ces espèces, en particulier les *Atriplex*, réside dans les stratégies d'adaptations écophysiologicals, leur grande résistance à l'aridité et à la salinité (Belkhodja et Bidai, 2004).

Les systèmes racinaires d'*Atriplex* très ramifiés, jouent un rôle important dans la réhabilitation des sols dégradés et la lutte contre l'érosion des sols et la désertification (Abbad et al. 2004). Les techniques des plantations fourragères en utilisent des espèces exotiques soit *Medicago arborea*, *Opuntia ficus indica*, *Atriplex nummularia* et *Atriplex canescens*. Ces travaux entrent dans le cadre des activités d'entreprises par le Haut Commissariat au Développement de la Steppe (HCDS), pour la lutte contre la désertification depuis 1994 où le volet des plantations fourragères a restauré des parcours dégradés.

La démarche adoptée est basée sur l'étude synchronique en comparant des sols plantés des deux espèces d'*Atriplex* et un sol témoin, tous les quatre périmètres sont mis en défense

## Introduction

---

depuis quatre ans. Le but étant de déterminer les effets des plantations sur quelques paramètres physico-chimiques du sol.

Afin de tenter de répondre à notre objectif, les chapitres suivants seront traités :

- ✓ Généralités sur la salinité et les plantes halophytes
- ✓ Zone d'étude, Description de milieu physique ;
- ✓ Matériels et méthodes;
- ✓ Analyses et descriptions des résultats ;
- ✓ Conclusion générale.

# **CHAPITRE I**

## **Salinité des sols**

### 1. La salinité des sols

#### 1.1. Définition de la salinité des sols

Le phénomène s'observe, en effet depuis le cercle polaire jusqu'aux tropiques, les régions arides ou sub-arides sont loin d'être les seules concernées, il s'observe d'ailleurs depuis les niveaux les plus bas jusqu'à 5000 m (plateau tibétain) (Hamdy et *al*, 1995);

En Afrique du Nord et au Moyen Orient, ils couvrent près de 15 millions d'hectares dont 15 % sont dépourvus de toute végétation (Hamdy et *al*, 1995).

Les sols affectés par la salinité de différentes natures et à différents degrés couvrent plus de 80 millions d'hectares dans le pourtour méditerranéen.

La salinisation est la cause majeure de la dégradation des terres, malgré les différences entre ce processus et celui de la désertification, ils sont tous les deux étroitement liés ; la salinisation progressive engendre le phénomène de la désertification (Hamdy et *al*. 1995).

#### 1.2. Origine des sels

Les principales origines de la salinité dans le sol selon (Kalagi et Pikkientz, 1993; Ben fatoum, 1993) sont :

- ✓ Une roche mère saline.
- ✓ Les faibles précipitations.
- ✓ Les fortes évapotranspirations.
- ✓ Les irrigations par une eau salée.
- ✓ L'utilisation des fertilisants minéraux.

Selon Fitter et Hay (1987) et Hopkins (2003), les marais salins côtiers, sont caractéristiques de régions basses, souvent des estuaires, qui sont submergées à marée haute par l'eau de mer qui est constituée d'environ 3 % de chlorure de sodium.

Une forte salinité est également caractéristique des déserts continentaux, l'évaporation y est supérieure aux précipitations ; le drainage est faible ou nul et les sels s'accumulent dans les sols.

Une forte salinité est également présente sur les rives de lacs intérieurs, comme le grand lac salé ou la mer morte.

Une troisième catégorie de sols très salés est constituée par les terres agricoles qui ont été très irriguées, par un mauvais système de drainage et de l'utilisation des eaux salées (Hamdy et *al*, 1995).

### 1.3. Classification des sols salés

La salinité et la sodicité des sols, sont identifiées et qualifiées à partir de la composition ionique de la solution du sol, les ions les plus fréquemment présents dans la solution des sols salés sont le sodium, potassium, calcium, magnésium, carbonates, sulfates et chlorures, Quatre catégories des sols salés ont été définies à partir des valeurs de la conductivité électrique (CE) et de pourcentage de sodium échangeable ESP, (tableau 1).

**Tableau 1 : Catégories de sols salés et sodiques (d'après Black, 1958)**

	Conductivité électrique de l'extrait aqueux $\text{mS. cm}^{-1}$	ESP %
Sols salés		
- Non sodiques	> 4	< 15
- Sodiques	> 4	> 15
Sols non salés		
- Sols sodiques	< 4	> 15
- Sols non sodiques	< 4	< 15

### 1.4. L'impact de la salinité

#### 1.4.1. L'impact sur les sols

##### 1.4.1.1. Les propriétés biologiques

Jacquin et al. (1983) et Bencharif (1983) rapportent qu'une forte salinité peut provoquer le ralentissement de la biodégradation des composants organiques Bencherif (1983), signalent que dans un sol riche en cations tels que le  $\text{Ca}^{+2}$  et le  $\text{Mg}^{+2}$  la formation d'humus est très favorisée par contre s'il en est pauvre, il y a une augmentation de l'activité de moisissures ; l'inhibition de l'activité biologique par les sels se traduit par une forte teneur en composés hydrosolubles ; par ailleurs, la microflore du sol est influencée par le taux de salinité élevé réduisant sa densité.

### 1.4.1.2. Les propriétés physico-chimiques

Dans un sol, les sels les plus mobiles sont les plus solubles, les mouvements seront conditionnés par la présence de l'eau dans le sol et la dynamique qu'elle subit, mais les mouvements des sels sont aussi influencés par d'autres facteurs non moins importants, dont entre autres la température et la teneur en CO<sub>2</sub> (Djamai, 1993).

Durand (1958) cite trois grands mouvements des sels dans le sol :

#### A/ La lixiviation

C'est le processus de migration des sels solubles et concerne essentiellement les cations les plus mobiles, ceux qui sont susceptibles de modifier le pH du sol, il s'agit essentiellement des cations alcalino-terreux (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Ca<sup>+2</sup>) qui existent dans les solutions du sol à l'état d'équilibre avec la forme échangeable retenue par le complexe adsorbant.

Par exemple : Sol K → K<sup>+</sup> soluble.

Les migrations sous forme de sels solubles, généralement très mobiles, favorisent les processus de soustraction de l'ensemble du profil c'est-à-dire les pertes par drainage Profond, plutôt que la redistribution entre horizons, ceci est un aspect fondamental de la lixiviation.

#### B/ La capillarité

C'est la migration ascendante de certains sels en solutions émanant d'une forte évaporation superficielle ; il s'en suit un courant capillaire ascendant, s'accompagnant d'une précipitation superficielle des sels dissous : Ca<sup>+2</sup>, Na<sup>+</sup>, Fe<sup>+2</sup> .....etc.

Quand il y a un transfert de sels par capillarité, les teneurs relatives en ions solubles du sol deviennent identiques à celles de l'eau. Une remontée d'un mètre prend une durée moyenne de deux ans. Pour les particules colloïdales (les argiles) des sols, la remontée peut atteindre 50 m.

#### C/ La thermodialyse

L'abondance de quelques sels tels que les chlorures dans les horizons superficiels favorise le phénomène de la thermodialyse, c'est la migration des sels vers les horizons les plus chauds du profil de sol.

Lorsque un sol contenant des ions Na<sup>+</sup> devient humide sous l'action d'apport d'eau, les ions monovalents (Na<sup>+</sup> et K<sup>+</sup>) sont plus facilement libérés que les bivalents (Ca<sup>+2</sup> et Mg<sup>+2</sup>).

### 1.4.1.3. Les propriétés physiques

Les sels solubles et surtout le  $\text{Na}^+$  ont une influence considérable sur les propriétés physiques des sols (Djamai, 1993).

Les paramètres les plus affectés sont :

✓ **La structure**

Duthil (1973) explique que la stabilité structurale d'un sol décroît dès que le taux de sodium échangeable atteint 12 à 15 %, la destruction de la structure est exprimée par un manque de cohésion et une grande sensibilité à la dispersion; suite au phénomène de gonflement, les colloïdes argileux présentent une aptitude variable à l'hydratation, celle-ci est maximale pour les argiles gonflantes sodiques, ou la salinité a des effets majeurs sur les propriétés des sols. Le gonflement et la dispersion sont directement influencés par la minéralogie de l'argile et la richesse du sol en  $\text{Na}^+$ .

Les indices de compression et de gonflement de la même argile dépendent des cations absorbés, le  $\text{Na}^+$  donne les indices les plus forts, le  $\text{Ca}^{+2}$  le moyens, et le  $\text{Fe}^{+2}$  et le  $\text{K}^+$  les plus faibles, ce qui a été confirmé par (Henin, 1977), qui a pu mesurer des indices de gonflement de  $11 \text{ cm}^3/\text{g}$  pour une argile sodique et de  $2.5 \text{ cm}^3/\text{g}$  pour une argile calcique ; un tel gonflement affecte les propriétés de circulation d'eau et l'aération provoquée par l'altération de la géométrie du sol poreux et la présence de pellicules d'eau autour de  $\text{Na}^+$  (Al Der Moch, 1976).

✓ **La capacité de rétention de l'eau**

Le sodium par son pouvoir gonflant et dispersant, réduit la macroporosité ce qui provoque une diminution de la perméabilité et de la vitesse d'infiltration à la surface du sol et par conséquent l'accroissement de l'érosion (Al Der Moch, 1976).

D'après Halitim (1973) les sols salins peuvent rester humides même en saison sèche suite à leur richesse en éléments minéraux hygroscopiques. La capacité de rétention en eau diminue en fonction de la nature des cations dans l'ordre suivant :  $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{+2} > \text{Ca}^{+2} > \text{K}^+$ .

### 1.4.2. L'impact sur les végétaux

Les conséquences d'un stress salin peuvent résulter de trois types d'effets que le sel provoque chez les plantes «effets directs».

- ✓ **Stress hydrique** : une forte concentration saline dans le sol est perçue par la plante comme une forte diminution de la disponibilité en eau ; cela nécessite un ajustement

osmotique adaptée afin que le potentiel hydrique cellulaire demeure inférieur à celui du milieu extracellulaire et à celui du sol.

- ✓ **Stress ionique** : la toxicité ionique survient lorsque l'accumulation des sels dans les tissus perturbe l'activité métabolique.
- ✓ **Stress nutritionnel** de concentration saline trop forte dans le milieu provoquent l'altération de la nutrition minérale de la plante (Levegneron et al, 1995).

Une plante cultivée dans un sol riche en sel doit faire face à la pénétration du sel dans ses tissus (Levegneron et al, 1995).

Leclerc (1999) mentionne qu'il y a un barrage efficace contre l'entrée de Na Cl. Les ions chlorures et sodium qui entrent par les racines, sont véhiculés par la sève xylémique jusqu' aux tiges et aux feuilles, là, ils sont soit stockés, c'est le cas des plantes de type include, soit au contraire, très peu retenus et véhiculés par la sève phloémique jusqu' aux racines, le cas des plantes de type exclude (Levegneron et al, 1995).

La saturation de l'espace intercellulaire des parties aériennes des végétaux par le sel est responsable de la nécrose et la mort cellulaire, à l'intérieur des cellules, les ions sont accumulés dans la vacuole, tandis que le potentiel osmotique du cytoplasme est ajusté avec des solutés organiques dites compatibles, composés d'amines (essentiellement proline et bétaines) de sucres et de polyols.

L'effet de salinité sur le sodium et le potassium dans la plante Chez la fève soumise à trois degrés de stress salin 50,100,150, méq/l de (NaCl+CaCl<sub>2</sub>) les cations sodium et le rapport  $K^+ / Na^+$  sont déterminés dans les parties aériennes et racinaires, la concentration du sodium varie de 3.50 à 7.6 µg/mg de matière sèche dans les tiges, et était moins nette dans le feuillage et plus élevée dans les racines et la tige, les valeurs de ce rapport indiquent une plus grande sélectivité du potassium dans le feuillage comparés aux tiges et racines (Belkhodja et Chadli, 2000).

L'accumulation du sodium au niveau des calcs est proportionnelle à la diminution du potentiel osmotique cellulaire (Kinet, 1998).

### 2. Généralités sur l'*Atriplex*

Les *Atriplex* font partie des halophytes qui sont étudiés pour devenir éventuellement des plantes cultivées, elles s'acclimatent à toutes sortes de conditions et elles sont utiles pour freiner l'érosion. Les *Atriplex* poussent aussi bien dans des sols non salins que dans ceux qui sont fortement salins et sont ainsi des halophytes facultatives (Le Houerou , 1992).

#### 2.1. Ecologie de l'*Atriplex*

Les halophytes provenant de toutes les parties du monde (Raven, 2007), l'*atriplex halimus.L.* Est un arbuste natif d'Afrique du Nord où il est très abondant, il s'étend également aux zones littorales méditerranéennes de l'Europe et aux terres intérieures gypso salines. Selon Pottier (1979).

*A. halimus* se développe sur les sols sableux et les terrains argilo-calcaires salés. *A. nummularia* cultivé dans tous les pays de l'Afrique du Nord, et du Moyen Orient, ainsi en Espagne (Duthil, 1973) originaire d'Australie, a été introduite en Afrique, en Italie et en Grèce (Ernest, 1981).

##### 2.1.1. Répartition dans le monde

Il existe plus de 400 espèces de genre *Atriplex* distribuées à travers le monde principalement dans les zones tempérées, subtropicales et méditerranées (Franclet et le Houérou, 1971) entre une latitude 20° et 50° (Osmond et al. 1992 ; Houérou, 1996).

Le Houérou (1977) a opté pour une répartition d'ordre bioclimatique selon les étages. Il a constaté que les espèces du genre *Atriplex* sont localisées généralement dans les régions arides qui peuvent atteindre l'étage humide, exemple : *A halimus subsp halimus*, *A. portulacoides subsp lavis* ; et d'autres qui se trouvent même en climat hyper- aride, mais sous irrigation ou en présence d'une nappe phréatique peu profonde exemple ; *A. coriacea*. Le nombre approximatif d'espèces d'*Atriplex* dans divers régions du monde est présenté dans le (Tableau.2) (Quezel et Santa, 1962) ; *Atriplex halimus* est la plante autochtone la plus représentée sur le pourtour méditerranéen, elle est classée en seconde position après L'espèce australienne *A. nummularia* pour la superficie occupée (Le Houéro, 2000 ; Martinez et al, 2003 ; Nedjimi. 2010).

**Tableau 2 : Répartition numérique des espèces dans le monde (Le Houérou, 1992)**

<b>Pays ou régions</b>	<b>Nombre d'espèces et/ou sous espèces</b>	<b>Pays ou régions</b>	<b>Nombre d'espèces et / ou sous espèces</b>
-Etats unis	110	-Baja Californie (Mexique)	25
-Australie	78	-Afrique du nord	22
- Europe	40	- Texas	20
- URSS	40	- Afrique du sud	20
-Proche orient	36	- Iran	20
-Mexiques	35	- Syrie	18
-Argentine	35	-Palestine/ Jordanie	17
-Californie	32	- Algérie /Tunisie	17
- Chili	30	- Bolivie / Pérou	16

### 2.1.2. Répartition en Algérie

En Algérie, il existe 13 espèces natives dont cinq pérennes et huit annuelles (Le Houérou, 1986) (tableau 3).

A cette liste deux espèces naturalisées ont été rajoutées.

*A. semibaccata* R Br : espèce pérenne.

*A. inflata* F.V Muell : espèce annuelle.

La Haute Commissariat au Développement de la Steppe dans le cadre du programme d'amélioration des parcours steppiques, a introduit à partir de 1985 les espèces suivantes :

*A. lentiformis* S.Wats : originaire de Californie.

*A. canescens* (purch) : originaire des USA

*A. nummularia* Lindl subsp *nummularia* : originaire d'Australie.

**Tableau 3 : les diverses espèces d'*Atriplex* dans les régions d'Algérie**

Esp pérennes	Régions	Esp annuelles	Régions
<i>A coriacea forssk</i>	Biskra, Oued Rhir	<i>A chenopiodies batt</i>	Bouhamifia prés Mascara
<i>A glauca L</i>	Commune en Algérie	<i>A diomorphostegia kaetkir</i>	Commune au Sahara septentrional
<i>A Halimus L</i>	Commune dans toute Algérie Sahara septentrional Sahara central	<i>A diomorphostegia kaetkir</i> <i>A hastata L</i> <i>A littoralis L</i>	Sahara central Commune dans le Tell. Environ d'Alger
	Sahara occidental	<i>A patula L</i>	Commune dans le Tell.
<i>A mollis desf</i>	Biskra, Oued Rhir	<i>A rosea L.</i>	Biskra et sur le littoral d'Alger et Oran.
<i>A Portulacoides L</i>		<i>A totarica L.</i> <i>A tornabeni tineo.</i>	Annaba, Sétif.

## 2.2. Taxonomie d'*Atriplex*

Selon Emberger (1955) et Chaudefaut (1960) les *Atriplex* sont classées de la manière suivante :

Règne :	végétale
Embranchement :	spermaphytes
Sous-embranchement :	angiospermes
Ordre :	centrospermales
Classe :	dicotyledons
Famille :	chénopodiacées
Tribu :	cyclobées
Genre :	<i>Atriplex</i>

### 2.3. Ecophysiologie de l'*Atriplex*

Des études physiologiques sur les halophytes montrent que ces plantes sont dotées de mécanismes d'adaptations particuliers, nécessaires pour leur croissances et reproductions, bien qu'ils soient physiologiques, morphologiques ou comportementaux, ces mécanismes d'adaptations, par leurs actions singulières ou combinées, assurent l'existence dans des environnements sévères (Batanouny, 1996). Ces mécanismes sont classés et présentés brièvement comme suit :

#### 2.3.1. Mécanismes d'évitement

Le terme évitement est utilisé en deux sens : le premier inclut l'échappement au stress dans le temps (croissance pendant des périodes favorables) et dans l'espace (dans des horizons ou sites favorables). L'autre utilisation du terme inclut la protection des tissus des plantes des effets du stress (Batanouny, 1996 ; Gorham, 1996).

##### 2.3.1.1. Mécanismes d'évasion

Concerne les actions suivantes (Batanouny, 1996) :

- ✓ La sélectivité contre  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ .
- ✓ Divergence des sels hors des tissus assimilateurs.
- ✓ La compartimentation des sels à l'intérieur des organes tissus et cellules des plantes.
- ✓ Retranslocation des sels vers les racines puis leur exclusion.
- ✓ L'excrétion des sels par les glandes à sel ou bien par les poils vésiculeux.
- ✓ Production des racines adventives.

##### 2.3.1.2. La tolérance

Il s'agit des actions suivantes (Ben Ahmed, 1995 ; Batanouny, 1996) :

- ✓ L'accroissement de la résistance des cellules, tissus et organismes aux sels.
- ✓ La production des protectants (protecteurs osmotiques qui préservent structures cellulaires pendant le stress).
- ✓ Adaptation spécifique des ions du cytoplasme.
- ✓ Ajustement osmotique.
- ✓ Augmentation de halo-succulence : la succulence de la tige et des feuilles.

### 2.4. Intérêts de l'*Atriplex*

Lorsqu'elle est associée aux arbustes fourragers (*Cactus et Acacia*) l'*Atriplex halimus* peut assurer une alimentation complète dans les régions aride (Ziani, 1970). Son rendement dans les zones arides d'Afrique du Nord est de 2000 à 5000 Kg de matière sèche à l'hectare et par an, ceci correspond à une production de cinq à dix fois plus élevée que celle des meilleurs parcours soumis aux mêmes conditions de milieu (Franclet et Houerou, 1971).

Les *Atriplex* comme tous les autres arbustes fourragers, constituent un facteur de protection de l'environnement aride et semi-arides par :

- ✓ La protection contre l'érosion éolienne (Ozenda, 1983).
- ✓ La fixation du sol et la conservation des eaux.
- ✓ La fixation des dunes, protection des oasis des routes, etc. (Le Houérou, 1992).
- ✓ La réduction de l'aridité par l'augmentation de la rugosité et diminution de l'albédo (Mc Kell. 1995).
- ✓ La désalinisation des terrains affectés par les sels solubles (Mc Kell, 1995).
- ✓ La détoxification des sols pollués (Le Houérou, 1980).

En Afrique du Nord, ils offrent la possibilité de régénérer des pâturages dont la production est très irrégulière, de valoriser des sols salés ou top squelettiques pour les autres espèces fourragères (Nafzaoui, 1991).

## **CHAPITRE II**

### **Description De Terrain**

### 1. La situation géographique de la région d'étude

La région d'étude fait partie des zones semi-arides de l'Algérie avec des précipitations inférieures à 400 mm par an. Cette zone est située à une cinquantaine de kilomètres au Nord de la ville de Tébessa et à 260 km de la mer Méditerranée, à la limite de la frontière Algéro-Tunisienne. Elle appartient entièrement au bassin versant saharien et fait une partie intégrante des hauts plateaux qui constituent un réseau serré de montagnes de moyenne à forte altitude plus ou moins séparées par des dépressions. Elle s'étend sur presque 140 Km<sup>2</sup> depuis Morsott au Sud jusqu'à El Aouinet au Nord.

Géographiquement la zone étudiée est située à l'extrême Nord-Est de l'Atlas saharien, entre les coordonnées suivantes : une longitude et une latitude respectivement entre 7°- 8° 00 E et entre 35 ° et 45 ° N Fehdi. (2008).

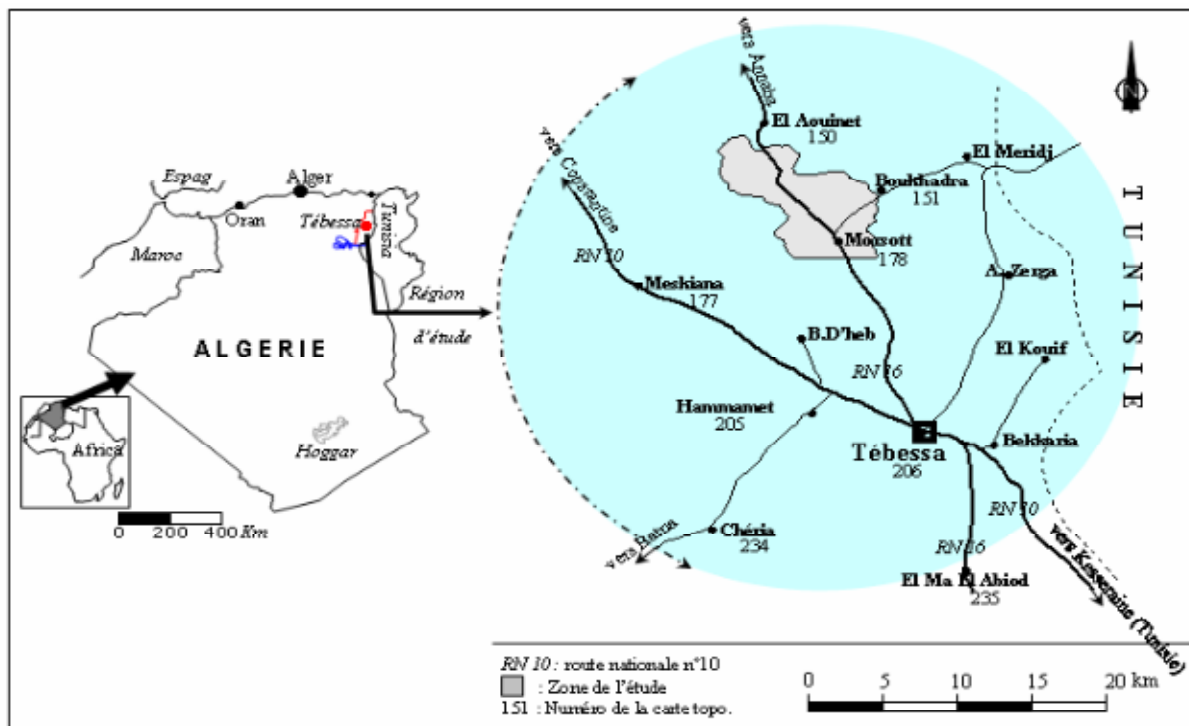


Fig. 01- Situation géographique de la région d'étude

Cette zone est limitée au Nord par la ville d'El Aouinet, au Sud se trouve le bassin d'effondrement Tébessa-Morsott, à l'Est cette zone d'étude est limitée par la commune de Boukhadra et à l'Ouest par le bassin de Meskiana (Figure 1).

La région d'étude couvre le fossé tectonique Plio-quaternaire de Morsott qu'emprunte sur tout son cours, le lit de l'Oued Chabro .Ce fossé sépare à l'Ouest par le diapir de Argoub Zembai du diapir de Boukhadra à l'Est. Ce large fossé d'effondrement est entouré par des

massifs calcaires. Au Nord on trouve, Djebel Mesloula, à l'Est Djebel Guelb, El Gounatas et Djebel Boukhadra, Belkif et Argoub Zambai constituent le reste des limites.

### 1. Topographie

Selon (Fehdi, 2008) La région d'étude présente une allure de dépression fermée. Son altitude varie entre 690m (au centre de la cuvette) et 1400m vers le sud de la région étudiée (le sommet le plus haut de la région est le Djebel Boukhadra situé à l'est et qui présente une altitude de 1402m).

La partie centrale de la région est constituée d'un fossé tectonique enserré par des montagnes escarpées à l'est et à l'ouest (Figure. 2).

Les reliefs se caractérisent, du Nord au Sud, par leur organisation en éléments quasiment parallèles, que l'hydrographie a souvent entrecoupés de façon perpendiculaire

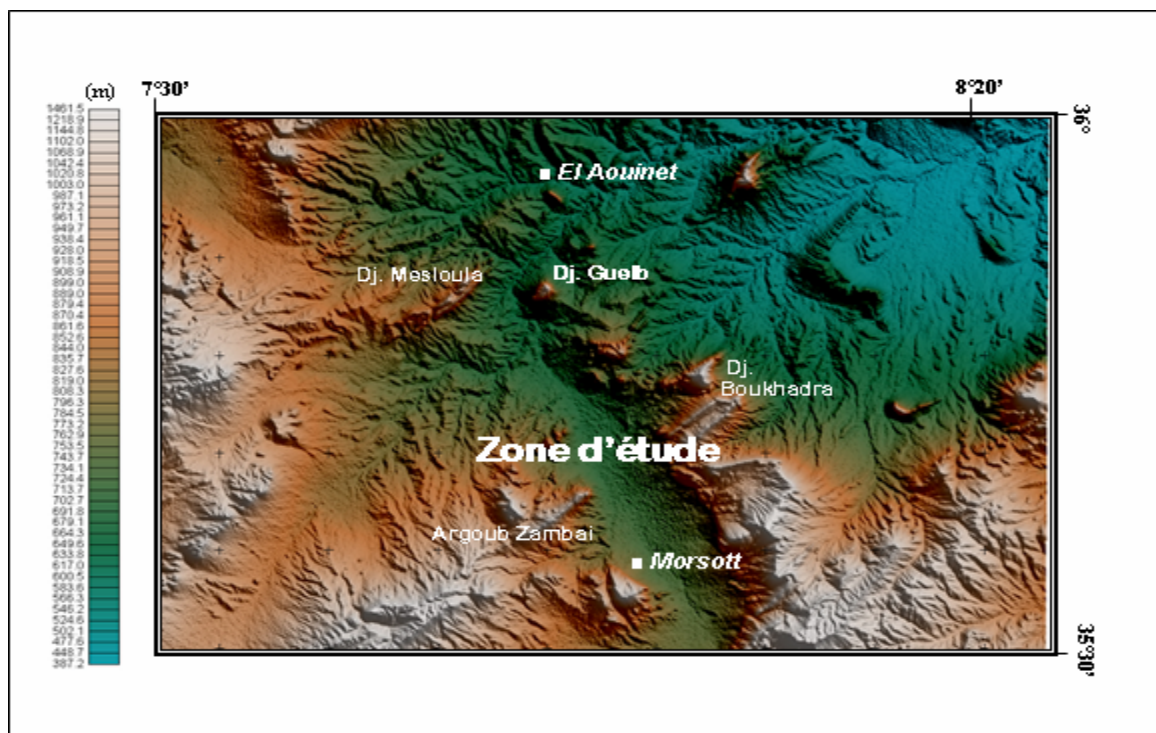


Figure 2 : Carte topographique de la région d'étude (digitalisée par l'O.R.G.M sur Mapinfo à partir des cartes topographiques au 1/50000)

### 3. Le couvert végétal de la région d'étude

Le paysage végétal de la région est très dégradé, ce qui entraîne une grande perte d'eau causée par le phénomène de l'évapotranspiration.

La végétation sous son aspect purement botanique ou phytogéographique, mais sous son aspect de couverture du sol est plus ou moins modifiée par l'homme. Nous en adaptons

donc la présentation afin de distinguer les différents types de végétation.

La partie septentrionale de la région d'étude est relativement humide et par conséquent les forêts sont un peu denses ; mais les parties cultivables sont souvent basses et plus sèches. La ligne de crête appelée souvent la haute chaîne est marquée souvent par une pluviométrie moins importante, les forêts sont à base de pin d'Alep, de Dis, de lentisques et les chaînes vertes épineux constituent un véritable maquis surtout à Djebel Boukhadra, Hod Seghir et Hod Kebir (Fehdi, 2008).

#### 4. L'hydrographie de la région d'étude

Le réseau hydrographique est bien développé et représenté avec des petits cours d'eau temporaires aux larges vallées bien élaborées, se déversant dans des grands oueds dont les plus importants sont oued Mellegue et oued Chabro (figure 3).

L'oued Chabro coule le long de la partie d'étude, il a un écoulement pérenne, il est soutenu principalement par le système aquifère de la zone d'étude, son écoulement est lié aussi aux précipitations, notamment orageuses, qui coïncident avec la fin du printemps et de l'été, l'écoulement du système hydrographique se fait du Sud vers le Nord, caractère typique des oueds de toute la région.

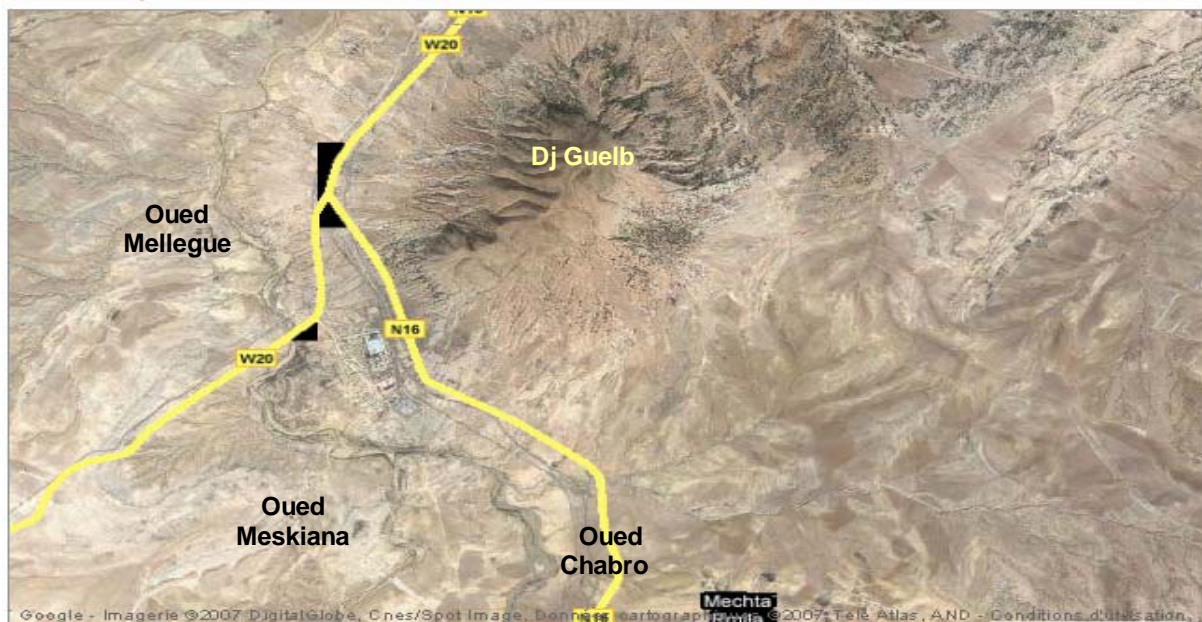


Figure 3 : Photo satellite montrant les différents oueds de la région d'étude (Source : Google 2007, CNRS/Spot image)

L'apport de oued Chabro est très faible où on note un accroissement de la lame d'eau d'amont en aval.

Tous les affluents ont un écoulement temporaire très limité, à la suite de fortes précipitations orageuses. L'écoulement du système hydrographique se fait du Sud vers le Nord, caractère typique des oueds de la région.

Les fortes valeurs de débit ont été enregistrés au niveau de la station d'El Aouinet, ce la est dû à la contribution des eaux de oued Meskiana qui constitue un apport supplémentaire où sa jonction avec oued Chabro donne naissance très en aval à l'oued Mellegue.

L'évolution des débits mensuels interannuels et les précipitations montrent une incohérence très nette où seul le mois de décembre semble présenter des chroniques de précipitations et de débits cohérentes.

En général les écoulements à travers la région d'étude présentent des particularités à système pluvial orageux dans son ensemble, régis par des modes d'alimentation, et des conditions de rétention et restitution qui sont à l'origine des écarts entre les impulsions de débits et les hauteurs de pluies.

## **5. Contexte socio-économique**

La zone d'étude est située dans la zone intermédiaire entre la ville de Tébessa située au Sud et la partie Nord de la wilaya (riche par ses ressources minières). Elle se caractérise par une occupation de l'espace plutôt lâche avec une dotation naturelle relativement modeste.

Cette différence de potentiel entre cette zone intermédiaire et l'espace Sud et Nord de la région explique les mouvements de populations agricoles et pastorales en direction de ce pôle de concentration par un comblement progressif des espaces sous occupés.

L'économie de la région repose principalement sur les activités agricoles et les activités urbaines situées en amont et en aval de l'agriculture. Elle est en effet à forte vocation pastorale et a d'ailleurs constitué une zone de parcours et de transhumance des troupeaux ovins, jusqu'au milieu des années 90. Depuis cette époque, la région connaît une activité agricole très importante et une grande consommation d'eau, avec une très grande variété de cultures, céréalières, maraîchères et arboricoles.

## **6. Climatologie de la région d'étude**

Le climat est un phénomène naturel qui influe d'une manière direct ou indirect par ses différents paramètres sur les propriétés physico-chimiques et mécaniques des roches et des sols, notamment par l'abaissement de leurs résistances et ceci par altération, saturation...etc. Ils jouent un rôle important dans le régime hydrologique des cours d'eau et dans

l'alimentation des eaux souterraines. Cela prouve la relation étroite entre la climatologie et la géotechnique.

Un climat semi-aride par exemple, caractérisé par un hiver très froid et un été très chaud et sec, aboutit à des phénomènes de retrait de glissement des sols argileux. Les périodes de sècheresse étalées sur plusieurs mois de l'année hydrologiques, vont contribuer à la perte considérable de l'eau des interstices des argiles, et donc leur retrait, ce qui va produire des glissements par la suite.

Le Tableau.4 fait l'état de la station géographique des données climatologique disponibles s'étalant de 2000-2014.

**Tableau 4 : Station géographique**

Nom de la station	Altitude Z(m)	Longitude X (km)	Latitude Y (km)	Période d'observation
Tébessa	890	991.9	247.2	2000-2014

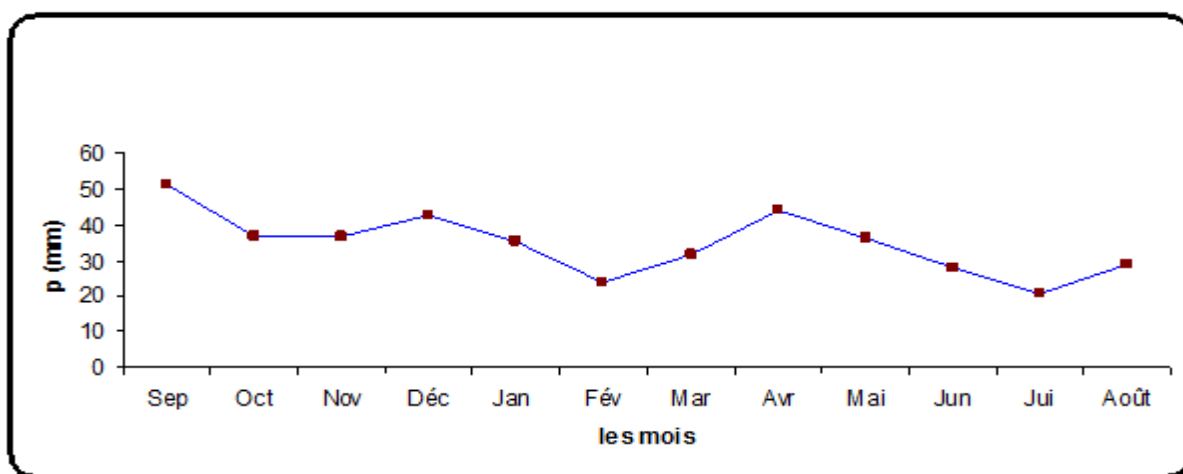
## 6.1 Paramètres climatologiques

### 6.1.1 Précipitation

La précipitation est un facteur fondamental pour caractériser le climat d'une région. Elle conditionne l'écoulement saisonnier ainsi que les régimes de cours d'eau. La pluviosité augmente avec l'altitude et diminue à mesure de s'éloigner de la mer.

#### a-Variation mensuelle de la précipitation

Pour expliquer l'appartenance à une région à faible précipitation atmosphérique, il est nécessaire d'analyser les données pluviométriques de la région sur une série d'observations bien déterminées (Fig. 4).



**Figure 4 : Variations des précipitations moyennes mensuelles (2000-2014)**

Le Tableau.5 montre les valeurs moyennes mensuelles durant cette période d'observation, nous pouvons admettre que la précipitation est très faible dans l'ensemble et présente une grande irrégularité de moyennes mensuelles.

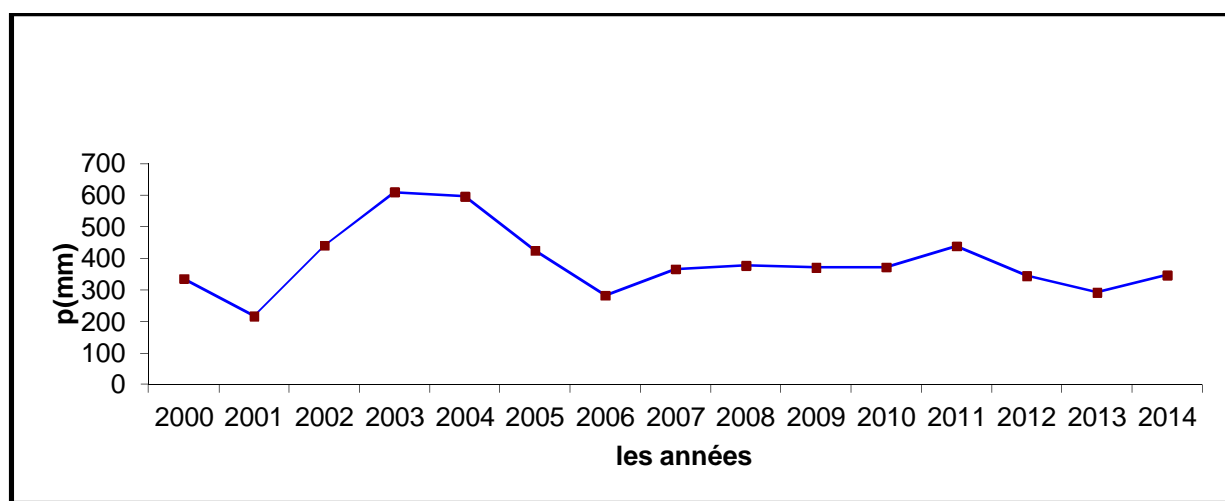
**Tableau 5 : Moyenne de Précipitations mensuelles**

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Ma	Avr.	Mai	Juin	Juill	Août	Moy
P (mm)	51.4	36.8	36.8	42.4	35.1	24	31.4	44.1	36	28	20.6	29	34.63

Nous constatons un maximum de pluie au mois de septembre (51.4mm) et un minimum de pluie au mois de Juillet (20.6mm).

**b- Variation inter –annuelle des précipitations :**

L'analyse de la courbe des variations inter annuelle des précipitations sur une période de 14 ans (2000-2014) (fig. 5) montre que l'année 2003 est la plus arrosés avec (609.5mm).



**Figure 5 : Variations des précipitations moyennes inter annuelles (2000-2014)**

Utiliser les données de la station la plus proche de la zone d'étude, et qui est celle de Tébessa. Dans cette station, nous avons une série d'observation de 14 ans (2000-2014). D'après la courbe de réparation inter annuelle de la précipitation, l'année (2003-2004) est la plus pluvieuse (609.5mm) contre (217.5mm) pour l'année (2001-2002), ce qui représente une différence de (392mm), alors que la moyenne annuelle sur ces 14 ans est de l'ordre de (415.46mm), l'année 2001 est la plus sèche avec (217.5 mm), (Tableau.6)

**Tableau 6 : Précipitations moyennes annuelles (2000-2014)**

Années	P (mm)
2000	335.8
2001	217.5
2002	441
2003	609.5
2004	596.1
2005	424.8
2006	282.6
2007	366.3
2008	377.2
2009	371.5
2010	372.3
2011	438.6
2012	344.7
2013	292
2014	346.5

**6.1.2. Températures :**

La température est un paramètre important, la variation remarquable de la température entre jour et nuit facilite le phénomène de gel et de dégel, ce phénomène contribue dans la désagrégation physique des formations surtout rocheuses.

La température se caractérise par la somme d'énergie qui est en relation avec l'évaporation. Nous avons pris les données de la température de la station de Tébessa pour la même période d'étude (2000-2014).

**a- Variation mensuelle des températures :**

Les températures moyennes mensuelles sont représentées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau.7 Moyenne des Températures mensuelles**

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Ma	Avr.	Mai	Juin	Juill	Août	Moy
T (mm)	23.63	19.5	12.9	8.5	7.26	8.01	12.0	15.7	20.42	25.83	29.6	28.8	17.68

L'analyse de la courbe des variations des moyennes mensuelles des températures (Fig.6) montre que :

- ✓ le mois le plus froid est le mois de Janvier avec une température moyenne mensuelle ( $7.26^{\circ}$ ).
- ✓ le mois le plus chaud est le mois de Juillet avec une température moyenne mensuelle ( $29.6^{\circ}$ ).

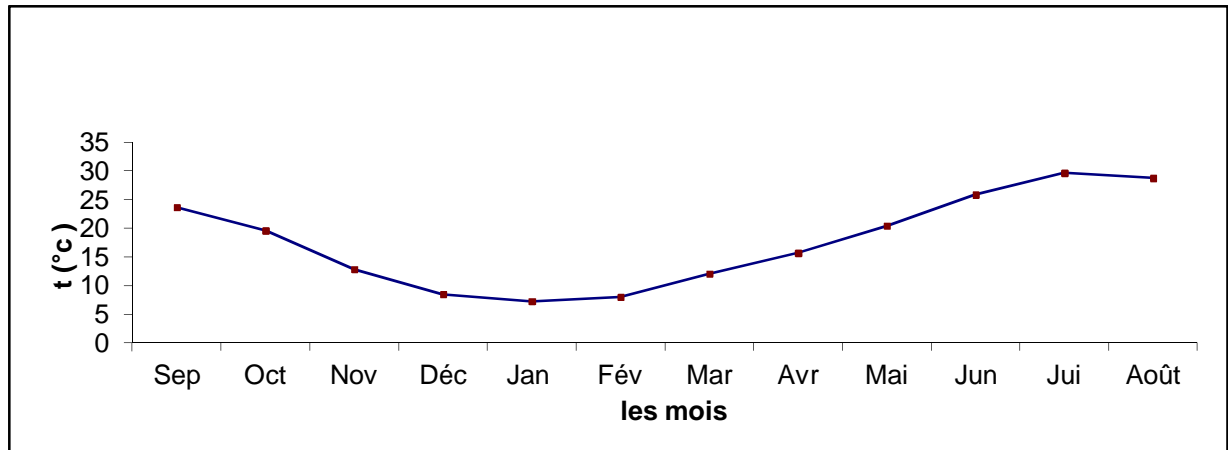


Figure 6 : Variation des températures moyennes mensuelles (2000-2014)

**b- variation inter annuelle des températures :**

L'analyse de la courbe des variations des moyennes annuelles des températures (Fig. 7) montre que :

- ✓ L'année la plus froide est l'année 2004 avec une température moyenne annuelle de  $15.97^{\circ}\text{C}$ .
- ✓ L'année la plus chaude est l'année 2001 avec une température moyenne annuelle de  $17.27^{\circ}\text{C}$ .
- ✓ La moyenne annuelle thermique  $16.51^{\circ}\text{C}$ .

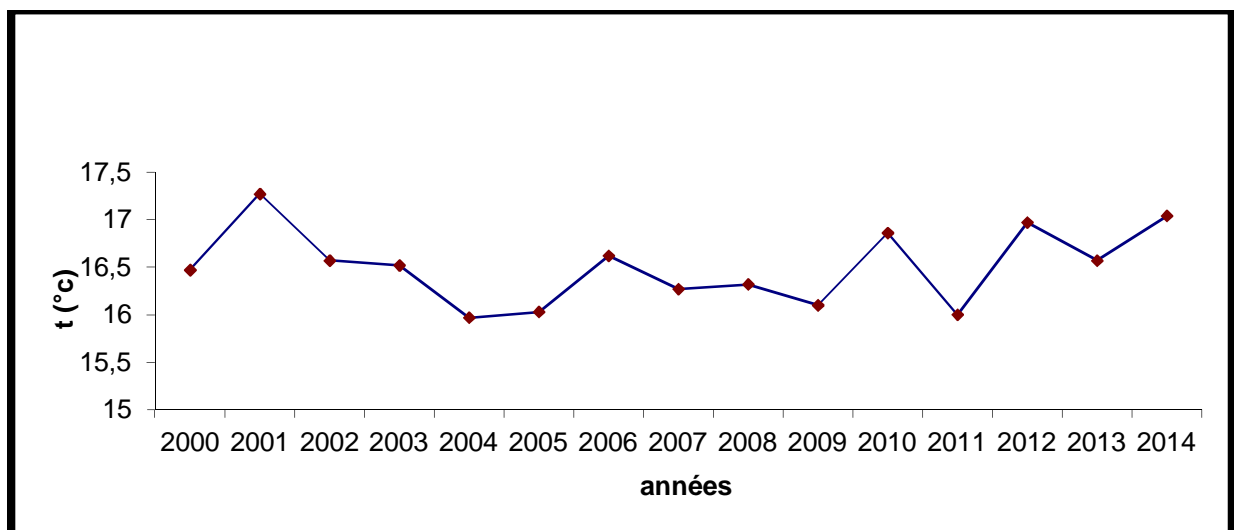


Figure 7 : Variation des températures moyennes inter annuelles (2000-2014)

Températures moyennes annuelles sont représentées sur le tableau suivant :

**Tableau.8 Moyenne de températures annuelles**

Années	T (°C)
2000	16.47
2001	17.27
2002	16.57
2003	16.52
2004	15.97
2005	16.03
2006	16.62
2007	16.27
2008	16.32
2009	16.1
2010	16.86
2011	16.0
2012	16.97
2013	16.57
2014	17.04

### 6.1.3. L'humidité :

L'humidité représente la quantité d'eau retenue dans l'air (comme on a déjà signalé avant que la région d'étude appartienne à l'étage climatique semi-aride), le rôle de ce facteur c'est qu'il peut faciliter ou bien accélérer le phénomène d'altération chimique à la surface de la terre, le tableau.9 montre la moyenne de l'humidité mensuelle.

**Tableau 9 : Moyenne de l'humidité mensuelle**

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Ma	Avr.	Mai	Juin	Juill	Août	Moy
H (%)	63.2	63.4	70.0	73.0	74.5	70.1	65.2	62.4	58.5	49.2	43.4	46.3	61.6

- ✓ Le mois de juillet étant le mois le plus sec avec un pourcentage moyen de 43.4 %.
- ✓ Le mois le plus humide est le mois janvier avec un pourcentage moyen de 74.5 %.

#### **6.1.4. La neige :**

Ce phénomène a un rôle très important car les précipitations neigeuses suivies par une lente fonte enrichit au maximum l'infiltration et par la suite l'imbibition des sous sols des fondations, et la réaction des phénomènes qui peut être dangereux pour les sols des fondations, nous citons par exemple :

- ✓ gonflement des sols argileux.
- ✓ Lessivage des gypses.
- ✓ Augmentation des niveaux des eaux souterraines (nappe phréatique).....etc.

#### **6.1.5. Les vents :**

Les vents dans notre région d'étude sont caractérisés par leur direction, leur vitesse et leur intensité, le vent de direction N-S ou le siroco engendre une forte évapotranspiration et un séchage chassant l'humidité (Station de Météorologie de Tébessa 2014).

#### **6.1.6. L'évaporation :**

L'évaporation est le phénomène par lequel un liquide est transformé en vapeur ou en gaz. Ce phénomène est étudié par plusieurs expérimentateurs pour déterminer les différents facteurs régissant l'évaporation de l'eau, cette dernière dépend de :

- ✓ La production de chaleur.
- ✓ Le vent.
- ✓ La chaleur emmagasinée.
- ✓ La qualité de l'eau.
- ✓ La pression barométrique.

Au niveau de la station météorologique de Tébessa, l'évaporation est mesurée à l'aide d'un bassin d'évaporation de type « Colorado ».

Les moyennes mensuelles pour la même période d'observation (2000-2014), sont résumées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 10 : L'évaporation en mm et en % (Station météorologique Tébessa, aéroport, 2000-2014).**

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Ma	Avr.	Mai	Juin	Juill	Août
Evaporation (mm)	221.16	161.4	109.16	93.62	88.89	105.95	133.53	175.05	224.68	280.37	367.95	<b>332.95</b>
Evaporation (%)	<b>9.64</b>	<b>7.03</b>	<b>4.76</b>	<b>4.08</b>	<b>3.87</b>	<b>4.62</b>	<b>5.82</b>	<b>7.63</b>	<b>9.79</b>	<b>12.22</b>	<b>16.03</b>	<b>14.51</b>

D'après l'analyse de ces données, nous pouvons dire que :

- ✓ Le mois de juillet est le mois où l'évaporation atteint son maximum avec une moyenne mensuelle égale à 16.03 mm.
- ✓ Le mois de janvier est le mois où l'évaporation est minimale avec une moyenne mensuelle de 3.87 mm.

### 6.1.6.1. L'évapotranspiration

L'évapotranspiration est sans doute l'une des données climatologiques les plus difficiles à approcher. Dans le bilan hydrique, elle est le terme le plus important après les précipitations, elle résulte de deux phénomènes : physique « évaporation » et biologique : « transpiration », ce phénomène important du cycle hydrologique est en fonction de plusieurs facteurs : (humidité, température, l'insolation, couvert végétal...).

L'ETP : correspond à l'évapotranspiration d'une surface qui serait suffisamment approvisionnée en eau pour évaporer la quantité d'eau maximale permise par les conditions climatiques (cas des nappes superficielles peu profondes).

L'ETR : évapotranspiration dépend de l'état du stock en eau du sol.

### 6.1.6.2. Evapotranspiration réelle annuelle moyenne (ETR)

On peut la déterminer par les équations empiriques telles que celle de *L. Turc* et de *Coutagne*.

- ✓ **Formule de L. TURC annuelle**

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

P : Précipitations annuelles moyennes en (mm)

L = 33 + 25T + 0.05T<sup>3</sup> où T est la température annuelle moyenne en ° C.

**Tableau 11 : Evaporation en mm et en % selon la formule de TURC ( Station météorologique Tébessa aéroport 2000-2014)**

Nom de la station	P (mm)	ETR (mm)	ETR (%)
El Aouinet	266.35	254.88	95.69

✓ **Formule A. Coutagne**

Donnée comme suit :

$$ETR = P - \lambda P^2$$

Cette formule n'est valable que lorsque les précipitations sont comprises entre 12 et 18 de  $\lambda$ .

Avec :  $\lambda = \frac{1}{T}$  T : température moyenne annuelle en  $^{\circ}C$

Cette formule n'est pas applicable pour la région d'étude puisque la condition de départ n'est pas vérifiée.

✓ **Formule de G.W Thornthwaite**

L'évapotranspiration potentielle non corrigée est donnée par la formule :

$$ETP (mm) = 16. (10 T/I)$$

**6.2. Type de climat:**

On peut connaître le type de climat d'une région en calculant l'indice d'aridité.

Calcul l'indice d'aridité de Martone :  $I = (P/T) + 10$ ,

I : indice d'aridité

P : précipitation moyenne annuelle en (mm)

T : température moyenne annuelle en ( $^{\circ}C$ )

Application :  $P = 34.63$  ;  $T = 17.68$ , Donc  $I = 11.96$

En se basant sur les diverses valeurs de l'indice d'aridité données par Martone, on peut déduire le type de climat de région d'étude

$I = 5$  : Climat hyper-aride

$5 < I < 7.5$  : Climat désertique

$7.5 < I < 10$  : Climat steppique

$10 < I < 20$  : Climat semi-aride

$20 < I < 30$  : Climat tempéré

D'après cette classification notre région d'étude est caractérisée par un climat de type semi-aride. (Voir Figure.8). Station de météorologie de Tébessa (2014).

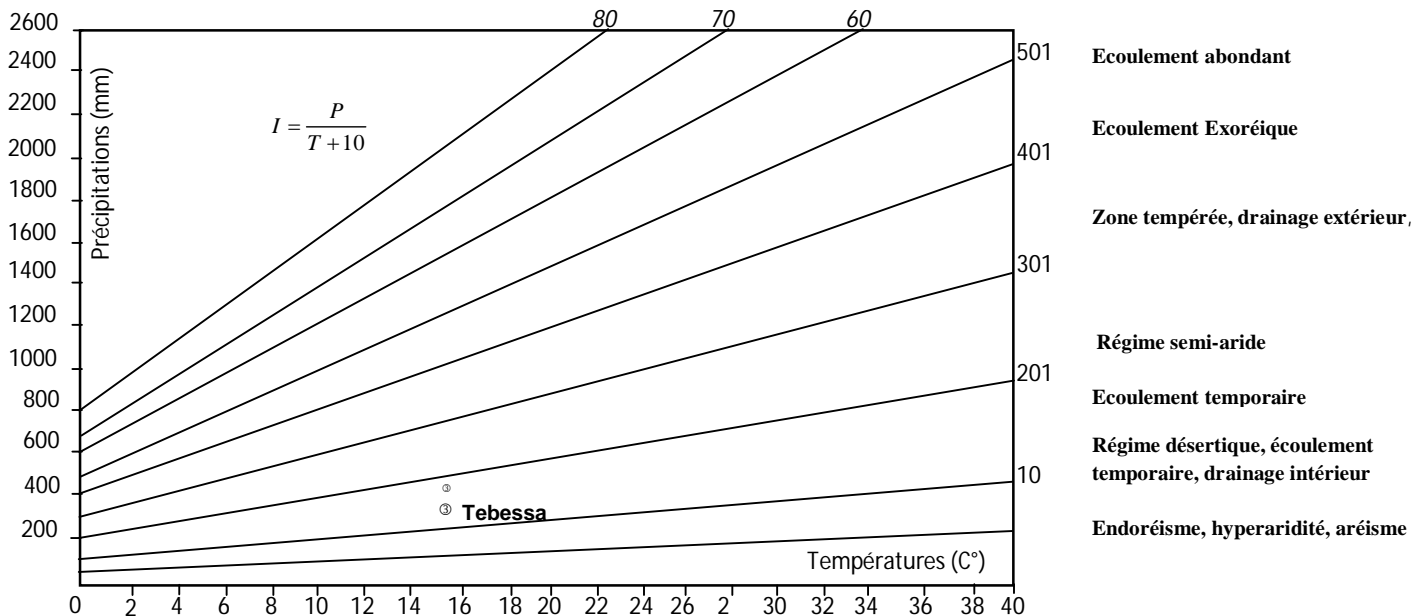


Figure 8 : Abaque de l'Indice d'aridité annuel de Martone (1923)

### 6.3. Conclusion sur la climatologie

La climatologie de la région d'étude permet de dire que le climat est typiquement continental semi-aride (hiver froid et été chaud), dont la température moyenne annuelle qui règne est de 16.50 °C.

Les précipitations moyennes annuelles, sur une période de 15 ans (2000/2014), sont estimées à 366.50 mm pour la station de Tébessa.

L'évapotranspiration réelle est estimée à 254.88 mm soit 95.69 % des précipitations tombées sur la région de Tébessa.

# **CHAPITRE III**

## **Matériel et Méthodes**

### 1. La culture sous serre

La 1<sup>ère</sup> expérimentation préliminaire de teste d'adaptation d'*Atriplex halimus* et *nummularia* au niveau de serre consiste à étudier l'utilisation de ces plantes dans l'amélioration des propriétés physiques et chimiques des sols salés, et l'étude d'accumulation des sels dans les plantes, les grains ont été fournies par H.C.D.S de Tébessa, le choix des espèces s'est basé sur certains critères : La résistance à la salinité, la diversité et l'origine.

#### 1.1. Caractéristiques des espèces étudiées

**Tableau 12 : Caractéristiques des espèces étudiées**

Espèces	Origines	Description	Conditions écologiques	Mise en culture	Valeur fourragère
<i>Atriplex halimus</i>	Sud de l'Europe	Arbuste ; touffes très denses ayant blanc argenté.	Climat : *Précipitations de 150 à 1000 mm.	la transplantation d'octobre à mars en ligne, écartements de	à 0.56 UF/Kg MS.
		Feuilles alternées et assez grandes.	* M : 30.3 à 30.8 <sup>0</sup> C ; * m : 6.8 à 7.7 <sup>0</sup> C.	5 × 2 m, densité de 1000 pieds/ha.	Sa teneur en protéine brute varie de 12 à 18 % par Kg de matière sèche.
		Fleurs monoïques, de couleur jaunâtre, réunie en épis.	Sol marneux et limoneux compacts profonds.	Profondeur du trou : 50 à 60 cm	
			Semi-aride, présaharien	La production 1000 a 2000 UF/ha/an.	
			Altitude de 0 à 1 500 m.		
<i>Atriplex nummularia</i>	Australie	Arbuste de 1 à 3 m de hauteur.	Climat : *Précipitations de 200 à 600 mm.	La transplantation à partir de boutures racinées en l'automne ou au printemps dans les zones gélives. Forte production au printemps et ralentie en été.	à 0,5 à 0,66 UF/kg MS. Maintien du poids des animaux même si elle est distribuée seule. (FAO, 1989)
		Feuilles alternées de couleur gris verdâtre.	Résiste sécheresse, au froid et aux gelées.		
		inflorescences rassemblées en épis feuillés.	Sol limoneux ou limono-argileux profonds à faible salure.		
			Aride, semi-aride. Altitude à 900 m.		

(H.C.D.S. 1999)

#### 1.2. Lieu et Conditions de l'expérimentation

L'essai a été mené dans une serre en verre à la faculté de science, département de Biologie (Université de Tébessa), l'expérimentation a été réalisée au cours de l'année universitaire 2012/2013, dans des pots en plastique d'un volume de 12000 ml.

- ✓ Ils ont été troués et remplis avec 12000 g de terre ramenée des environs agricoles de la Wilaya de Tébessa.

- ✓ Un plant a été semé dans chaque pot le 21 février 2013.
- ✓ L'expérimentation consiste à appliquer des différentes doses de NaCl le 22 mai 2013.

### a - Caractéristiques initiales du sol étudié

Des analyses chimiques du sol utilisé dans l'expérimentation, ont été effectuées au niveau du laboratoire. 250 g du sol ont été séchés à l'air pendant 20 jours.

Par la suite, ils furent broyés à l'aide d'un mortier, tamisés (2mm), homogénéisés et conservés jusqu'au moment des analyses. Les caractéristiques chimiques des sols sont déterminés dans le tableau suivant :

**Tableau 13 : Caractéristiques chimiques et physiques du sol**

Caractéristiques	Composition	Méthodes
* Conductivité électrique (CE)	102.36 $\mu\text{s/cm}$	*conductimètre
* TDS	31.66 g/l	*Dessiccation
* Calcaire total	22.44 %	*méthode par titrage
* Calcaire actif	0.83 %	*Galet-Drouineau
*Carbone organique	5.48 %	*(Anne., Bouneau et al. 1994)
*Matière organique	10.04 %	*M.O = C % . 1.72
*Na <sup>+</sup>	316.23 (ppm)	*photomètre à flamme
* K <sup>+</sup>	4.2 (ppm)	*photomètre à flamme
*P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	82.46 ppm	*Joret-Herbert
*Ph	6.29	*Ph mètre

### b - Température

Au cours de l'essai, les températures minimales et maximales sont enregistrées, puis la moyenne journalière est calculée. Nous avons enregistré une somme de température de 1051.87 °C à partir de la date d'application du NaCl jusqu'à la date de prélèvement des échantillons.

### c - L'humidité du sol

L'efficacité de l'utilisation et l'absorption des éléments minéraux par la plante dépend de leur disponibilité dans la solution du sol, c'est –à-dire la forme assimilable et pour cela, la connaissance de la réserve hydrique est nécessaire, afin d'éviter le déficit ou l'excès en eau pour assurer une bonne nutrition minérale pour la culture et éviter les stress hydrique. La quantité d'eau d'irrigation est calculée à partir de l'humidité pondérale à la capacité au

champ.

$$H_p = P_f - P_s/P_s \times 100$$

P<sub>f</sub> : poids frais du sol.

P<sub>s</sub> : poids sec du sol après séchage à l'étuve à 105°C pendant 24 heures ; puis l'humidité.

Volumique maximale et minimale d'échantillons est calculée à partir de la relation suivante :

$$H_v = D_a \times H_p$$

H<sub>p</sub> : l'humidité pondérale.

D<sub>a</sub> : la densité apparente.

H<sub>v</sub> : l'humidité volumique.

La différence entre l'humidité volumique maximale et minimale des échantillons est ensuite calculée puis complétée à H<sub>v</sub> à la capacité au champ (Baize, 1990).

L'arrosage est effectué par la capacité de rétention deux fois par semaine jusqu'à la date de prélèvement des échantillons.

### 1.3. Dispositif expérimental

Nous avons adopté un dispositif expérimental qui comporte cinq doses et trois répétitions pour les deux espèces végétales. Ce qui représente 15 observations pour chaque espèce, les pots ont été placés sous serre selon le dispositif aléatoire complet de l'expérimentation.

Les résultats d'analyse de sol avant plantation (témoin) ont été comparés avec les résultats de sol avec plantation (Sols du dispositif expérimental voir (Annexe 4). (Figure 9)

<i>Atriplex halimus</i>			<i>Atriplex nummularia</i>		
D <sub>0</sub> R <sub>1</sub>	D <sub>2</sub> R <sub>2</sub>	D <sub>4</sub> R <sub>1</sub>	D <sub>4</sub> R <sub>1</sub>	D <sub>1</sub> R <sub>3</sub>	D <sub>2</sub> R <sub>1</sub>
D <sub>1</sub> R <sub>2</sub>	D <sub>3</sub> R <sub>1</sub>	D <sub>2</sub> R <sub>1</sub>	D <sub>4</sub> R <sub>3</sub>	D <sub>0</sub> R <sub>3</sub>	D <sub>3</sub> R <sub>3</sub>
D <sub>0</sub> R <sub>3</sub>	D <sub>3</sub> R <sub>3</sub>	D <sub>4</sub> R <sub>2</sub>	D <sub>1</sub> R <sub>2</sub>	D <sub>2</sub> R <sub>1</sub>	D <sub>1</sub> R <sub>2</sub>
D <sub>1</sub> R <sub>1</sub>	D <sub>0</sub> R <sub>2</sub>	D <sub>4</sub> R <sub>3</sub>	D <sub>3</sub> R <sub>1</sub>	D <sub>0</sub> R <sub>2</sub>	D <sub>0</sub> R <sub>1</sub>
D <sub>2</sub> R <sub>3</sub>	D <sub>3</sub> R <sub>2</sub>	D <sub>1</sub> R <sub>3</sub>	D <sub>2</sub> R <sub>1</sub>	D <sub>4</sub> R <sub>3</sub>	D <sub>3</sub> R <sub>2</sub>

**Figure 9 : Dispositif expérimental**

### 1.4. Application des doses de Na Cl

Le Tableau.14 montre les doses de Na Cl appliquées.

**Tableau 14 : Doses de NaCl appliquées**

Concentration de NaCl sur 1 Kg du sol	Concentration de NaCl sur 12 Kg du sol	Concentration en M moles
$D_0 = 0 \text{ g Na Cl / Kg sol}$	$D_0 = 0 \text{ g Na Cl / pot}$	0 Mm
$D_1 = 3 \text{ g Na Cl / Kg sol}$	$D_1 = 36 \text{ g Na Cl / pot}$	75 Mm
$D_2 = 6 \text{ g Na Cl / Kg sol}$	$D_2 = 72 \text{ g Na Cl / pot}$	150 Mm
$D_3 = 12 \text{ g Na Cl / Kg sol}$	$D_3 = 144 \text{ g Na Cl / pot}$	300 Mm
$D_4 = 24 \text{ g Na Cl / Kg sol}$	$D_4 = 288 \text{ g Na Cl / pot}$	600 Mm

### 1.5. Les paramètres étudiés

Le prélèvement des échantillons analysés au laboratoire s'est effectué après un mois pour le sol et deux mois pour les plants à partir de la date d'application du NaCl.

#### 1.5.1. Le bilan de salure (Annexe 01)

- ✓ Conductivité électrique (CE).
- ✓ Cations solubles :  $K^+$  et  $Na^+$ .

#### 1.5.2. Les propriétés physico- chimiques (Annexe 01)

- ✓ Acidité du sol ( $pH_{eau}$ ).
- ✓ Calcaire total ( $Ca CO_3$ ).
- ✓ Calcaire actif.
- ✓ Matière organique (MO).
- ✓ Phosphore.

#### 1.5.3. Sels accumulés dans l'*Atriplex* (Annexe 01)

- ✓ Cations :  $Na^+$  et  $K^+$

### 1.6. Etude statistique des données

Le dispositif est aléatoire complet (D.A.C) avec 2 facteurs étudiés : 2 géotypes (*Atriplex halimus* et *Atriplex nummularia*) et 4 traitements salins + témoin (répété trois fois).

Les moyennes des variables mesurées sur les différentes répartitions ont été soumises à une analyse de la variance à deux critères de classification, utilisant le logiciel STATISTICA.

### 2. Description de la région d'étude

La partie nord du bassin d'effondrement Tébessa-Morsott, située entre deux communes (Morsott et El Aouinet), est caractérisée par une forte dynamique démographique et agricole. La région sera un pôle de développement des deux communes pour les prochaines décennies. L'essentiel des besoins en eau proviennent et continueront de provenir des eaux souterraines. La couverture végétale dégradée indique que le sol est hétérogène. La mesure de la salinité totale d'eau des puits et du sol de la région est indispensable afin de reconnaître le type de sol.

Toutefois, comme les propriétés des sols différents fortement suivent la composition chimique et la concentration des sels présents, l'identification des sels solubles, sur extrait de pâte saturée, permet de fournir des renseignements sur les principaux sels présents dans ces sols et d'envisager l'étude de l'évolution de leur salinité, surtout lorsqu'ils sont soumis à une irrigation avec une eau salée.

#### 2.1. L'échantillonnage

Une série de prélèvements des échantillons de sol et d'eau aléatoire ont été effectués sur une Compagne dans toutes les stations d'étude ; avant la plantation d'*Atriplex Halimus* et *Nummularia* durant le mois de novembre 2013 (Figure.10).

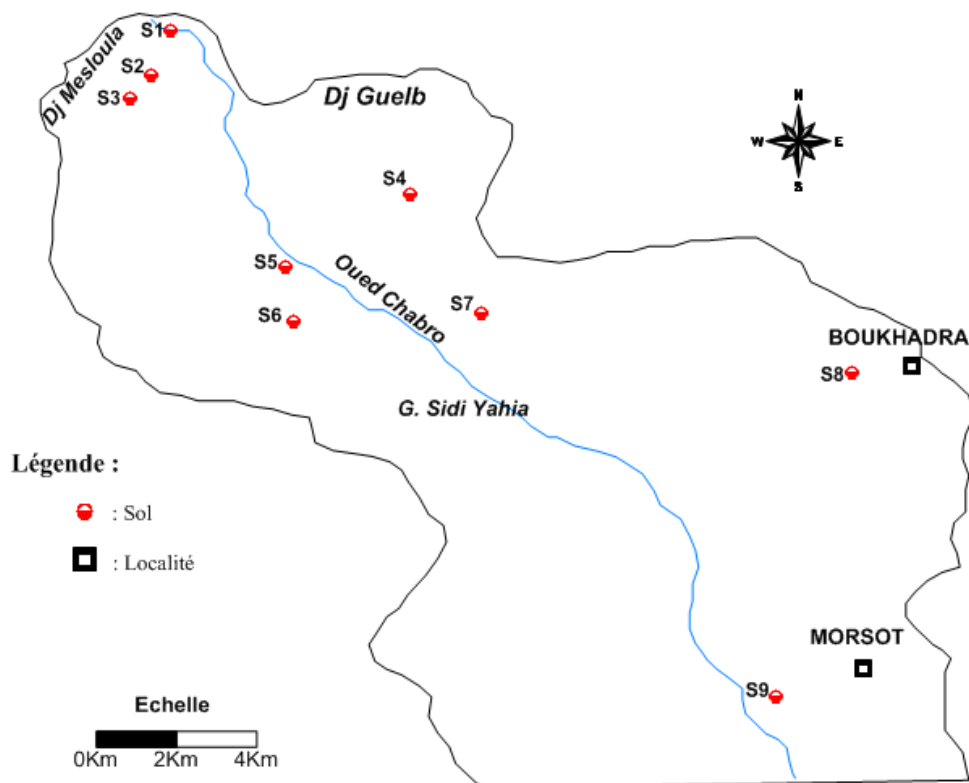


Figure 10 : Carte d'échantillonnage de sol de la région d'étude

L'échantillonnage de sol dans cette étude consiste à exploiter les principaux paramètres qui caractérisent chaque type de sol souterrain et qui sont représentés sur la carte d'échantillonnage de la région (Figure 10), les prélèvements de sol ont été effectués sur une profondeur de (0-30 cm) (Figure 11). Le choix de cette profondeur est dicté par le fait qu'elle est la partie du sol où les racines prospèrent en fixant la plante sur son support et en alimentant celle-ci en différents facteurs de la croissance végétale. Les neuf échantillons du sol ont été séchés, broyés et tamisés à 2 mm.



**Figure 11 : Photos d'échantillonnages des sols**

Pour caractériser la salinité des sols, on met habituellement l'accent sur la détermination de la composition ionique de la solution d'un extrait aqueux de sol (Halitim, 1988).

Ces sels peuvent également être dosés dans des extraits aqueux plus dilués (1/5 et autres rapport sol/eau) ; et l'extraction est plus rapide et moins consommatrice en quantité de terre (Mathieu et Pieltain, 2003).

Les échantillons d'eau ont été prélevés par un préleveur de longueur de 90 m sur les 31 puits les plus sollicités par la population urbaines et rurales, selon la disponibilité et la répartition des différents points d'eau (figure 12).

Dans la région d'étude, un réseau piézométrique couvrant une bonne partie du bassin d'effondrement de Morsott, formé d'une trentaine de puits est suivi pour la plus part entre novembre 2013-janvier 2014, mais le manque de nivellement adéquat ne permet pas l'établissement d'une bonne piézométrie, nécessaire à une meilleure planification de l'exploitation des ressources en eau souterraine.

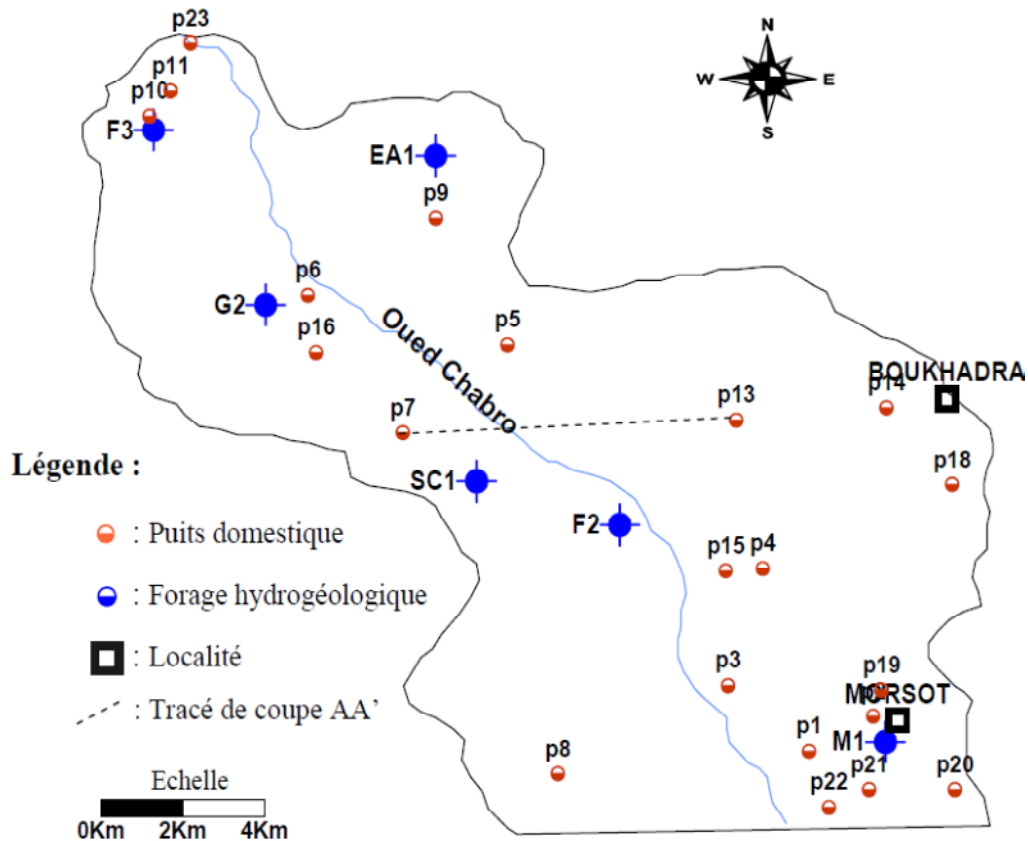


Figure 12 : Carte d'échantillonnage de l'eau de la région d'étude

Afin de réaliser ce but, les analyses de l'eau et du sol sont effectuées au niveau du laboratoire de département de géologie, Université de Tébessa et le laboratoire de CERAD FERPHOS de Tébessa.

### 2.2. Paramètres étudiés

Les différentes méthodes d'analyses utilisées pour le sol (extrait de pâte saturée) et de l'eau de puits, sur le bilan de salure sont comme suite :

- ✓ Conductivité électrique (CE) par l'utilisation de Conductimètre.
- ✓ Acidité du sol ( $pH_{eau}$ ) par l'utilisation de pH-mètre.
- ✓ Taux de sel dissous (TDS) par l'utilisation de multiparamètres.
- ✓ Cations solubles :  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Ca^{+2}$ , par l'utilisation de spectrophotomètre à flamme.

- ✓ Anions solubles :  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  par l'utilisation de spectrophotomètre à flamme et le  $\text{Cl}^-$  par la méthode volumétrique.

### 2.3. Etude statistique des données

Les moyennes des variables mesurées sur les différentes zones d'échantillonnage ont été soumises à une analyse de corrélations ainsi qu'à une analyse en composantes principales (ACP), entre les différentes variables mesurées, en utilisant le logiciel XLSTAT.

### 3. Les choix des zones de plantation

La zone d'étude appartenant à l'étage bioclimatique semi aride à été chaude et sèche caractérisée par une période de sécheresse estivale, on a choisi quatre parcelles de plantation (figure 13).

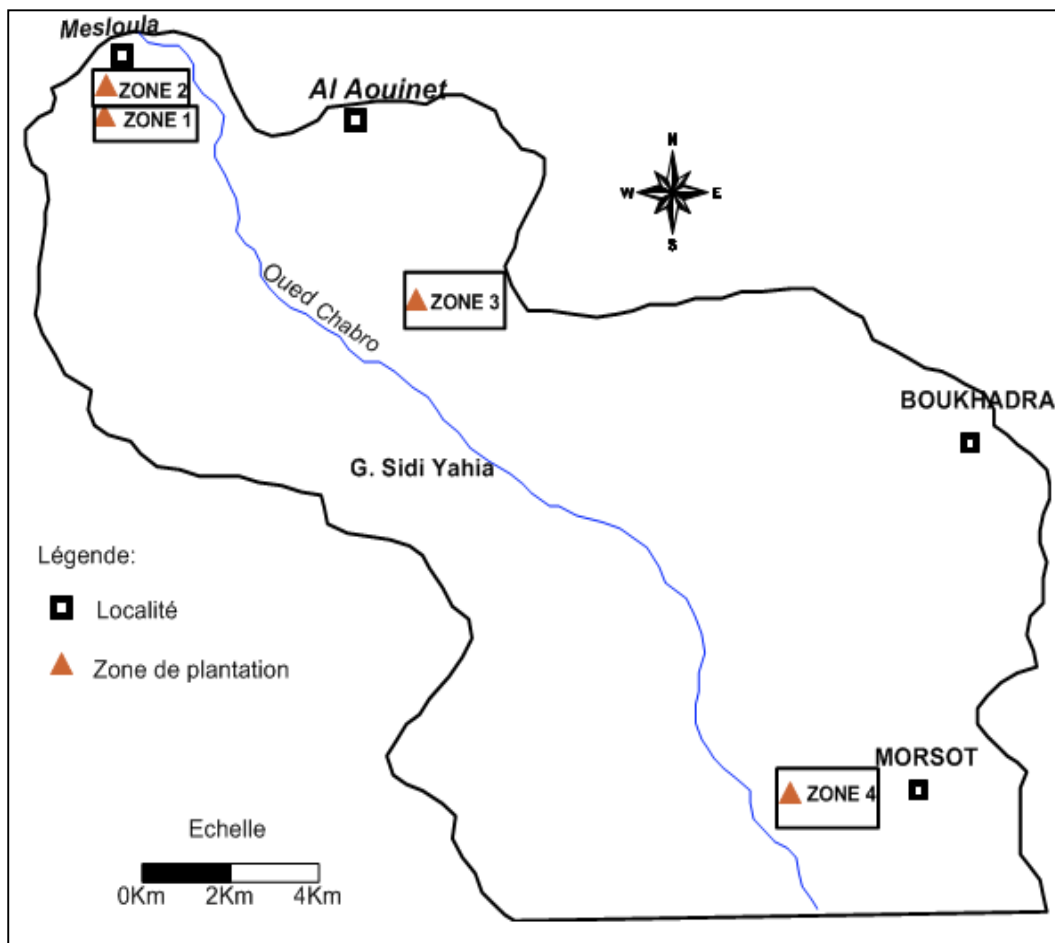


Figure 13 : Carte de parcelle de plantation d'*Atriplex* dans la région d'étude



**Figure 14 : Photos de la parcelle de la zone 1 avant la plantation d'*Atriplex***

### **3.1. Plantation d'*Atriplex***

De nombreux auteurs se sont intéressés aux travaux de mise en valeur des sols et d'aménagement des terrains de parcours comme Benrebiha (1987).

Une des techniques d'aménagement retenue dans le vaste programme engagé par l'état, est la plantation fourragère en utilisant des espèces exotiques soit *Medicago arborea*, *Opuntia ficusindica*, *Atriplex nummularia* et *Atriplex halimus*.

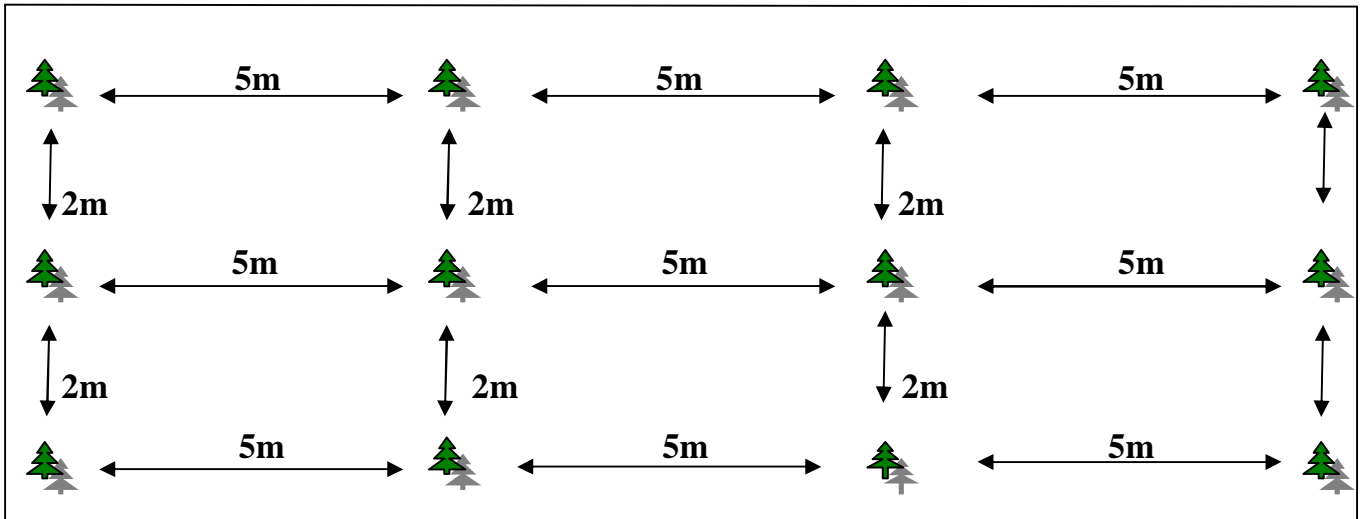
Ces travaux complémentaires entrent dans le cadre des activités entreprises par le Haut Commissariat au Développement de la Steppe (HCDS), pour la lutte contre la désertification depuis 1994, où le volet plantation fourragères pour restaurer les parcours dégradés.

Le présent travail se fixe comme objectif l'évaluation de l'impact des plantations fourragères à base d *Atriplex nummularia* et *Atriplex halimus* sur quelques caractéristiques physicochimiques des sols.

La démarche adoptée est basée sur l'étude synchronique en comparant des sols plantés des deux espèces d'*Atriplex* et un sol témoin, dans toutes les quatre parcelles sont mises en défense depuis deux ans. Le but étant de déterminer les effets des plantations sur quelques paramètres physico-chimiques du sol.

La transplantation des plantes obtenus en pépinière en mois de mars 2014 ; prépare le terrain en supprimant les mauvaises herbes, cailloux etc. Le terrain sur 20-30 cm de profondeur et en ligne avec des écartements de 5 × 2 m. Rafraîchir les racines de quelques

centimètres et supprimer celles cassées. Placer trois plantules de six mois d'âge dans le même trou, chaque parcelle constituée de 24 trous pour les deux espèces. (Figure 15).



**Figure 15 : La méthode de plantation dans une parcelle**

Dans tous les cas, tasser très légèrement la terre pour former une cuvette et arroser copieusement, l'eau fera pénétrer la terre autour des racines et provoquera un tassement naturel. Ne pas enterrer trop l'arbuste en profondeur, le collet doit être au niveau du sol.



**Figure 16 : Photos de labour et la préparation de la parcelle 3 (zone de Rmila)**



**Figure 17 : Photo de la Parcelle 3 après six mois de plantation (zone de Rmila)**

### 3.2. L'échantillonnage du sol

Dans l'objectif d'effectuer diverses analyses du sol, les prélèvements des échantillons ont été aléatoire, assez représentative des quatre zones de plantation, 24 échantillons de sol ont été prélevés dans la rhizosphère de *Atriplex halimus* et *nummularia* comparée avec le sol témoin (sol sans plantation d'une profondeur entre 10-20 cm), en raison de deux sorties de prélèvement, la première en mai 2014 et la deuxième en septembre 2014.

Tous les échantillons de sol ont été prélevé, et mis dans des sachets hermétiques identifiés ; 1000g de sol de l'horizon A sur une profondeur de 18 à 25 cm.

Au laboratoire du département de biologie, les échantillons de sol récoltés ont été étalés sur papier et mis à sécher à l'air libre, dans les conditions où les micro-organismes n'ont pas la possibilité de modifier leurs propriétés.

Cette étape est suivie par une séparation des parties fines et grossières du sol avec un tamis à maille ronde de 2 mm de diamètre. Les analyses ont été portées uniquement sur la fraction fine (diamètre < 2 mm).

### 3.3. Paramètres étudiés

Pour évaluer l'impact de la plantation avec les deux espèces d'*Atriplex*. Il est nécessaire de faire les analyses physico- chimiques de sol.

La conductivité électrique est nécessaire pour l'étude du complexe absorbant des sols. Elle est mesuré par le taux de passage du courant électrique dans le sol, La détermination des bases Échangeables et solubles ( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{++}$  et  $Mg^{++}$ ) présents dans le sol sous forme de

sels (NaCl, CaCl<sub>2</sub>, CaSO<sub>4</sub>) Et on fait le dosage de Chlorure Cl<sup>-</sup> par titrage potentiométrique avec AgNO<sub>3</sub><sup>-</sup>

L'analyse des sols étudiés a été déterminée à l'aide des techniques de lixiviation pendant trois jours avec un ratio de solution sol/eau fixé à 1/5 c'est-à-dire 10 g de sol dans 50 ml d'eau distillée, les paramètres étudiés sont :

- ✓ paramètre de salinité : CE (μS/cm), TDS (mg/l), Salinité l'appareille utilisée conductimètre.
- ✓ pH « eau » : mesuré au pH-mètre.
- ✓ Le dosage des cations (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>+</sup>, Ca<sup>+</sup>) en (mg/l) et anions (Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) en (mg/l) a été effectué par absorption atomique et photomètre à flamme.

### 3.4. Etude statistique des données

L'étude statistique a été réalisée sur la base de trois facteurs étudiés :

- ✓ Deux génotypes (*Atriplex halimus* et *Atriplex nummularia*) plus un témoin.
- ✓ Quatre zones de plantation.
- ✓ Deux campagnes de prélèvement.

Les moyennes des variables mesurées sur les différentes répartitions ont été soumises à une analyse de la variance à trois critères de classification, utilisant le logiciel XLSTAT.

# **CHAPITRE IV**

## **Résultats et Discussion**

## 1. La culture Sous serre

### 1.1. L'effet de plantation d'*Atriplex* sur Le bilan de salure du sol

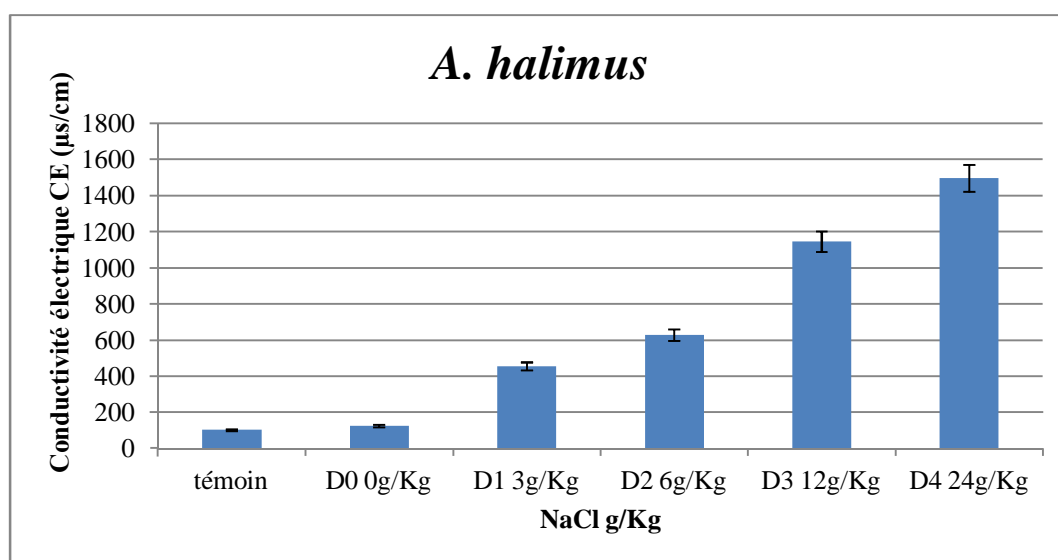
#### 1.1.1. Effet sur la conductivité électrique (CE)

L'analyse de la variance des résultats obtenus sur la conductivité électrique (CE) de la solution de sol, montre que la salinité a des effets hautement significatifs et significatifs chez les espèces et non significatifs chez l'interaction (Tableau 15).

**Tableau 15 : Analyse de la variance de L'effet d'*Atriplex* sur la conductivité électrique(CE) de la solution de sol**

Sources	dl Effet	MC Effet	DI Erreur	MC Erreur	F Obs	niveau P
Espèces	1	233467,1719	20	34181,652	<b>*6,83019018173217</b>	0,016635
Salinité	4	1651787	20	34181,652	<b>***48,3237915039062</b>	5,29E-10
Interaction	4	18654,90039	20	34181,652	0,545757711	0,704133

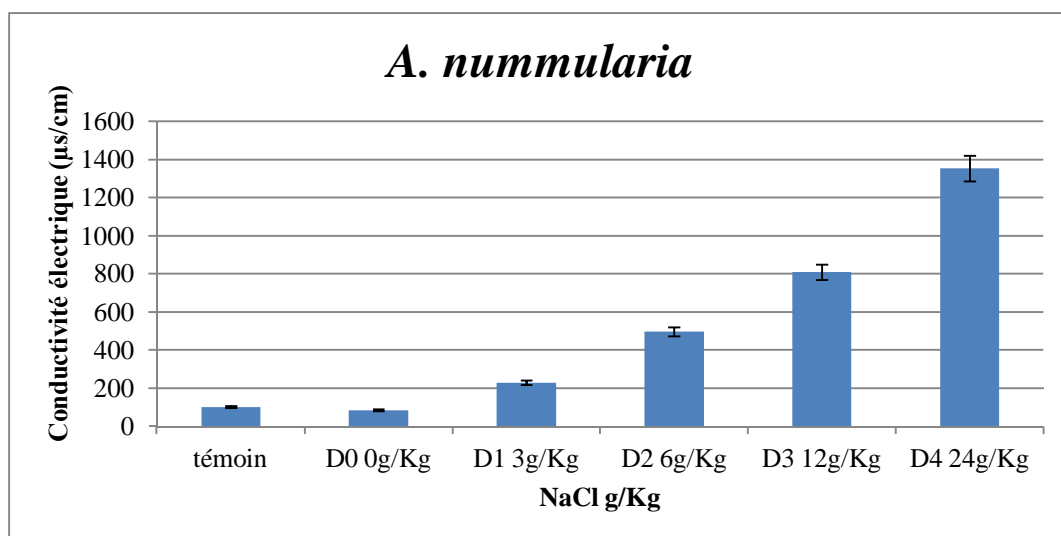
La conductivité électrique (CE) du sol s'élève avec l'augmentation de la concentration saline pour les deux espèces. Pour *A. halimus* la dose D<sub>0</sub> présente une moyenne faible avec (125.4 µs/cm) par rapport aux doses D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>, D<sub>4</sub> qui sont respectivement (454.97, 628.33, 1145.88, 1495.66 µs/cm).



**Figure 18 : Moyennes de la Conductivité électrique de la solution du sol d'*Atriplex halimus***

Pour *A. nummularia* c'est la même remarque, il y a une augmentation de la CE parallèlement à l'augmentation de la concentration des doses D<sub>0</sub> (83.88), D<sub>1</sub> (228.1), D<sub>2</sub>

(495.66), D<sub>3</sub> (808.22), et la dose D<sub>4</sub> (1352.22  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ). La moyenne de la CE pour le témoin (102.36  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) est faible. Toutes les doses chez *A. halimus* sont élevées en comparaison avec les doses d'*A. nummularia*.



**Figure 19 : Moyennes de la Conductivité électrique de la solution du sol d'*Atriplex nummularia***

Les valeurs de la CE obtenues augmentent avec la concentration en NaCl dans le sol (Mathieu et Pultain, 2003). La conductivité électrique d'une solution de sol est un indice important des teneurs en sels solubles dans ce sol.

La conductivité électrique du sol planté avec *Atriplex nummularia* est faible par rapport au sol planté avec *Atriplex halimus*, et le sol sans plantation. L'accumulation de NaCl dans *A. nummularia* est élevée par rapport à l'*A. halimus*, par ce que l'accumulation de sels dans l'*Atriplex* se fait principalement au niveau des feuilles (Blumwald et al, 2000). Les halophytes transportent et accumulent de grandes quantités de  $\text{Na}^+$  dans leurs feuilles, et la surface foliaire de *A. nummularia* ( 2.5 à 5 cm longueur et 2 à 5 cm de largeur ) plus grande que *A. halimus* ( 0.5 à 1 cm de largeur et 4 à 6 cm de longueur) ( Le Houerou et Francllet, 1971).

### 1.1.2. Effet sur le taux des sels (TDS)

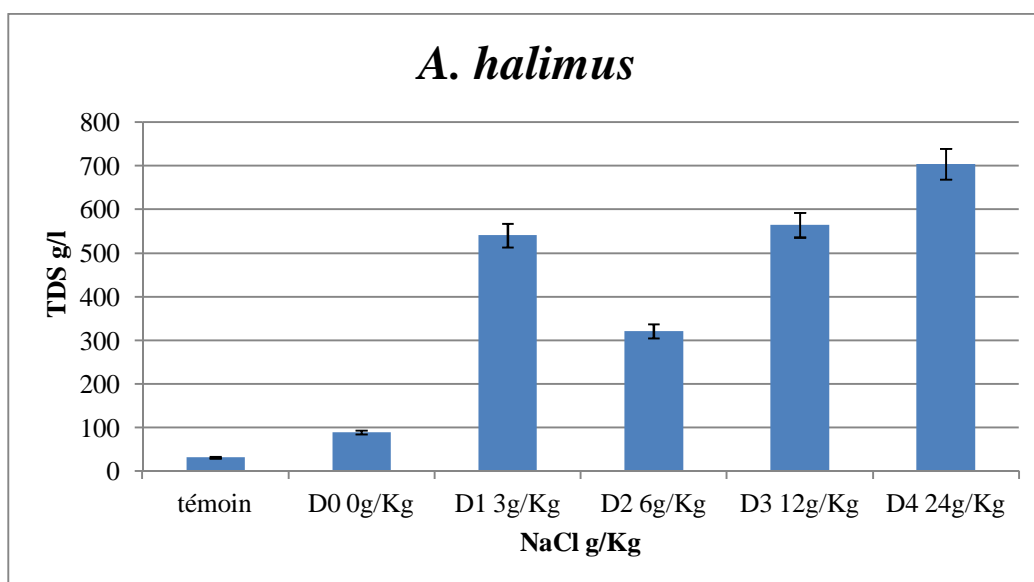
L'analyse de la variance des valeurs obtenues sur le taux des sels solubles indique que les résultats sont hautement significatifs pour l'effet des espèces et la salinité, et significatifs dans l'interaction (Tableau 16).

**Tableau 16 : Analyse de la variance de L'effet d'*Atriplex* sur le taux des sels (TDS) de la solution du sol**

Sources	dl Effet	MC Effet	DI Erreur	MC Erreur	F Obs	niveau P
Espèces	1	203231,625	20	10175	***19,9736251831054	0,000235
Salinité	4	305970,1563	20	10175	***30,0707759857177	3,32E-08
Interaction	4	34272,9375	20	10175	*3,3683476448059	0,029137

La comparaison des moyennes indique une augmentation du TDS pour les deux espèces par rapport au témoin (31.66 g/l).

La dose D<sub>2</sub> chez *A. halimus* marque une légère diminution (321.64 g/l) par rapport aux autres doses, D<sub>1</sub>, D<sub>3</sub>, D<sub>4</sub> (540, 564.77, 704.66 g/l), alors que *A. nummularia* dans les résultats de toutes les doses suivent une série de croissance D<sub>0</sub>, D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>, D<sub>4</sub> avec respectivement 35.66, 115.88, 224.77, 399.99, 621.77 g/l.



**Figure 20 : Moyennes des Taux de sels soluble de la solution du sol d'*Atriplex halimus***

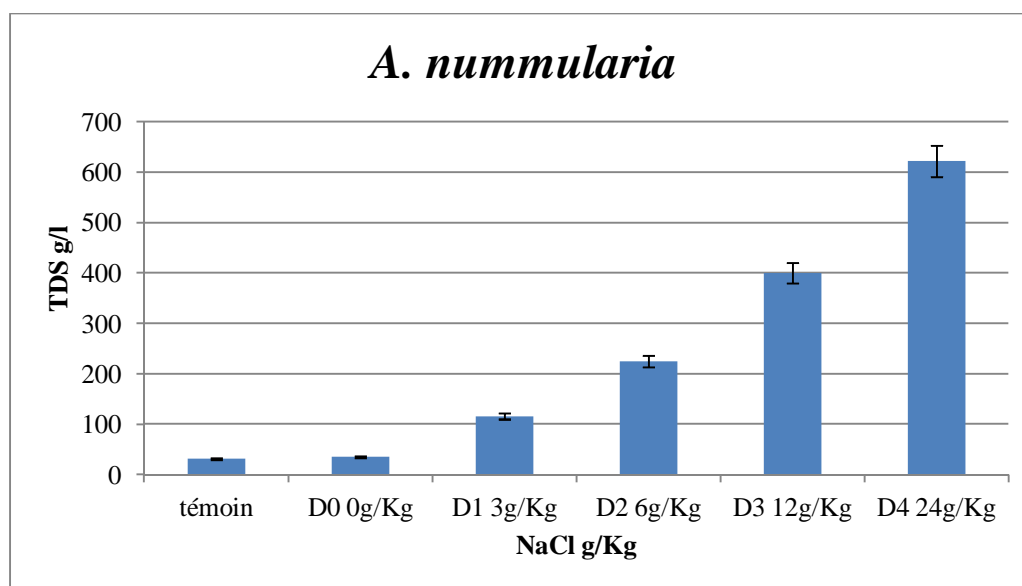


Figure 21 : Moyennes des Taux de sels soluble de la solution du sol d’*Atriplex nummularia*

### 1.1.3. Effet sur la teneur en Na<sup>+</sup> soluble

L’analyse de la variance du Na<sup>+</sup> du sol indique que les résultats sont hautement significatifs pour l’effet de salinité et non significatifs pour les espèces et l’interaction (Tableau 17).

Tableau 17 : Analyse de la variance de L’effet d’*Atriplex* sur la teneur en sodium de la solution du sol

Sources	dl Effet	MC Effet	DI Erreur	MC Erreur	F Obs	niveau P
Espèces	1	567,1077271	20	1605,545	0,353218198	0,558961
Salinité	4	105856,3359	20	1605,545	***65,9317092895507	3,12E-11
Interaction	4	1669,817261	20	1605,545	1,040031433	0,41132

Les moyennes du Na<sup>+</sup> du sol indiquent que ce paramètre est élevé avec l’augmentation de la salinité chez les deux espèces.

Pendant en dehors de la dose D<sub>4</sub> chez les deux espèces, on enregistre une teneur en Na<sup>+</sup> soluble plus importante en comparaison avec le témoin, ceci démontre que l’*Atriplex* absorbe cet élément en quantités notables contribuant ainsi à son extraction du sol et par conséquence participe à la désalinisation du sol.

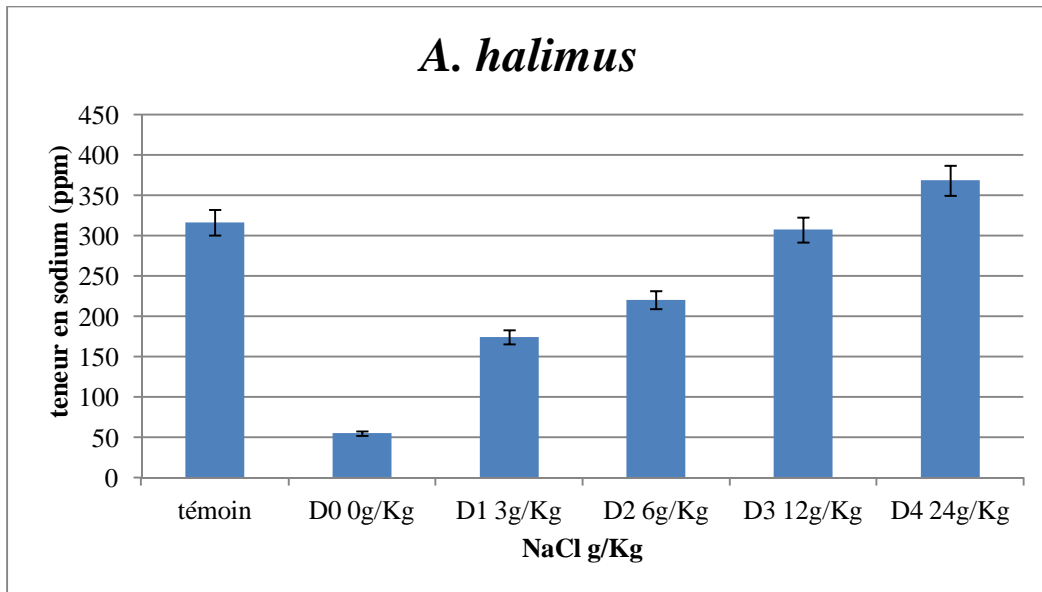


Figure 22 : Moyennes des teneurs en sodium de la solution du sol d'*Atriplex halimus*

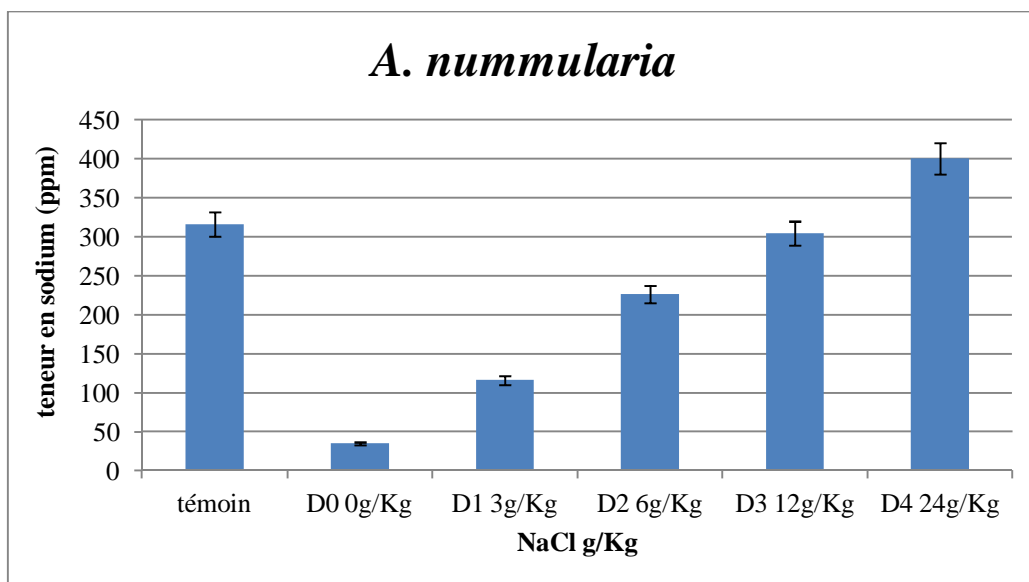


Figure 23 : Moyennes des teneurs en sodium de la solution du sol d'*Atriplex nummularia*

Le  $\text{Na}^+$  est élevé dans le sol planté avec *Atriplex halimus* par rapport au sol planté avec *Atriplex nummularia*, car cette dernière accumule plus de sel, c'est l'effet du polymorphisme morphologique (Kinet et al, 1998).

### 1.1.4. Effet sur la teneur en K<sup>+</sup> soluble

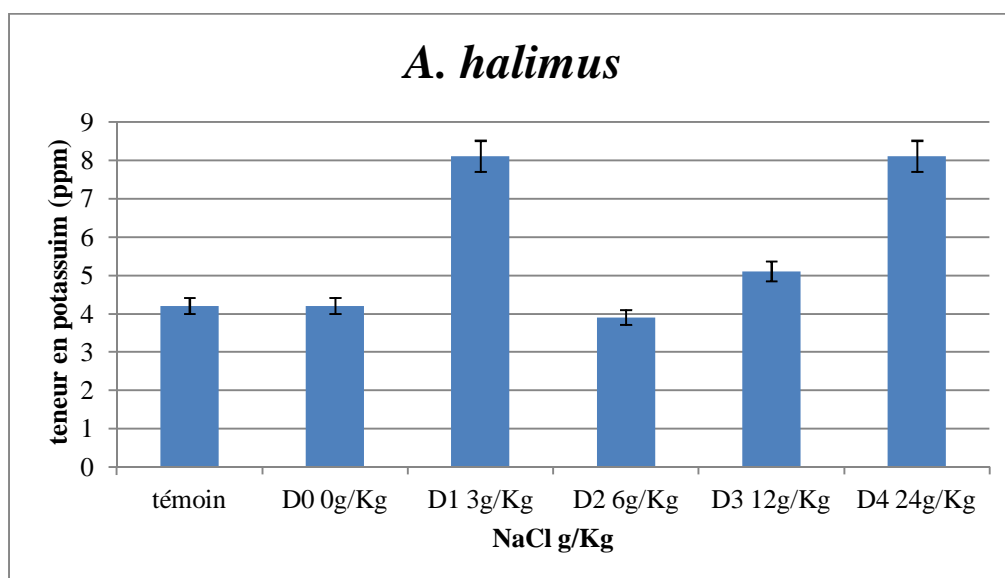
L'analyse de variance des valeurs obtenues sur le K<sup>+</sup> dans le sol indique que les résultats sont très significatifs pour l'effet des espèces et non significatifs pour la salinité et l'interaction (Tableau.18).

**Tableau 18 : Analyse de la variance de L'effet d'*Atriplex* sur la teneur en potassium de la solution du sol**

Sources	dl Effet	MC Effet	DI Erreur	MC Erreur	F Obs	niveau P
<b>Espèces</b>	1	33,14125061	20	3,7605174	<b>**8,81294918060302</b>	0,007592
<b>Salinité</b>	4	10,64578056	20	3,7605174	2,83093524	0,051969
<b>Interaction</b>	4	7,913318634	20	3,7605174	2,104316473	0,118139

La teneur élevée du K<sup>+</sup> du sol est en relation avec l'augmentation de la salinité chez *A. nummularia* et la teneur la plus faible est enregistrée pour les doses D<sub>0</sub> et D<sub>1</sub> avec 2.4 ppm. Pour *A. halimus* il y a une perturbation de l'évolution du K<sup>+</sup> du sol avec l'augmentation des doses.

Les valeurs les plus élevées sont enregistrées pour la D<sub>1</sub> et D<sub>4</sub> avec 8.10 ppm. Le témoin et la dose D<sub>0</sub> d'*A. halimus* ont la même valeur (4.2 ppm).



**Figure 24 : Moyennes des teneurs en potassium de la solution du sol d'*Atriplex halimus***

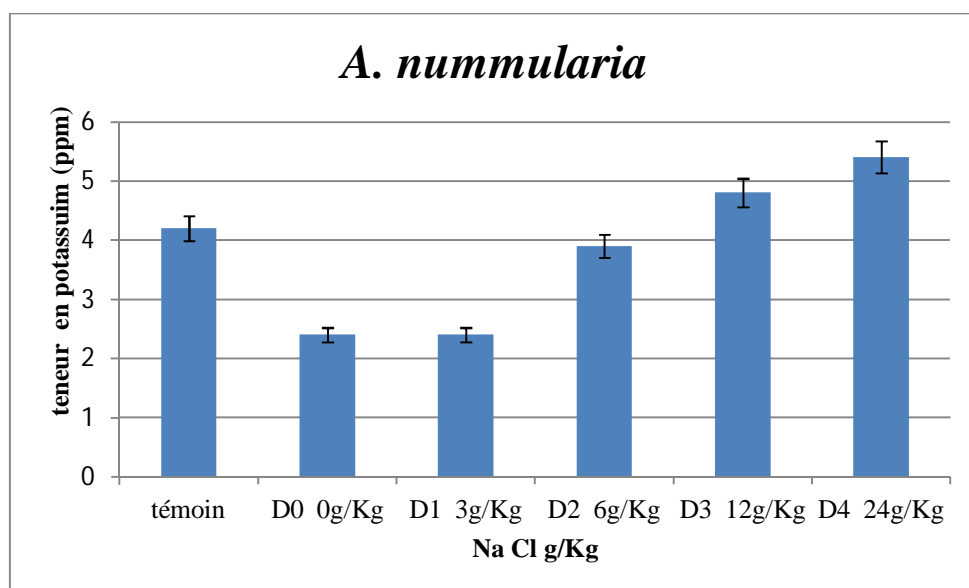


Figure 25 : Moyennes des teneurs en potassium de la solution du sol d'*Atriplex nummularia*

L'augmentation du NaCl favorise logiquement une augmentation de  $\text{Na}^+$  dans le sol, par contre le  $\text{K}^+$  diminue par rétrogradation dans le sol avec l'augmentation de sel, il y a une compétition et l'excès de  $\text{Na}^+$  réduit la disponibilité du  $\text{K}^+$  (Ben Fattoum, 2003).

## 1.2. L'effet de plantation d'*Atriplex* sur les propriétés physico-chimiques de la solution du sol

### 1.2.1. Effet sur le pH<sub>(eau)</sub>

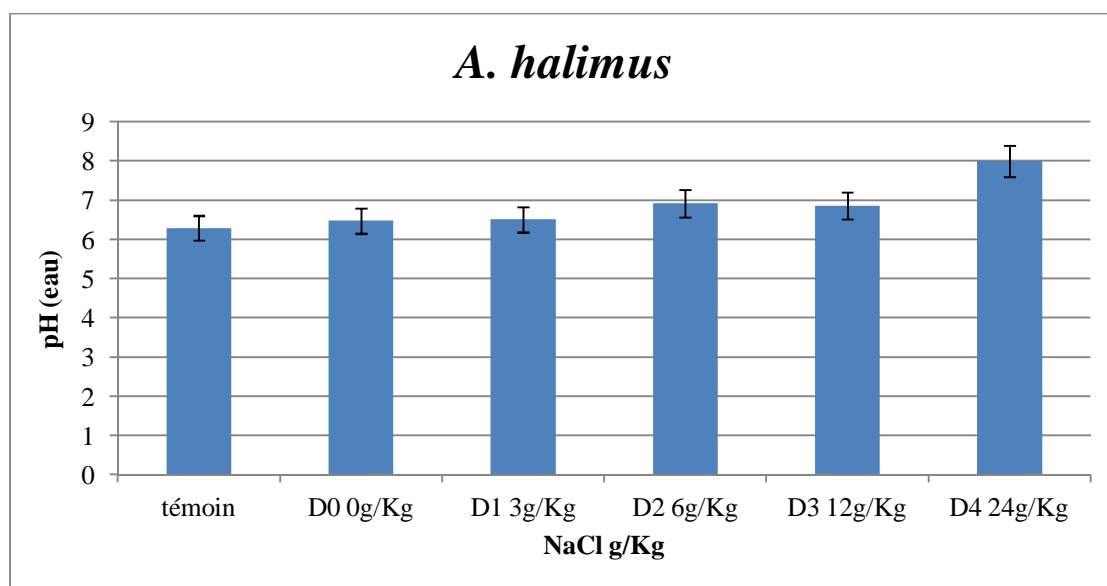
L'analyse de la variance de pH<sub>(eau)</sub> du sol indique que les résultats sont hautement significatifs pour la salinité et non significatifs pour les espèces et l'interaction (Tableau.19).

Tableau 19 : Analyse de la variance de l'effet d'*Atriplex* sur le pH de la solution du sol

Sources	dl Effet	MC Effet	DI Erreur	MC Erreur	F Obs	niveau P
Espèces	1	0,023632133	20	0,2247212	0,10516201	0,749088
Salinité	4	1,654323816	20	0,2247212	***7,36167192459106	0,000815
Interaction	4	0,193627134	20	0,2247212	0,861632705	0,503736

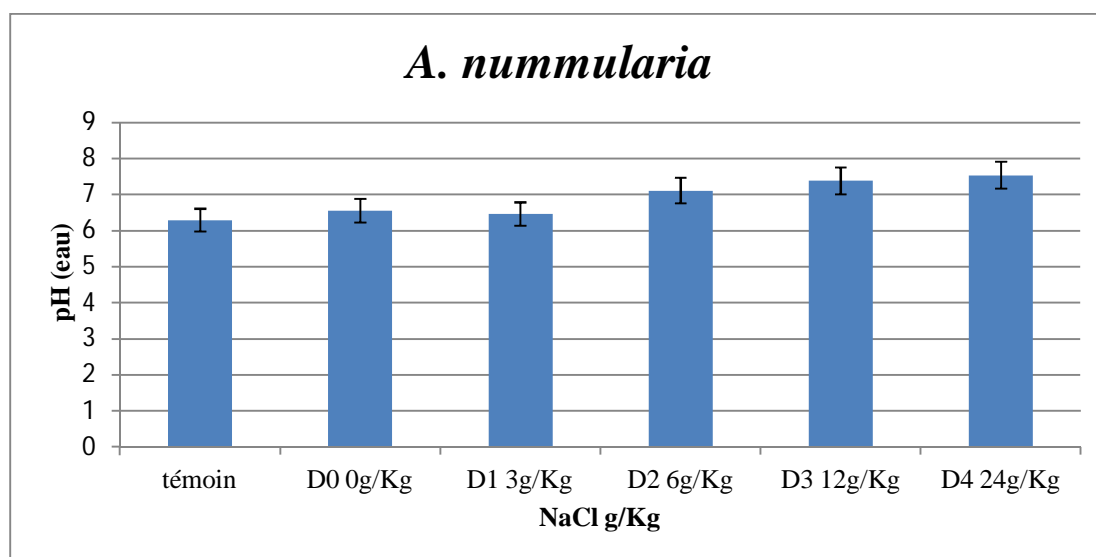
L'étude des moyennes de pH<sub>(eau)</sub> du sol indique que ce paramètre est élevé lorsque la concentration saline augmente chez les deux espèces.

Pour *A. halimus* les doses D<sub>0</sub> et D<sub>1</sub> présentent des moyennes faiblement acides (6.47 et 6.50). Les doses D<sub>2</sub> et D<sub>3</sub> sont presque neutres (6.91 et 6.85) alors que D<sub>4</sub> est légèrement basiques (7.99).



**Figure 26 : Moyennes de pH<sub>(eau)</sub> de la solution du sol d'*Atriplex halimus***

Pour *A. nummularia* les doses D<sub>0</sub> et D<sub>1</sub> présentent des moyennes faiblement acides (6.55 et 6.46), les autres doses sont neutres et légèrement alcalins D<sub>2</sub> (7.10), D<sub>3</sub> (7.38), D<sub>4</sub> (7.53). Tous les résultats des moyennes de *A. nummularia* sont plus élevés par rapport à *A. halimus* sauf pour la dose D<sub>4</sub> chez *A. halimus* est plus élevée (7.99). Le témoin a enregistré une valeur légèrement acide (6.26), plus inférieure que la dose D<sub>0</sub> (6.47) pour *A. halimus* et D<sub>1</sub> (6.55) pour *A. nummularia*.



**Figure 27 : Moyennes de pH<sub>(KCl)</sub> de la solution du sol d'*Atriplex nummularia***

*L'Atriplex* n'a donc aucun effet sur la variation du pH du sol (Ramade,1981).

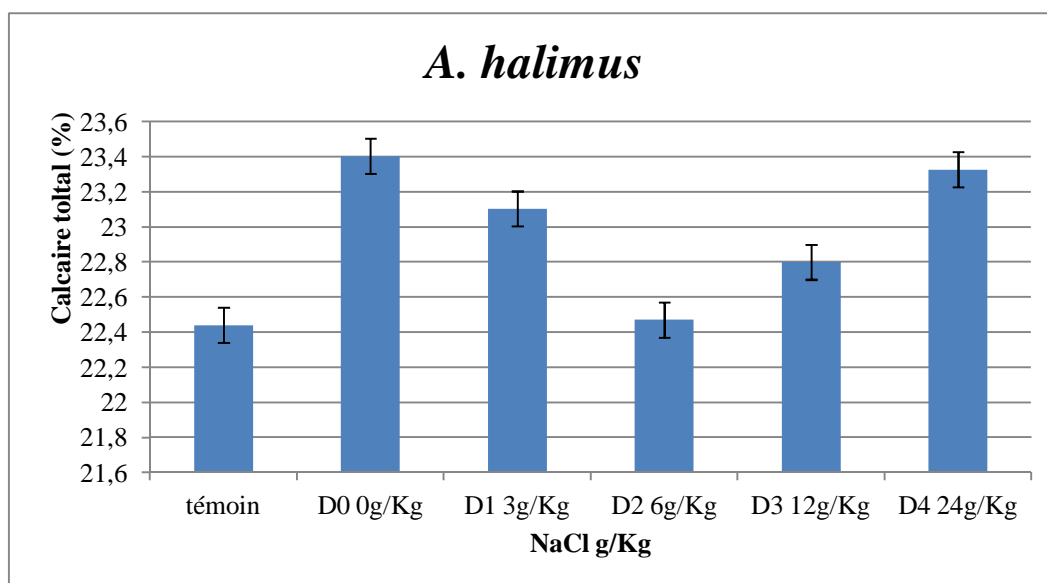
### 1.2.2. Effet sur le Calcaire total

L'analyse de variance de calcaire total enregistre une seule signification de l'effet de salinité qui est très significatif (Tableau 21).

**Tableau 21 : Analyse de la variance de L'effet de l'*Atriplex* sur le Calcaire total de la solution du sol**

Sources	DI	MC Effet	DI Erreur	MC Erreur	F Obs	niveau P
<b>Effet</b>						
<b>Espèces</b>	1	0,073013335	20	0,1480733	0,49308902	0,490645
<b>Salinité</b>	4	0,908686638	20	0,1480733	<b>**6,13673400878906</b>	0,002166
<b>Interaction</b>	4	0,164030001	20	0,1480733	1,107761979	0,380326

Les moyennes sont très proches pour les doses des deux espèces et le témoin (22.44 %). Les doses D<sub>1</sub> (23.40 %) pour *A. nummularia* et D<sub>0</sub> (23.40 %) pour *A. halimus* sont les plus élevées par rapport aux autres doses.



**Figure 30 : Moyennes de calcaire total de la solution du sol d'*Atriplex halimus***

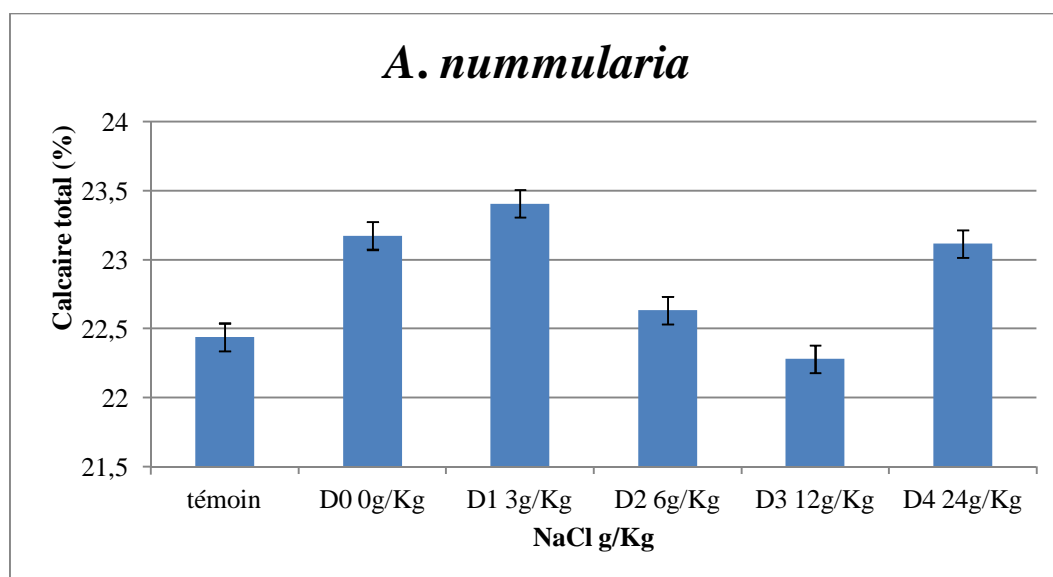


Figure 31 : Moyennes de calcaire total de la solution du sol d'*Atriplex nummularia*

Le calcaire total est moyen pour tous les sols traités ainsi que le témoin, l'effet de salinité et plantation d'*Atriplex* ne révèle rien de rentable sur ce paramètre (Baize et Jabiol, 1995). Le calcaire des sols expérimenté dans les différentes études est sous forme de croute. Cependant la connaissance du taux de calcaire total est insuffisante et il est nécessaire de déterminer la teneur de la fraction active.

### 1.2.3. Effet sur le Calcaire actif

La signification de l'analyse de variance du calcaire actif montre qu'elle est très significative à l'interaction (Tableau 20).

Tableau 20 : Analyse de la variance de L'effet d'*Atriplex* sur le Calcaire actif de la solution du sol

Sources	dl Effet	MC Effet	DI Erreur	MC Erreur	F Obs	niveau P
Espèces	1	1,704083323	20	3,18325	0,53532815	0,472862
Salinité	4	0,842416644	20	3,18325	0,26464045	0,897177
Interaction	4	15,92491627	20	3,18325	<b>**5,00272274017333</b>	0,005845

Les résultats des analyses du calcaire actif sont considérés comme importants, la valeur la plus faible est obtenue chez le témoin avec 0.83 %. Les teneurs les plus faibles des sols plantés sont obtenus avec D<sub>0</sub> (0.86 %) pour *A. halimus* et D<sub>2</sub> (1 %) pour *A. nummularia*. Les doses D<sub>2</sub> (4.52 %) de *A. halimus* et D<sub>3</sub> (5.25 %) d'*A. nummularia* sont les plus élevés.

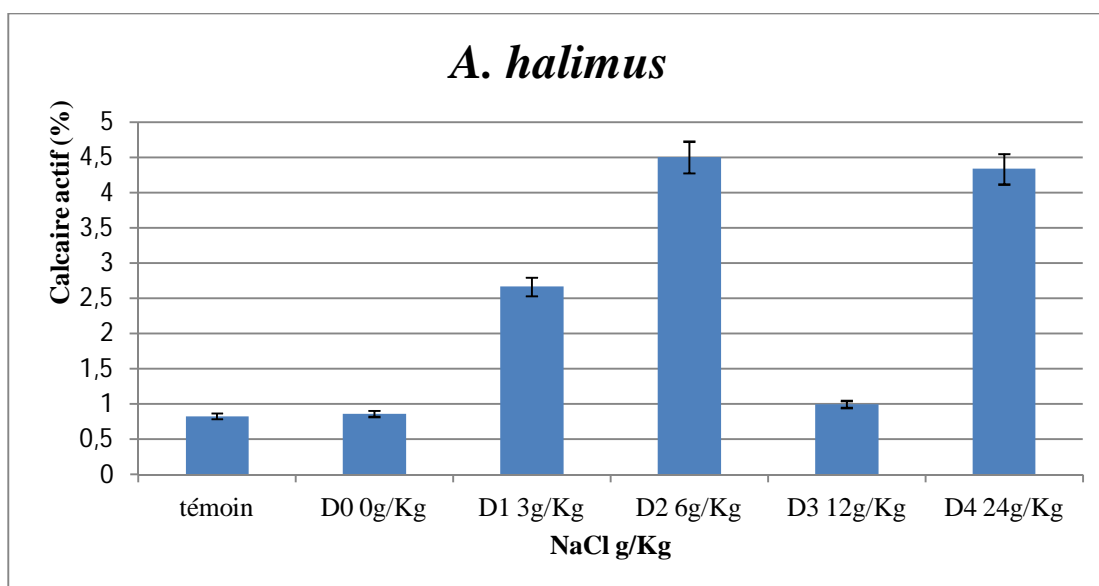


Figure 28 : Moyennes de calcaire actif de la solution du sol d'*Atriplex halimus*

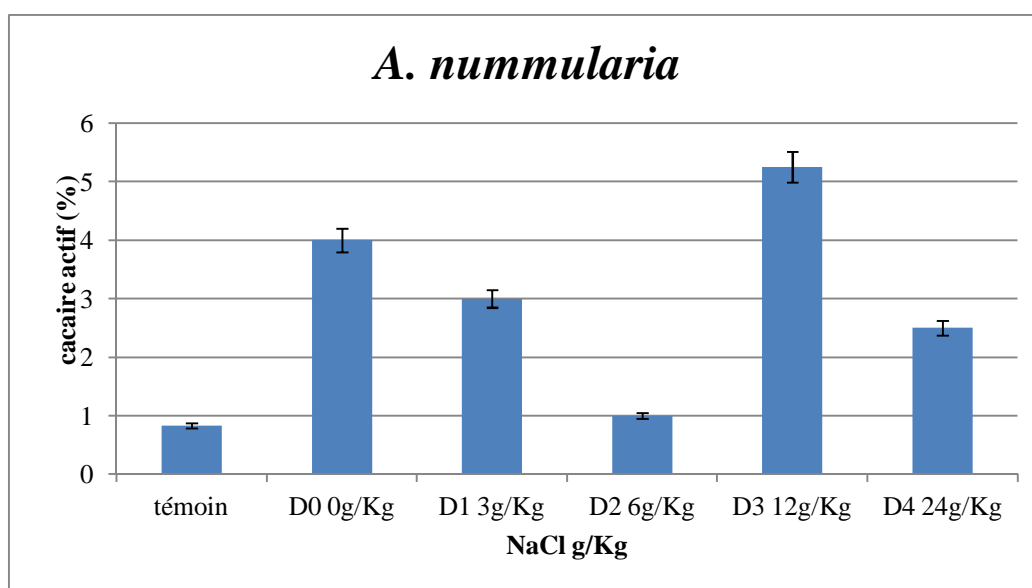


Figure 29 : Moyennes de calcaire actif de la solution du sol d'*Atriplex nummularia*

Lorsque le taux de calcaire actif est supérieur à 0.8 %, il y a un risque de toxicité pour les plantes glycophytes, car le calcaire fin est plus soluble et libère du  $\text{Ca}^{++}$  qui bloque l'absorption des cations bivalents tels que  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Fe}^{++}$ , et provoque une mauvaise fonction Chlorophyllienne (chlorophylle non synthétisée) qui se matérialise par un jaunissement des feuilles, c'est la chlorose, l'*Atriplex* est plus résistante.

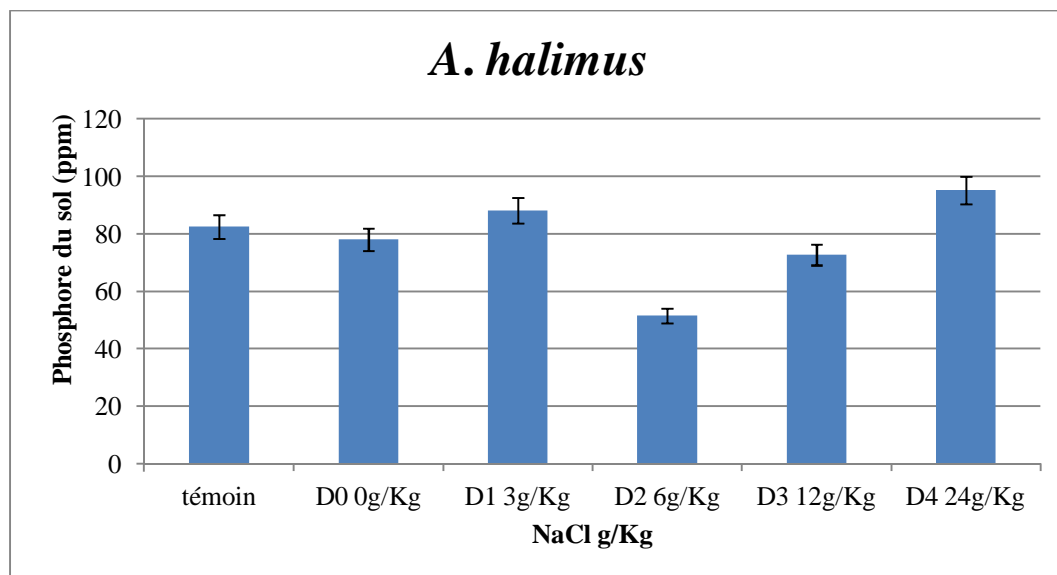
### 1.2.4. Effet sur le taux de phosphore du sol

L'analyse de la variance des résultats obtenus sur le phosphore du sol montre que l'espèce a enregistré des effets significatifs et non significatifs chez la salinité et l'interaction (Tableau 22).

**Tableau 22 : Analyse de la variance de L'effet de L'*Atriplex* sur le Phosphore de la solution du sol**

Source	dl Effet	MC Effet	DI Erreur	MC Erreur	F Obs	niveau P
Espèces	1	0,051628955	20	0,011744	<b>*4,39621591567993</b>	0,048938
Salinité	4	0,03332939	20	0,011744	2,838004351	0,051566
Interaction	4	0,028435506	20	0,011744	2,421289206	0,082145

On remarque une perturbation du phosphore dans le sol avec l'augmentation de salinité chez les deux espèces. En générale les résultats sont plus élevés chez *Atriplex halimus* que chez *A. nummularia*, et la dose D<sub>4</sub> de *A. halimus* est la plus élevée avec 95.2 ppm, alors que la dose D<sub>1</sub> de *A. nummularia* est la plus modique avec 42.60 ppm par rapport au témoin avec 82.46 ppm.



**Figure 32 : Moyennes du phosphore de la solution du sol d'*Atriplex halimus***

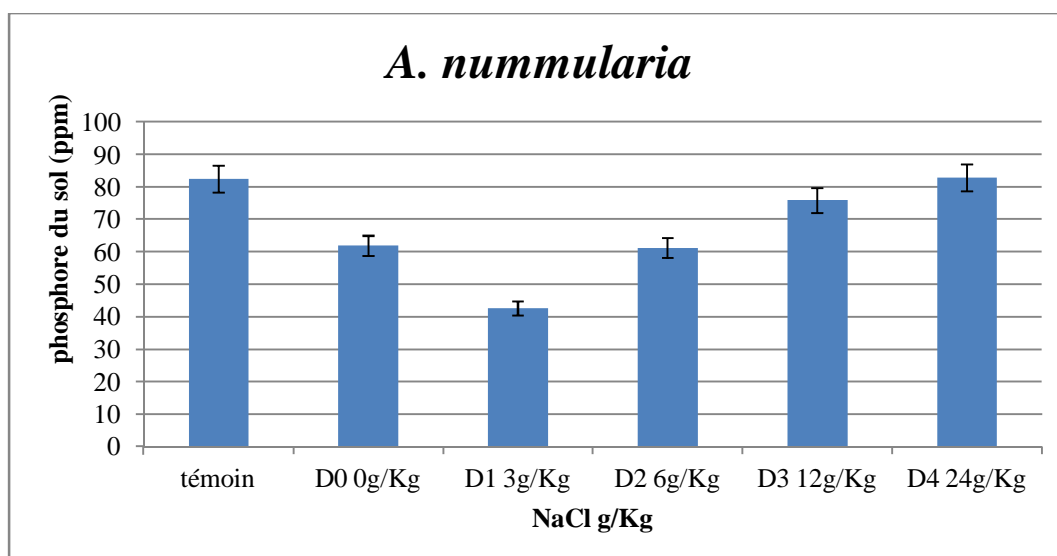


Figure 33 : Moyennes du phosphore de la solution du sol d'*Atriplex nummularia*

L'effet de salinité et de l'*Atriplex halimus* est absent par ce que toutes les valeurs sont proches sauf D<sub>2</sub> et D<sub>3</sub> sont plus élevées pour *A. nummularia*. Le phosphore semble être plus absorbé par *A. nummularia* qui possède des surfaces foliaires plus importantes (Franclet et Le Houerou, 1971).

#### 1.2.5. Effet sur le taux de matière organique du sol salé

L'analyse de la variance montre que l'effet de salinité, espèces et interaction, est non significatifs pour la matière organique (Tableau 23).

Tableau 23 : Analyse de la variance de L'effet de L'*Atriplex* sur la matière organique de la solution du sol

Sources	dl Effet	MC Effet	DI Erreur	MC Erreur	F Obs	niveau P
Espèces	1	15,53760338	20	13,034641	1,192023873	0,2879
Salinité	4	22,33730698	20	13,034641	1,713687897	0,186477
Interaction	4	9,429733276	20	13,034641	0,723436356	0,586146

On remarque que la teneur moyenne la plus élevée est obtenue avec D<sub>3</sub> chez *A. halimus* avec (11.63 %) et la minimale avec D<sub>2</sub> pour *A. nummularia* (3.87 %) alors que le témoin est à (10.04 %).

D'une manière générale, les moyennes de *A. halimus* sont plus élevés pour les doses D<sub>0</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>, D<sub>4</sub> ( 8.45, 4.62, 11.63, 9.78 %) par rapport aux moyennes de *A. nummularia*.

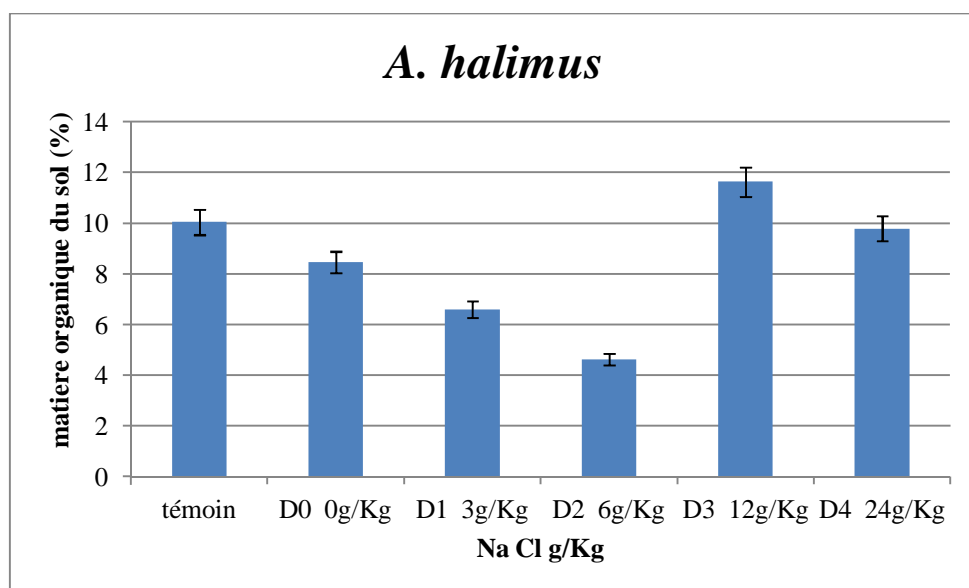


Figure 34 : Moyennes de matière organique de la solution du sol d'*Atriplex halimus*

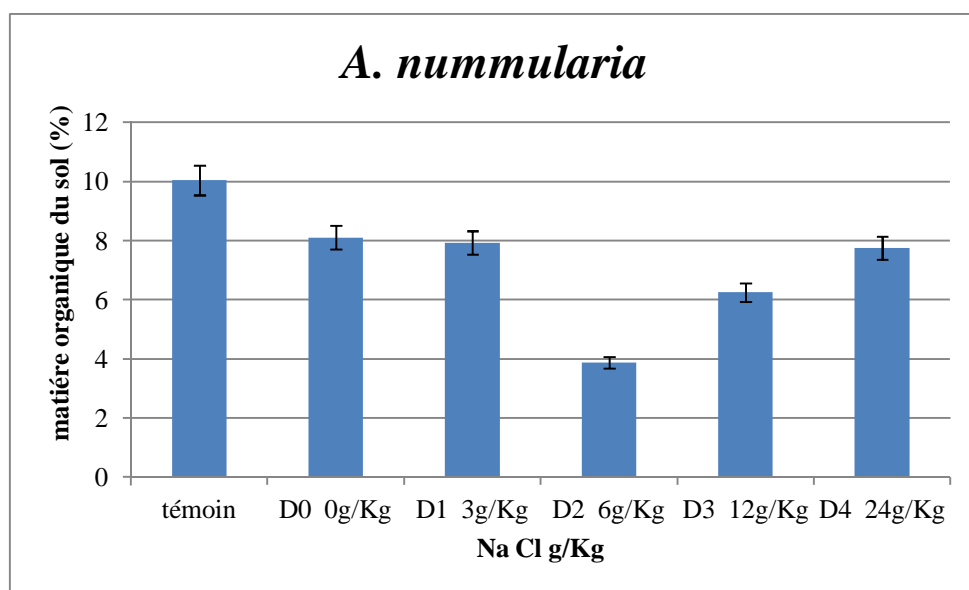


Figure 35 : Moyennes de matière organique de la solution du sol d'*Atriplex nummularia*

Sur le plan statistique la variation de la matière organique est non significative, le témoin marque des valeurs supérieures à celles des sols traités. En effet la salinité élevée peut ralentir l'évolution de matière organique selon (Jacquin et al, 1979) qui rapportent Qu'une forte salinité peut provoquer le ralentissement de la biodégradation des composants organiques.

### 1.3. L'accumulation des sels au niveau des feuilles d'*Atriplex*

#### 1.3.1. L'accumulation de sodium ( $\text{Na}^+$ )

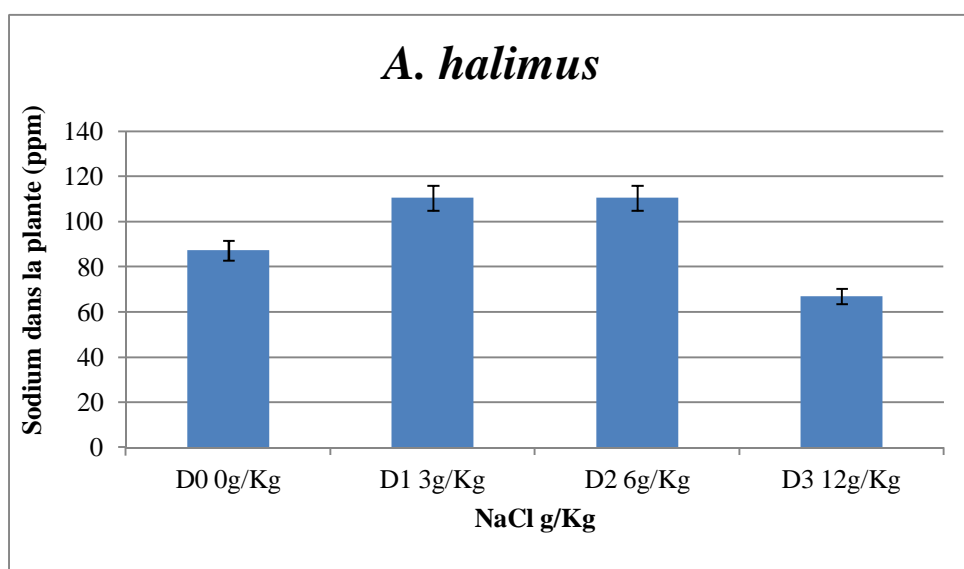
L'analyse de la variance montre un effet d'espèces très significatif et hautement significatif pour la salinité et non significatif pour l'interaction de la teneur en  $\text{Na}^+$  (Tableau 24).

**Tableau 24 : Analyse de la variance de L'effet de la salinité sur l'accumulation de  $\text{Na}^+$  dans les feuilles de la plante**

Source	dl Effet	MC Effet	DI Erreur	MC Erreur	F Obs	niveau P
Espèces	1	7000,100586	20	713,52234	<b>**9,81062602996826</b>	0,005247
Salinité	4	10305,96094	20	713,52234	<b>***14,4437808990478</b>	1,07E-05
Interaction	4	748,6830444	20	713,52234	1,049277663	0,406959

L'effet de salinité entraîne la mort des plantes à des concentrations élevées, D<sub>4</sub> pour *A. halimus* et D<sub>3</sub>, D<sub>4</sub> pour *A. nummularia*.

Les teneurs de  $\text{Na}^+$  accumulés dans l'*Atriplex halimus* s'élèvent avec l'augmentation de la concentration saline. Les doses les plus élevées D<sub>1</sub> et D<sub>2</sub> chez *A. halimus* ont la même valeur de 110.43 ppm. La plus faible teneur en  $\text{Na}^+$  dans *A. nummularia* est D<sub>2</sub> avec 55.36 ppm, elle est légèrement supérieure en D<sub>1</sub> avec 61.16 ppm.



**Figure 36 : Moyennes des teneurs en  $\text{Na}^+$  dans les feuilles d'*Atriplex halimus***

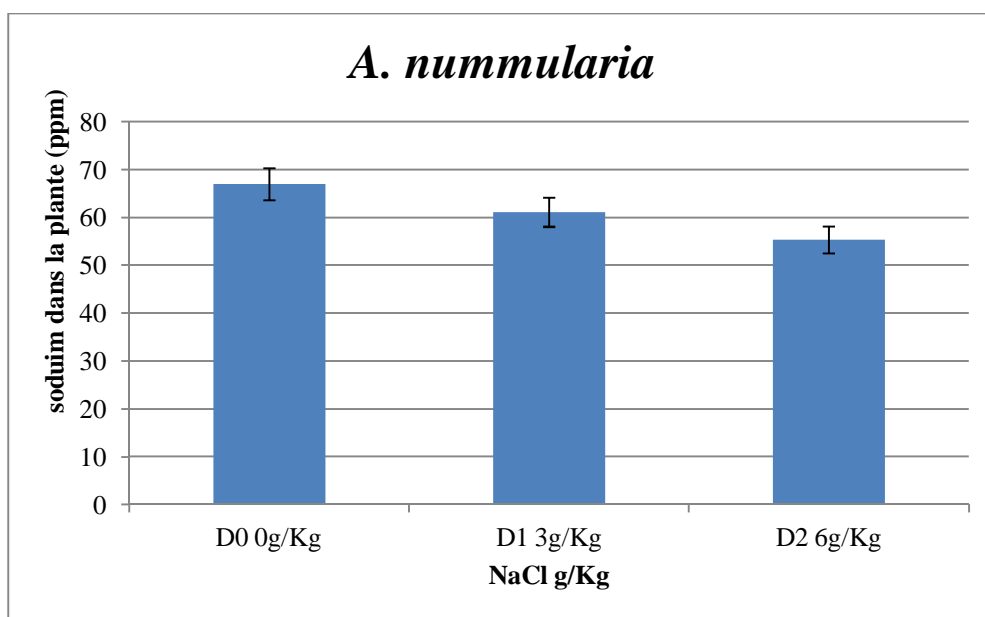


Figure 37 : Moyennes des teneurs en Na<sup>+</sup> dans les feuilles d'*Atriplex nummularia*

### 1.3.2. L'accumulation de potassium (K<sup>+</sup>)

L'analyse de la variance montre un effet de salinité hautement significatif et non significatif chez l'espèce et l'interaction pour la teneur en potassium (Tableau 25).

Tableau 25 : Analyse de la variance de l'effet de salinité sur l'accumulation de K<sup>+</sup> dans les feuilles de la plante

Sources	dl Effet	MC Effet	DI Erreur	MC Erreur	F Obs	niveau P
Espèces	1	156,2643738	20	36,550064	4,275351524	0,051853
Salinité	4	1411,316772	20	36,550064	***38,6132507324218	3,86E-09
Interaction	4	15,24497509	20	36,550064	0,417098433	0,794324

L'étude des moyennes montre des valeurs presque proches, la plus importante est celle de D<sub>1</sub> (34.23 ppm) pour *A. halimus* et la plus faible D<sub>2</sub> (18.91 ppm) pour *A. nummularia*, d'une manière générale la teneur en K<sup>+</sup> est plus élevée chez *A. halimus* que chez *A. nummularia*.

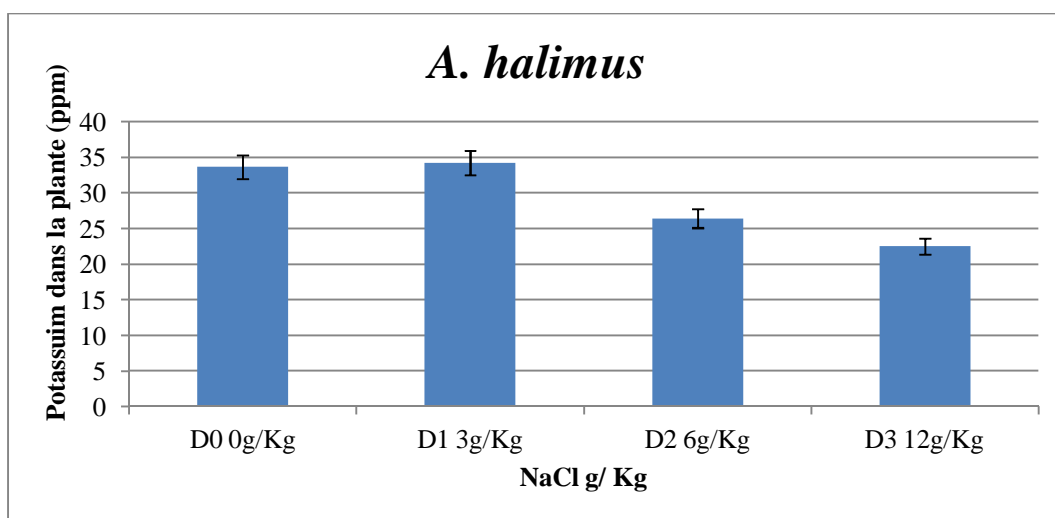


Figure 38 : Moyennes des teneurs en  $K^+$  dans les feuilles d'*Atriplex halimus*

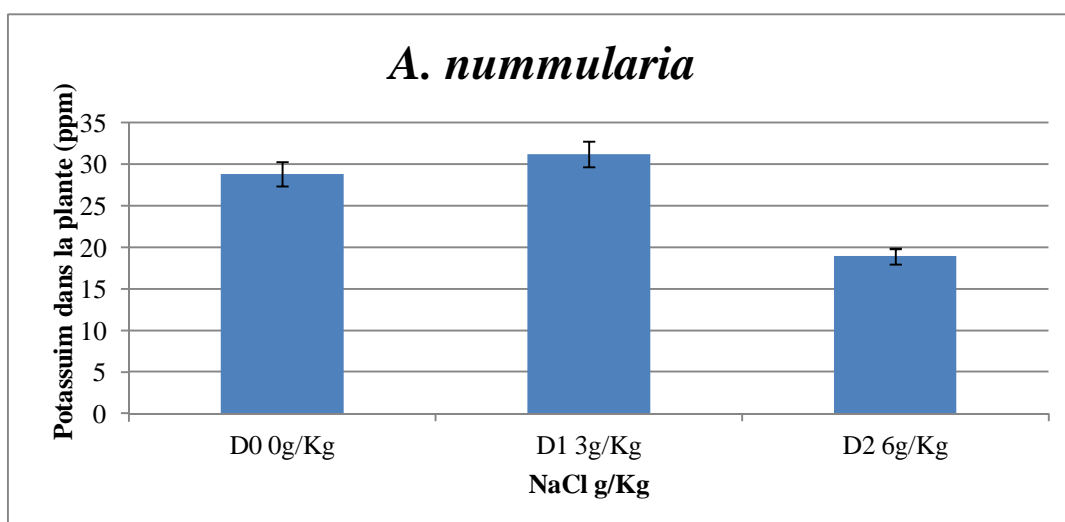


Figure 39 : Moyennes des teneurs en  $K^+$  dans les feuilles d'*Atriplex nummularia*

L'effet de NaCl élevé provoque la mort des plantes. La toxicité propre de certains éléments chimiques est liée à leur quantité excessive, comme le bore et surtout l'anion chlorure (Calvet, 2003).

*A. halimus* est plus résistante aux doses élevées par ce que l'accumulation de  $Na^+$  dans la partie aérienne est un bon indicateur de résistance. *A. nummularia* accumule plus de sels, par rapport *A. halimus* pour la même remarque de morphologie et de développement de la partie aérienne, la surface foliaire d'*A. nummularia* étant plus élevée que *A. halimus*.

#### 1.4. Conclusion

Le suivi est porté sur un certain nombre de paramètres de bilan de salure et physico-chimiques du sol ainsi que sur le contrôle de la capacité de l'espèce à extraire et à accumuler

les sels aux niveaux de feuille.

Les résultats obtenus sur les variables mesurées nous ont permis de constater qu'au fur et à mesure les doses de NaCl augmentent, les valeurs de certains paramètres de bilan de salure tels que le TDS et la CE évoluent également dans le même sens.

Connaissant l'influence de l'apport des sels solubles sur le TDS et la CE des sols, nous considérons les valeurs comme tout à fait normale pour un processus de sodisation, c'est-à-dire saturation d'un sol en ions  $\text{Na}^+$ . Concernant la dynamique des sels solubles, l'étude faite sur les ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  révèle une diminution de ces éléments dans la solution du sol, ce qui démontre qu'il y a eu une absorption et donc l'extraction de sels solubles du sol qui se matérialise par une désalinisation, donc une amélioration des propriétés du sol.

Les autres variables étudiées sur le sol, tel que le pH, le calcaire, le phosphore et la matière organique n'ont pas beaucoup évolué et nous pouvons, considérer que l'expérimentation réalisée n'a pas d'effets sur les derniers paramètres.

L'étude de l'effet comparatif des deux *Atriplex* sur les propriétés du sol, montre que chez *A.nummularia*, les résultats obtenus sur les caractéristiques mesurées a permis de constater que l'augmentation des doses de salinité provoquait l'élévation du pH, de teneur  $\text{K}^+$  du sol, par contre nous avons enregistré en même temps une diminution de CE et de teneur en  $\text{Na}^+$  des sols par rapport à l'*A.halimus*. On note un effet important sur l'augmentation de la CE et la teneur en  $\text{Na}^+$  du sol et avec une diminution de teneur en  $\text{K}^+$ .

Quant aux teneurs en phosphore et le calcaire, elles n'ont pas été affectées par la salinisation des sols pour les deux espèces.

Les résultats obtenus sur l'évolution de la matière organique montrent que les teneurs sont proches pour les deux espèces d'*Atriplex*.

Concernant l'accumulation des éléments minéraux dans les plantes, on note que la quantité de  $\text{Na}^+$  est plus importante chez *A. nummularia* que chez *A. halimus*, les teneurs en  $\text{K}^+$  sont presque identiques chez les deux espèces.

En définitif, nous noterons que *A.nummularia* permet l'amélioration de plusieurs caractéristiques des sols salés par rapport à *A. halimus*; cependant l'étude effectuée fait ressortir que cette dernière espèce est plus résistante aux forte salinités et par conséquent résiste mieux dans ces milieux.

Pour affirmer ces résultats ont a fait la plantation au niveau de terrain qui a été choisi selon la distribution de salinité et qui confirme une bonne variation de salinité dans des études des plusieurs auteurs sur la région Nord de la wilaya de Tébessa (Morsott, Bokhadra, El Aouinet).

## 2. La Culture au niveau de la région d'étude

### 2.1. Caractérisation géochimique et identification des paramètres de salinité des sols prélevés

Dans la partie Nord de Tébessa, la salinité édaphique s'exprime avec des degrés différents, qu'il s'agisse d'une salinité d'origine ou d'une salinité par l'irrigation, on les étudiera de manière générale et on les illustrera par des situations typiques reconnues sur le terrain.

L'étude cartographique détaillée n'a pu être réalisée, ce qui aurait permis un recensement plus détaillé des différents types de sol et de leur situation dans le paysage géopédologique. Cependant, la prospection de terrain a été longue et minutieuse, ce qui a permis d'observer de très nombreux profils et de présenter une synthèse des types les plus représentatifs. Cet inventaire fait l'état de la salinité des sols au cours de l'année 2013.

**Tableau 26 : Moyennes des résultats des analyses des sols (novembre 2013)**

Sols	CE ( $\mu\text{S/cm}$ )	TDS (mg/l)	salinité (mg/l)	pH	Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	Mg <sup>+2</sup> (mg/l)	Ca <sup>+2</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)
1	2040.00	1087.00	1	7.40	04.50	02.90	03.04	13.00	28.40	50.00	18.00	1.316
2	2460.00	1314.00	1,3	7.48	30.40	11.00	04.67	12.00	86.20	56.00	13.00	1.26
3	4500.00	2000.00	2,6	7.41	63.30	07.90	02.52	11.00	78.81	54.00	21.00	1.46
4	259.75	139.00	0	7.72	13.00	17.40	03.59	13.00	18.46	53.00	11.00	1.78
5	1722.25	923.00	0,8	7.77	18.10	06.70	02.17	10.00	14.20	49.00	12.00	0.46
6	443.00	232.00	0	7.37	33.80	07.80	03.53	15.00	18.46	60.00	16.00	1.42
7	1419.50	752.00	0,6	7.66	77.33	04.90	05.17	10.00	96.56	64.00	23.00	1.02
8	2290.00	1228.75	1,2	7.11	08.50	05.50	03.02	14.00	24.85	61.00	20.00	1.18
9	360.00	153.00	0	7.87	12.80	11.50	02.46	10.00	09.23	59.00	14.00	1.38

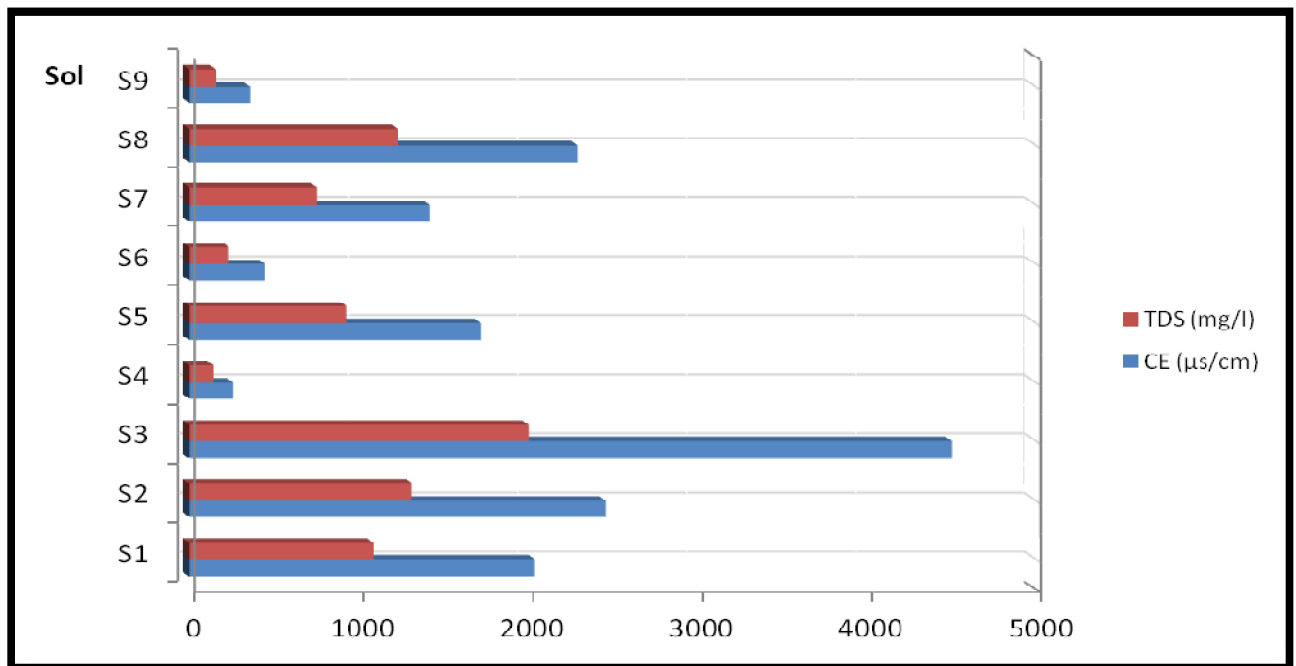
#### 2.1.1. La conductivité électrique ( $\mu\text{S/cm}$ ) et le taux des sels dissous (mg/l)

La conductivité électrique est liée à la présence des espèces ioniques en solution, elle est proportionnelle au degré de minéralisation et varie en fonction de la température. Le lessivage des sols entraîne naturellement la dissolution d'un certain nombre de sel (bicarbonates, chlorures, sulfates, sodium...etc) et provoque un accroissement de la conductivité.

Les valeurs mesurées pendant le mois de novembre 2013, ont été corrigées à une température standard de 25°C. Les résultats obtenus montrent que presque la plupart des échantillons dépassent la norme recommandée pour les sols agricole.

Les zones de forte minéralisation sont localisées presque dans toutes les parties de la région d'étude surtout au niveau des bordures Est et Nord- Est, tandis que les faibles valeurs de minéralisation sont localisées dans la partie Sud de la région d'étude du côté de Morsott (Figure 40).

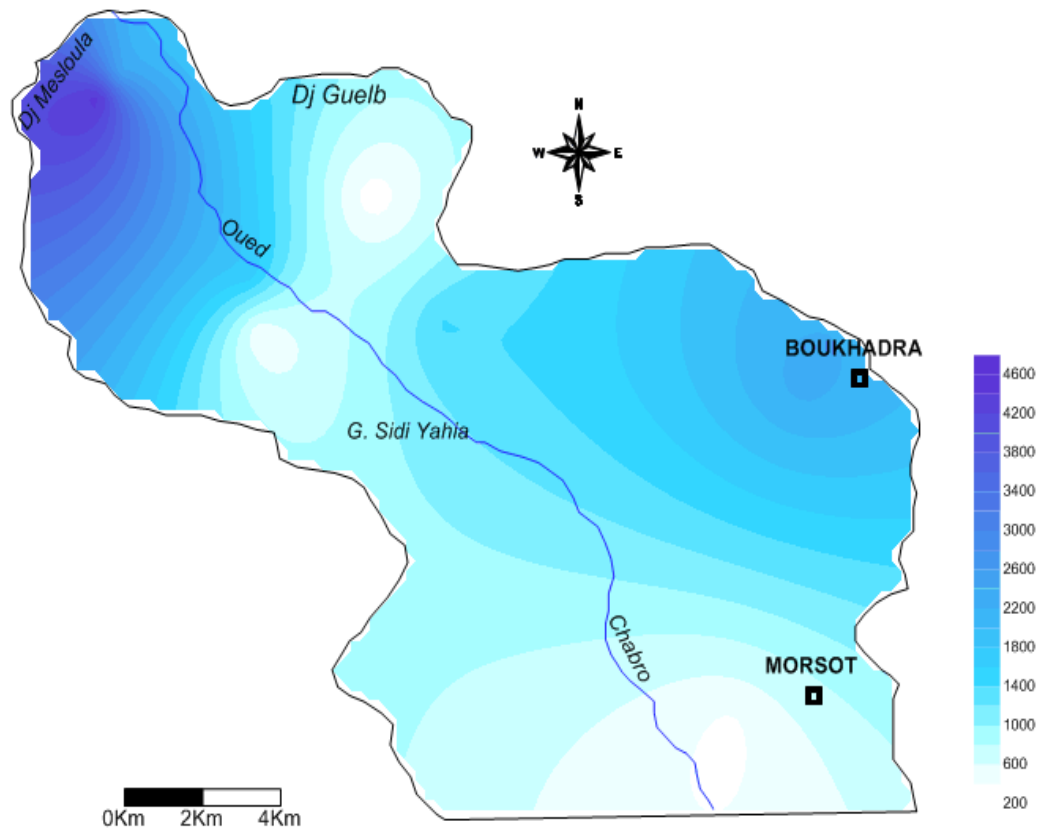
De point de vue quantitatif, et selon Job et *al* ( 1981), le volume de sol exploré est ajustable mais le système est encombrant, on mesure la conductivité de quelques  $dm^3$  seulement, un gradient de salinité de 6 mS/cm pour le sol étudié cela correspondrait à 0.006 % en NaCl volumique , les points de mesure situées au dessus caractérisés par une accumulation excessive des sels en profondeur et l' accumulation des sels en surface, due à l'évaporation.



**Figure 40 : Variation des valeurs de la conductivité électrique (CE) et le taux des sels dissous (TDS) dans le sol de la région d'étude**

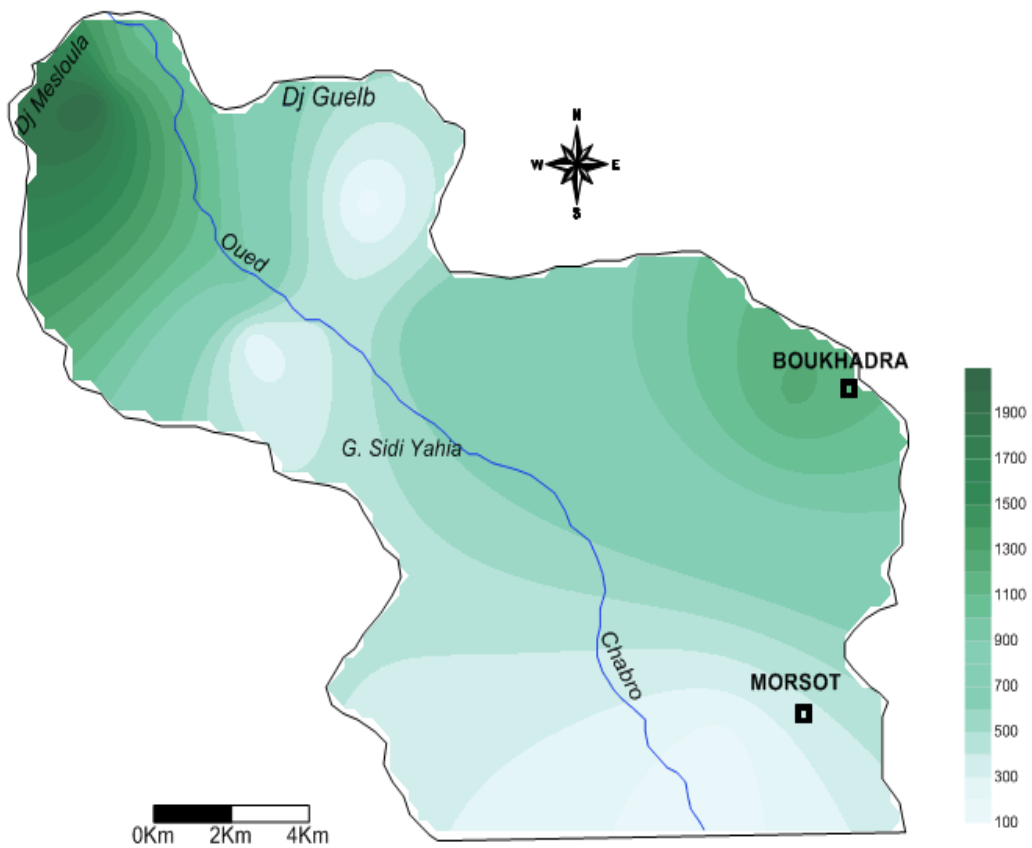
Dans les parties Est (Djebel Boukhadra), Centre et Nord (Djebel Mesloula et Djebel Belkif), l'influence des terrains triasiques salifères riches en Halites est fortement sentie .On remarque une augmentation de la minéralisation globale des sols atteignant une valeur de conductivité égale à 4500  $\mu S/cm$  au niveau d'échantillon S3.

En s'éloignant vers l'amont (région de Morsott), l'influence du Trias s'amortit, la minéralisation globale diminue, la conductivité entre 259.75, 360 et 443  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , au niveau des échantillons S4, S9 et S6 marque une diminution de la conductivité électrique (Figure 41).



**Figure 41 : Carte de Conductivité électrique CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) du sol de la région d'étude**

La même remarque pour les résultats de TDS au niveau de l'échantillon S3 pour 2000 mg/l, la minéralisation globale diminue au niveau des échantillons S4, S9 et S6 (Figure 42) dont le TDS est respectivement 139, 153 et 232 (mg/l).



**Figure 42 : Carte de taux de sels solubles TDS (mg/l) du sol de la région d'étude**

La même chose pour la salinité, les résultats marquent une augmentation des échantillons S3, S1, S8 entre 2.6, 1.3 et 1.2 mg/l successivement, tandis qu'au niveau des échantillons S4, S9 et S6 la salinité est en diminution, traduit par l'influence des formations carbonatées des bordures et celles des terrains marneux du Cénomaniens et du Turonien (Figure 43).

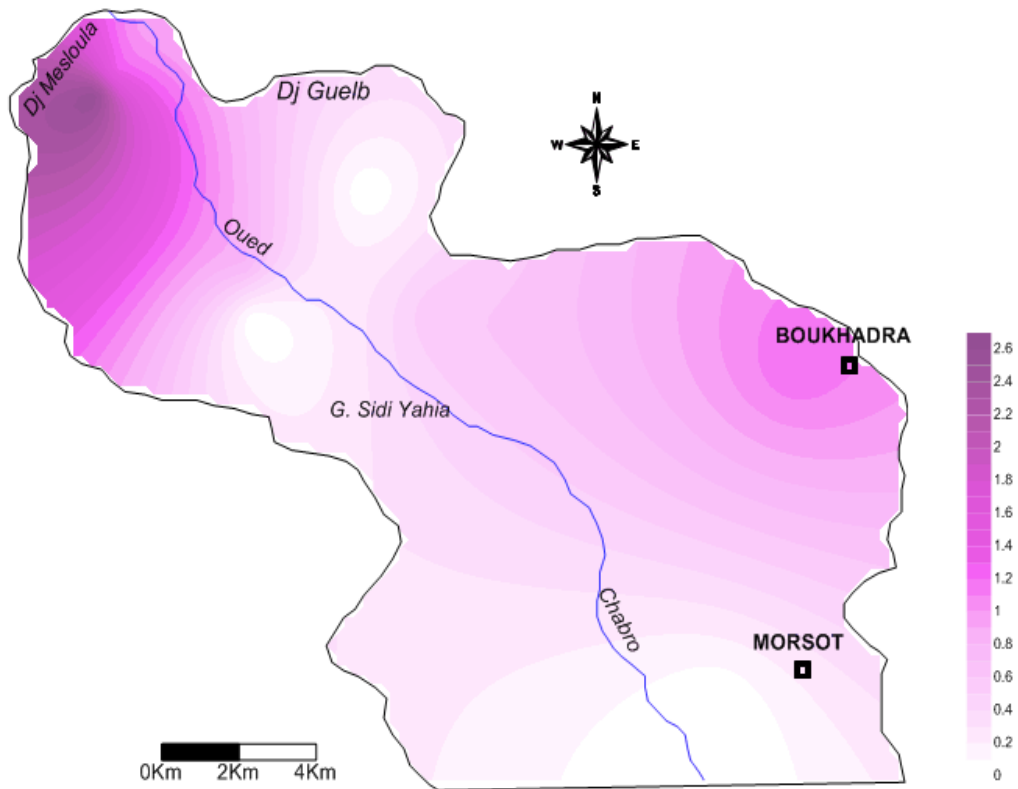


Figure 43 : Carte de salinité (mg/l) du sol de la région d'étude

### 2.1.2. Le pH

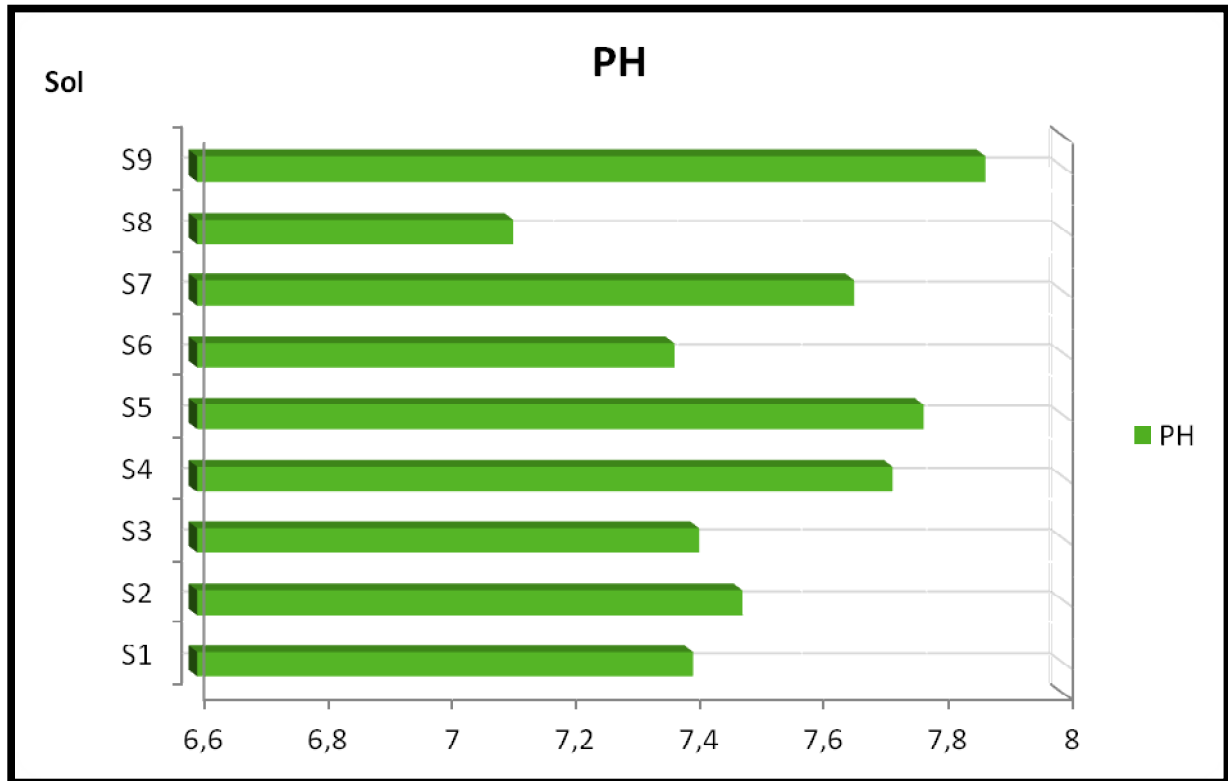
Le pH est défini comme l'activité de l'ion hydrogène d'une eau à 25°C, quand le pH est égal à 7, les activités de  $H^+$  et  $OH^-$  sont égales ( $H^+ = OH^- = 1 \times 10^{-7}$ ). La valeur de pH dépend de la température constante  $pK$ , comme il est montré dans la formule suivante :

$$pH_{\text{équi}} = pK - \log C_{Ca} - \log C_{HCO_3} + \log f(t)$$

Où :  $pK$  : la température constante,  $C_{Ca}$  et  $C_{HCO_3}$  : les concentrations en meq/L.

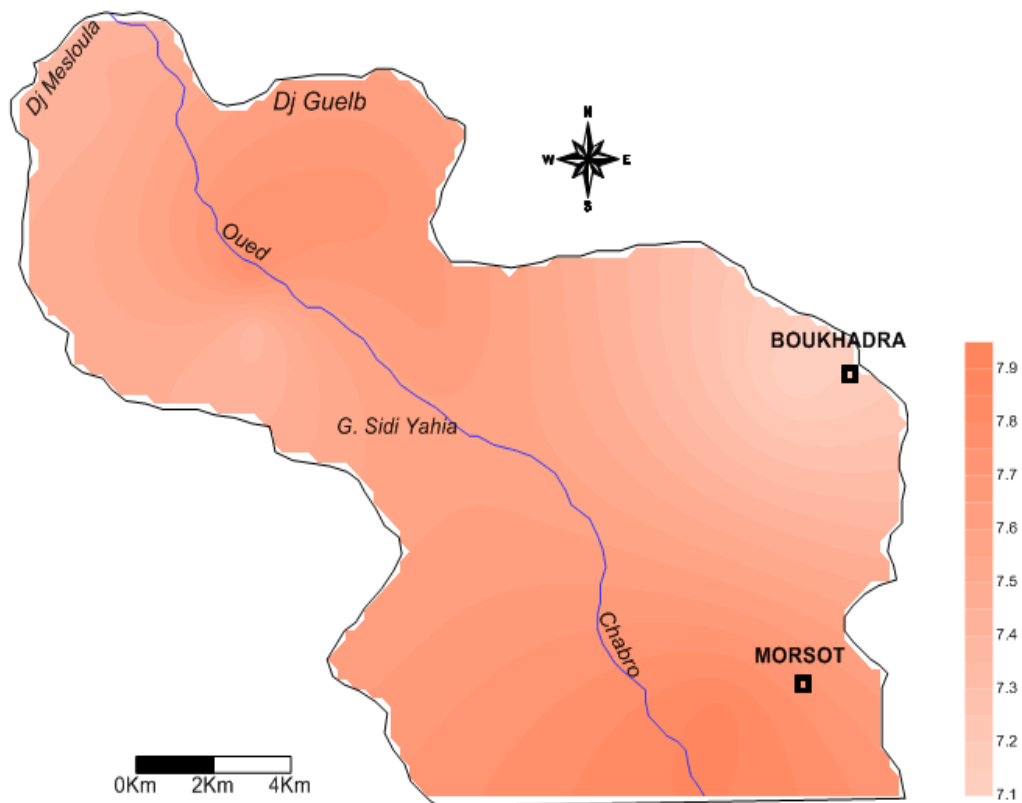
$f(t)$  : le facteur de corrélation qui dépend de la force ionique.

La figure 44 Montre l'évolution de ce paramètre physique au niveau de quelque zone de la région d'étude.



**Figure 44 : Variation des valeurs de pH dans le sol de la région d'étude**

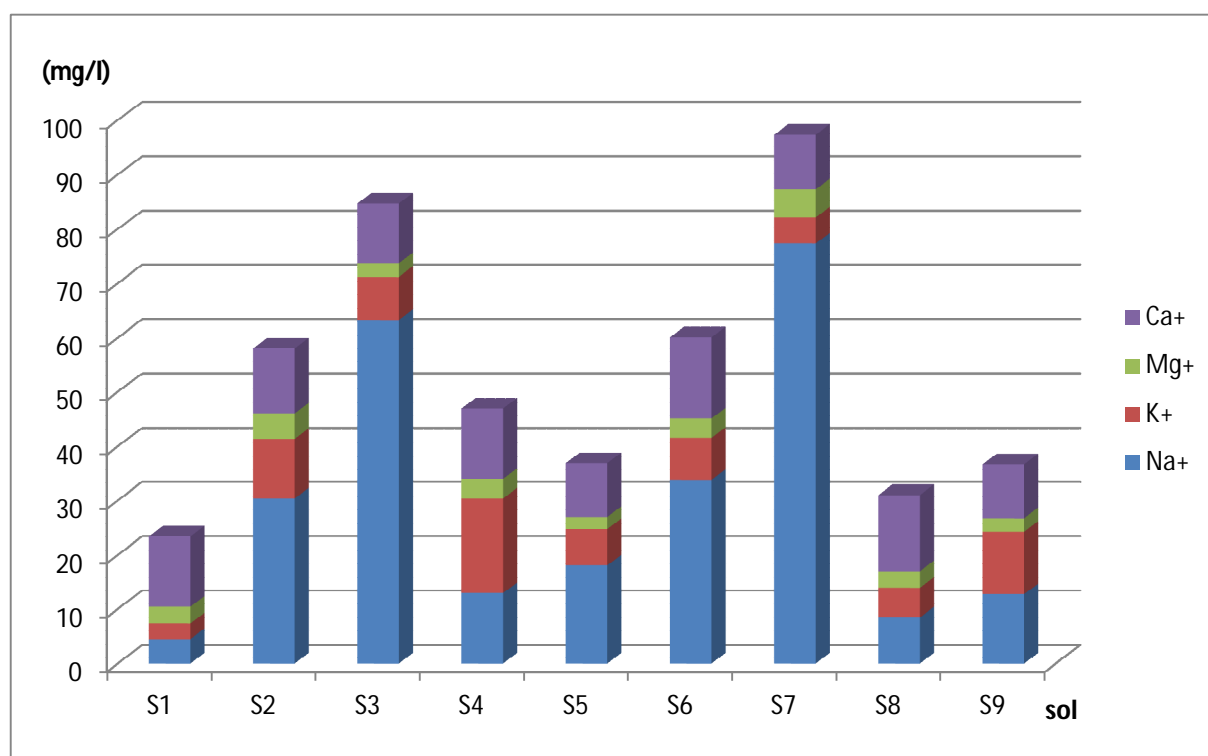
La figure.45 donne l'information qu'on allant du Sud vers le Nord de la zone étudiée, on remarque que les valeurs de pH sont un peu hétérogènes et très proche sur tous les profils. Les valeurs neutres se présentent dans un intervalle de 7.11 à 7.87. Selon Tessier et *al* (1996) l'acidité forte et les minéraux des sols peuvent être partiellement dissous, le taux en sels dissous TDS ainsi que le pH donnent une information très précise sur l'état d'acidification du sol.



**Figure 45 : Carte d'acidité pH du sol de la région d'étude**

### 2.1.3. Les cations majeurs

Les résultats des cations dans les pates saturés des sols sont représentés dans la Figure.46, Le sodium est l'élément le plus dominant des cations échangeables ; il représente 77.33, 63.30, 33.80 et 30.40 (mg/l) dans les échantillons S7, S3, S6 et S2 respectivement (Tableau. 26), Concernant le calcium et le potassium des sols, ils présentent une teneur moyenne à élevée. Les teneurs en magnésium sont relativement faible, le sol perd progressivement une partie de son stock en bases notamment les métaux alcalins ( $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$ ) et alcalino-terreux ( $\text{Ca}^+$  et  $\text{Mg}^+$ ) (Duchaufour,1995; Robert,1996).



**Figure 46 : Variation des valeurs des concentrations des cations dans le sol de la région d'étude**

### 2.1.3.1. Le sodium

Cet élément très abondant (environ 26g/kg de la croûte terrestre soit environ 2.8%) ne se rencontre pas naturellement à l'état natif mais toujours associé à d'autres éléments chimiques (chlorures, sulfates....).Le principal minéral contenant le sodium est le chlorures de sodium.

Au niveau de la région d'étude les teneurs de Na<sup>+</sup> sont très variables, les concentrations varient entre un minimum de 04.5 mg/l et un maximum de 77.3 mg/l et avec une moyenne égale à 33.8 mg/l (Tableau 26).

La variation spatiale de cet élément est représentée dans la figure. 47, l'examen de cette carte montre que les plus grandes concentrations se localisent dans le centre et le Nord-ouest de la région d'étude surtout au niveau de S7 et S3 de la région d'étude, qui marque les plus fortes concentrations 77.3 et 63.3 mg/l respectivement.

Ces fortes teneurs sont attribuées à l'influence du Trias évaporitique qui constitue les bordures Centre-Est et Nord-Ouest de la région d'étude. Trias de Boukhadra, diminuent pour atteindre un minimum de 04.5 mg/l au niveau d'échantillon S8. La figure 47, montre l'évolution des teneurs de sodium le long d'un profil Sud-Nord dans la région d'étude.

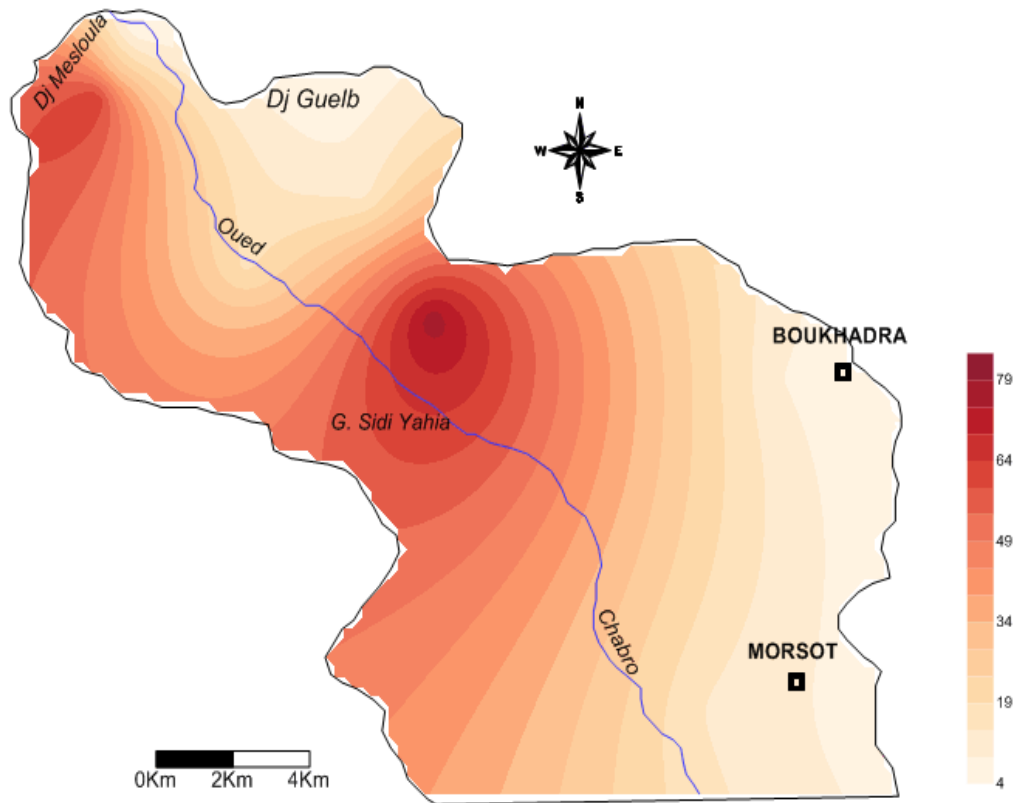


Figure 47: Carte de Sodium du sol de la région d'étude (mg/l)

### 2.1.3.2. Le potassium

Le potassium provient de l'altération directe des roches silicatées (feldspaths, orthoclase, microcline et mica).

Dans les sédiments, le potassium se trouve essentiellement dans les feldspaths altérés, dans les particules des micas ou dans les minéraux argileux sous forme de cation d'inter couches, comme c'est le cas pour l'illite, la vermiculite, le chlorite, le mica hydraté et la montmorillonite. Cependant les sols riches en vermiculite et en montmorillonite produisent plus de potassium que les sols qui sont dominant en kaolinite. Les transformations, les relations et les différentes formes de  $K^+$  sont résumés dans la figure 48.

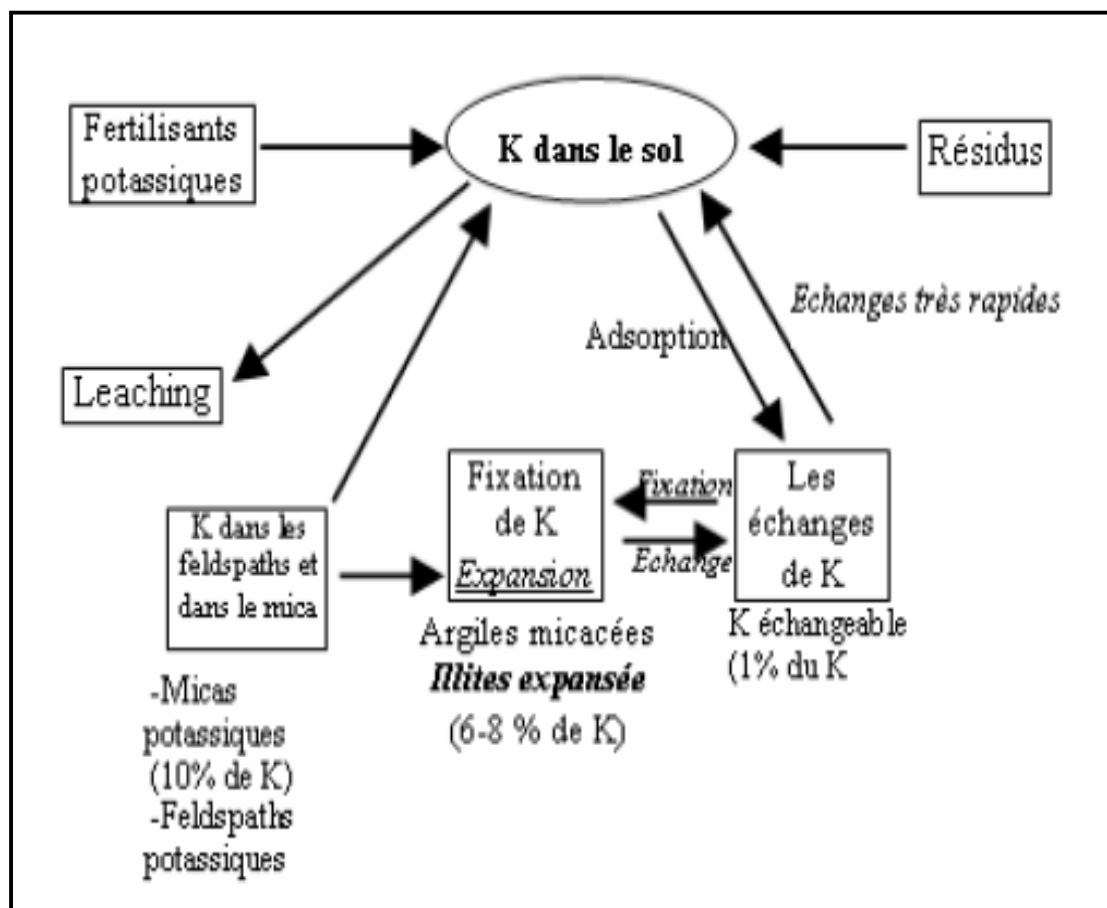


Figure 48 : Le cycle de potassium dans le sol (Tisdale et al, 1993)

Dans la région d'étude le potassium est le cation le moins répandu, ses concentrations dans les échantillons des sols analysés varient entre 17.4 mg/l et 02.9 mg/l aux niveaux de S4 et S1 avec une moyenne aux niveaux de S3 et S6 égale à 7.90 mg/l et 7.80 mg/l (Tableau.26).

La variation des concentrations de  $K^+$  pendant la période d'investigation au niveau des échantillons est représentée dans la (Figure, 49).

On remarque que les plus grandes valeurs sont enregistrées au Nord-Est de la région d'étude S4, avec une teneur maximale égale à 17,4 mg/l, cette forte teneur est peut être attribuée à la dissolution des roches évaporetiques du Trias (sels potassiques KCl) d'une part et à l'utilisation des fertilisants potassiques d'une autres part, durant les différentes activités agricoles, faites par les agriculteurs.

Cependant le taux de  $K^+$  dans les sols reste très variable, il dépend de plusieurs facteurs à savoir, le type de sol, le pH du sol, la température, la présence d'argile, la présence des sels et la production agricole.

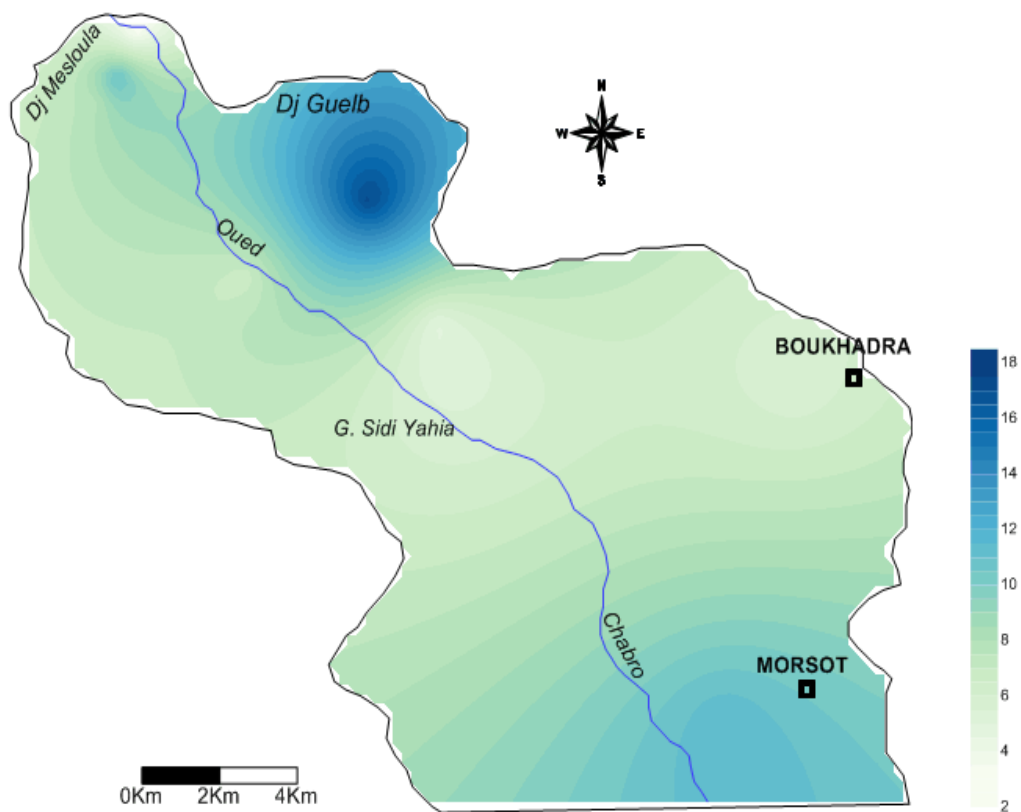


Figure 49 : Carte de Potassium du sol de la région d'étude (mg/l)

### 2.1.3.3. Le calcium

Le calcium est l'élément principal de la dureté de sol, il est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Ils se dissolvent en majorité lors de l'attaque des roches calcaires par l'anhydride carbonique dissous ( $\text{CO}_2$ ), le calcium est essentiel pour les plantes et les animaux, il est aussi l'un des éléments minéraux essentiels pour la constitution des roches ignées, spécialement les silicates (pyroxène, amphibole et feldspaths). Dans les roches sédimentaires, il se présente sous forme de carbonates (calcite, dolomite et aragonite). Il fait parti de quelques minéraux évaporetiques à savoir le gypse et l'anhydrite et aussi dans les minéraux argileux sous forme de Ca-montmorillonite (Hem, 1985). Dans la région d'étude, les concentrations de calcium varient respectivement entre un minimum de 10 mg/l au niveau des échantillons S5, S7, S9 respectivement et un maximum de 15 mg/l au niveau de l'échantillon S6 (Tableau 26).

L'examen de la carte de distribution de calcium (Figure 50), montre que les teneurs les plus élevées ont été enregistrés dans la partie Centrale-Ouest S6 tandis que les faibles teneurs

ont été observés à la partie Sud S9 notamment près de la ville de Morsot, et en ouest S5 de la région de Rmila et Est S7 la région de Boukhadra de la zone d'étude.

Durant la campagne d'échantillonnage du mois de novembre 2013, la plus grande concentration du  $\text{Ca}^{+2}$  a été enregistré au niveau de l'échantillon du sol S6, cette valeur est probablement due à la présence des dépôts du sulfate- $\text{Ca}^{+2}$  sous forme d'anhydrite et de gypse, elle peut être attribuée aussi à l'influence des roches carbonatés (calcite et dolomite), qui caractérisent le substratum formées essentiellement de marno-calcaires d'âge Turonien.

La dolomisation de la calcite et de l'aragonite représentée par la réaction en dessous, est un processus qui peut former une source supplémentaire de  $\text{Ca}^{+2}$  dans la région d'étude.

$\text{Mg}^{+2} + 2\text{CaCO}_3 \leftrightarrow \text{Ca Mg}(\text{CO}_3) + \text{Ca}^{+2}$  (Freeze et Cherry, 1979).

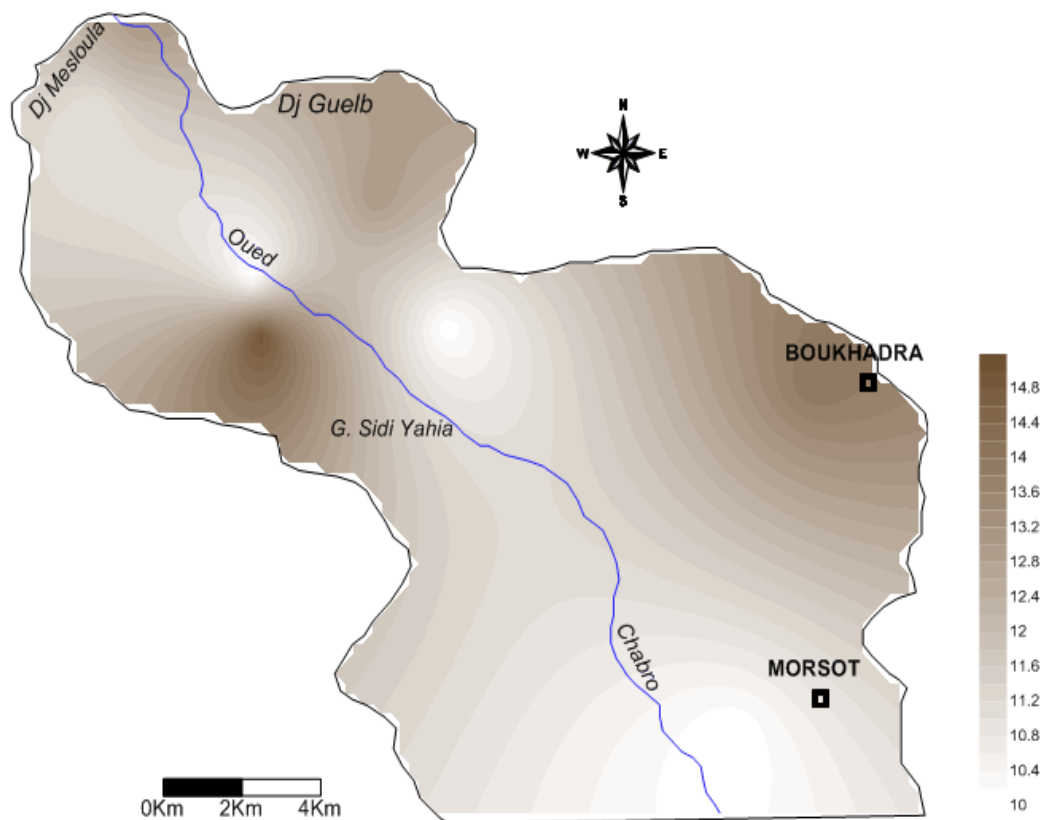


Figure 50 : Carte de calcium du sol de la région d'étude (mg/l)

#### 2.1.3.4. Le magnésium

Le magnésium est un élément très répandu dans la nature (2.1% de l'écorce terrestre). C'est un constituant essentiel de différentes roches ignées noires ferromagnésiennes. Dans les roches sédimentaires, ses origines sont comparables à celle du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium comme la magnésite et la dolomite.

Magnésite:  $MgCO_3 \leftrightarrow Mg^{+2} + CO_3$

Dolomite:  $Ca Mg (CO_3) \leftrightarrow Ca^{+2} + Mg^{+2} + 2CO_3$  (Drever,1997).

Dans la région d'étude, les concentrations de  $Mg^{+2}$  varient entre 2,52 mg/l et 5,17 mg/l au niveau des échantillons de sol S5 et S7 (Tableau, 26).

Les concentrations observées au niveau de la zone étudiée sont représentées dans la (figure,51), Les teneurs les plus élevées sont observées au niveau des points des échantillons au Centre-Est et Nord de la région d'étude S7, S2, S6, et S1, ces fortes concentrations peuvent être attribuées au contact direct avec le substratum marneux riche en gypse, halite et en brucite, Une autre source de  $Mg^{+2}$  peut provenir également dans cette région qui favorisent les conditions de la dolomitisation de la calcite.

Les faibles teneurs de  $Mg^{+2}$  (2.17 mg/l et 2.46 mg/l) dans les échantillons S5, S9 respectivement, peuvent être attribuées au faible processus de la dolomitisation surtout dans la région de Rmila, Morsott, ce qui est indiquées aussi par les faibles valeurs d'indice de saturation de la dolomite.

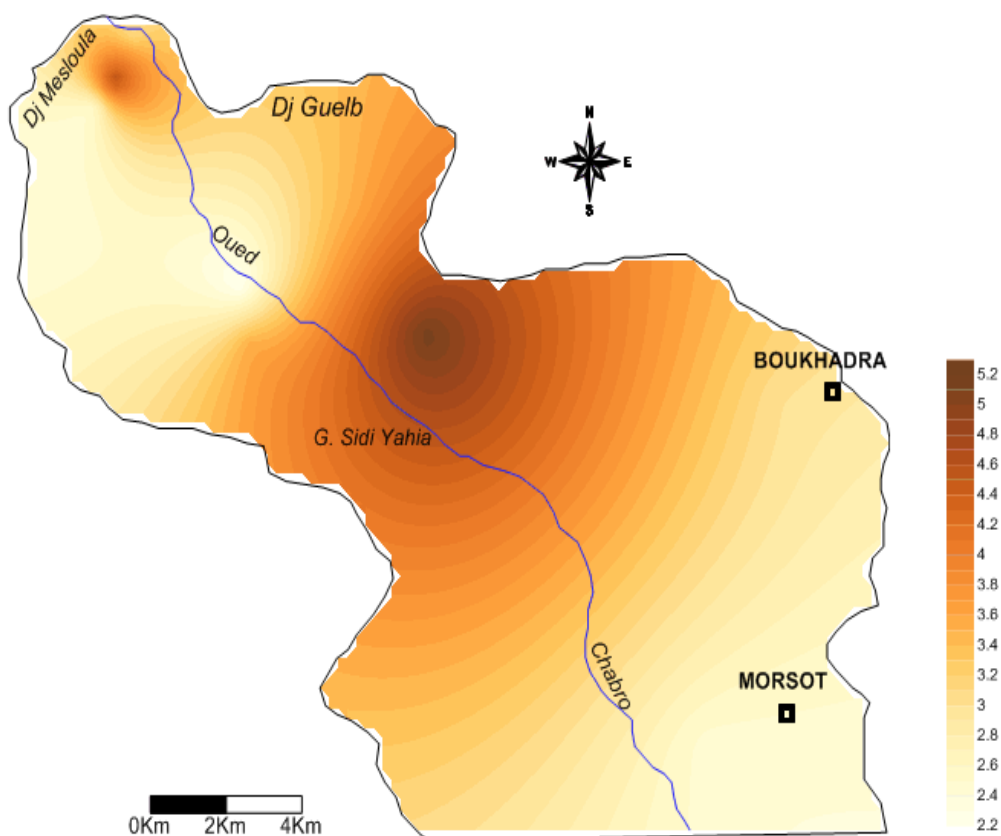
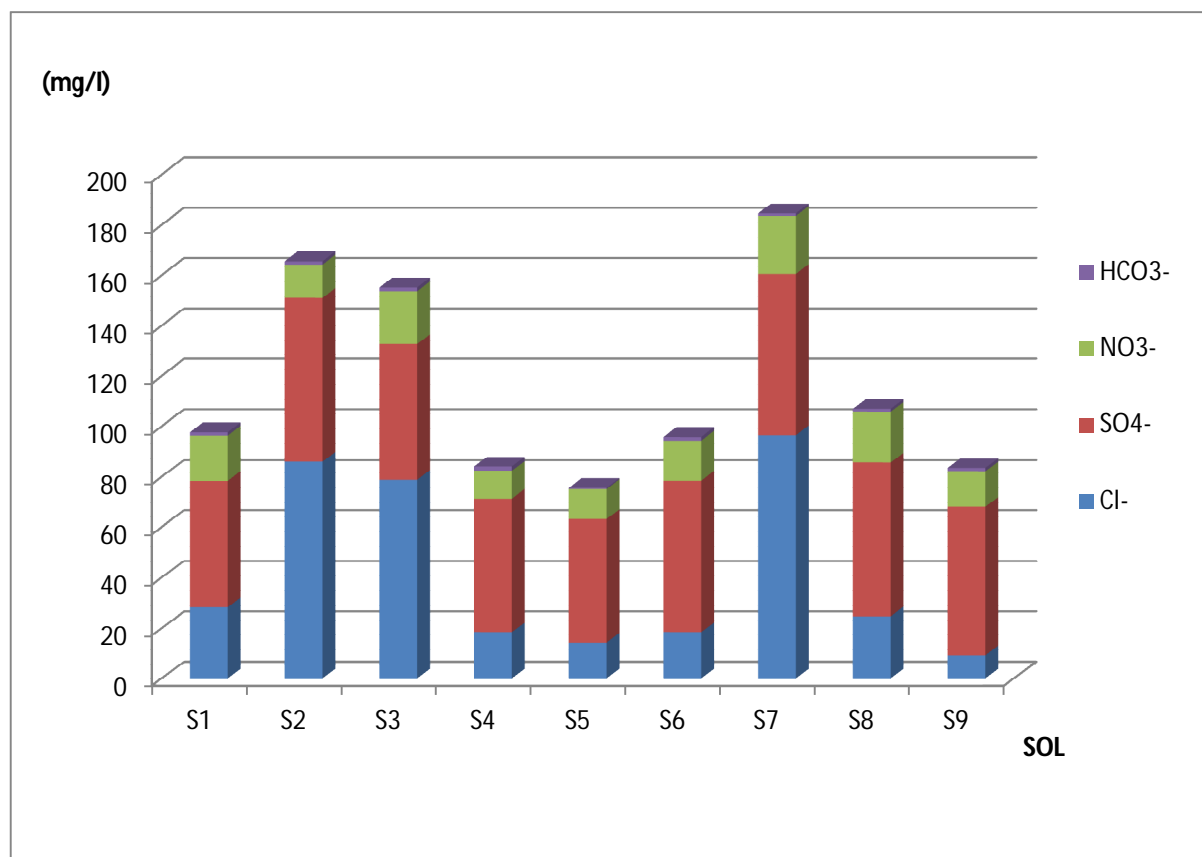


Figure 51 : Carte de Magnésium du sol de la région d'étude (mg/l)

### 2.1.4. Les anions majeurs

Les résultats des anions dans les pates saturés des sols sont représentés dans la (Figure 52). L'élément  $\text{HCO}_3^-$  ne présente aucune saturation, malgré son importance pour la régulation de la somme échangeable des éléments, il montre des teneurs faibles dans tous les sols, tandis que les teneurs en chlorures ( $\text{Cl}^-$ ) sont élevées ; en excès, ce dernier élément devient nuisible.

En général, les sulfates  $\text{SO}_4^-$  sont relativement importants dans tous les sols (Tableau. 26) ils varient entre 49 mg/l et 64 mg/l. Les  $\text{NO}_3^-$  varie entre 11 mg/l et 23mg/l, ceci laisse supposer qu'il y a une différenciation de point de vue proportionnel minéralogiques d'argile entre les différents sols de la région d'étude; l'élévation de CE et le TDS s'explique bien par l'augmentation des concentrations du  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  dans les sols S3, S2, S8, S1 et S7.



**Figure 52 : Variation des valeurs des concentrations des anions dans le sol de la région d'étude**

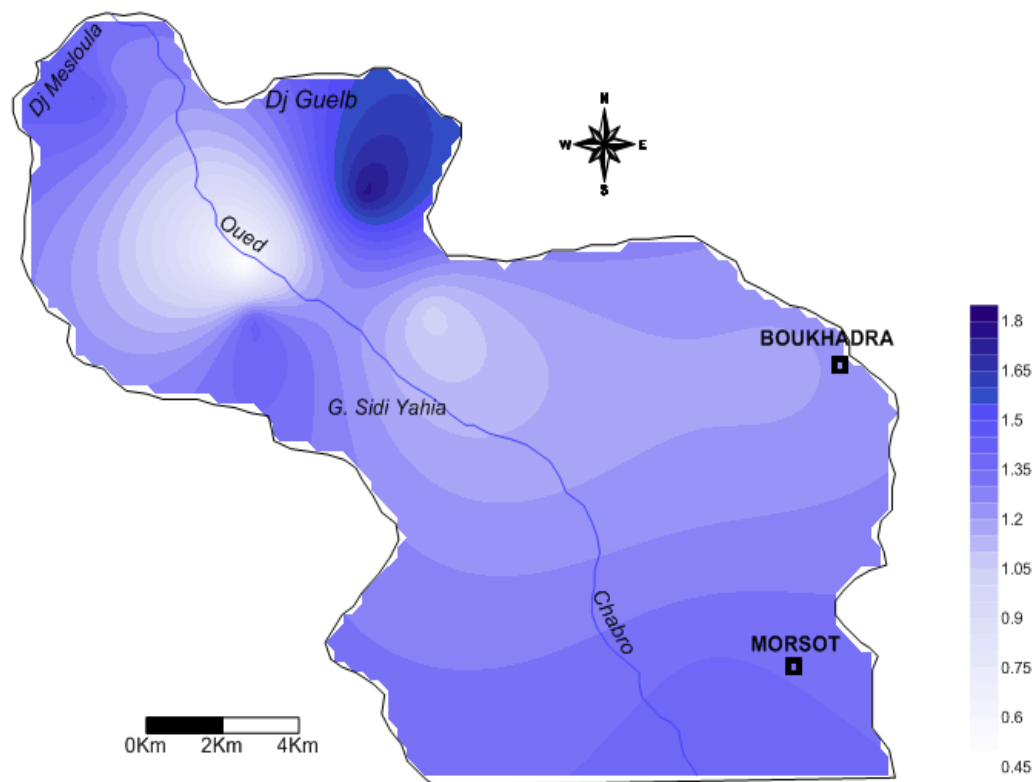
Les résultats montrent que les paramètres de salinité (CE, TDS, Salinité) entre en relation avec la caractérisation et la mise en valeur des sols salés, donc il y'a une possibilité

de s'affranchir du problème de l'hétérogénéité de la répartition des sels (cation et anions) dans le sol.

#### 2.1.4.1. Les bicarbonates

Les concentrations des bicarbonates dans les différents échantillons analysés varient entre un minimum de 0.46 mg/l et un maximum de 1.76 mg/l (Tableau 26).

L'évolution spatiale des bicarbonates (figure 53), montre une augmentation des concentrations de cet élément dans la partie Est de la région d'étude au niveau de l'échantillon S4, les concentrations de  $\text{HCO}_3^-$  diminuent pour atteindre la plus faible teneur au niveau de l'échantillon S5.



**Figure 53 : Carte des bicarbonates du sol de la région d'étude (mg/l)**

Dans la figure.54, la majorité des échantillons des sols analysés se trouvent entre la ligne de saturation de la calcite et celle de la dolomite, cela due aux fortes valeurs d'indices de saturation de la calcite, excepté quelques échantillons où les indices de saturation de la dolomite dépassent celles de la calcite.

La figure.54 exprime la relation entre les différentes valeurs de pH et celles de l' $\text{HCO}_3^-$  sous les différentes conditions d'équilibre ( $\text{PCO}_2$ ) et en tenant compte de la dissolution des

minéraux, représenté dans la figure ; basée sur la présentation standard de (Freeze et Cheery, 1979).

La ligne (A) représente les conditions initiales où la dissolution de la calcite et de la dolomite commence. Les changements dans les conditions initiales de la solution de sol à savoir l'augmentation des indices de saturations par rapport au  $PCO_2$ , aux valeurs de pH et aux concentrations de bicarbonates, se font le long d'une ligne appelée « ligne de saturation ».

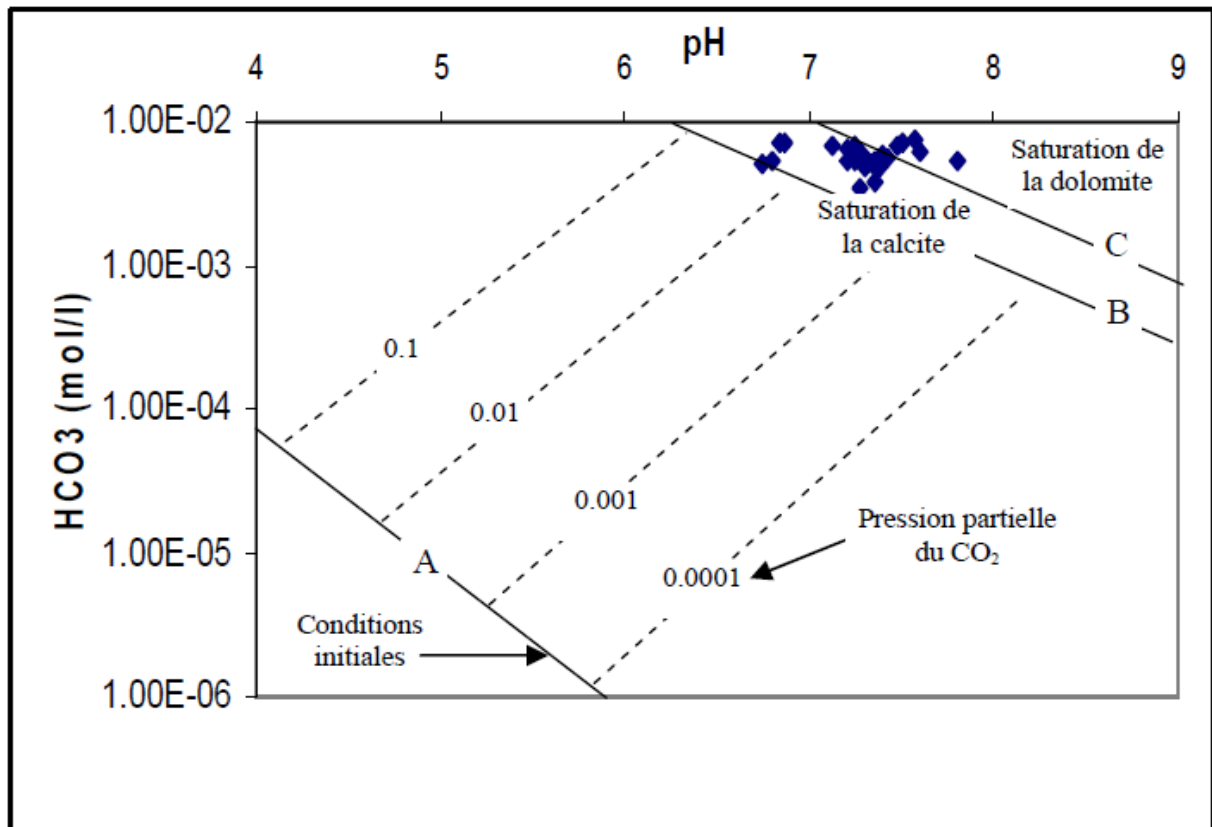


Figure 54 : Relation entre les valeurs de pH et  $HCO_3^-$  en relation avec l'équilibre de carbonate  $PCO_2$  (modifié d'après Freeze et Cheery, 1979)

#### 2.1.4.2. Les chlorures

Très répandus dans la nature, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl), de potassium (KCl) et de calcium ( $CaCl_2$ ), les ions chlorures ( $Cl^-$ ), dans la grande partie se trouvent dans les océans et constituent environ 0.05 % de la lithosphère. De façon générale, l'ion chlorure est présent dans le sol à des concentrations différentes.

Les teneurs en ions chlorures peuvent atteindre quelques grammes par litre au contact de certaines formations géologiques.

Dans la région d'étude, ces teneurs varient entre un minimum de 9,23 mg/l au niveau de l'échantillon S9 et un maximum de 96,56 mg/l et 86,2 mg/l et 78.81 mg/l au niveau de S7, S2, S3 successivement (Tableau 26). L'observation de la carte des chlorures (Figure 55), confirme qu'il y'a des concentrations très élevées enregistré au niveau de Boukhadra S7 et de Meslola2 S2 et Meslola3 S3, ces fortes valeurs sont en rapport direct avec la présence des terrains triasiques salifères riches en halite (NaCl).

Les plus fortes concentrations des chlorures sont observées dans la partie Est et Nord de la région d'étude, en allant vers le Sud dans la région de Morsott, les concentrations des chlorures diminuent (9,23 mg/l).

La répartition des teneurs des chlorures se corrèle bien avec celles de sodium, ce qui confirme l'origine salifère de ces deux éléments.

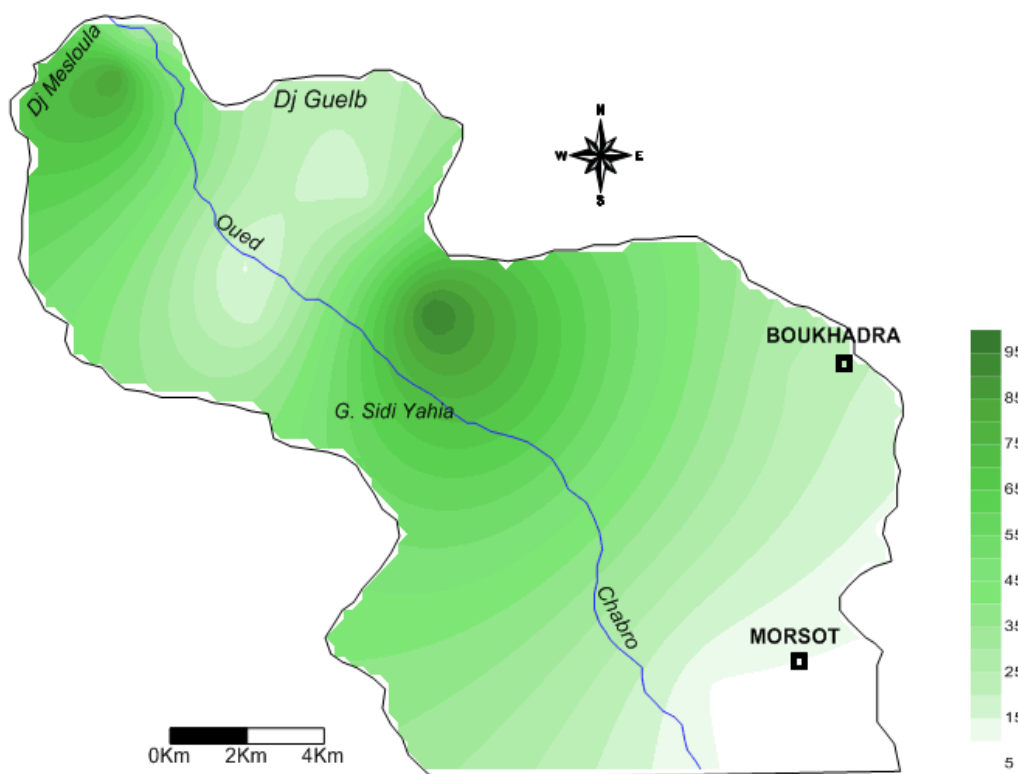
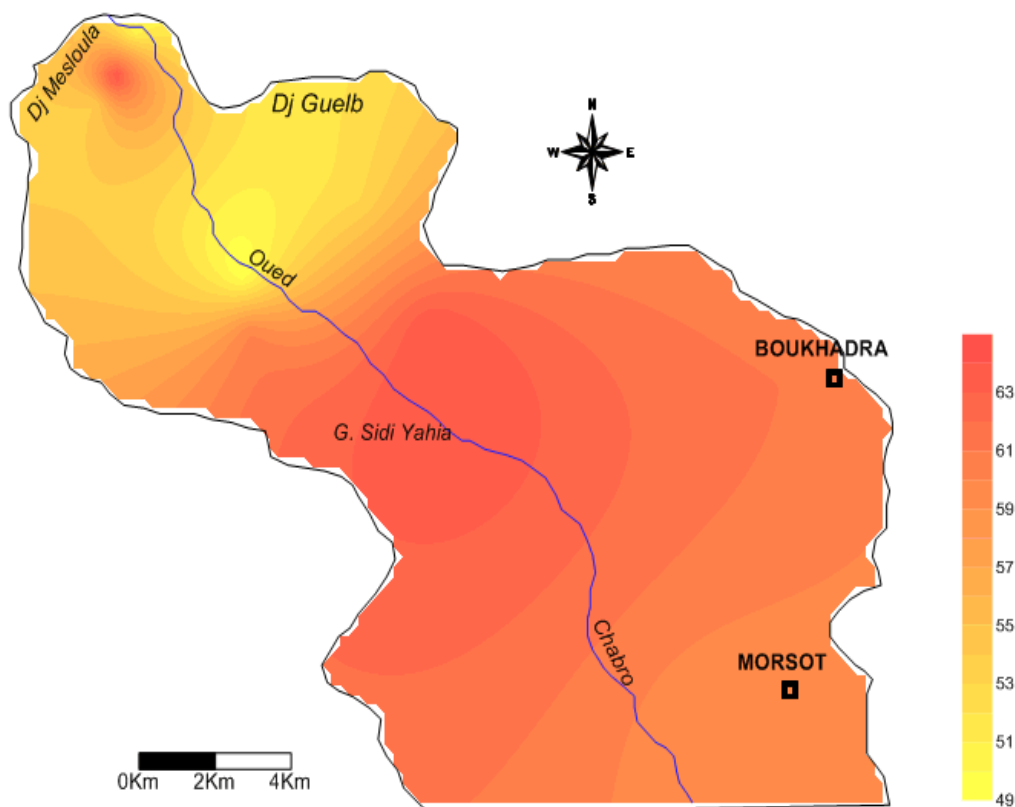


Figure 55 : Carte des chlorures du sol de la région d'étude (mg/l)

### 2.1.4.3. Les sulfates

Au niveau de la région d'étude les concentrations des sulfates  $\text{SO}_4^{-2}$  sont très proche d'une zone à l'autre, les teneurs varient entre un minimum de 49 mg/l et un maximum de 65 mg/l (Tableau 26), la Figure.56 montre la distribution spatiale de cet élément au niveau de toute la région d'étude, on remarque que les fortes teneurs en  $\text{SO}_4^{-2}$  de sol sont localisées au niveau de l'échantillon S7 l'Est de la région d'étude, tandis que les faibles teneurs sont enregistrées au niveau de sol S5, situés au Centre de la région d'étude.



**Figure 56 : Carte des Sulfates du sol de la région d'étude (mg/l)**

L'origine des sulfates, dans la région d'étude est attribuée au lessivage de gypses ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) et d'anhydrite ( $\text{CaSO}_4$ ) (Freeze et Cheery, 1979).

Les valeurs élevées de  $\text{SO}_4^{-2}$  sont d'origine géologique (dissolution de gypse et d'anhydrite). Une autre source de sulfates peut être attribuée à l'infiltration de sulfure utilisé comme fertilisant ou comme pesticide par les agriculteurs de la région.

Le sulfure est présent dans le sol sous forme organique et inorganique ; les formes inorganiques sont :  $\text{SO}_4^{-2}$  soluble, le  $\text{SO}_4^{-2}$  adsorbé, le  $\text{SO}_4^{-2}$  insoluble et le sulfure réducteur

inorganique. Le  $\text{SO}_4^{-2}$  soluble et le  $\text{SO}_4^{-2}$  adsorbé sont les plus utilisés par les plantes (Tisdale et al, 1993).

Le cycle biologique de sulfure dans le sol est représenté dans la figure 57.

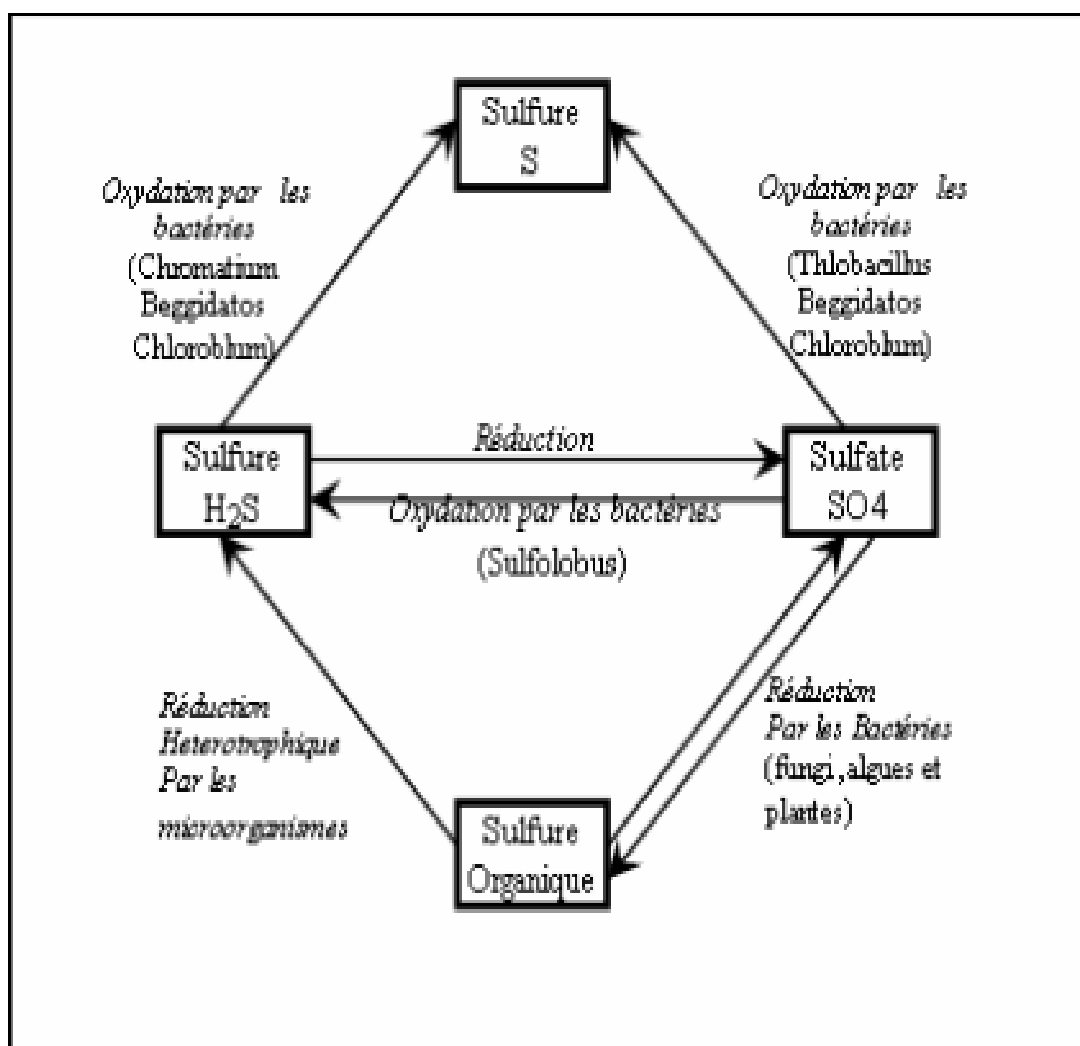


Figure 57 : Cycle biologique de sulfure dans le sol (Trudinger et Sawain , 1979)

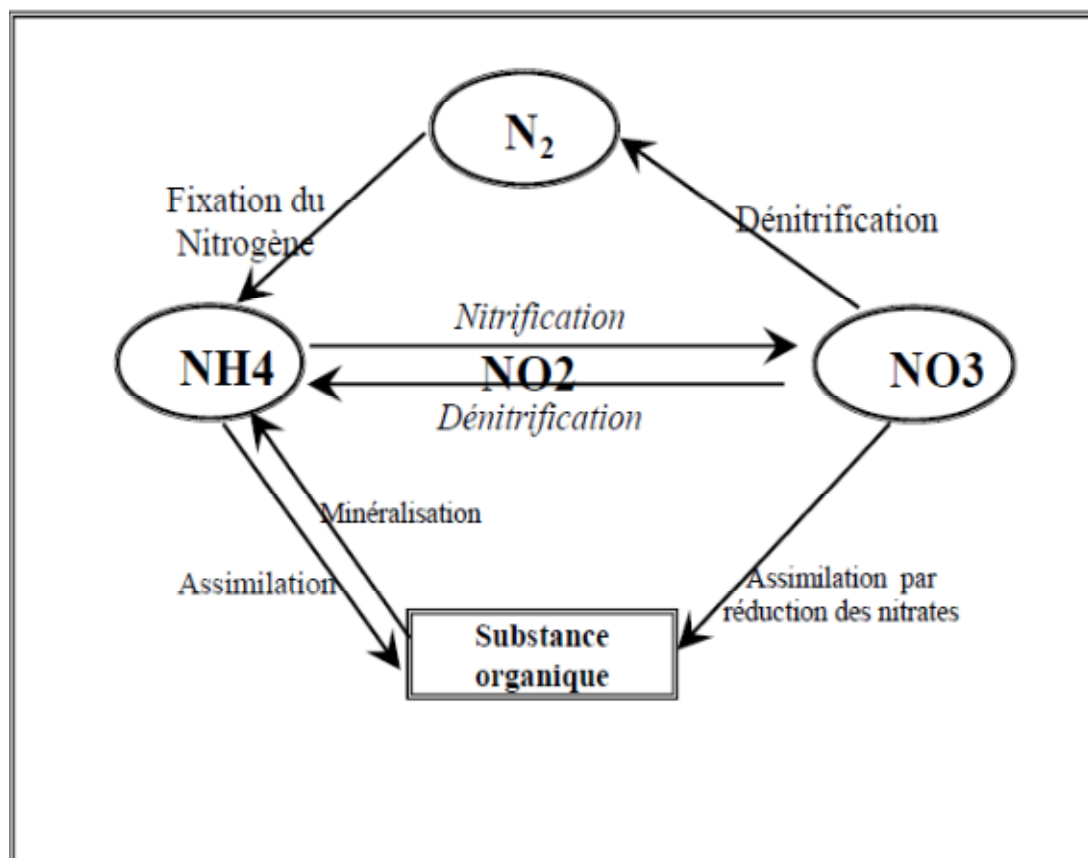
#### 2.1.4.4. Les nitrates

L'azote est présent en abondance dans la nature sous forme gazeuse, organique ou minérale. Les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) constituent le stade final d'oxydation de l'azote organique, les nitrates sont abondamment répandus dans le sol, dans la plupart des eaux et des plantes où ils sont nécessaires à la synthèse des végétaux.

L'azote dans les sols provient principalement de la fixation de l'azote atmosphérique du dépôt de l'azote contenu dans les précipitations, des amendements organiques et des apports d'engrais de synthèse, la fixation libre par des bactéries aérobies ou anaérobies contribue à maintenir un stock d'azote de 10 à 30 kg/ha, l'apport d'azote par la fixation symbiotique des

espèces légumineuses variant entre quelques dizaines à plusieurs centaines de kg/ha (Recous et al, 1990). Les apports d'azote sous forme organique dans les sols se font par amendements anthropiques (fumier, etc...), restitution au sol des résidus de culture et/ou restitution des déjections animales.

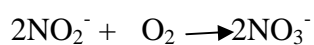
La constitution du stock d'azote minéral dans le sol est issue des apports d'engrais de synthèse, sous forme d'ammonium, de nitrates et d'urée, le cycle de l'azote dans le sol est très complexe, il est représenté sous forme simplifiée dans la figure 58.



**Figure 58 : Le cycle de l'azote dans le sol (Hill, 1991)**

La nitrification, est un processus qui se fait en deux étapes où le  $\text{NH}_4$  se convertit premièrement en  $\text{NO}_2^-$  et après en  $\text{NO}_3^-$ . L'oxydation biologique du  $\text{NH}_4$  et du  $\text{NO}_2^-$  est représentée par les deux réactions suivantes  $2\text{NH}_4^+ + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{H}^+$  (Tisdale et al, 1993).

Dans la seconde réaction, les nitrites seront oxydés pour donner des nitrates :



En général, les différents facteurs qui influent sur le processus de nitrification dans les sols sont le surplus de  $\text{NH}_4^+$ , les organismes de nitrification, le pH du sol, l'aération du sol, l'humidité du sol et la température.

Dans la région d'étude, les concentrations des nitrates des sols étudiés varient entre un minimum de 11 mg/l et un maximum de 23 mg/l (Tableau 26).

La distribution spatiale de cet élément, le long d'un profil Sud-Nord (figure 59), montre que les plus grandes concentrations sont enregistrées au niveau des sols S7 et S3 par contre les valeurs les plus faibles sont enregistrées au niveau des sols S4, S5, S2 et S9.

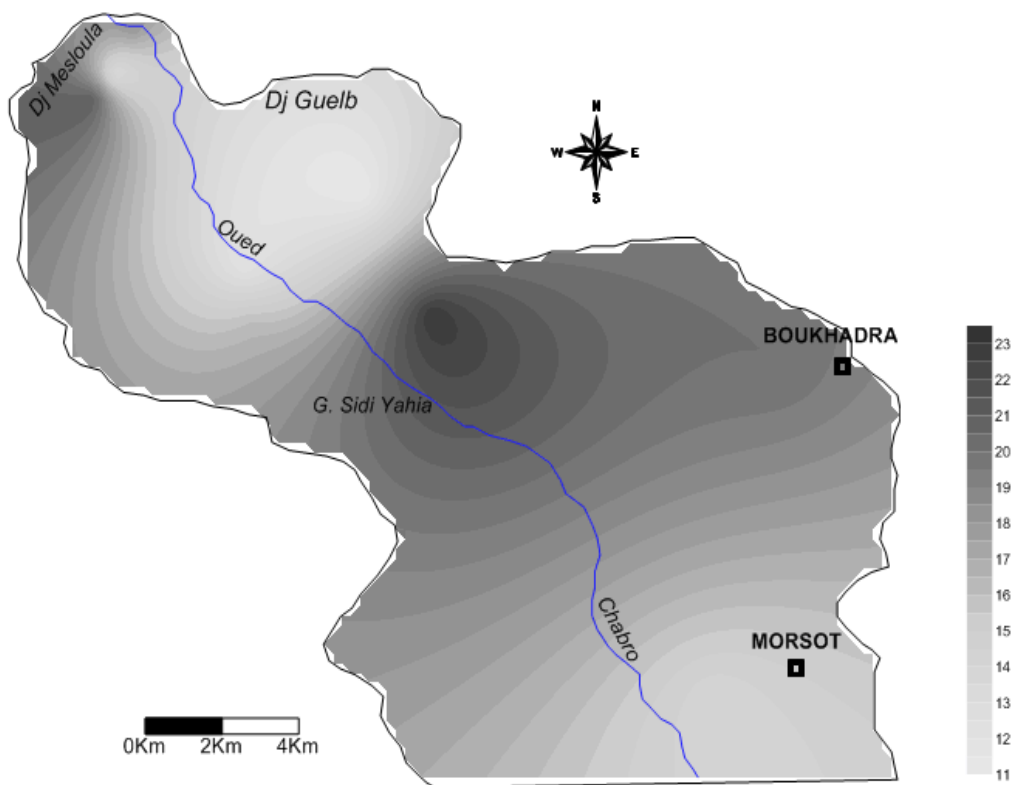


Figure 59 : Carte des nitrates du sol de la région d'étude (mg/l)

### 2.1.5. Interprétation des résultats des analyses des sols

#### 2.1.5.1. Le diagramme de Piper

Par le diagramme de PIPER affiner et faciliter l'interprétation, les faciès chimiques de solution du sol correspondant aux différentes formations géologiques et/ou subdivisions pédologiques, ont été déterminés par le diagramme de Piper. Ce dernier classe les solutions des sols aux en quatre (4) faciès type (figure 60).

- ✓ Faciès bicarbonaté alcalino-terreux.
- ✓ Faciès chloruré et/ou sulfaté alcalino-terreux.
- ✓ Faciès chloruré et/ou sulfaté alcalin.
- ✓ Faciès bicarbonaté alcalin.

Les nuages de points concentrés dans une zone représentent pour les différents échantillons la combinaison des éléments cationiques et anioniques.

Sur le diagramme de Piper nous allons interpréter les résultats d'analyses de bilans de salure de la solution de sol correspondant à la période d'observation, pour avoir une idée sur la salinité de sol de la région et sur son évolution temporaire, ainsi que sur le mode d'acquisition de ce faciès.

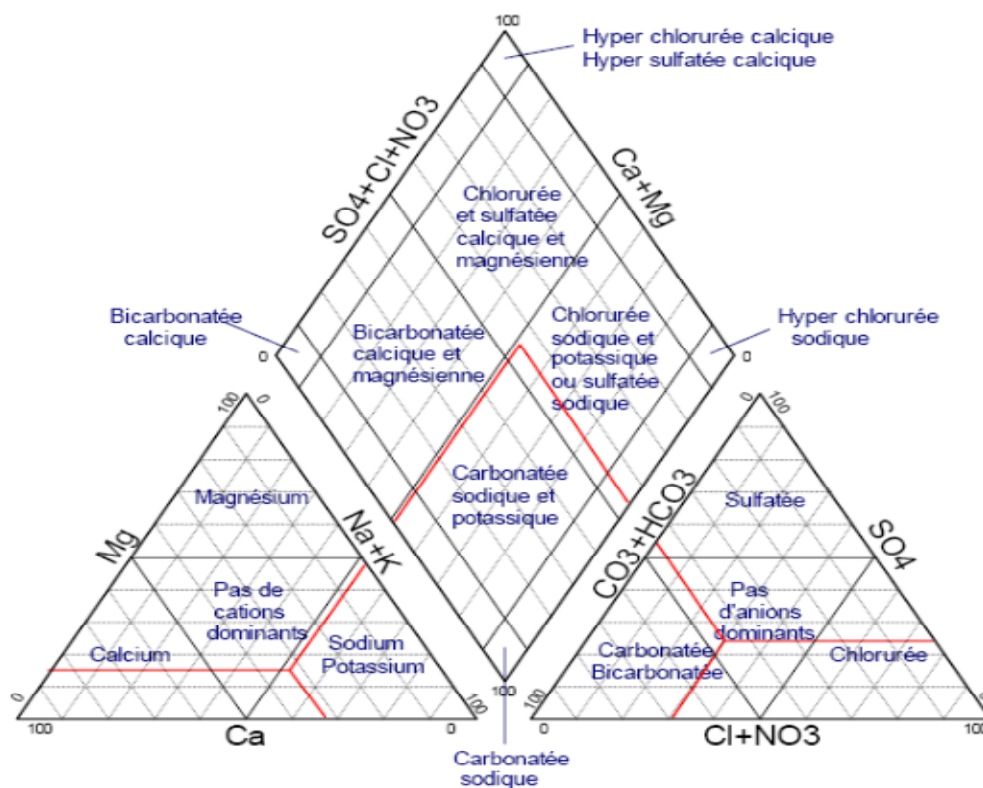


Figure 60 : Diagramme de Piper (Présentation générale)

La répartition spatiale des paramètres physico-chimiques, basée sur les résultats des analyses de novembre 2013, et en raison de la densité relativement importante des échantillons, permet de mettre en évidence l'évolution de chaque élément et d'estimer l'origine des minéralisations. Ainsi l'analyse des paramètres chimiques montre que les sols de la région d'étude sont caractérisés par l'abondance des ions ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ).

Le report des résultats des analyses de la solution du sol représenté sur le diagramme triangulaire de PIPER (Figure 61), met en évidence l'incidence de la géologie sur la qualité de sol, il permet aussi d'estimer les pourcentages des éléments chimiques et leur classification.

Dans le diagramme des anions, on distingue que les échantillons de sol forment pratiquement deux grands groupes, proche du pôle de chlorurée dans le ( $\text{S}_7$ ,  $\text{S}_2$ ,  $\text{S}_3$ ) et sulfatée au niveau des échantillons ( $\text{S}_7$ ,  $\text{S}_8$ ,  $\text{S}_6$ ).

Dans le diagramme des cations, on distingue les groupes proches du pôle sodique dans les échantillons ( $\text{S}_7$ ,  $\text{S}_3$ ,  $\text{S}_6$ ,  $\text{S}_2$ ) et potassique dans les échantillons ( $\text{S}_4$ ,  $\text{S}_9$ ,  $\text{S}_2$ ).

Les échantillons ne présentent pas de dominance au milieu du triangle.

En effet, l'abondance des formations salifères triasiques par contre les faibles valeurs de minéralisation sont localisées dans la partie amont au Sud de la région d'étude où l'influence des terrains triasiques est faible.

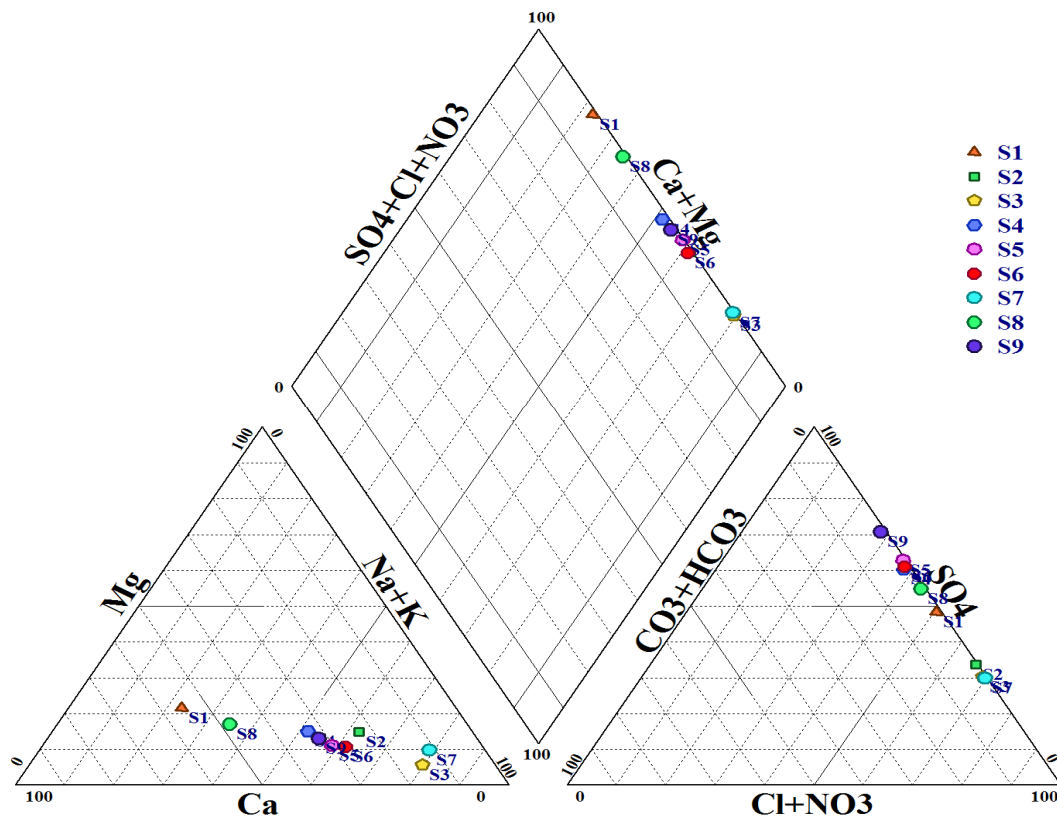


Figure 61 : Diagramme de Piper

### 2.1.5.2. Le diagramme de Schoeller-berkallof

Ce type de représentation, établie par Schoeller et repris par Berkallof, nous porte sur un semi logarithmique, les quantités en réactions des anions et des cations sur l'axe des ordonnées et sur les abscisses les éléments chimiques à pas régulier, et ceci pour chaque échantillon de sol prélevé.

Le diagramme tracé pour la période de novembre 2013 (Figure 62), confirme principalement un faciès chloruré sodique, permettant de dire que la minéralisation des sols est liée aux ions  $\text{Cl}^-$  et  $\text{Na}^+$ . Secondairement, on observe un faciès potassique et aussi sulfaté sodique.

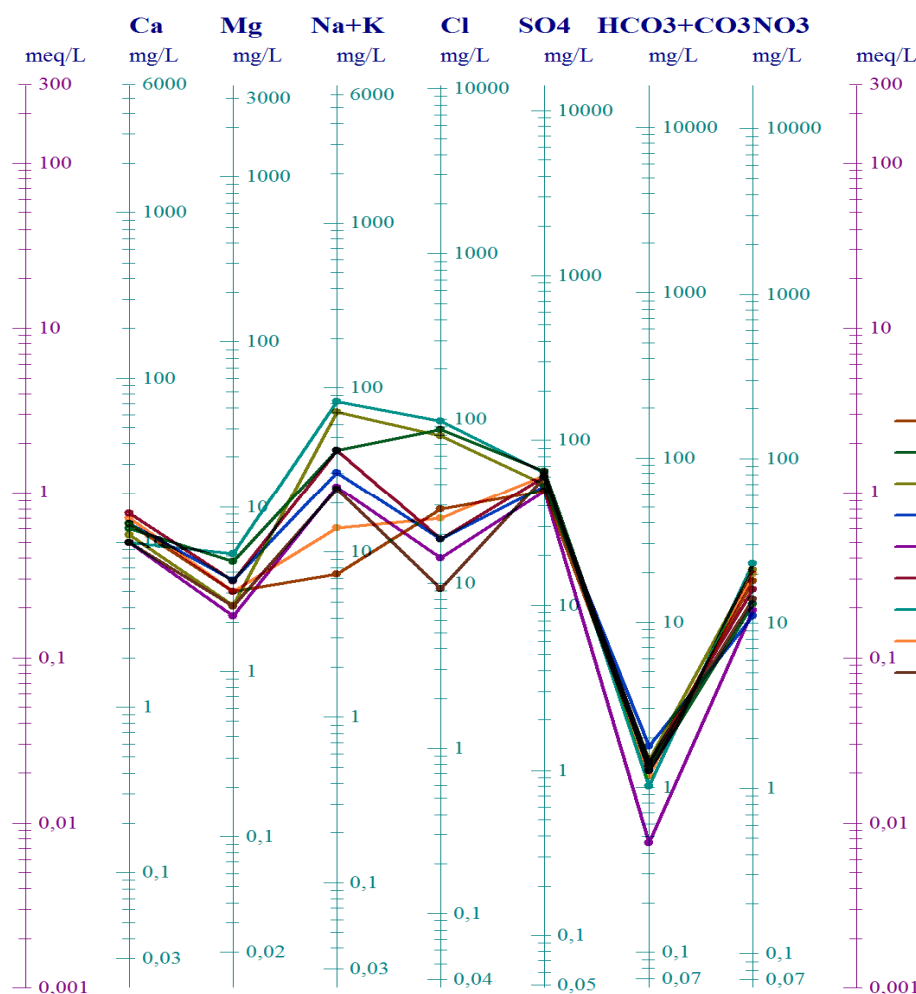


Figure 62 : Diagramme de Scholler-berkallof

Les échantillons S<sub>7</sub>, S<sub>2</sub> et S<sub>3</sub> présentent une teneur élevée en chlorures, due à la mise en solution de l'halite qui est lié aux formations triasiques salifères. Le sodium présente aussi des concentrations qui dépassent les normes au niveau des échantillons S<sub>7</sub> S<sub>3</sub> S<sub>2</sub>.

Généralement les graphiques qui sont marquées par de fortes concentrations et qui sont en première position sur la figure, sont liés à la présence des évaporites où les échantillons se situent dans le domaine des diapirs ; alors que ceux positionnés au milieu de la figure caractérisent les échantillons se trouvent au Centre et Nord de la région d'étude, ce qui explique en quelque sorte les teneurs élevées de sodium et de chlorure dans les échantillons S7, S3, S2, qui sont indiquées par l'interprétation des résultats des analyses des sols avec le diagramme de Stiff (Figure 63).

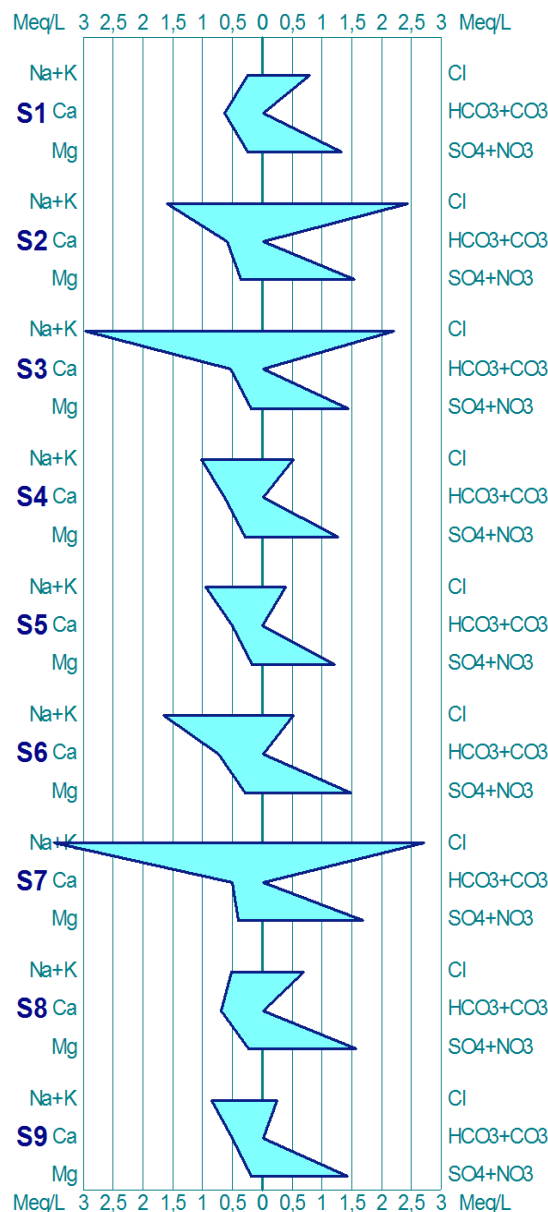


Figure 63 : Diagramme de Stiff

### 2.1.5.3. Analyse statistique des éléments physico-chimiques du sol

#### 2.1.5.3.1. Corrélation inter-éléments

Les facteurs climatiques tels que l'élévation de l'évaporation et les précipitations faible et la nature de la roche mère, ainsi que les conditions édaphiques, influent sur les mécanismes du chimisme des sols.

Pour une meilleure caractérisation de ces mécanismes et leurs évolutions, on a procédé à l'analyse statistique par corrélation des différents paramètres analysés durant toute la période d'investigation (conductivité, TDS, Salinité, anions majeurs, cations majeurs et pH).

Dans le but de déterminer la contribution des différents paramètres dans le processus de la minéralisation des sols, les coefficients de corrélation de la conductivité électrique par rapport au TDS, Salinité, Ca, Mg, Na, K, Cl, SO<sub>4</sub> et NO<sub>3</sub> ont été calculés et les résultats sont présentés dans le Tableau 27.

**Tableau 27 : Les coefficients des corrélations de l'analyse de sol**

Variabls	CE	TDS	Salinité	pH	Na+	K+	Mg+	Ca+	Cl-	SO4-2	NO3-	HCO3-
CE	1											
TDS	<b>0,990</b>	1										
Salinité	<b>0,999</b>	<b>0,985</b>	1									
PH	-0,475	-0,516	-0,469	1								
Na+	0,371	0,320	0,360	0,040	1							
K+	-0,394	-0,447	-0,354	0,461	-0,188	1						
Mg+	-0,141	-0,092	-0,149	-0,062	0,484	0,041	1					
Ca+	-0,164	-0,137	-0,159	-0,712	-0,377	0,009	0,075	1				
Cl-	<b>0,570</b>	<b>0,574</b>	<b>0,563</b>	-0,135	<b>0,808</b>	-0,183	<b>0,669</b>	-0,320	1			
SO4-2	-0,082	-0,054	-0,087	-0,210	0,389	0,033	<b>0,707</b>	0,079	<b>0,505</b>	1		
NO3-	0,490	0,479	0,472	-0,496	<b>0,608</b>	-0,683	0,230	-0,031	<b>0,531</b>	0,292	1	
HCO3-	-0,135	-0,205	-0,103	-0,153	-0,071	<b>0,551</b>	0,135	0,466	-0,028	0,120	-0,040	1

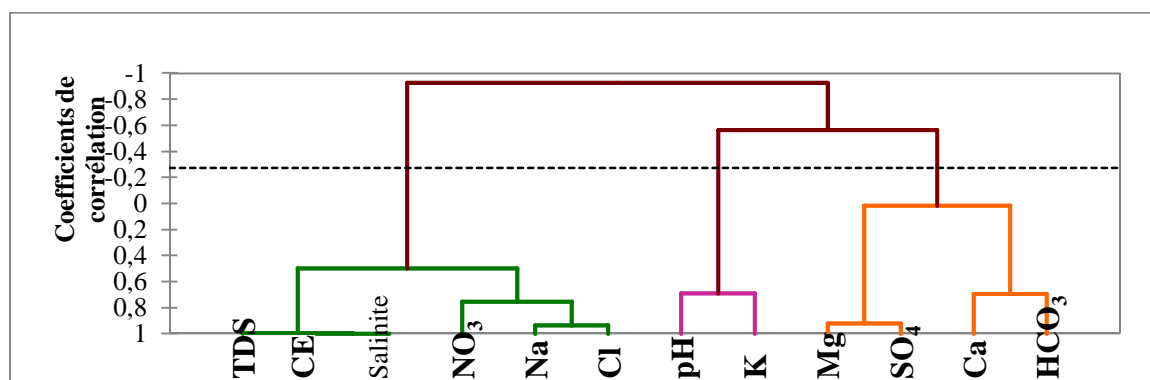
La conductivité électrique des différents échantillons, montre une bonne corrélation avec le TDS et la Salinité, où les coefficients de corrélations varient entre 0.985 et 0.999, ces fortes valeurs indiquent la contribution directe des ions dans la salinité des sols, le Tableau 27 montre une faible corrélation entre (CE, TDS, Salinité, Mg<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) et le Cl, dont les

coefficients de corrélations sont égale à 0.570, 0.574, 0.563, 0.669, 0.505 et 0.531 ce qui indique la diversité des origines géologiques de ces éléments qui autre l'origine chlorurée, ils peuvent provenir aussi de la dissolution des évaporites (les affleurements de Trias).

La relation significative entre le Cl et le Na où le coefficient de corrélation est égale à 0.808, indique que le sodium augmente au fur et à mesure avec l'augmentation du chlore, pour la plus part des échantillons analysés.

Le Tableau.27 montre que la relation entre le  $\text{HCO}_3^-$  et le K marque une faible corrélation égale 0.551, cette relation peut être attribué à la diminution de la concentration de ces deux ions avec l'augmentation des valeurs de CE, tandis qu'il y a une bonne corrélation entre le  $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{Mg}^{+2}$  égale 0.707, et une moyenne corrélation de 0.608 entre  $\text{NO}_3^{-2}$  et le  $\text{Na}^+$ . Le pH et le  $\text{Ca}^{+2}$  ne sont pas corrélable avec tous les éléments physico-chimiques.

Nous signalons qu'il y'a de faibles et de fortes corrélations entre quelques éléments, ce qui explique leurs origine différentes (géologie) et qui sont parfois soumis à des facteurs qui ne les affectent pas de même degré. Ainsi ces éléments chimiques se repartissent en trois (03) classes différentes (C1, C2 et C3), en fonction de leur degré de corrélation. (Figure 64)



Observation	Classe
CE	1
TDS	1
Salinité	1
PH	2
Na	1
K	2
Mg	3
Ca	3
Cl	1
SO <sub>4</sub>	3
NO <sub>3</sub>	1
HCO <sub>3</sub>	3

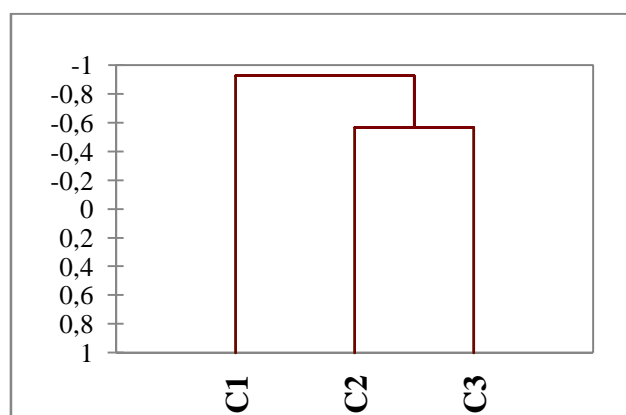


Figure 64 : Dendrogramme et tableau de classe des coefficients de corrélation entre les différents ions de la solution de sol (méthode de Davis)

### 2.1.5.3.2. Analyse en Composantes Principales (ACP)

La méthode d'analyse multidimensionnelle utilisée est l'analyse en composante principale. Elle consiste à exprimer un ensemble de variables en un ensemble de combinaisons linéaires de facteurs non corrélés entre eux, ces facteurs rendant compte d'une fraction de plus en plus faible de la variabilité des données.

Cette méthode permet de représenter les données originelles (individus et variables) dans un espace de dimension inférieure à l'espace original, tout en limitant au maximum la perte d'information.

La représentation des données dans des espaces de faible dimension (ici 2 dimensions) en facilite considérablement l'analyse. » Extrait de : XLSTAT.

#### A- But de la méthode

Le but de l'ACP est de permettre une visualisation de données multidimensionnelle et l'étude de la structure des variables.

Il s'agit de proposer une représentation simple des paramètres analysés sur les différents échantillons de sols sur un graphique en deux dimensions.

La clé d'interprétation est simple :

- ✓ chacun des axes résulte d'une composition des  $n$  éléments analysés ; ainsi les coordonnées X et Y de chaque sol projeté sur un graphique.
- ✓ les similitudes de faciès physico-chimiques vont se traduire graphiquement par la proximité des points représentatifs de chaque échantillon.

#### B- Principe de la méthode

Les données constituent un tableau à deux entrées :

- ✓ Celle des variables chimiques.
- ✓ Celle des échantillons qui constituent les unités statistiques.

Les valeurs des variables pour toutes les unités statistiques peuvent être représentées par un nuage de points, aussi bien dans l'espace des variables que dans l'espace des unités statistiques.

Le principe de l'analyse consiste à chercher des plans de projections sur lesquels la projection s'effectuerait avec un minimum d'erreur.

Ces plans sont caractérisés par deux axes factoriels dont le calcul est effectué à partir des variances et des covariances des variables.

Le premier axe F1 est tel qu'il détermine le maximum de variance, c'est-à-dire, le maximum d'inertie des nuages.

Le second axe F2 est perpendiculaire à F1, de telle façon qu'il exprime le maximum de variance non déterminé par F1, le troisième axe F3 est perpendiculaire à F1 et F2 et exprime le maximum de variance non exprimée par les deux premiers.

En règle générale, on projette les unités statistiques jusqu'à ce que 90% environ de la variance totale soit exprimée.

A chaque axe factoriel est associé un facteur et après la mise en évidence des principaux facteurs responsables de la structure observée, l'ACP permet de décrire le nuage graphiquement, soit dans l'espace des variables, soit dans celui des unités statistiques.

### C- Traitement de données et interprétation des résultats

Le traitement de nos données par l'analyse en composantes principales (ACP) a donc été réalisé à l'aide de XLSTAT (version démo) : le plan factoriel 1-2 permet d'extraire majoritairement la variance totale des échantillons.

Cette ACP a été effectuée sur les neuf échantillons des sols qui sont utilisés pour expliquer la variation de 12 variables, pour le traitement nous avons choisi huit (08) axes qui expriment 100 % des renseignements (Tableau 28 et Figure 65).

**Tableau 28 : Différents variables et axes**

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
<b>Valeur propre</b>	4,728	2,552	2,091	1,346	0,657	0,353	0,215	0,057
<b>Variabilité (%)</b>	39,400	21,270	17,426	11,220	5,477	2,943	1,792	0,471
<b>% cumulé</b>	39,400	60,670	78,097	89,317	94,794	97,736	99,529	100,000

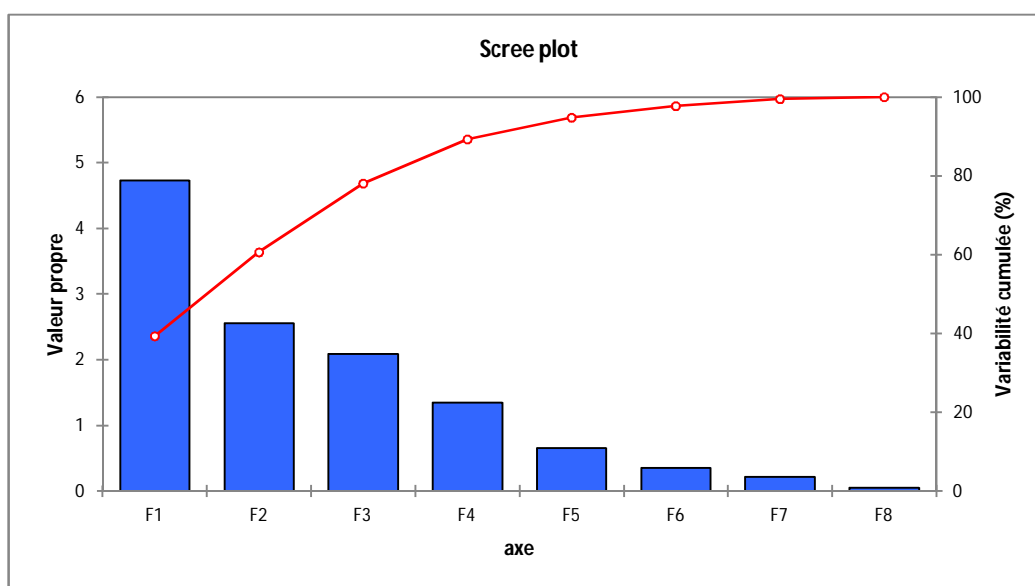


Figure 65 : Histogramme des valeurs propres et variabilité cumulées

Tableau 29 : Corrélations entre les variables et les facteurs

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
CE ( $\mu\text{S/cm}$ )	0,883	-0,357	-0,028	0,292	-0,075	0,022	0,006	-0,017
TDS (mg/l)	0,889	-0,358	-0,005	0,218	-0,179	-0,008	-0,043	0,009
Salinité	0,869	-0,358	-0,020	0,332	-0,071	0,031	0,004	0,001
pH	-0,518	0,205	-0,805	0,143	0,111	-0,028	-0,070	-0,057
Na <sup>+</sup>	0,641	0,539	-0,299	0,038	0,304	-0,086	0,324	-0,040
K <sup>+</sup>	-0,584	0,275	-0,033	0,728	-0,091	0,075	0,126	0,147
Mg <sup>+2</sup>	0,218	0,880	0,136	-0,079	-0,213	-0,292	-0,139	0,056
Ca <sup>+2</sup>	-0,166	-0,070	0,950	-0,061	-0,052	-0,179	0,162	-0,030
Cl <sup>-</sup>	0,786	0,530	-0,168	0,194	-0,098	-0,136	-0,071	-0,037
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	0,236	0,782	0,235	-0,123	-0,271	0,431	0,027	-0,050
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,769	0,146	0,158	-0,333	0,462	0,121	-0,089	0,124
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,202	0,257	0,568	0,614	0,396	0,038	-0,166	-0,081

### 2.1.5.3.3. Analyse des cercles ACP

Le cercle ACP est déterminé par les axes F1 et F2 qui fournissent 60.67 % de l'information totale (Tableau 28)

- ✓ L'axe 1 correspond classiquement aux principaux éléments responsables de la minéralisation de sol : chlorures, sodium, calcium, magnésium ...etc.
- ✓ L'axe 2 oppose quant à lui les éléments majeurs secondaires: nitrates.

#### A- L'espace des variables

L'axe F1 horizontal exprime 39,40 % de la variance, il est déterminé par  $\text{Na}^+$ , CE,  $\text{Mg}^{+2}$  et  $\text{Cl}^- \text{SO}_4^{-2}$  liés aux évaporites (  $\text{NaCl}, \text{MgSO}_4$  ) et  $\text{NO}_3^-$  c'est donc le facteur de la pollution azotée Il indique une opposition entre les sols riches en chlorures de sodium et les sols sulfatée magnésienne et les sols polluées par les nitrates.

L'axe F2 exprime 21.26 %, il est déterminé par (K,  $2\text{HCO}_3\text{Ca}^+$ ). Il indique une opposition entre les sols riches en potassium et en Bicarbonate calcique (Figure.66).

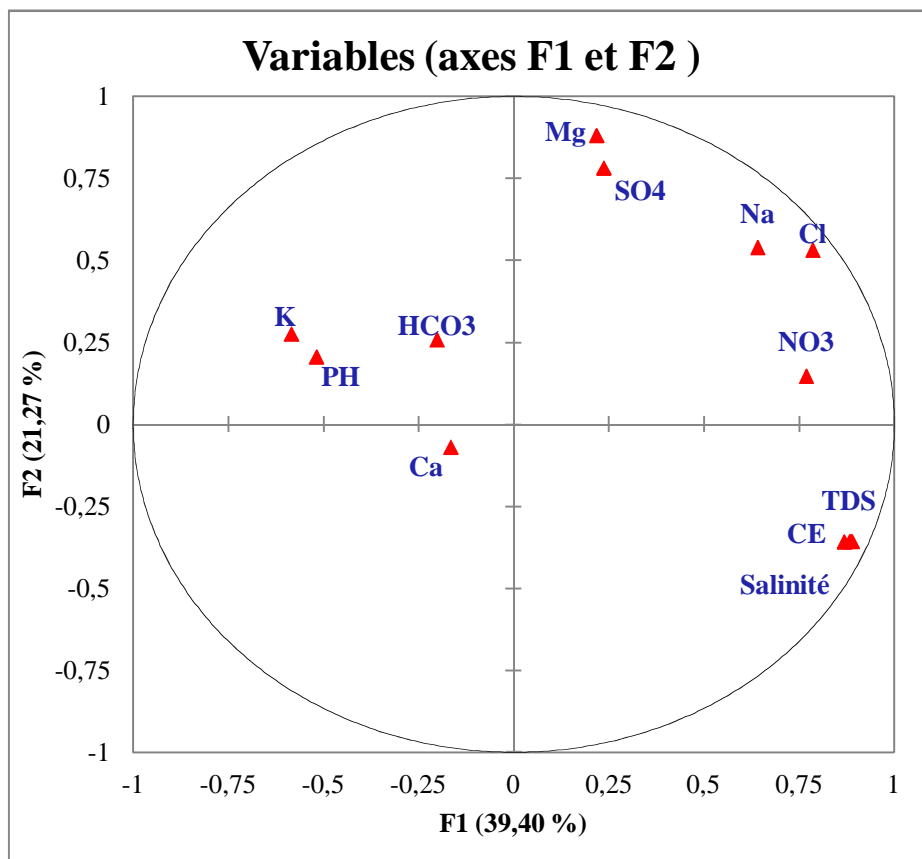
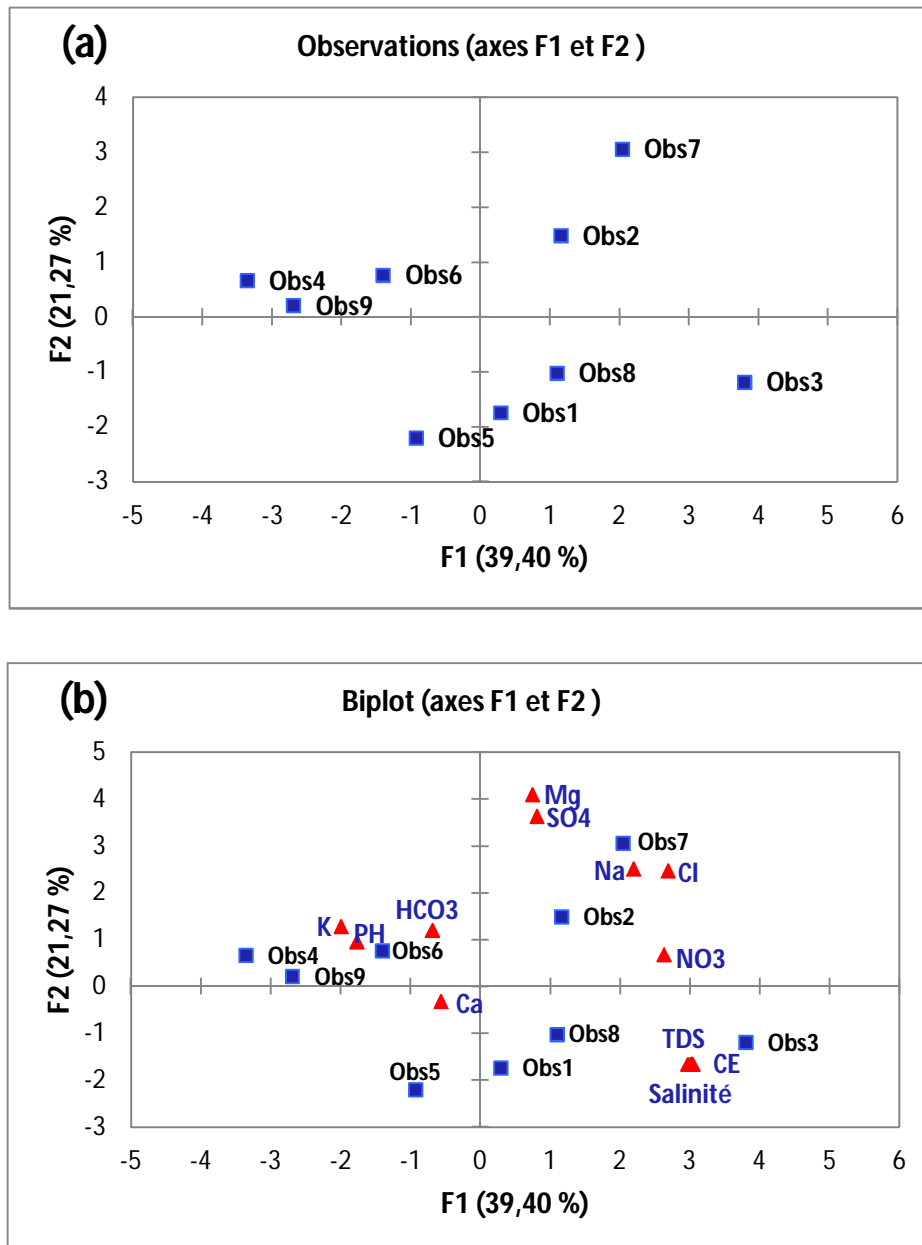


Figure 66 : Analyse en composantes principales

**B- L'espace des individus**

Le graphe met en évidence trois familles qui s'opposent deux à deux. L'axe F1 montre l'opposition entre les sols sodiques, sulfatée et chlorurées d'une part et les sols pollués par les nitrates d'autre part.

La composition chimique des sols est directement influencée par l'alimentation de l'aquifère ; c'est-à-dire par les formations géologiques qui constituent cet aquifère ou qui forment ses limites.



**Figure 67 : Représentation graphique des individus**

## 2.2. Variation de la composition chimique d'eau de la région d'étude

Une analyse complète des éléments majeurs a été effectuée sur les eaux prélevées de la nappe Plio-quadernaire Morsott-El Aouinet, pendant la période (novembre 2013-janvier 2014), l'ensemble des résultats obtenus montrent une forte salinité des eaux. En général l'évolution des éléments chimiques majeurs (anions et cations), la conductivité et le pH, montrent une augmentation sensible des teneurs durant toute la période d'investigation et pour tous les points d'eau analysés (Tableau 30).

**Tableau 30 : Résultats d'analyse inorganique d'eau de la région d'étude**

Paramètres	Minimum	Maximum	Moyenne	E.T*	Valeurs guides OMS**
<b>CE (uS/cm)</b>	1154	23800	5209.94	4978.1319	1500
<b>TDS (mg/l)</b>	874.35	13217.20	3266.06	2672.9484	1000
<b>Ph</b>	6.75	7.8	7.32	0.3527	8.5
<b>Ca<sup>+2</sup> (mg/l)</b>	107.2	418.2	221.76	51.4522	200
<b>Mg<sup>+2</sup> (mg/l)</b>	42.5	294.55	144.9	46.8245	
<b>Na<sup>+</sup> (mg/l)</b>	58.7	3988	592.16	802.38104	200
<b>K<sup>+</sup> (mg/l)</b>	5.74	140.62	35.3	33.2801	
<b>Cl<sup>-</sup> (mg/l)</b>	113.6	8144.8	1337.5	1884.8943	250
<b>SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> (mg/l)</b>	101.06	575	291.42	223.7913	400
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l)</b>	227.04	547.03	345.54	75.5867	
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l)</b>	1.2	12.2	4.86	4.3588	50

\* E.T = Écart Type. \*\* D'après OMS (1993)

### 2.2.1. La conductivité électrique (µS/cm)

Les résultats obtenus montrent que presque tous les points d'eau dépassent la norme recommandée pour les eaux d'alimentation en eau potable. La conductivité électrique est généralement élevée oscillant entre 1154 (µS/cm) et 23800 (µS/cm) avec une moyenne de 5209.94 (µS/cm) (Tableau 30).

Les zones de forte minéralisation sont localisées presque dans toutes les parties de la région d'étude surtout au niveau des bordures Est et Nord- Est, tandis que les faibles valeurs de minéralisation sont localisées dans la partie amont (au Sud de la région d'étude du côté de Morsott).

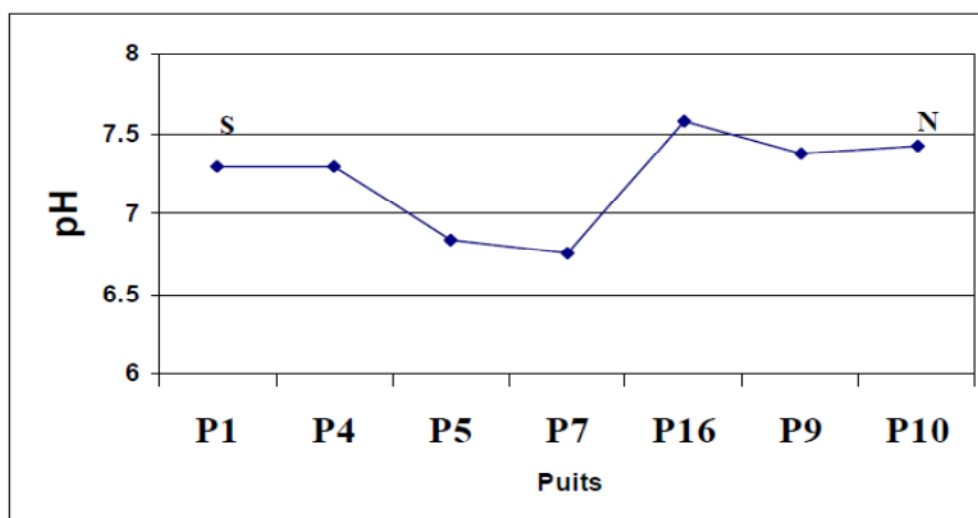
Dans les parties Est (Djebel Boukhadra), Centre et Nord (Djebel Mesloula et Djebel Belkif), l'influence des terrains triasiques salifères riches en Halites est fortement sentie. On remarque une augmentation de la minéralisation globale des eaux de cet aquifère atteignant une valeur de conductivité égale à 23800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  au niveau du point P5.

En s'éloignant vers l'amont (région de Morsott), l'influence du Trias s'amortit, la minéralisation globale diminue, la conductivité entre 1154  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 1305  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , cette diminution de la salinité traduit l'influence des formations carbonatées des bordures et celles des terrains marneux du Cénomaniens et du Turonien, lessivés par les pluies alimentant l'aquifère Plio-Quaternaire.

### 2.2.2. Le pH :

La température des eaux de l'aquifère Plio-quaternaire varie entre 20 et 27°C, pendant les mois d'été et entre 18 et 22°C pendant les mois d'hiver.

Pour les eaux de l'aquifère Plio-quaternaire, les valeurs de pH varient entre 6.75 et 7.8 avec une moyenne de 7.32, la Figure.68, montre l'évolution de ce paramètre physique au niveau de quelques points d'eau de la région d'étude.



**Figure 68 : Evolution de la valeur de pH dans quelques points d'eau de la région d'étude**

En allant du Sud vers le Nord de la zone étudiée, on remarque que les valeurs de pH, sont très hétérogènes sur presque tout le profil. Les valeurs se présentent dans un intervalle de (6.75 à 7.58), cette variation est due essentiellement au changement du faciès géologique qui varie d'un endroit à un autre, aussi on peut attribuer cette variation au CO<sub>2</sub> qui charge les eaux d'infiltration et aussi à l'importance de la zone saturée qui isole l'aquifère du contact avec l'air.

### **2.2.3. Les cations majeurs**

Les différents cations majeurs (calcium, magnésium, sodium et potassium) ont été observés temporairement pendant la période d'investigation sur toute la région d'étude.

Les concentrations de calcium et du magnésium varient respectivement, entre 198.4 mg/l et 278.6 mg/l et entre 130.25 mg/l et 164.3 mg/l, où on remarque que ces concentrations augmentent sensiblement avec le temps et pour toute la période de suivi.

Généralement, dans la région d'étude, ces deux cations proviennent de la dissolution des minéraux carbonatés et sulfatés qui sont présents sur les bordures et au sein de l'aquifère Plio-quaternaire, par l'infiltration des eaux de précipitation à travers la zone non saturée, caractérisée par la présence du CO<sub>2</sub>.

Le deuxième groupe de cations, formé essentiellement de sodium et de potassium, présente des teneurs dominantes, surtout pour le sodium. Les concentrations de ces deux éléments varient entre 480 mg/l et 692.16 mg/l pour le sodium et 38.9 mg/l et 49.3 mg/l pour le potassium.

Durant la période d'investigation (2013-2014), nous avons remarqués une augmentation nette des concentrations de ces deux cations. Cette augmentation peut être attribué au faciès évaporitique dominant dans la région d'étude et parfois aussi à la surexploitation de l'aquifère Plio-quaternaire surtout dans les périmètres irrigués.

#### **2.2.3.1. Le sodium**

L'omniprésence du sodium et la grande solubilité de ses sels expliquent sa présence dans la majorité des eaux naturelles. Des teneurs anormalement élevées peuvent provenir du lessivage ou de la percolation de terrains salés aussi de l'effet de la salinité marine.

Les teneurs de Na<sup>+</sup> au niveau de la région d'étude sont très variables (écart type : 802.38). Les concentrations varient entre un minimum de 58.7 mg/l et un maximum de 3988 mg/l, avec une moyenne égale à 592.16 mg/l (Tableau 30), la Figure.69 montre que les plus grandes concentrations se localisent dans le secteur Est et Nord-Est de la région d'étude surtout au niveau des points d'eau P10, P11, P14, P15, P16 et P5, ce dernier qui marque la plus forte concentration 3988 mg/l. Ces fortes teneurs sont attribuées à l'influence du Trias évaporitique qui constitue les bordures Est et Nord-Est de la région d'étude (Trias de Boukhadra, Masloul...). Au Sud et à l'ouest de la zone d'étude les teneurs de Na<sup>+</sup> diminuent pour atteindre un minimum de 58.7 mg/l au niveau du point d'eau P22.

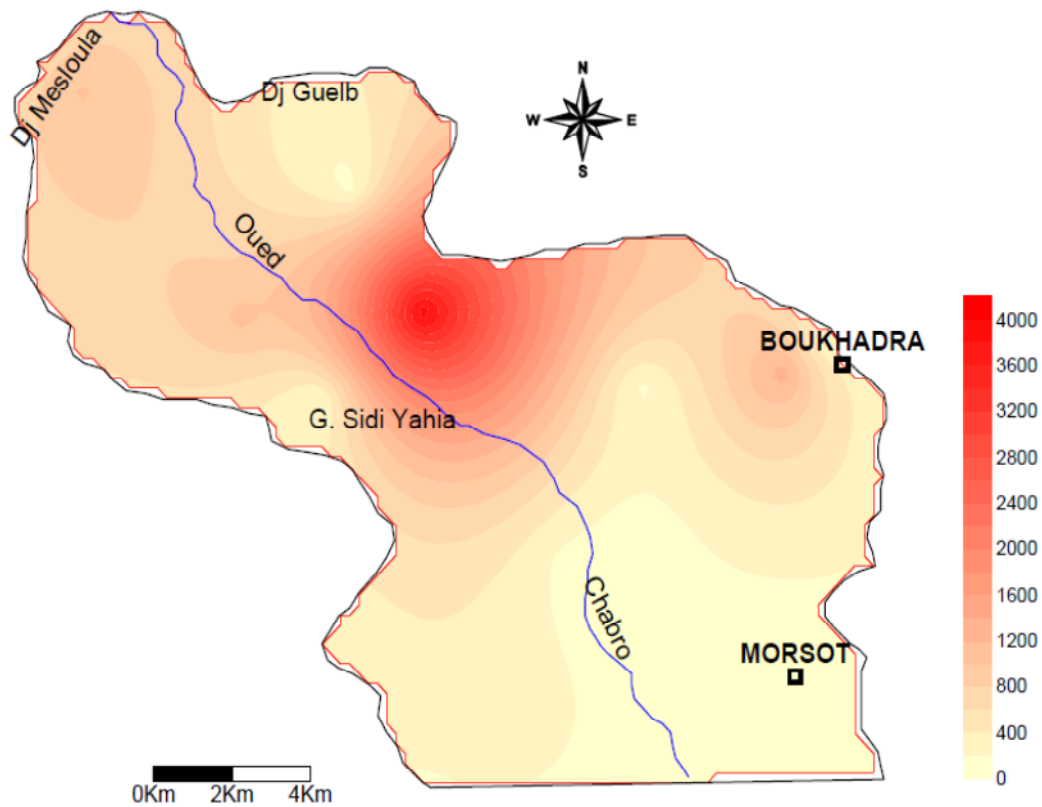


Figure 69 : Carte de sodium d'eau de la région d'étude (mg/l)

La Figure.70, montre l'évolution des teneurs de sodium le long d'un profil Sud-Nord dans la région d'étude. On remarque que ces teneurs augmentent tout en allant vers le Nord (affleurements de Trias), l'écart entre les valeurs est très grand, il est environ 10 fois supérieur d'une région à une autre, cela est peut être du à la dissolution rapide des formations évaporitiques riches en halite.

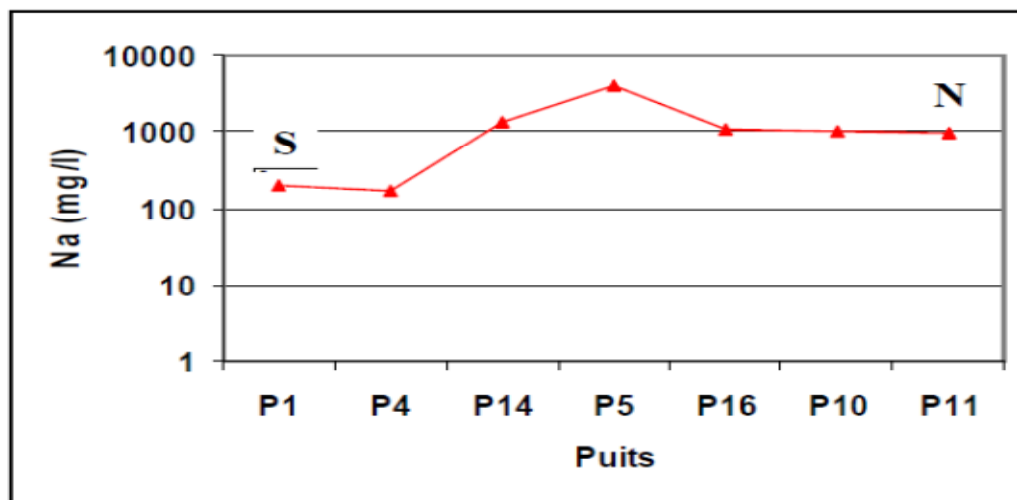
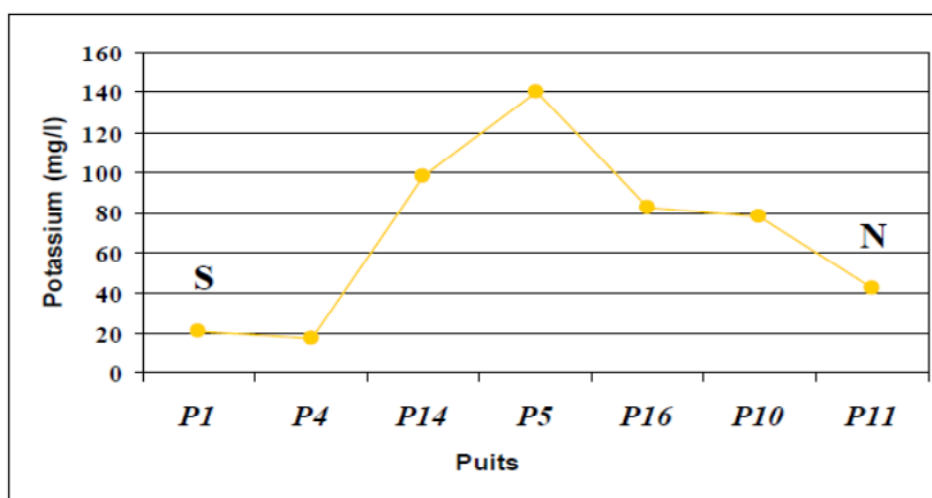


Figure 70 : Evolution des teneurs de sodium dans quelques points d'eau de la région d'étude

### 2.2.3.2. Le potassium

Le potassium est un élément naturelle des eaux où sa concentration, à peu près constante, ne dépasse pas habituellement 10 à 15 mg/l, sauf dans certains contextes géologiques particuliers où elle atteint 20 à 25 mg/l, le potassium est le cation le moins répandu dans la région d'étude. Ses concentrations dans les échantillons d'eau analysés varient entre 5.74 mg/l et 140.62 mg/l avec une moyenne égale à 35.30 mg/l (Tableau.30).

La variation des concentrations de  $K^+$  pendant la période d'investigation au niveau de quelques points d'eau est représentée dans la Figure 71.



**Figure 71 : Evolution des teneurs de potassium dans quelques points d'eau de la région d'étude**

Les plus grandes valeurs sont enregistrées au niveau des points d'eau situés au Centre et au Nord de la région d'étude (P14, P5, P16, P10), avec une teneur maximale égale à 140,62 mg/l enregistrée au niveau du point d'eau n°5.

### 2.2.3.3. Le calcium

La concentration du  $Ca^{+2}$  dans toutes les eaux est contrôlée par le système d'équilibre  $CaCO_3$ -  $CO_2$ -  $H_2CO_3$ - $HCO_3$  (Matthess, 1990).

Dans la région d'étude, Les concentrations de calcium varient respectivement entre un minimum de 107.2 mg/l et un maximum de 418.2 mg/l et une valeur moyenne de 221.76 mg/l (Tableau 30). L'examen de la carte de distribution de calcium (Figure 72), montre que les teneurs les plus élevées ont été enregistrés dans la partie centrale, la partie Est et au Nord de la région d'étude, tandis que les faibles teneurs ont été observées au Sud de la zone d'étude, notamment près de la ville de Morsott. La plus grande concentration du  $Ca^{+2}$  a été enregistré au niveau du point d'eau n°5.

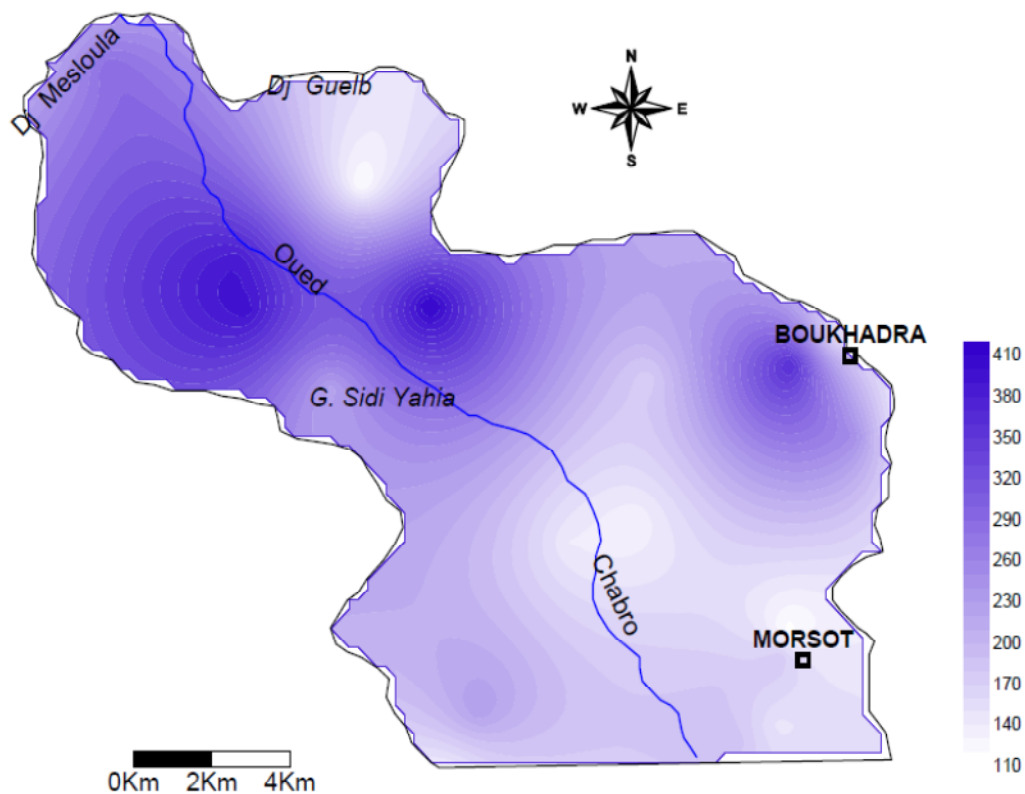


Figure 72 : Carte de calcium d'eau de la région d'étude (mg/l)

#### 2.2.3.4. Le magnésium

Les concentrations de  $Mg^{+2}$  d'eau dans la région d'étude varient entre 42.5 mg/l et 294.55 mg/l, avec une moyenne égale à 144.9 mg/l (Tableau 30).

Les concentrations observées au niveau de la zone étudiée sont représentées dans la Figure.73, l'évolution des teneurs est identique à celle du calcium. Les teneurs les plus élevées sont observées au niveau des points d'eau P5, P6, P16, P10 et P11, au Centre et au Nord de la région d'étude, ces fortes concentrations peuvent être attribuées au contact direct de ces eaux avec le substratum marneux riche en gypse, halite et en brucite. Une autre source de  $Mg^{+2}$  peut provenir également des eaux salées dans cette région qui favorisent les conditions de la dolomitisation de la calcite. Ceci est prouvé par le ratio des indices de saturations entre la dolomite et la calcite ( $ISDol / ISCal$ ) qui varie entre 1.83 et 2.37.

Les faibles teneurs de  $Mg^{+2}$  peuvent être attribuées au faible processus de la dolomitisation surtout dans la région Sud du côté de la ville de Morsott, ce qui est indiquées aussi par les faibles valeurs d'indice de saturation de la dolomite ( $ISDol$  min égale à -0.314 au niveau du point d'eau(P3)).

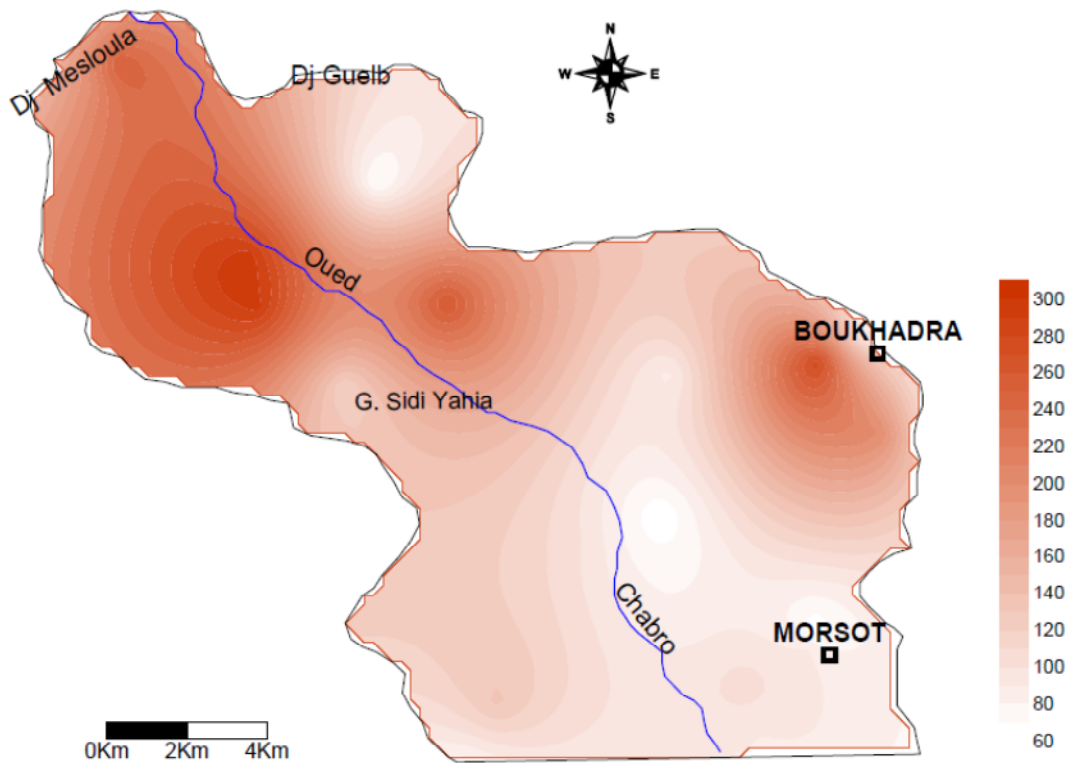


Figure 73 : Carte de magnésium d'eau de la région d'étude (mg/l)

#### 2.2.4. Les anions majeurs

La variation temporelle des anions majeurs (chlorures, sulfates, bicarbonates et nitrates), pendant la période d'observation 2013-2014, montre de fortes concentrations pour les éléments suivants :

Les chlorures qui varient entre 1218.2 mg/l et 1390.5 mg/l. cet élément chimique marque une augmentation nette pendant toute la période d'investigation, il constitue l'anion dominant pour presque tous les points d'eau analysés et durant toutes les périodes. Les zones à fortes teneurs en cet élément sont en rapport direct avec la présence des terrains triasiques salifères.

Pour les sulfates, les concentrations en sulfates varient entre un minimum de 262 mg/l (novembre 2013) et un maximum de 301.7 mg/l (février 2014). Généralement les concentrations de  $\text{SO}_4^{-2}$  des eaux souterraines de l'aquifère Plio-quadernaire, montrent une augmentation sensible pendant toute la période d'étude. L'origine des sulfates serait le lessivage des évaporites (gypse et anhydrites) par les eaux météoriques, avant leur infiltration vers l'aquifère.

Les bicarbonates avec des concentrations qui varient entre 309.4 mg/l et 345.54 mg/l, l'évolution de cet ion chimique est graduelle pendant la période d'investigation, traduisant ainsi l'échange avec les terrains carbonatés formés de la calcite et la dolomite.

Pour les nitrates, Les concentrations de cet élément chimique reste faible pendant toute la période d'étude, elles varient entre une moyenne minimum de 3.65 mg/l, enregistrée durant le période de novembre 2013 et une moyenne maximum de 9.66 mg/l, enregistrée durant la campagne (février 2014). En général la présence des nitrates reste faible dans toute la nappe Plio-quadernaire.

#### **2.2.4.1. Les bicarbonates**

Dans les différents échantillons analysés de l'aquifère Plio-quadernaire Les concentrations des bicarbonates, varient entre un minimum de 227.04 mg/l et un maximum de 457.03 mg/l avec une moyenne égale à 345.54 mg/l (Tableau 30).

La Figure.74 montre une augmentation des concentrations des bicarbonates dans la partie est de la région d'étude au niveau des points d'eau P13, P18 et P5. Ces fortes teneurs sont dues probablement à l'influence des formations carbonatées d'âge Aptien constituant le massif de Djebel Boukhadra.

En allant vers le centre de la région d'étude, les concentrations de  $\text{HCO}^-$  diminuent pour atteindre la plus faible teneur au niveau de point d'eau P16.

Le système Carbonate-  $\text{CO}_2$  est une importante réaction qui contrôle l'apparition de différentes espèces carbonatées dans l'eau (Freeze et Cheery, 1979) ;



A l'équilibre calco-carbonique, la teneur en  $\text{CO}_2$  libre est appelée « $\text{CO}_2$  équilibrant »..Si la concentration réelle devient supérieur à cette valeur suite au chargement des eaux d'infiltration à travers la zone non saturée, l'excès est appelé «  $\text{CO}_2$  agressif » et peut dissoudre les différents minéraux carbonatés (calcite, dolomite...) qui sont en contact avec les eaux de l'aquifère Plioquadernaire.

Si la concentration en  $\text{CO}_2$  est inférieure à celle du  $\text{CO}_2$  équilibrant, il y'aura précipitations des carbonates (eau incrustante).Ce processus constitue la source principale des bicarbonates dans les eaux souterraines.

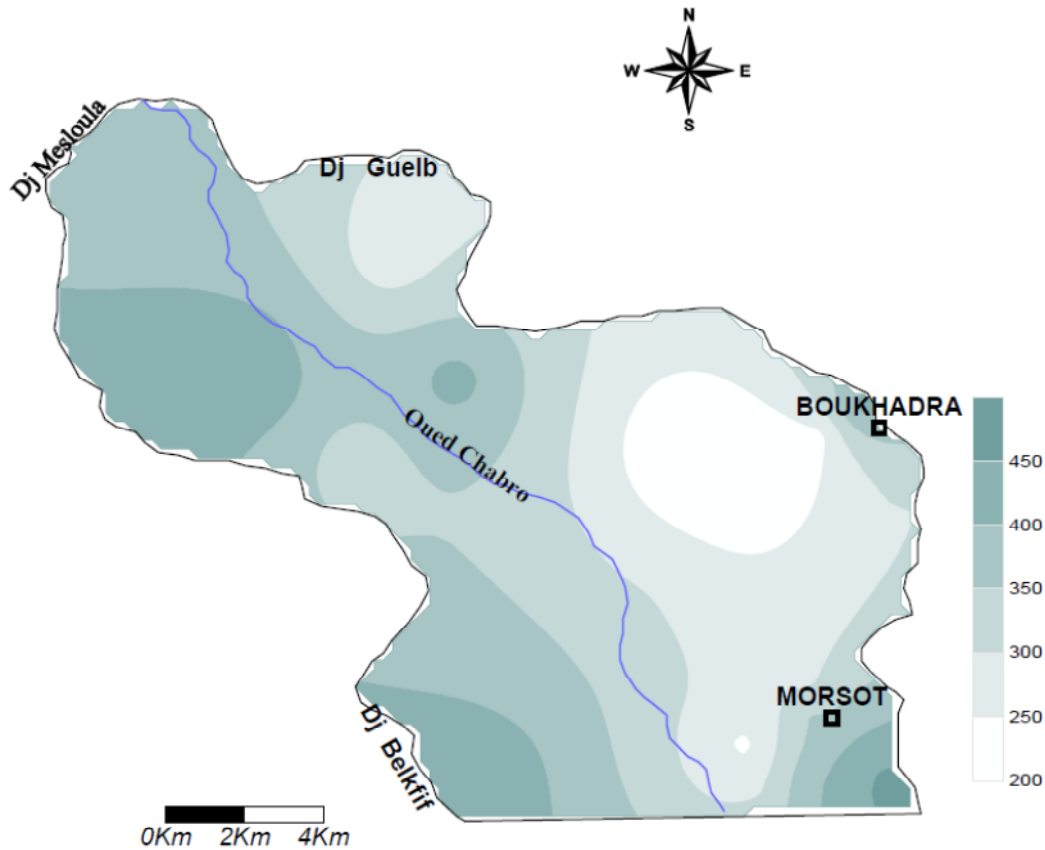


Figure 74 : Carte des bicarbonates d'eau de la région d'étude (mg/l)

#### 2.2.4.2. Les chlorures

Les chlorures sont présent dans toutes les eaux à des concentrations différentes, les teneurs en ions chlorures peuvent atteindre quelques grammes par litre au contact de certaines formations géologiques.

Les teneurs en chlorures dans les eaux de l'aquifère Plio-quaternaire enregistrées pendant toute la période d'investigation, montrent un écart important entre les différents points d'eau analysés. Ces teneurs varient entre un minimum de 113.6 mg/l et un maximum de 8144.8 mg/l et une moyenne égale à 1337.5 mg/l (Tableau 30).

L'observation de la carte des chlorures (Figure 75), durant la même période, montre des concentrations très élevées atteignant un maximum de 9144 mg/l enregistrée au niveau du puits P5, ces fortes valeurs sont en rapport direct avec la présence des terrains triasiques salifères riches en halite (NaCl). Les plus fortes concentrations des chlorures sont observées dans la partie Est dans la zone Centrale de la région d'étude (au niveau des puits P5, P6, P16 et P14), plus au Sud dans la région de Morsott, les concentrations des chlorures diminuent (100 à 800 mg/l) où la teneur minimale a été enregistrée au niveau du point d'eau P22.

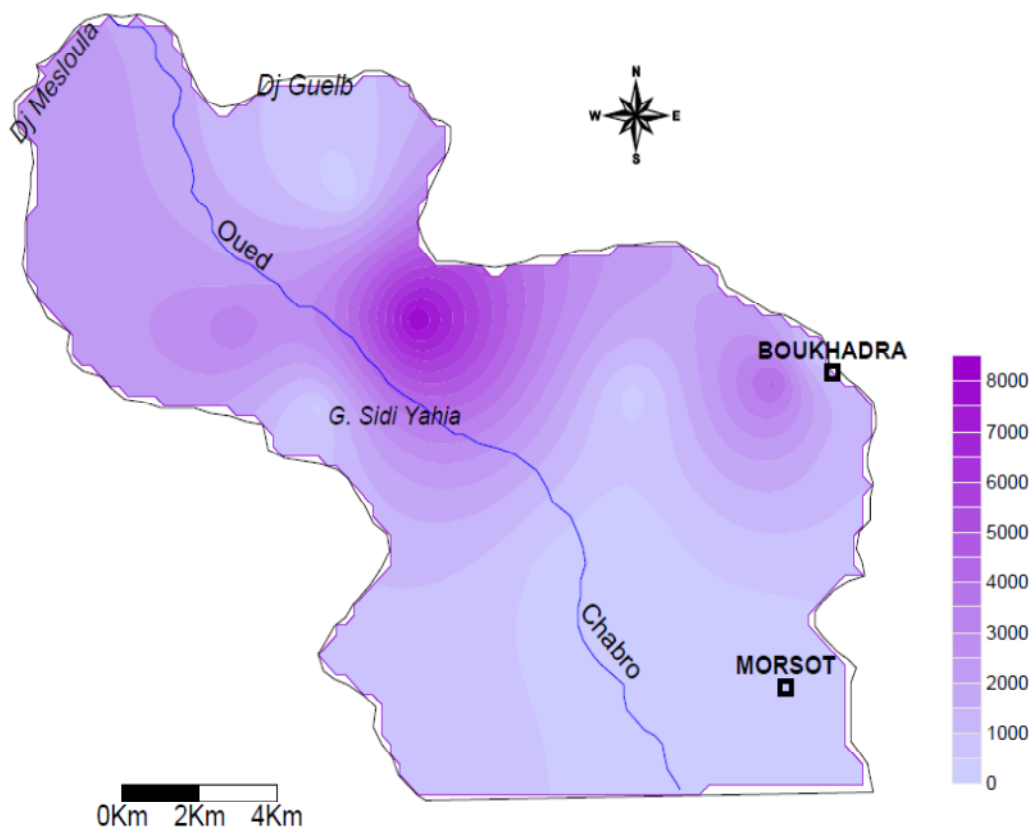
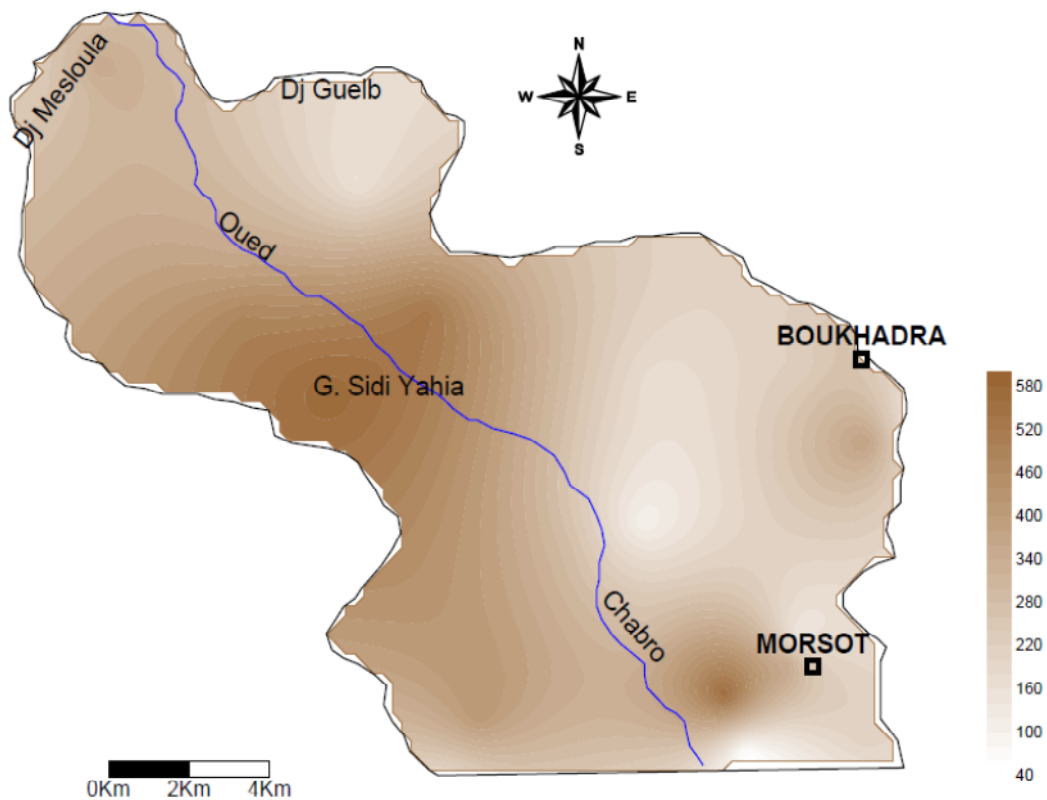


Figure 75 : Carte des chlorures d’eau de la région d’étude (mg/l)

### 2.2.4.3. Les sulfates

Les concentrations des sulfates  $\text{SO}_4^{-2}$  au niveau de la région d’étude sont très variables d’une zone à une autre. Les teneurs varient entre un minimum de 101.06 mg/l et un maximum de 575 mg/l, avec une moyenne égale à 291.42 mg/l (Tableau 30). La Figure.76, montre la distribution spatiale de cet élément au niveau de toute la région d’étude. Sur cette carte ,on remarque que les fortes teneurs en  $\text{SO}_4^{-2}$  sont localisées au niveau d’un certain nombre de points P1,P5,P7 et P16,ces teneurs sont supérieures aux normes des eaux souterraines, tandis que les faibles teneurs sont enregistrées au niveau des puits P15,P21,P22 ,situés au Sud de la région d’étude. Cette distribution est presque identique à celle des chlorures.

Théoriquement, si le gypse est dissous dans une eau douce, cette eau devient salée avec un TDS d’environ 200-2500 mg/l et un anion dominant  $\text{SO}_4^{-2}$ .



**Figure 76 : Carte des sulfates d'eau des puits de la région d'étude (mg/l)**

En général, les concentrations des sulfates dans les eaux naturelles sont variables et ne dépassent généralement le gramme par litre. Dans les échantillons d'eaux analysées, les valeurs élevées de  $\text{SO}_4^{-2}$  sont d'origine géologique (dissolution de gypse et d'anhydrite).

Une autre source de sulfates peut être attribuée à l'infiltration de sulfure utilisé comme fertilisant ou comme pesticide par les agriculteurs de la région.

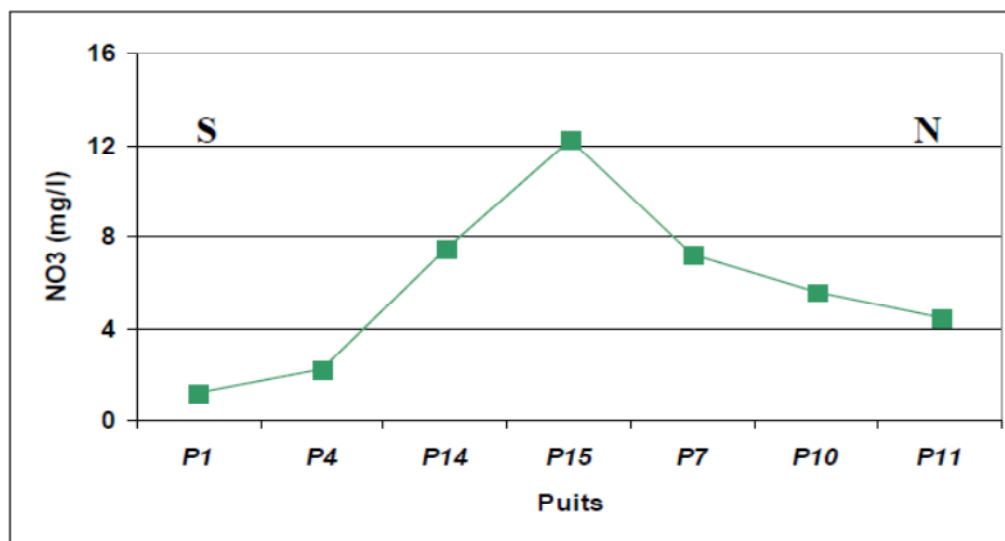
#### 2.2.4.4. Les nitrates

Les nitrates se retrouvent naturellement en faible concentration dans les eaux souterraines et les eaux de surface. Sans apport artificiel, les eaux ne contiennent pas plus de 10 mg/l de nitrates.

Dans la région d'étude, les concentrations des nitrates dans les eaux souterraines de l'aquifère Plio-quaternaire varient entre un minimum de 1.2 mg/l et un maximum de 12.2 mg/l et une valeur moyenne égale à 4.86 mg/l (Tableau 30).

La distribution spatiale de cet élément, le long d'un profil sud-nord (Figure 77), montre que les plus grandes concentrations sont enregistrées au niveau des points d'eau P15, P14 et P7, par contre les plus faibles valeurs sont enregistrées au niveau des puits P4 et P1 qui sont

situés au Sud de la région d'étude. En général, les teneurs en nitrates sont très faibles, elles ne dépassent pas les normes de potabilité (> 50 mg/l).



**Figure 77 : Evolution des teneurs des nitrates dans quelques points d'eau de la région d'étude**

### 2.2.5. Conclusion

Les variations de la minéralisation s'accroissent du Sud vers le Nord. La conductivité est généralement variée entre  $259.75 \mu\text{S cm}^{-1}$  et  $4500 \mu\text{S cm}^{-1}$  et le TDS entre 139 mg/l et 2000 mg/l, Salinité entre 0 et 2.6. Les zones les plus chargées sont en liaison directe avec le sol chloruré sodique et chloruré salifère. Cette salinité est surtout contrôlée par les chlorures et le sodium.

L'utilisation des éléments chimiques majeurs nous a permis de comprendre le processus de minéralisation des sols. Ainsi, cette minéralisation proviendrait de la dissolution-précipitation de la roche aquifère, des évaporites et de l'échange de base.

La variété des sols à l'échelle d'une région d'étude implique que la gestion du patrimoine sol par rapport aux problèmes de salinité ne peut avoir de réponse unique.

Les résultats montrent que les paramètres de salinité (CE, TDS, Salinité) pour la caractérisation et la mise en valeur des sols salés, donnent une possibilité de s'affranchir du problème de l'hétérogénéité de la répartition des sels (cation et anions) dans le sol ; ces avantages peuvent être exploités à condition de faire les mesures de pH.

L'origine de la salinité des eaux constitue un traceur de mélange. (Tellam, 1995 et Fidelibus et al, 1996).

La disposition des différents points d'eaux analysés par rapport à la ligne de mélange eau douce-eau salée (eau de pluie-eau de mer) peut être de grande utilité pour identifier d'autres phénomènes qui sont annexés au processus de mélange. Les eaux souterraines des différents points d'eau montrent en général un enrichissement en  $\text{Ca}^{+2}$  et un appauvrissement en  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  et  $\text{SO}_4^{-2}$ , tandis que pour le  $\text{Mg}^{+2}$  on a une dispersion des points autour de la droite de mélange.

Les réactions majeurs reconnues comme responsables d'enrichissement ou d'appauvrissement des éléments dans les eaux souterraines sont, l'échange  $\text{Ca}^{+2}$ - $\text{Mg}^{+2}$  dû à l'interaction eau-roches carbonatées, l'échange de base  $\text{Na}^+$  -  $\text{Ca}^{+2}$  ou  $\text{Na}^+$  -  $\text{Mg}^{+2}$ , la réduction ou la dissolution des sulfates (Fidelibus et al, 1996).

Dans un environnement carbonaté, l'enrichissement simultané de  $\text{Ca}^{+2}$  et l'appauvrissement de  $\text{Mg}^{+2}$  est expliqué surtout par le phénomène d'interaction eau-roche comme la dolomitisation, dissolution et précipitation (Tulipano et al. 1984 et Fidelibus et al. 1986). La réaction d'échange  $\text{Ca}^{+2}$  -  $\text{Mg}^{+2}$  par dolomitisation a été signalée comme cause principale de diminution du rapport Mg/Ca dans les eaux des aquifères carbonatés. Cette diminution est progressive selon l'âge croissant des terrains aquifères, contrôlée par l'équilibre entre calcite et dolomite et fortement dépendante de la température (Fidelibus et al, 1996). La réaction des sulfates favorise la dissolution des minéraux carbonatés. Ceci pourrait changer davantage le rapport Mg/Ca.

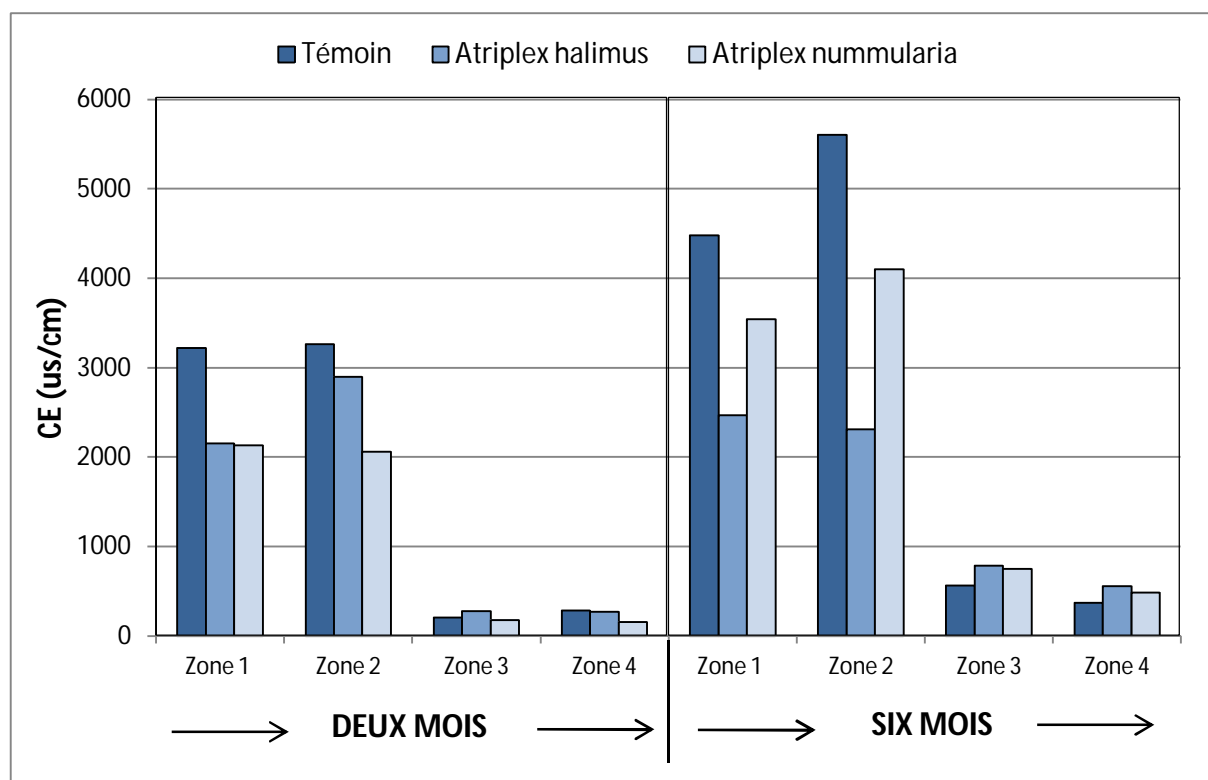
La faisabilité des échanges de base de  $\text{Na}^+$  -  $\text{Ca}^{+2}$  ou  $\text{Na}^+$  -  $\text{Mg}^{+2}$  a été démontrée sur des roches carbonatées, (Pascual et Custodio, 1990) et confirmée par la suite (Nadler et al, 1986).

### 2.3. Effet de plantation d'*Atriplex halimus* et *nummularia*

#### 2.3.1. Effet sur la conductivité électrique (C.E)

La Figure.78 affiche la variation des valeurs de la C.E en fonction des deux variables : zones de plantation et les espèces plantées au niveau des deux compagnes. Les résultats montrent, avec quelques exceptions, que la CE diminue pour les quatre zones au niveau des deux compagnes avec la plantation des deux espèces halophyte, mais de façon non proportionnelle, puisque la C.E a marqué des augmentations dans la deuxième compagne pour les deux espèces *Atriplex halimus* et *Atriplex nummularia* au niveau de la troisième zone dont les valeurs sont : 788  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 754  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , et la quatrième zones avec 559 $\mu\text{S}/\text{cm}$ , 484 $\mu\text{S}/\text{cm}$  par rapport au témoin : 566  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 374  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . On a observé aussi une élévation de la C.E dans le sol planté avec l'*Atriplex halimus* 276  $\mu\text{S}/\text{cm}$  au niveau de la troisième zone dans la première compagne par rapport au témoin (sol sans plantation) 205  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Malgré que cette constatation parait illogique, on peut avancer le fait que les plantes étudiées sont des halophytes, elles évoluent grandement dans des sols salin.



**Figure 78 : L'effet de plantation d'*A.halimus* et *A.nummularia* sur la moyenne de la CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) de la solution du sol dans les quatre zones après deux et six mois**

Durant la première campagne et au niveau des zones un et deux, les résultats de la C.E pour le sol témoin marquant une augmentation de 3220  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 3260  $\mu\text{S}/\text{cm}$  par rapport aux sols plantés avec *Atriplex halimus* pour 2150  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 2900  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et les sols plantés avec *nummularia* 2130  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 2060  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

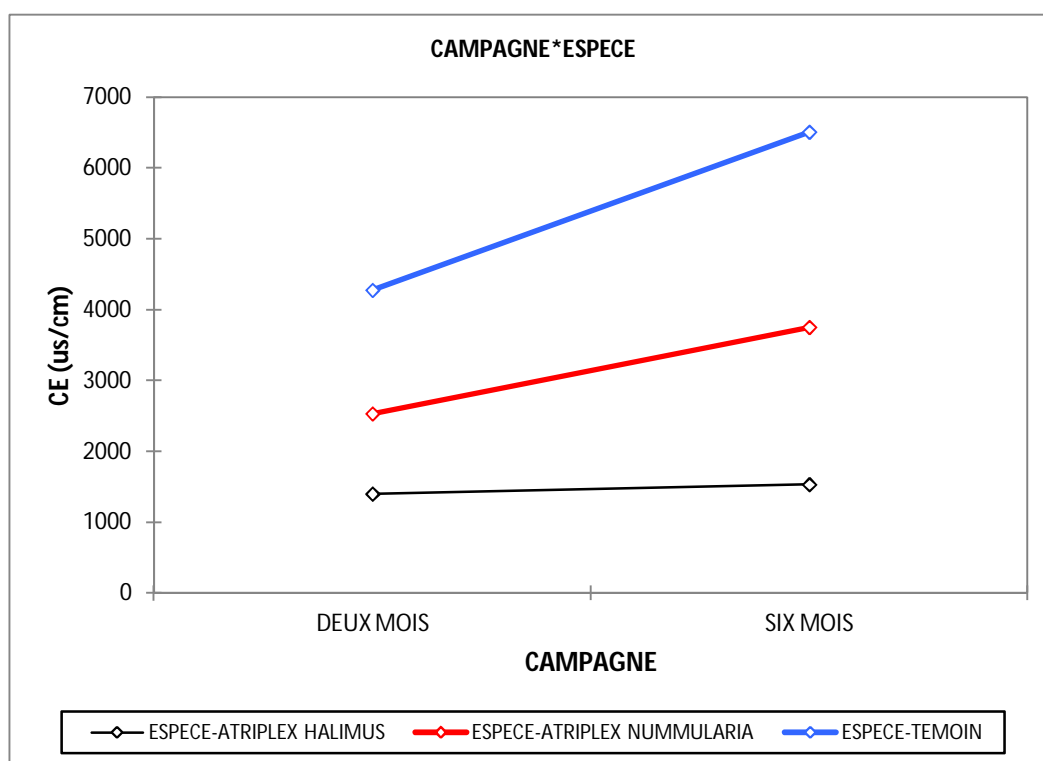
Les valeurs maximal de la C.E ont été obtenues dans la deuxième campagne au niveau de sol sans plantation pour les zones une et deux atteignant 4480  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 5600  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , tandis que les résultats des sols plantés avec *Atriplex halimus* et *Atriplex nummularia* sont successivement : 2470  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 2310  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pour la zone une, 3540  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 4100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pour la zone deux (Annexes 2 et 3).

L'analyse de la variance de la conductivité électrique du sol indique que les résultats sont hautement significatifs pour l'effet de zone et significatifs pour l'effet de campagne et non significatifs pour l'effet des espèces et les interactions (Tableau 31).

**Tableau 31 : Analyse de la variance de l'effet d'*Atriplex* sur la conductivité électrique ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) de la solution du sol salé**

Sources	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
campagne	1	3319579,40167	3319579,40167	10,77514	<b>0,01677</b>
zone	3	46699213,93833	15566404,64611	50,52755	<b>0,00012</b>
espece	2	2631374,65333	1315687,32667	4,27064	0,07025
campagne*zone	3	994809,00500	331603,00167	1,07636	0,42721
campagne*espece	2	1127771,85333	563885,92667	1,83034	0,23957

Le test de comparaison des moyennes est fait pour confirmer que *Atriplex halimus* et la meilleure espèce halophyte, en ce qui concerne l'amélioration de la conductivité électrique du sol, pour les deux campagnes par rapport à l'autre espèce (Figure 79) (Annexe 3).

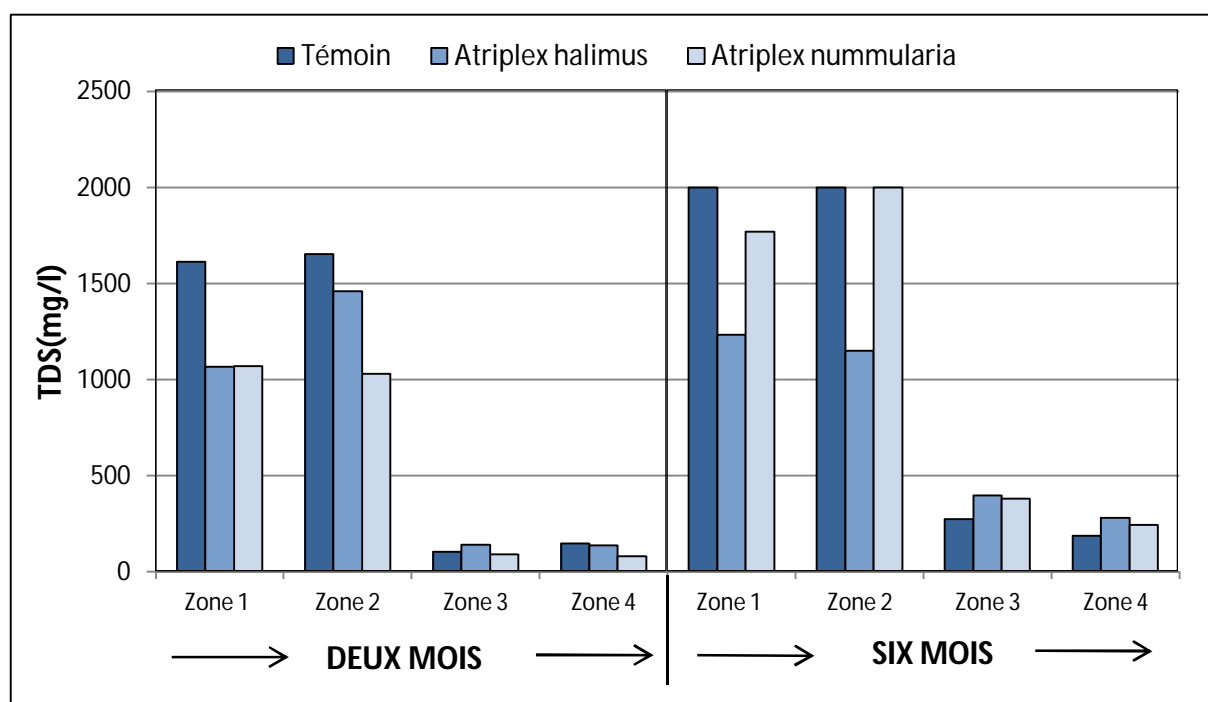


**Figure 79 : Comparaison des moyennes de la conductivité électrique ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) de la solution du sol dans les quatre zones après deux et six mois de plantation d'*A. halimus* et *A. nummularia***

Ainsi la C.E des sols plantés avec *Atriplex halimus* et *Atriplex nummularia*, est moins élevée que celle des témoins. D'après plusieurs auteurs les plante *Atriplex* sont stimulées par les doses modérées de NaCl et au fur et à mesure qu'elles se développent, elles se chargent avec les sels absorbés et déchargent simultanément le sol, sur lequel, elles poussent (Edwar et al. 1998).

### 2.3.2. Effet sur le taux des sels (TDS)

Les mêmes remarques pour le taux des sels solubles (TDS) que pour la conductivité électrique, sauf le résultat enregistré dans la deuxième campagne pour *Atriplex nummularia* au niveau de la zone deux qui marque une valeur égale à celle du témoin pour 2000 mg/l (Annexes 2 et 3).



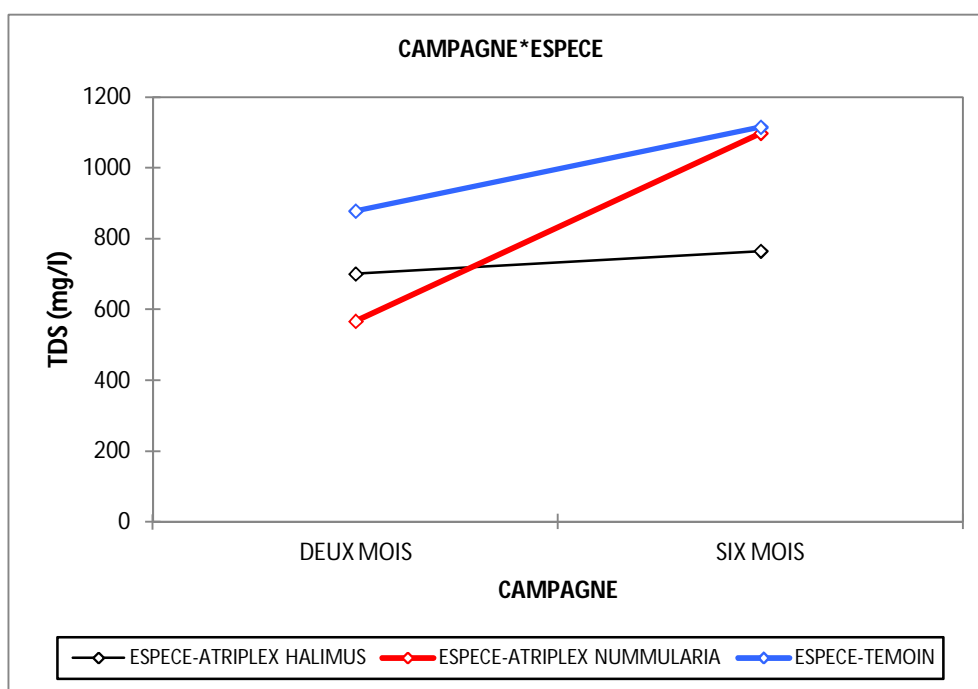
**Figure 80 : L'effet de plantation d'*A.halimus* et *A. nummularia* sur la moyenne de la conductivité électrique (uS/cm) du sol dans les quatre zones après deux mois et six mois**

L'analyse de la variance des valeurs obtenues sur les taux des sels solubles indique que les résultats sont hautement significatifs pour l'effet de zone et significatifs pour l'effet de campagne, et non significatifs pour l'effet des espèces et l'interaction (Tableau 32).

**Tableau 32 : Analyse de la variance de l'effet d'*Atriplex* sur le taux des sels TDS (mg/l) de la solution du sol salé**

Sources	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
campagne	1	461482,667	461482,667	10,345	<b>0,01822</b>
zone	3	10172205,333	3390735,111	76,011	<b>&lt; 0,0001</b>
espece	2	284088,583	142044,292	3,184	0,11416
campagne*zone	3	76011,333	25337,111	0,568	0,65616
campagne*espece	2	222330,083	111165,042	2,492	0,16299
zone*espece	6	433947,417	72324,569	1,621	0,28597

La comparaison des moyennes indique que *Atriplex halimus* améliore mieux le taux des sels solubles du sol durant les deux campagnes que *Atriplex nummularia* (Figure 81) (Annexe 3).



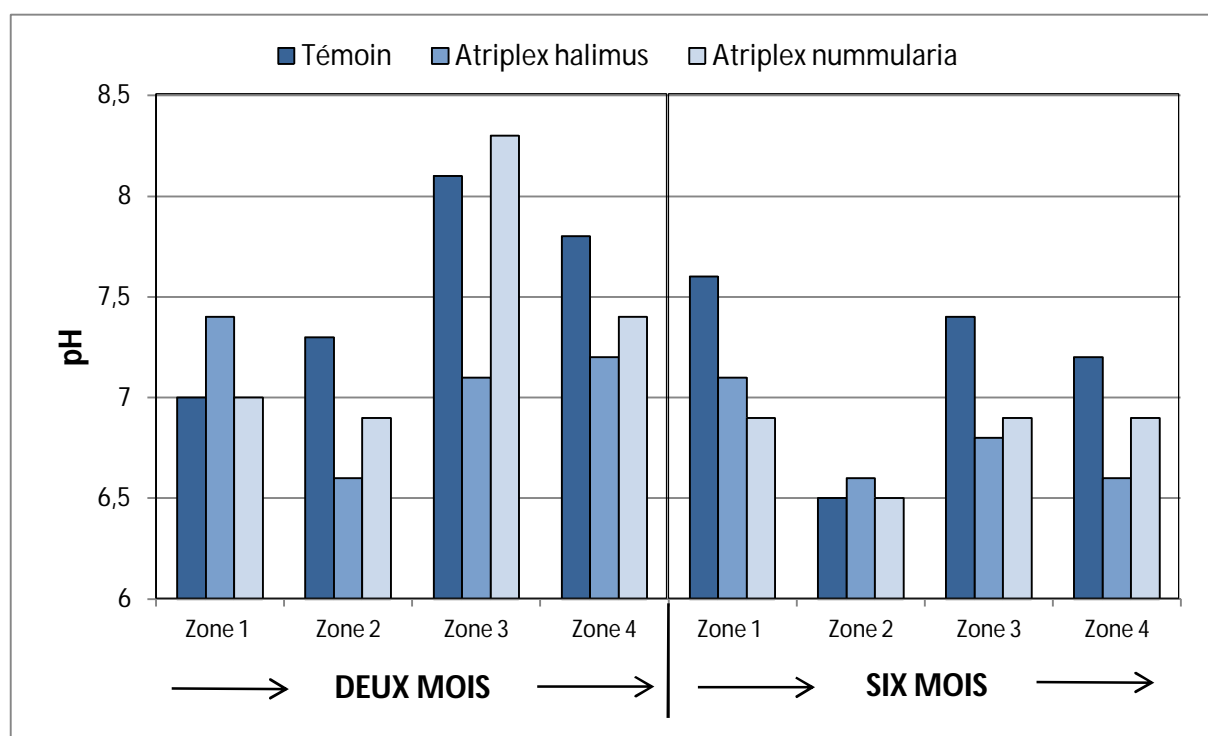
**Figure 81 : Comparaison des moyennes de TDS (mg/l) de la solution du sol dans les quatre zones après deux et six mois de plantation d'*A.halimus* et *A. nummularia***

### 2.3.3 Effet sur le pH du sol

La figure.82 montre la variation des valeurs de pH du sol dans les quatre zones plantées avec les deux espèces *Atriplex halimus* et *nummularia* pendant les campagnes une et deux par rapport au témoin.

Les résultats obtenus révèlent que le pH des sols plantés avec l'espèce local (*A. halimus*) et l'espèce australienne (*A. nummularia*) ainsi que le témoin varie de 6.5 à 8.3. Ce ci fait qu'en général le pH est nettement neutre pour tous les résultats des quatre zones de plantations et pour les deux campagnes, sauf pour la troisième zone dans la première campagne qui a enregistré un pH un peu alcalin au niveau du témoin et le sol planté avec l'*Atriplex nummularia* 8.1 et 8.3 (Annexes 2 et 3).

Ces résultats suggèrent que la plantation utilisée n'a aucun effet améliorateur du pH du sol surtout que le sol utilisé est de nature chloruré. Cette même observation a été rapportée par Moorby et al. (1988).



**Figure 82 : L'effet de plantation d'*A. halimus* et *A. nummularia* sur la moyenne du pH de la solution de sol dans les quatre zones après deux et six mois de plantation**

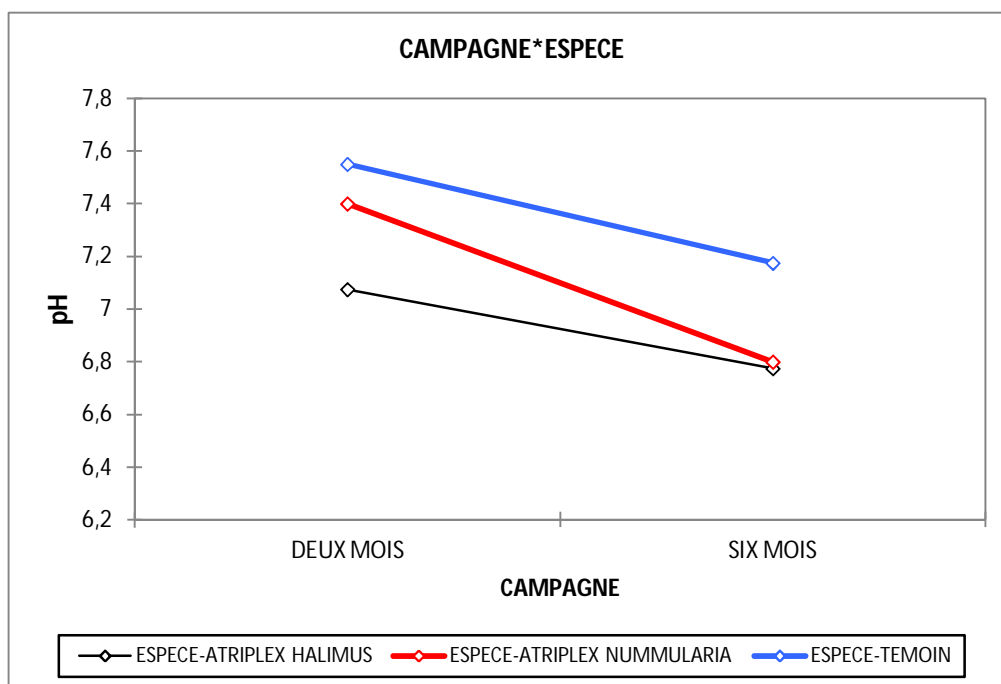
L'analyse statistique appuie aussi ces résultats par une signification entre la campagne et zone, tandis qu'il n'y a pas de signification pour les espèces et les interactions (Tableau 33).

**Tableau 33 : Analyse de la variance de l'effet d'*Atriplex* sur le pH de la solution du sol salé**

Sources	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
campagne	1	1,084	1,084	10,853	<b>0,01652</b>
zone	3	1,521	0,507	5,078	<b>0,04379</b>
espece	2	0,776	0,388	3,885	0,08274
campagne*zone	3	0,605	0,202	2,018	0,21295
campagne*espece	2	0,098	0,049	0,488	0,63616
zone*espece	6	0,548	0,091	0,914	0,54218

La plus importante valeur atteinte, chez le témoin, 8.3 (valeur maximale enregistrée durant l'essai de sol planté par *Atriplex nummularia* de la troisième zone pour la première campagne). Et la valeur la plus basse, marque 6.5 est enregistrée pour le sol témoin et le sol planté par *Atriplex nummularia* de la deuxième zone dans la deuxième campagne.

La comparaison des moyennes indique que *Atriplex halimus* améliore mieux le pH du sol que *Atriplex nummularia* pour les deux campagnes (Figure 83) (Annexe 3).



**Figure 83 : Comparaison des moyennes du pH de la solution du sol dans les quatre zones après deux et six mois de plantation d'*A halimus* et *A nummularia***

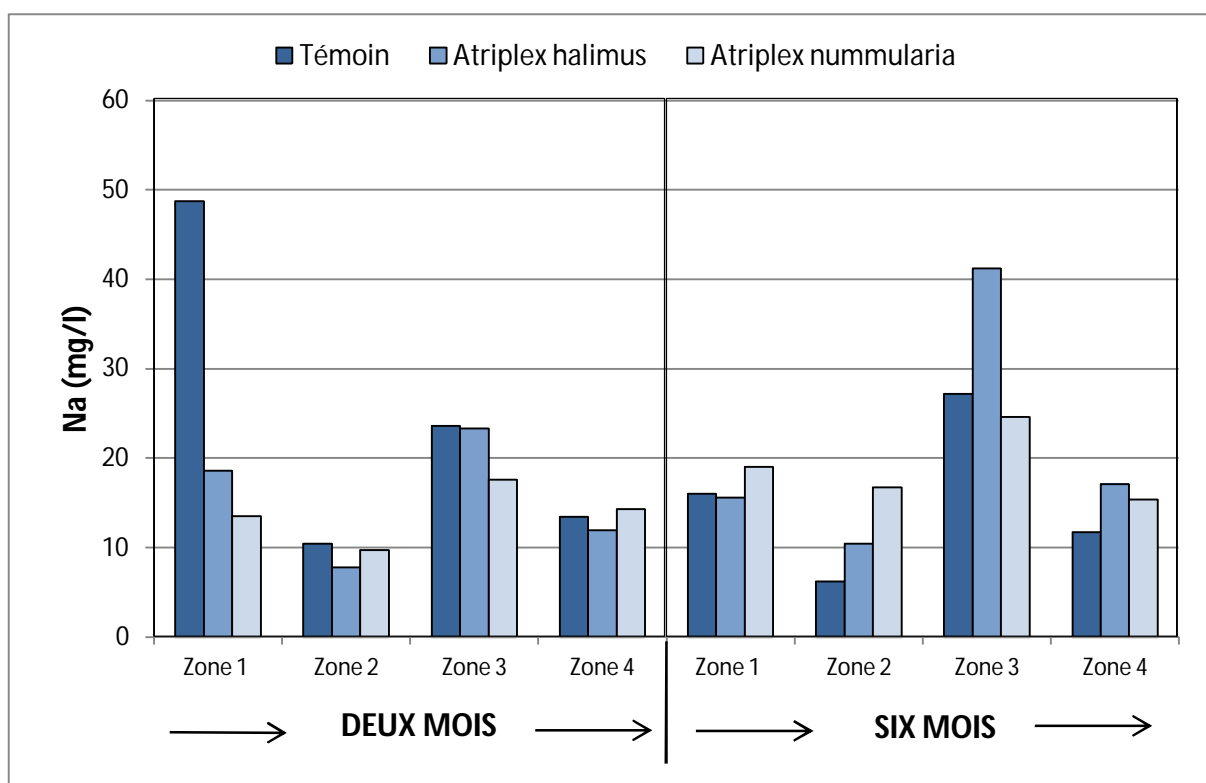
En ce qui concerne l'effet de sel sur le pH, on n'observe pas de changement proportionnel avec les différentes salinités des sols. Ceci est en accord avec les résultats obtenus par (Klose, 2007).

#### 2.3.4. Effet sur la teneur en Na<sup>+</sup>

Les résultats affichés sur la Figure.84, représentent la variation de la teneur du sol en sodium chez les deux espèces d'*Atriplex* en fonction des différentes zones durant les deux campagnes de prélèvements. Tout d'abord, les résultats montrent que les différents sols plantés se sont caractérisés par des valeurs distinctes avec des écarts croissant entre les différentes zones. Ces résultats vont de paire avec ceux de Miyamoto et al. (1996) qui ont mesuré à la fin d'une expérience similaire à la notre, le niveau de la salinité de l'eau de drainage du sol. Ils ont trouvé que la salinité restait proportionnelle avec le premier apport de sel.

Les résultats montrent clairement que les teneurs en Na<sup>+</sup> ont diminuées au niveau de la première campagne pour les sols plantés, sauf le résultat obtenu par *Atriplex nummularia* dans la quatrième zone qui marque une augmentation 14.3 mg/l par rapport au témoin 13.4

mg/l. Néanmoins, cette diminution s'est caractérisée par un faible niveau avec les quatre zones, le sol planté avec l'espèce locale marque une bonne amélioration (diminution) 7.8 mg/l et 11.9 mg/l, alors qu'au niveau de l'autre espèce les valeurs maximales de Na<sup>+</sup> étaient en deçà de ce seuil 9.7 mg/l et 14.3 mg/l par rapport au témoin 10.4 mg/l et 13.4 mg/l dans la deuxième et la quatrième zone successivement, tandis que la première et la troisième zone ont enregistrées pour *Atriplex nummularia* 13.5 mg/l 17.6 mg/l marquant une diminution par rapport à *Atriplex halimus* 18.6 mg/l 23.3mg/l et le témoin 48.7 mg/l 23.6 mg/l (Annexe 2 et 3). Les valeurs de Na<sup>+</sup> enregistrées pour la deuxième compagne n'ont aucun effet améliorateur pour les deux espèces, sauf le résultat d'*Atriplex halimus* qui a enregistré une diminution 15.6 mg/l par rapport au témoin 16 mg/l au niveau de la zone une, et le résultat de *Atriplex nummularia* qui a enregistré une diminution 24.6 mg/l par rapport au témoin 27.2 mg/l au niveau de la zone trois (Annexe 2 et 3).



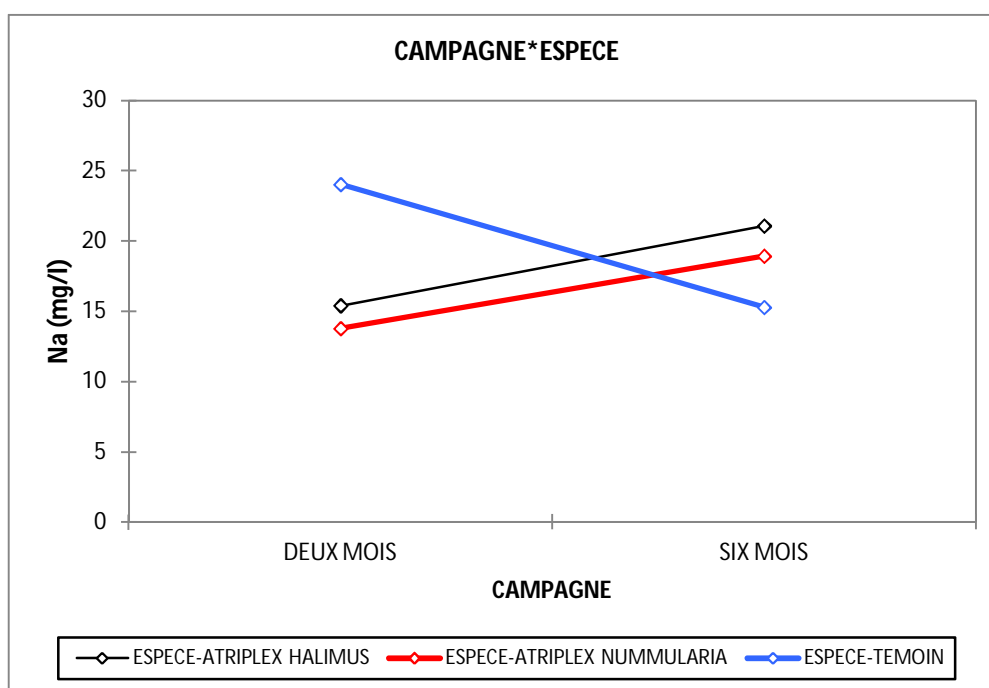
**Figure 84 : L'effet de plantation d'*A. halimus* et *A. nummularia* sur la moyenne de la teneur en Na<sup>+</sup> (mg/l) de la solution du sol dans les quatre zones après deux et six mois de plantation**

L'analyse de la variance de la teneur en sodium du sol indique que les résultats sont significatifs pour l'effet de zone et non significatifs pour l'effet de compagne, espèce et l'interaction (Tableau 34).

**Tableau 34 : Analyse de la variance de l'effet d'*Atriplex* sur la teneur de sodium de la solution du sol salé**

Sources	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
campagne	1	2,870	2,870	0,074	0,79536
zone	3	962,131	320,710	8,215	<b>0,01516</b>
espece	2	43,861	21,930	0,562	0,59756
campagne*zone	3	292,898	97,633	2,501	0,15642
campagne*espece	2	267,711	133,855	3,429	0,10163
zone*espece	6	444,743	74,124	1,899	0,22745

Le test de comparaison des moyennes révèle l'effet de chaque plante sur les deux campagnes, de cela, on peut dire que *l'Atriplex nummularia* a un effet supérieur par rapport à *l'Atriplex halimus* uniquement dans la première campagne (Figure.85), (Annexe 3)



**Figure 85 : Comparaison des moyennes de la teneur en Na<sup>+</sup> (mg/l) de la solution du sol dans les quatre zones après deux et six mois de plantation d'*A.halimus* et *A. nummularia***

En effet la majorité des plantes recevant les plus fortes concentrations de sel ont accusé un grand retard de développement, voire même, elles ont été perdues.

Ces résultats dévoilent aussi que l'accroissement de la teneur en Na<sup>+</sup> chez les deux plantes étudiées n'était pas proportionnel au taux croissant de sel des sols.

### 2.3.5. Effet sur la teneur du sol en $\text{Ca}^{+2}$

La Figure.86 affiche la variation de la teneur du sol, cultivé par l'espèce d'*Atriplex*, en  $\text{Ca}^{+2}$  dans les quatre zones durant les deux campagnes. Les teneurs de  $\text{Ca}^{+2}$  enregistrées montrent qu'en général le substrat du sol planté avec les deux espèces étudiées d'*Atriplex* renferme des taux un peu proche et faible par rapport au sol sans plantation, où le substrat du sol d'*A. nummularia* contient la plus faible proportion en  $\text{Ca}^{+2}$  (8 mg/l et 9 mg/l) au niveaux des zones un et quatre par rapport à l'autre espèce (10 mg/l et 11 mg/l) et le témoin (12 mg/l 10 mg/l) durant la première campagne, alors que celui d'*Atriplex halimus* qui marque la plus faible proportion dans la zone deux 9 mg/l par rapport à l'*Atriplex nummularia* 10 mg/l et le témoin 11 mg/l, le même résultat enregistré pour les deux espèces au niveau de la troisième zone 11 mg/l par rapport au témoin 13 mg/l. Dans la deuxième campagne, cependant l'espèce locale est caractérisée une teneur en  $\text{Ca}^{+2}$  qui prend la position faible 11 mg/l par rapport à l'*Atriplex nummularia* et le témoin qui ont marqués le même résultat 12 mg/l au niveau de la zone une, tandis que le sol planté avec l'*Atriplex nummularia* a enregistré des valeurs faibles au niveau de la zone trois 10 mg/l. par rapport à l'*Atriplex halimus* 12 mg/l et le témoin 11 mg/l. (Annexe 2 et 3).

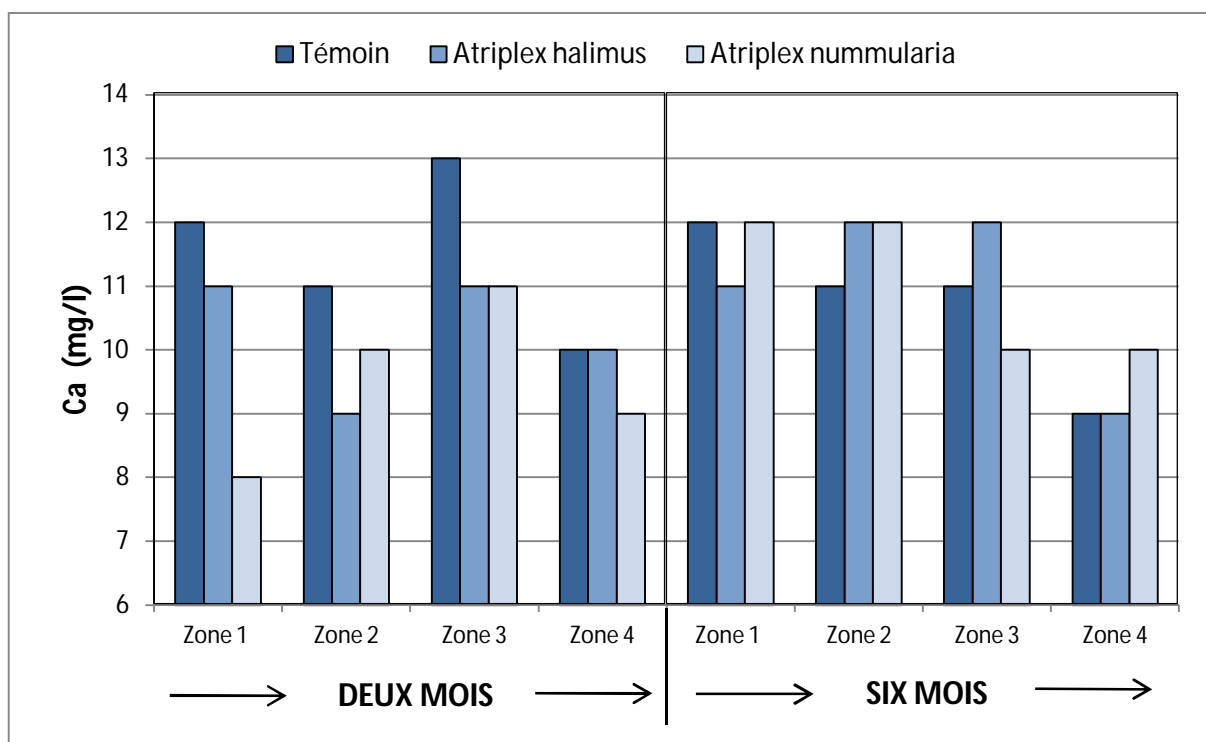


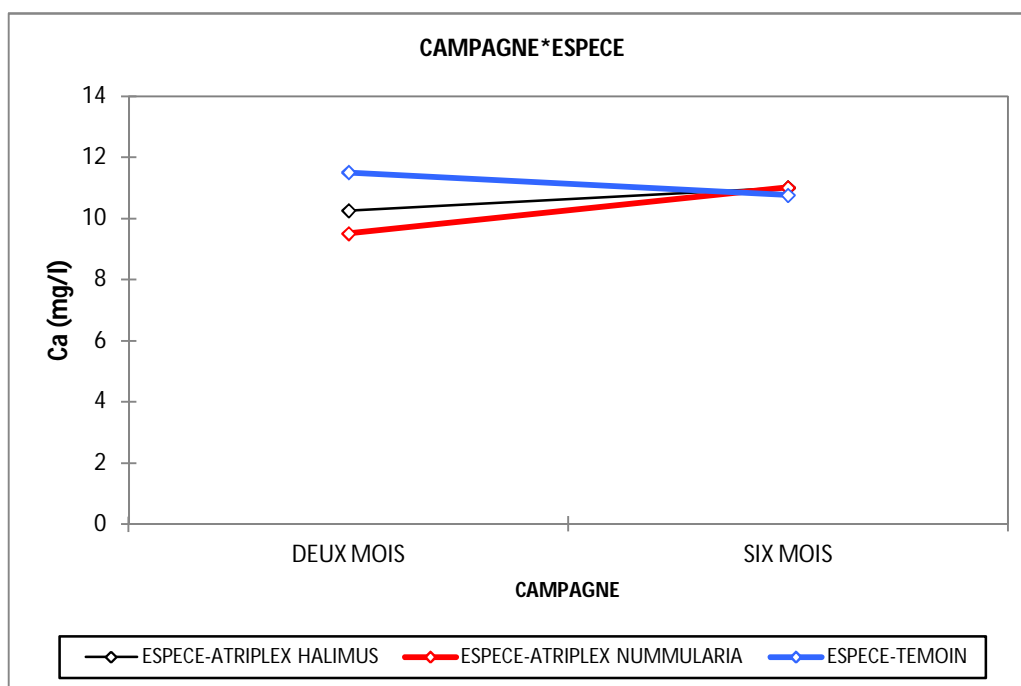
Figure 86 : L'effet de plantation d'*A.halimus* et *A.nummularia* sur la moyenne de la teneur en  $\text{Ca}^{+2}$  (mg/l) de la solution du sol dans les quatre zones après deux et six mois

Ce qui est confirmé statistiquement, aucun effet significative pour la variable zone espèce et campagne et les interactions (Tableau 3 et 5).

**Tableau 35 : Analyse de la variance de l'effet d'*Atriplex* sur la teneur de calcium de la solution du sol salé**

Sources	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
campagne	1	1,500	1,500	1,479	0,26953
zone	3	11,667	3,889	3,836	0,07583
espece	2	3,083	1,542	1,521	0,29227
campagne*zone	3	6,167	2,056	2,027	0,21163
campagne*espece	2	5,250	2,625	2,589	0,15465
zone*espece	6	3,583	0,597	0,589	0,73186

Le test de comparaison des moyennes a fait ressortir que *l'Atriplex nummularia* est l'espèce favorable pour l'amélioration de la teneur en calcium pour la première campagne, et pour la deuxième campagne les valeurs de témoin et les deux autre espèces étudiée sont presque les même. (Annexe 3). (Figure 8 et 7).

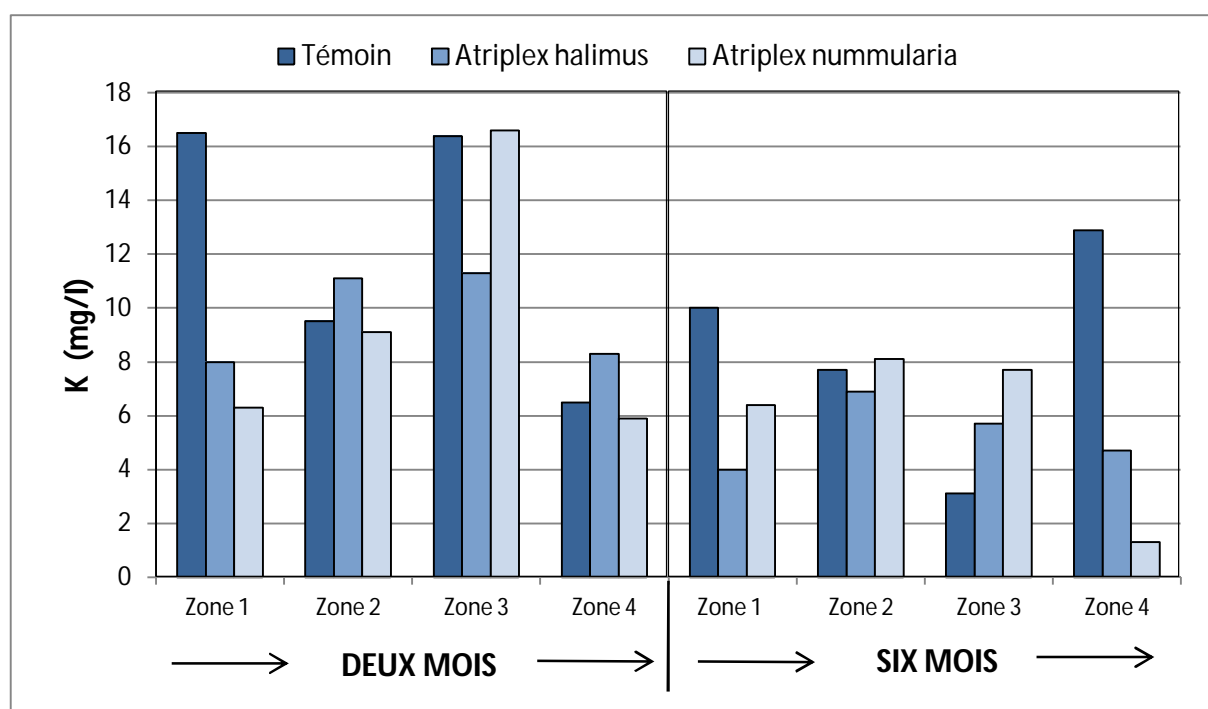


**Figure 87 : Comparaison des moyennes de la teneur en Ca<sup>+2</sup> (mg/l) de la solution du sol dans les quatre zones après deux et six mois de plantation d'*A.halimus* et *A. nummularia***

### 2.3.6. Effet sur la teneur du sol en $K^+$

La Figure.88 affiche la variation de la teneur du sol cultivé avec les espèces d'*Atriplex* en  $K^+$  dans les zones étudiées durant les deux campagnes. Les teneurs en  $K^+$  renferment des taux différents au niveau du sol planté avec les deux espèces étudiées d'*Atriplex*, où le sol planté avec l'*A. nummularia* contient la plus faible proportion en  $K^+$  (6.3, 9.1 et 5.9 mg/l) dans les zones une, deux et quatre durant la première campagne, par rapport à l'autre espèce et le témoin, la zone trois plantée avec l'*Atriplex halimus* a marqué une diminution de 11.3 mg/l par rapport à l'*Atriplex nummularia* 16.6 mg/l et le témoin 16.4 mg/l.

Durant la deuxième campagne, le sol planté avec l'*Atriplex halimus* en contient la plus faible proportion dans les zones un et deux (4 et 6.9 mg/l) par rapport l'*Atriplex nummularia* 6.4 mg/l, 8.1 mg/l et le témoin 10 mg/l, 7.7 mg/l, cependant l'espèce locale dans la zone quatre est caractérisée par une teneur en  $K^+$  médiane 4.7 mg/l entre l'*Atriplex nummularia* 1.3 mg/l et le témoin 12.9 mg/l.(Annexe 2 et 3).



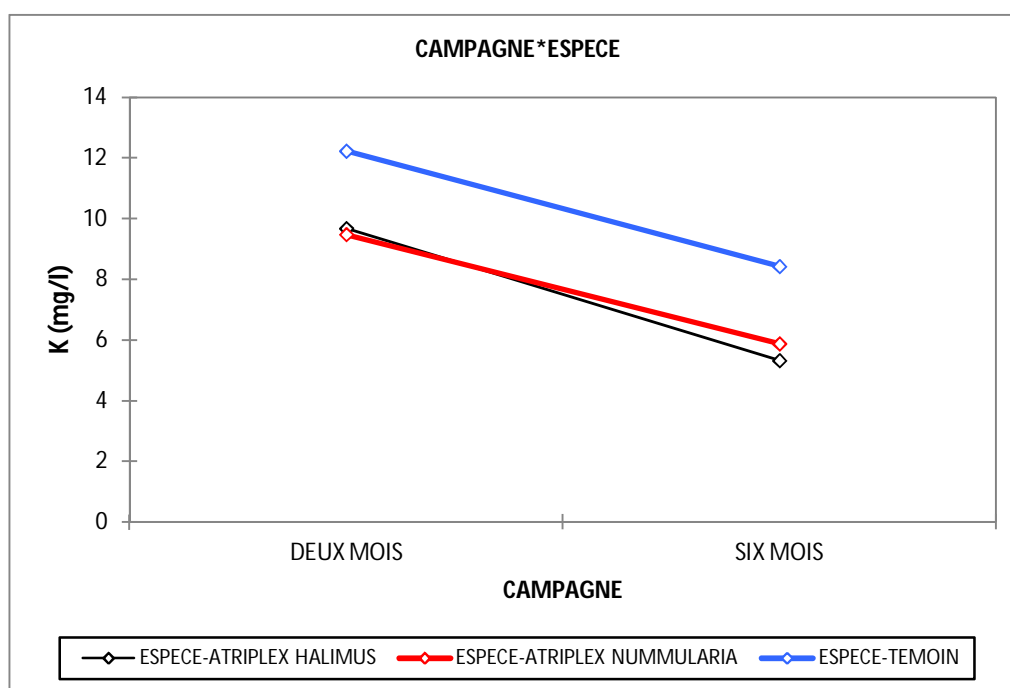
**Figure 88 : L'effet de plantation d'*A.halimus* et *A. nummularia* sur la moyenne de la teneur en  $K^+$  (mg/l) de la solution du sol dans les quatre zones après deux et six mois**

L'analyse de la variance de la teneur en Potassium du sol indique que les résultats sont significatifs pour l'effet de campagne et non significatifs pour l'effet de zone, espèce et l'interaction (Tableau 36).

**Tableau 36 : Analyse de la variance de l'effet d'*Atriplex* sur la teneur de potassium de la solution du sol salé**

Sources	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
campagne	1	92,042	92,042	8,471	<b>0,02697</b>
zone	3	38,000	12,667	1,166	0,39758
espece	2	40,090	20,045	1,845	0,23744
campagne*zone	3	63,498	21,166	1,948	0,22328
campagne*espece	2	0,603	0,302	0,028	0,97274
zone*espece	6	77,990	12,998	1,196	0,41668

Le test de comparaison des moyennes révèle que la plantation d'*Atriplex halimus* et d'*Atriplex nummularia* améliore la teneur en K<sup>+</sup> de façon très proche entre les deux espèces (Annexe 3) (Figure 89).



**Figure 89 : Comparaison des moyennes de la teneur en K<sup>+</sup> (mg/l) de la solution du sol dans les quatre zones après deux et six mois de plantation d'*A.halimus* et *A. nummularia***

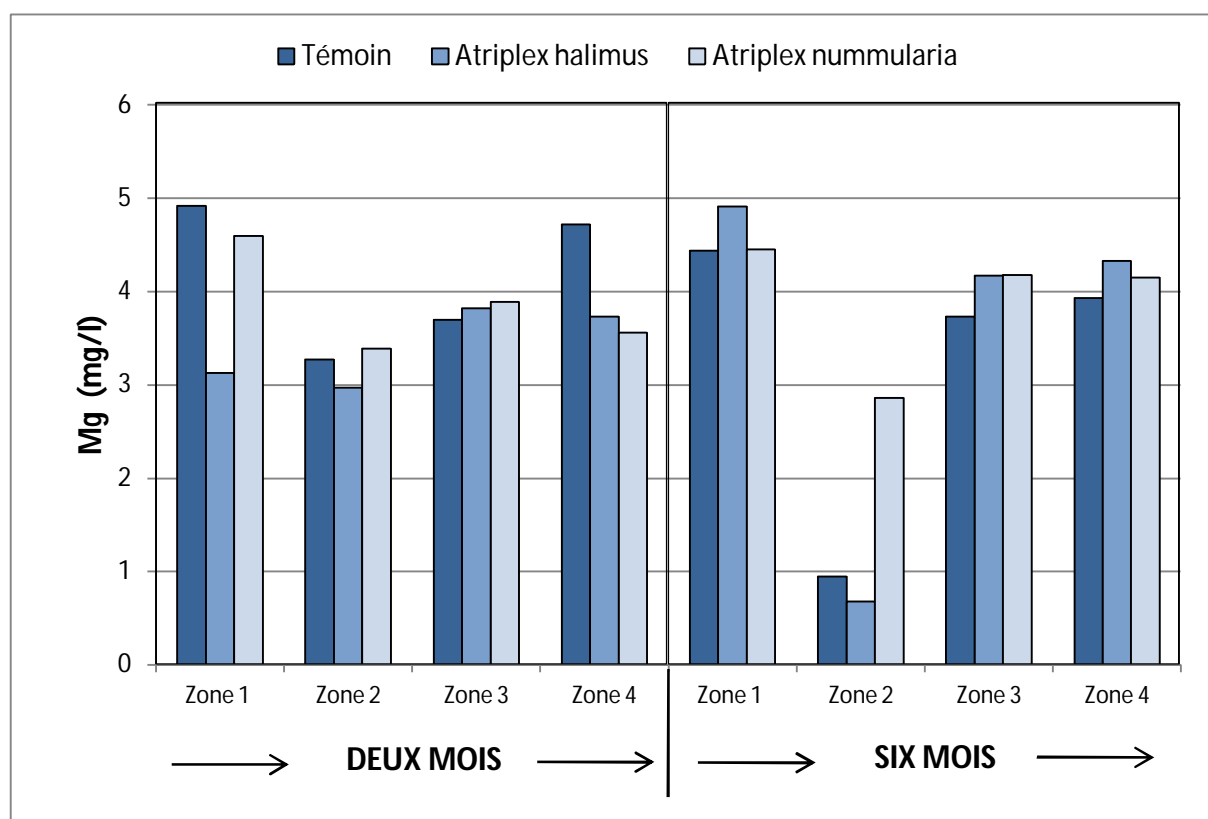
Il est aussi à indiquer que les résultats montrent clairement que les teneurs en K<sup>+</sup> diminuent un peu plus pour la plantation avec *Atriplex halimus*.

D'après Cengiz et al. (2001), sous stress salin, le potassium du milieu extérieur est fortement mobilisé vers la plante. Ce ci pourra expliquer la réduction des taux du K<sup>+</sup> du sol sous les niveaux élevés du sel.

### 2.3.7. Effet sur la teneur du sol en $Mg^{+2}$

La figure 90 nous montre que la variation des taux de  $Mg^{+2}$  ne correspondait pas parfaitement avec la variation des zones de plantations, ceci nous permet d'avancer l'implication de bien d'autres électrolytes dans la détermination de la CE.

Il est aussi à souligner que la teneur en  $Mg^{+2}$  des sols deux espèces étudiées, ne sont pas chargés uniformément, où le sol planté avec l'espèce *A. halimus* en contient des valeurs faible de  $Mg^{+2}$  3.13 mg/l, 2.97 mg/l par rapport à l'autre espèce 4.6 mg/l, 3.39 mg/l et le témoin 4.92 mg/l, 3.27 mg/l des zones une et deux durant la première campagne, tandis que pour la deuxième campagne ces résultats suggèrent que la plantation utilisée n'a aucun effet améliorateur sur la teneur en  $Mg^{+2}$  sauf pour le résultat du sol planté avec l'espèce locale dans la deuxième zone 0.68 mg/l par apport au témoin 0.95 mg/l (Annexe 2 et 3).



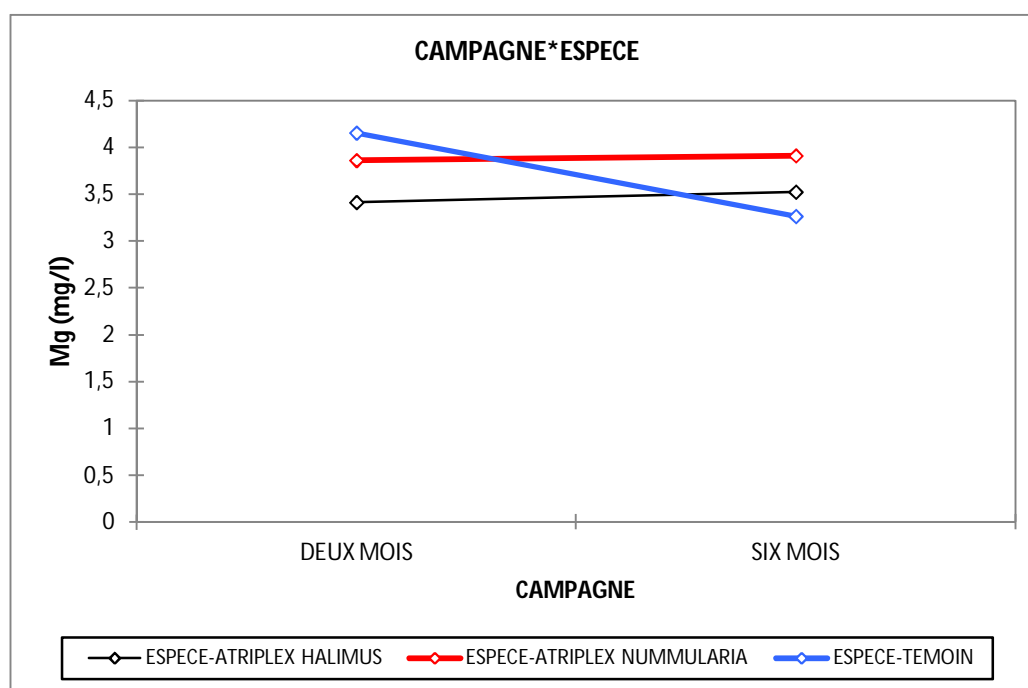
**Figure 90 : L'effet de plantation d'*A.halimus* et *A.nummularia* sur la moyenne de la teneur en  $Mg^{+2}$  (mg/l) de la solution du sol dans les quatre zones après deux et six mois**

Ce qui est confirmé statistiquement par une différence très significative pour la variable zone et non significative pour l'effet de campagne, espèce et les interactions (Tableau 37).

**Tableau 37 : Analyse de la variance de l'effet d'*Atriplex* sur la teneur en magnésium de la solution du sol salé**

Sources	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
campagne	1	0,355	0,355	1,093	0,33616
zone	3	14,986	4,995	15,363	<b>0,00320</b>
espece	2	0,702	0,351	1,080	0,39749
campagne*zone	3	4,370	1,457	4,480	0,05634
campagne*espece	2	1,258	0,629	1,935	0,22469
zone*espece	6	1,989	0,331	1,019	0,49095

Le test de comparaison des moyennes a fait ressortir que l'espèce *Atriplex halimus* est meilleure pour l'amélioration de la teneur en magnésium du sol uniquement pour la première campagne (Annexe 3.) (Figure 91).



**Figure 91 : Comparaison des moyennes de la teneur en  $Mg^{+2}$  (mg/l) de la solution de sol dans les quatre zones après deux et six mois de plantation d'*A.halimus* et *A.nummularia*.**

On pense que cette teneur du sol en  $Mg^{+2}$  qui est plus élevée chez le témoin et l'espèce introduite n'est pas due à une faible assimilation de cet élément dans le sol, car les plantes sur lesquelles se développent sont plus chargées en  $Mg^{+2}$ . et/ou la recirculation des sels en excès vers les racines via la sève élaborée puis leurs élimination vers le sol (Berthomieu et al. 2003).

Les résultats montrent que les valeurs les plus élevées pour cette élément ont été enregistrées dans des sols sans plantation et le sol planté avec *Atriplex nummularia*.

### 2.3.8. Effet sur la teneur du sol en Cl<sup>-</sup>

La Figure 92 affiche la variation de la teneur du sol cultivé avec les espèces d'*Atriplex* en Cl<sup>-</sup> dans les zones de plantation durant les deux campagnes. Les teneurs de Cl<sup>-</sup> enregistrées montrent que les deux espèces étudiées d'*Atriplex* renferment des taux un peu proche et faible par rapport au sol sans plantation, où l'*A. nummularia* contient la plus faible proportion en Cl<sup>-</sup> (71 mg/l et 60.35 mg/l) au niveau des zones une et trois par rapport à autre espèce (106.5 mg/l et 63.9 mg/l) et le témoin (213 mg/l et 67.5 mg/l) dans la première campagne, alors que celui d'*Atriplex halimus* en contient la plus faible proportion dans les zones deux et quatre (71 mg/l et 36.9 mg/l) par rapport à *Atriplex nummularia* (81.65 mg/l et 53.25 mg/l) et le témoin (106.5 mg/l, 46.15 mg/l). Durant la deuxième campagne, dans les zones un et quatre, l'espèce locale est caractérisée par une teneur en Cl<sup>-</sup> médiane 106 mg/l, 85.10 mg/l entre *Atriplex nummularia* 74 mg/l, 99.40 mg/l et le témoin 213 mg/l, 71 mg/l, tandis que pour le sol planté par *Atriplex halimus* au niveau des zones deux et trois ont enregistrées des valeurs faibles 127.8 mg/l et 78.1 mg/l, par rapport à *Atriplex nummularia* (173.95 mg/l et 88.75 mg/l) et le témoin (177.5 mg/l et 88.75 mg/l). (Annexe 2 et 3).

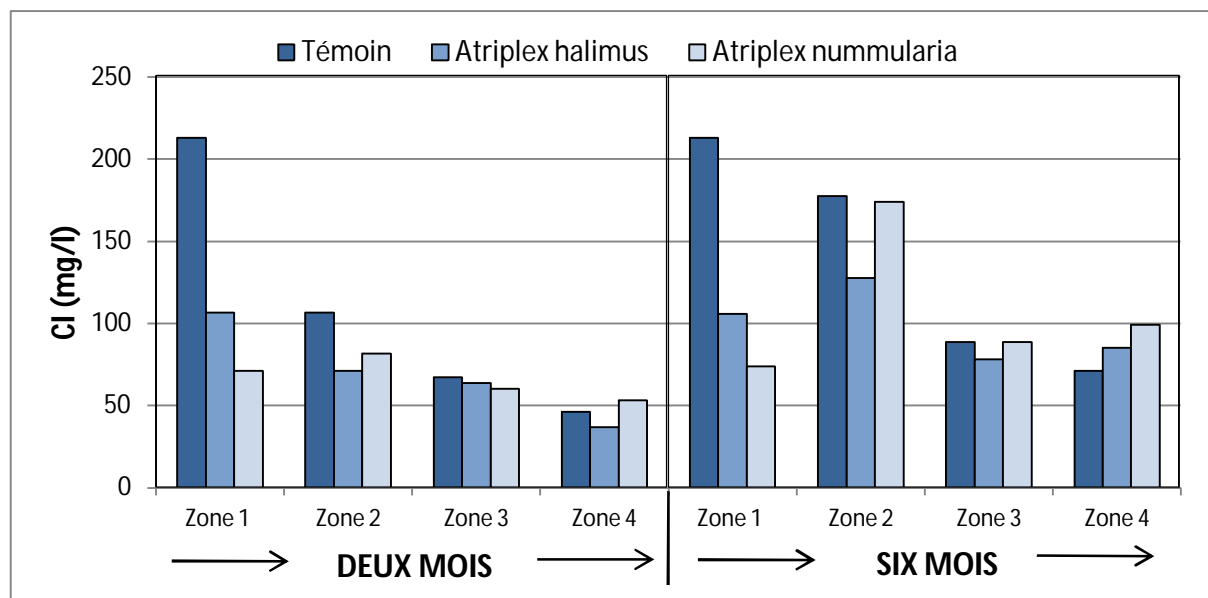


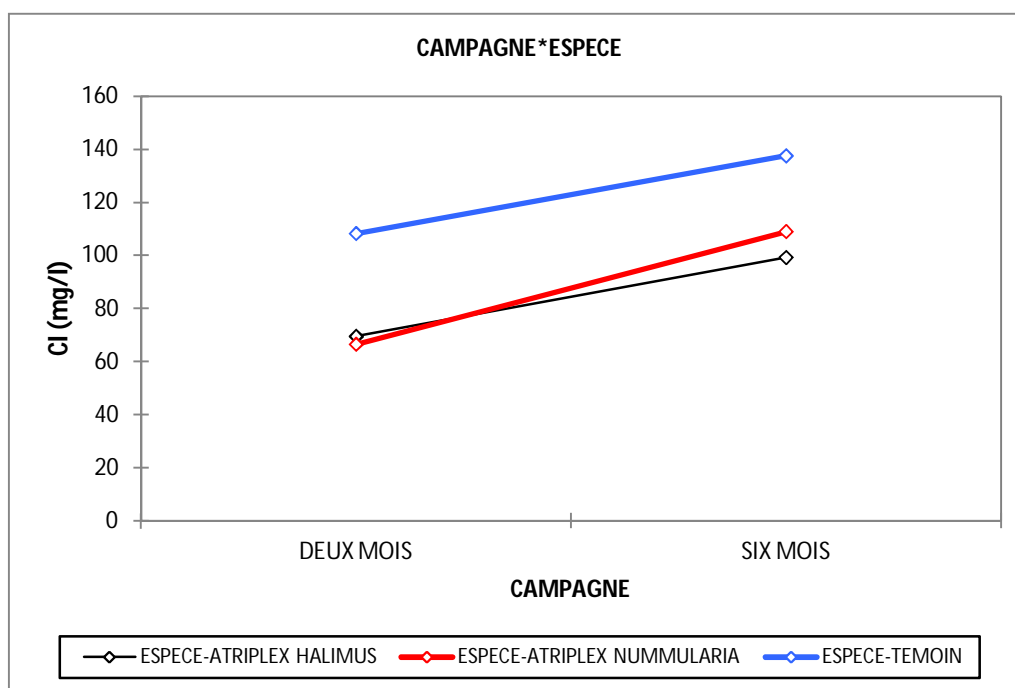
Figure 92 : L'effet de plantation d'*A. halimus* et *A. nummularia* sur la moyenne de la teneur en Cl<sup>-</sup> (mg/l) de la solution du sol dans les quatre zones après deux et six mois

L'analyse statistique confirme ces résultats par une différence très hautement significative, dans les facteurs campagne zone espèce et hautement significative pour l'effet des interactions (Tableau 38).

**Tableau 38 : Analyse de la variance de l'effet d'Atriplex sur la teneur en chlore de la solution du sol salé**

Sources	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
campagne	1	6857,344	6857,344	130,402	< 0,0001
zone	3	19850,895	6616,965	125,830	< 0,0001
espece	2	7275,461	3637,731	69,176	< 0,0001
campagne*zone	3	4265,915	1421,972	27,041	0,00070
campagne*espece	2	224,924	112,462	2,139	0,19899
zone*espece	6	16544,180	2757,363	52,435	< 0,0001

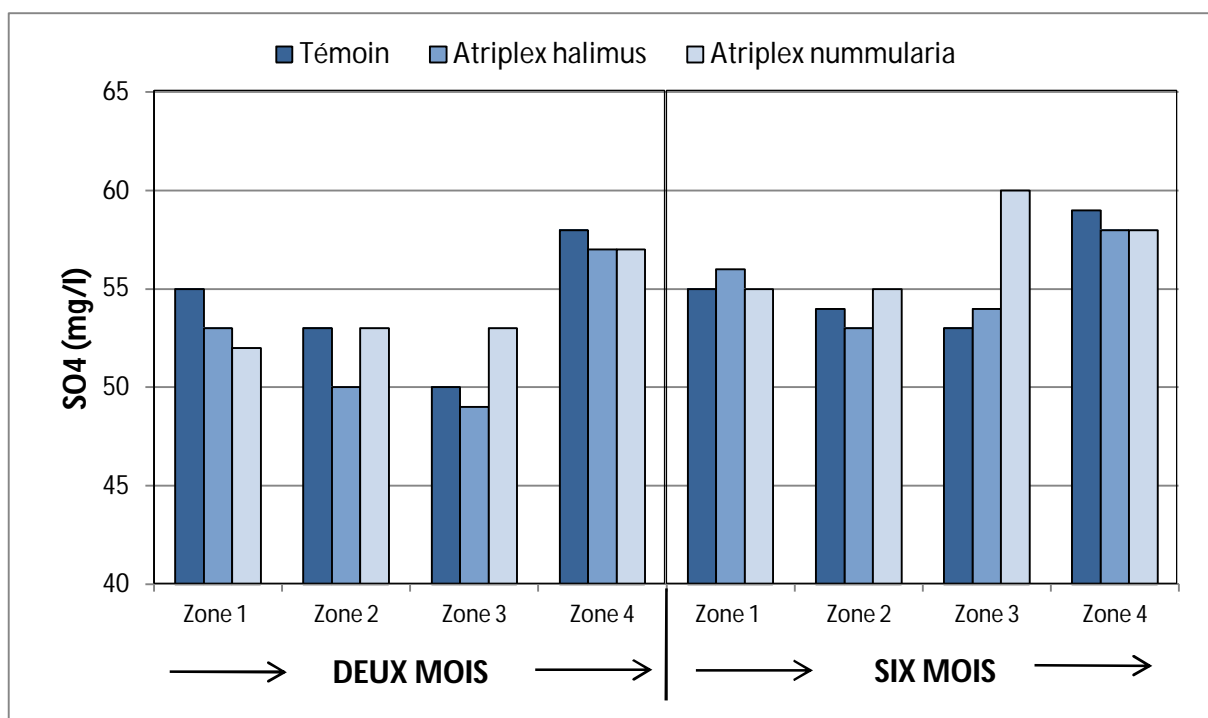
Le test de comparaison des moyennes a fait ressortir que *Atriplex nummularia* est l'espèce qui améliore la teneur en chlorure durant la première campagne par rapport à *Atriplex halimus* cependant c'est le contraire pour la deuxième campagne (Annexe 3.) (Figure 93).



**Figure.93 Comparaison des moyennes de la teneur en Cl<sup>-</sup> (mg/l) de la solution de sol dans les quatre zones après deux et six mois de plantation d'*A. halimus* et *A.nummularia***

### 2.3.9. Effet sur la teneur du sol en $SO_4^{-2}$

La figure.94 affiche la variation de la teneur du sol cultivé avec les espèces d'*Atriplex* en  $SO_4^{-2}$ . Les teneurs en  $SO_4^{-2}$  des sols plantés avec les deux espèces étudiées d'*Atriplex* renferment des taux différents ; dans la première campagne le sol planté avec *A. halimus* contient la plus faible proportion en  $SO_4^{-2}$  (50 et 49 mg/l) par rapport à l'autre espèce (*Atriplex nummularia*) 53 mg/l et le témoin 55 mg/l et 50 mg/l au niveau des zones deux et trois, l'espèce Australienne a enregistré la faible valeur 52 mg/l par rapport au témoin 55 et l'autre espèce 53 mg/l au niveau de la zone une, pour la quatrième zone, les deux espèces marquent une valeur identique 57mg/l et inférieur par rapport au témoin 58 mg/l ; durant la deuxième campagne *Atriplex halimus* en contient la plus faible proportion dans la zone deux 53 mg/l par rapport à *Atriplex nummularia* 55 mg/l et le témoin 54 mg/l, cependant les deux espèces enregistrent la valeur de 58 mg/l inférieur par rapport au témoin 59 mg/l dans la zone quatre.(Annexe 2 et 3).



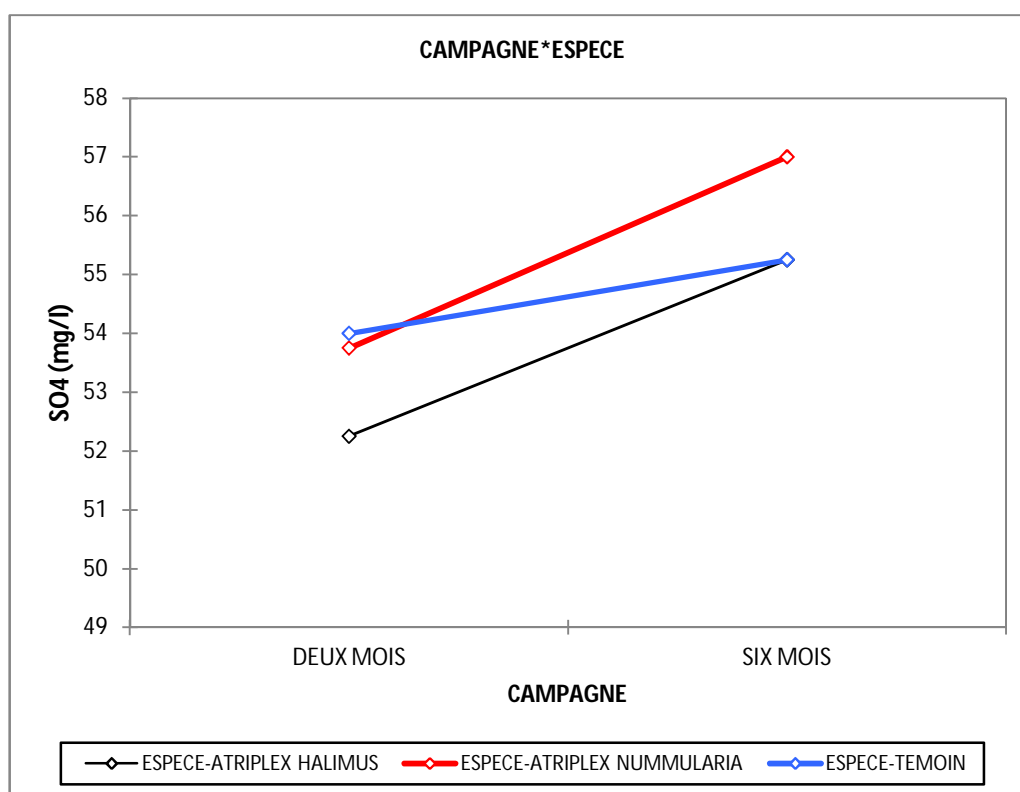
**Figure 94 : L'effet de plantation d'*A.halimus* et *A.nummularia* sur la moyenne de la teneur en  $SO_4^{-2}$  (mg/l) de la solution du sol dans les quatre zones après deux et six mois**

L'analyse statistique confirme ces résultats par une différence très hautement significative, pour les facteurs campagne zone et significative pour l'effet espèce et interaction campagne\*zone et très significative pour l'effet l'interaction zone\*espèce (Tableau 39).

**Tableau 39 : Analyse de la variance de l'effet d'*Atriplex* sur la teneur de sulfate de la solution du sol salé**

Sources	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
campagne	1	37,500	37,500	69,231	<b>0,00016</b>
zone	3	90,833	30,278	55,897	<b>&lt; 0,0001</b>
espece	2	10,583	5,292	9,769	<b>0,01297</b>
campagne*zone	3	13,500	4,500	8,308	<b>0,01477</b>
campagne*espece	2	4,750	2,375	4,385	0,06705
zone*espece	6	33,417	5,569	10,282	<b>0,00607</b>

La comparaison des moyennes révèle l'effet de chaque plante sur les deux campagnes cependant *Atriplex halimus* est meilleure par rapport à *Atriplex nummularia* uniquement pour la première campagne malgré que les résultats des deux espèces sont très proche (Annexe 3) (Figure 95).



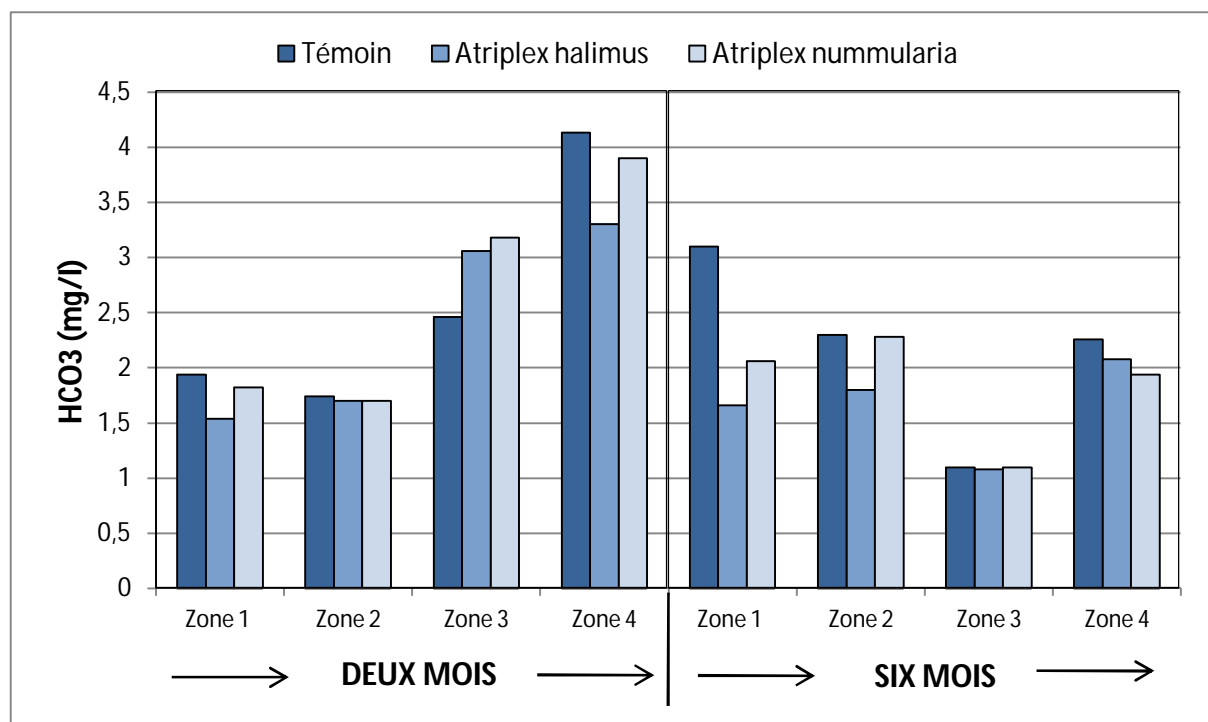
**Figure 95 : Comparaison des moyennes de la teneur en  $SO_4^{-2}$  (mg/l) de la solution du sol dans les quatre zones après deux et six mois de plantation d'*A. halimus* et *A. nummularia***

### 2.3.10. Effet sur la teneur du sol en $\text{HCO}_3^-$

La Figure.96 affiche la variation des valeurs de  $\text{HCO}_3^-$  en fonction de deux variables : zones de plantation et les espèces plantées, au niveau des deux campagnes.

Les résultats montrent, que la teneur en  $\text{HCO}_3^-$  diminue avec la plantation des deux espèces halophyte pour les quatre zones au niveau des deux campagnes, mais de façon non proportionnelle avec quelques exceptions,

Nous avons observé une diminution de la teneur en  $\text{HCO}_3^-$  dans le sol planté avec *Atriplex halimus* 1.54 mg/l et 3.3 mg/l dans la première et la quatrième zone durant la première campagne par rapport au témoin (sol sans plantation) 1.94 mg/l et 4.13 mg/l et le sol planté avec *Atriplex nummularia* 1.82 mg/l et 3.9 mg/l, la même remarque pour la deuxième campagne au niveau de la première, deuxième et la troisième zone *Atriplex halimus* qui a enregistré une diminution de la teneur en  $\text{HCO}_3^-$  1.66 mg/l, 1.8 mg/l et 1.08 mg/l par rapport au témoin 3.1 mg/l, 2.3 mg/l et 1.1 mg/l et l'autre espèce 2.06 mg/l, 2.28 mg/l et 1.1 mg/l. (Annexe 2 et 3)



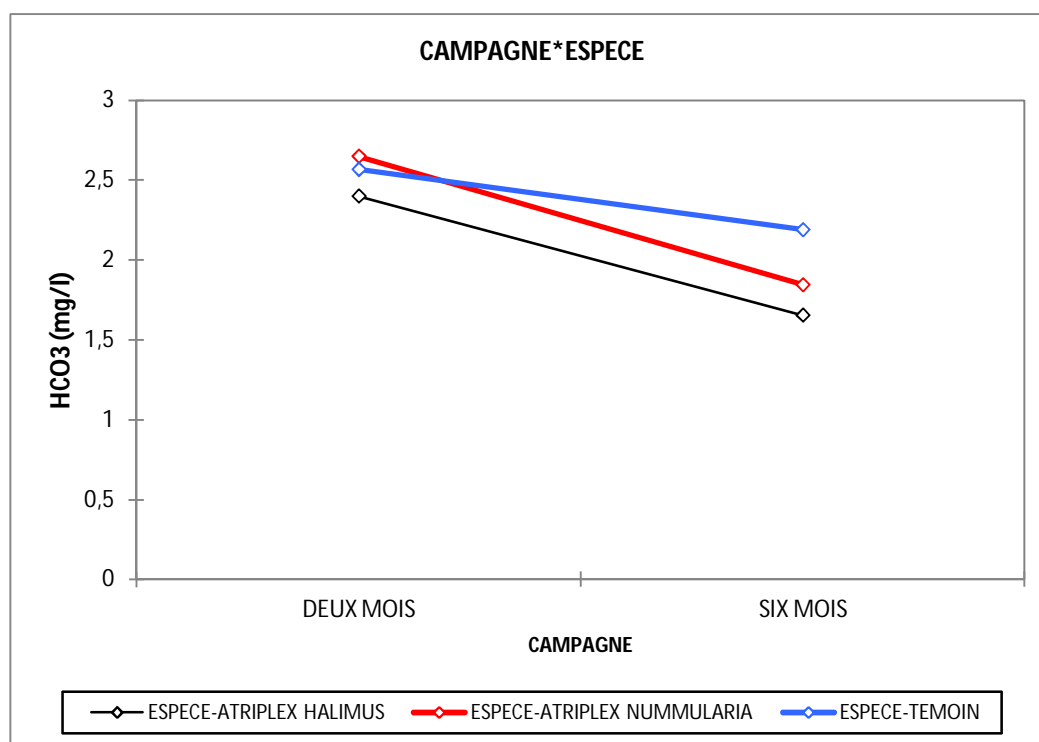
**Figure 96 : L'effet de plantation d'*A. halimus* et *A. nummularia* sur la moyenne de la teneur en  $\text{HCO}_3^-$  (mg/l) de la solution du sol dans les quatre zones après deux et six mois**

L'analyse statistique confirme ces résultats par une différence très significative pour l'effet de campagne et l'effet de zone et hautement significative pour l'interaction campagne\* zone et non significative pour le facteur espèces et les autres interactions (Tableau 40).

**Tableau 40 : Analyse de la variance de l'effet d'*Atriplex* sur la teneur en chlorure de la solution du sol salé**

Sources	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
campagne	1	2,477	2,477	29,820	<b>0,00157</b>
zone	3	4,147	1,382	16,641	<b>0,00259</b>
espece	2	0,504	0,252	3,034	0,12290
campagne*zone	3	7,311	2,437	29,340	<b>0,00055</b>
campagne*espece	2	0,214	0,107	1,290	0,34200
zone*espece	6	0,851	0,142	1,707	0,26609

Le test de comparaison des moyennes a fait ressortir que *Atriplex halimus* est l'espèce favorable pour l'amélioration de la teneur en bicarbonate pour les deux campagnes (Annexe 3) (Figure 97).

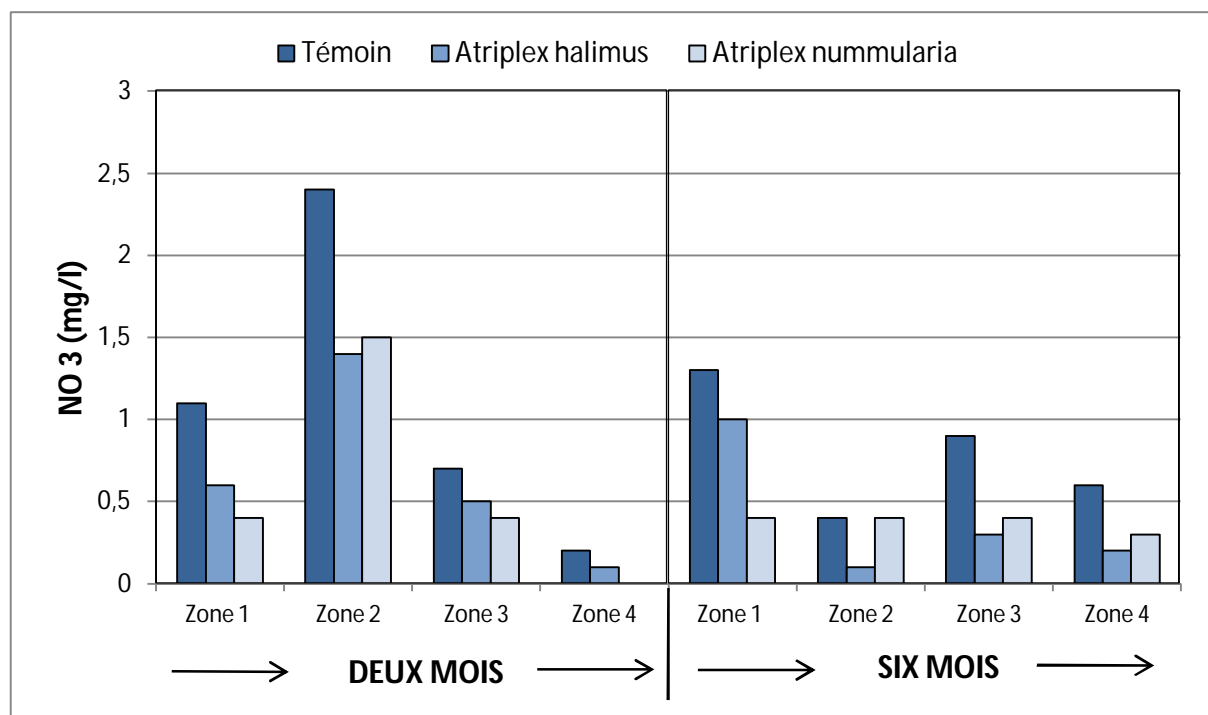


**Figure 97 : Comparaison des moyennes de la teneur en HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l) de la solution du sol dans les quatre zones après deux et six mois de plantation d'*A.halimus* et *A.nummularia***

### 2.3.11. Effet sur la teneur du sol en $\text{NO}_3^-$

Les résultats affichés sur la Figure.98 représentent la variation de la teneur du sol en  $\text{NO}_3^-$  chez les deux espèces d'*Atriplex* en fonction des différentes zones au niveau des deux campagnes. Les résultats montrent clairement que la teneur en  $\text{NO}_3^-$  diminue au niveau des deux campagnes pour les sols plantés sauf le résultat obtenu par *Atriplex nummularia* dans la deuxième zone durant la deuxième campagne 0.4 mg/l le même résultat pour le témoin 0.4 mg/l.

Dans la première campagne dans les zones une, trois et quatre la teneur en  $\text{NO}_3^-$  a marqué des valeurs inférieures dans les sols plantés avec *Atriplex nummularia* 0.4 mg/l, 0.4 mg/l et 0.0 mg/l par rapport à l'autre espèce 0.6 mg/l, 0.5 mg/l et 0.1 mg/l et le témoin 1.1 mg/l, 0.7 mg/l et 0.2 mg/l, au niveau de la zone deux, le sol planté avec *Atriplex halimus* a enregistré la valeur minimale de 1.4 mg/l par rapport à l'autre espèce 1.5 mg/l et le témoin 2.4 mg/l, durant la deuxième campagne la diminution de la teneur en  $\text{NO}_3^-$  est en évolution dans les sols plantés avec les espèces d'*Atriplex*, dont *Atriplex halimus* a marqué des valeurs inférieures au niveau des zones deux, trois, et quatre 0.1 mg/l, 0.3 mg/l et 0.2 mg/l par rapport à l'autre espèce 0.4 mg/l, 0.4 mg/l et 0.3 mg/l et le témoin 0.4 mg/l, 0.9 mg/l et 0.6 mg/l. (Annexe 2 et 3)



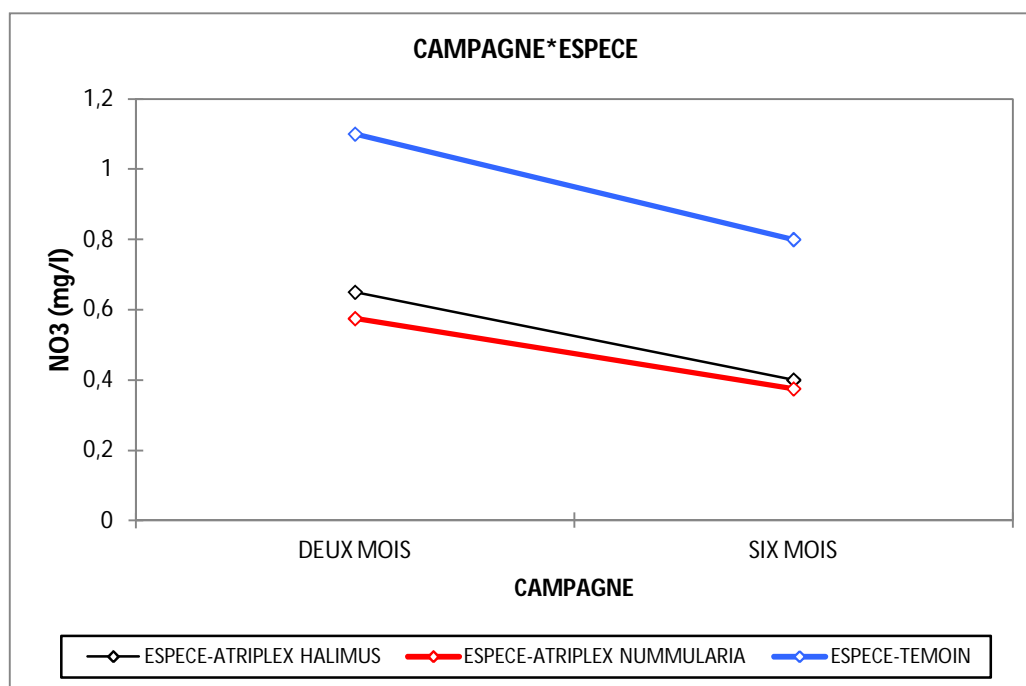
**Figure 98 : L'effet de plantation d'*A.halimus* et *A.nummularia* sur la moyenne de la teneur en  $\text{NO}_3^-$  (mg/l) de la solution du sol dans les quatre zones après deux mois et six mois**

L'analyse statistique confirme ces résultats par une différence significative pour l'effet de campagne et l'effet d'espèce, et très significative pour l'effet de zone et l'interaction campagne\*zone et non significative pour les autres interactions (Tableau 41).

**Tableau 41 : Analyse de la variance de l'effet d'*Atriplex* sur la teneur en nitrates de la solution du sol salé**

Sources	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
campagne	1	0,375	0,375	7,105	<b>0,03725</b>
zone	3	2,140	0,713	13,516	<b>0,00445</b>
espece	2	1,090	0,545	10,326	<b>0,01141</b>
campagne*zone	3	3,018	1,006	19,063	<b>0,00180</b>
campagne*espece	2	0,010	0,005	0,095	0,91095
zone*espece	6	0,290	0,048	0,916	0,54116

Le test de comparaison des moyennes a fait ressortir que *Atriplex nummularia* est l'espèce favorable pour la diminution de la teneur en nitrate pour les deux campagnes (Annexe 3) (Figure 99).



**Figure 99 : Comparaison des moyennes de la teneur en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l) de la solution du sol dans les quatre zones après deux et six mois de plantation d'*A.halimus* et *A.nummularia***

### 2.3.12. Conclusion

D'après ce qui précède, concernant la variation des paramètres du sol en fonction de la salinité, d'effet des plantes étudiées, on peut conclure que l'accentuation de la salinité affecte l'ensemble des composantes physicochimiques mesurées du sol, mais avec une intensité, plus ou moins, variable. Ainsi, nous avons remarqué, dans l'ensemble des cas, que la salinité n'exerce pas un effet assez marquant sur le pH du sol dont le statut est de nature chloruré. Cependant, le type d'espèce utilisée a nettement marqué les caractéristiques du sol. En effet, l'espèce *A.nummularia* c'est caractérisée par une valeur record du pH avoisinant les 8,3. Contrairement à la CE et le TDS qui ont présenté une corrélation, de nature positive, avec l'effet de l'espèce, notamment en ce qui concerne *l'Atriplex halimus*. Pour ce qui est des minéraux du sol (cations et anions), il est à retenir que le taux du sodium calcium et potassium a montré une tendance à diminuer face aux deux espèces halophytes surtout l'espèce *A.nummularia* ; notant que la teneur la plus faible en  $Mg^{+2}$  correspondait à l'espèce locale *A. halimus* et aux différents sols salins uniquement dans la première campagne. Ce ci pourrait impliquait un blocage du sodium ( $Na^{+}$ ) sous effet du  $Mg^{+2}$  du sol, Ainsi, le végétal pourrait bénéficier de cette dernière action visant à atténuer le transfère du  $Na^{+}$  du sol vers la plante. Comme pour les cations, les anions du sol comme le  $Cl^{-}$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $HCO_3^{-}$  ont enregistré les teneurs les plus faibles dans le sol planté avec *l'A. halimus*, par contre le  $NO_3^{-}$  a enregistré les teneurs les plus faible au niveau du sol planté avec *l'Atriplex nummularia*.

## **Conclusion Générale**

## Conclusion générale

---

Le suivi est porté sur un certain nombre de paramètres de bilan de salure et physico-chimiques du sol ainsi que sur le contrôle de la capacité de l'espèce à extraire et à accumuler les sels.

Les résultats obtenus de l'étude sous serre sur les variables mesurées, nous ont permis de constater qu'au fur et à mesure, quand les doses de NaCl sont augmentées, les valeurs de certains paramètres de bilan de salure et physico-chimiques évoluent également dans le même sens.

Connaissant l'influence de l'apport des sels solubles sur le pH et la CE des sols, nous considérons les valeurs comme tout à fait normales pour un processus de sodisation, c'est-à-dire saturation d'un sol en ions  $\text{Na}^+$ . Concernant la dynamique des sels solubles, l'étude faite sur les ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  révèle une diminution de ces éléments de la solution du sol, ce qui démontre qu'il y a eu une absorption et donc l'extraction de sels solubles du sol qui se matérialise par une désalinisation donc une amélioration des propriétés du sol.

Les autres variables étudiées sur le sol, tel que le calcaire, le phosphore et la matière organique n'ont pas beaucoup évolués, et nous pouvons considérer que l'expérimentation réalisée n'a pas d'effets sur les derniers paramètres.

L'étude de l'effet comparatif des deux *Atriplex* sur les propriétés du sol, montre que chez l'*A.nummularia*, les résultats obtenus sur les caractéristiques mesurées a permis de constater que l'augmentation des doses de salinité provoquait l'élévation du pH, de teneur en  $\text{K}^+$  du sol, nous avons enregistré en même temps une diminution de CE et de la teneur en  $\text{Na}^+$  des sols tandis que pour l'*A.halimus*, on note un effet important sur l'augmentation de la CE et la teneur en  $\text{Na}^+$  du sol et avec une diminution de pH et la teneur en  $\text{K}^+$ .

Quant aux teneurs en phosphore et la matière organique et le calcaire, elles n'ont pas été affectées par la salinisation des sols pour les deux espèces.

Les résultats obtenus sur l'évolution de la matière organique montrent que les teneurs sont proches pour les deux espèces d'*Atriplex*.

Concernant l'accumulation des éléments minéraux dans les plantes, on note que la quantité de  $\text{Na}^+$  est plus importante chez *A. nummularia* que chez *A. halimus*, les teneurs en  $\text{K}^+$  sont presque identiques chez les deux espèces.

En définitif, nous noterons que *A.nummularia* permet l'amélioration de plusieurs éléments des sols salés par rapport à *A. halimus*; cependant l'étude effectuée fait ressortir que cette dernière espèce est plus résistante aux fortes salinités et par conséquent résiste mieux dans ces milieux.

## Conclusion générale

---

Pour affirmer ces résultats, on a procédé à une plantation au niveau du terrain qui a été choisi selon la présence de la salinité, confirmée par une bonne variation de la salinité des sols et d'eau souterraine de la région d'étude.

Les paramètres de salinité étudiés sont la conductivité électrique CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) et le taux des sels dissous TDS ( $\text{mg}/\text{l}$ ), les valeurs les plus élevées sont celles des échantillons S1, S2, S3 et S8 alors que les faibles valeurs sont enregistrées au niveau des échantillons S4, S9. De point de vue quantitatif, les points de mesures situées à la surface sont caractérisés par une accumulation excessive des sels, due à l'évaporation. Le pH donne une information très précise sur l'état d'acidification du sol ; d'après les résultats obtenus on peut conclure que le sol étudié est en général d'un pH neutre.

Les résultats des cations analysés dans la pate saturée des sols, montrent que le sodium est l'élément le plus dominant dans les échantillons S7, S3, S6 et S2, respectivement, Concernant le calcium et le potassium, présentent une teneur moyenne à élever. Les teneurs en magnésium sont relativement faibles.

Les résultats des anions dans la pate saturée des sols montrent que le  $\text{HCO}_3^-$  ne présente aucune désaturation, malgré son importance pour la régulation de la somme échangeable des éléments. Les teneurs en chlorures sont élevées ; en excès, ce dernier élément devient nuisible.

En général, les sulfates  $\text{SO}_4^{-2}$  sont relativement importants dans tous les sols, contrairement au  $\text{NO}_3^-$ . Ceci laisse supposer qu'il y a une différenciation de point de vue proportionnel minéralogiques d'argile entre les différents sols de la région d'étude; le taux élevé de la conductivité électrique CE et le TDS s'explique bien par l'augmentation des concentrations du  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{NO}_3^-$  dans les sols S3, S2, S8, S1 et le S7, La variation de la salinité de sol s'exprime par la perméabilité qui favorise une bonne mobilité des anions et cations permettant la circulation des solutés et aussi par la diversité du faciès salin dans la région d'étude

La chimie des eaux apporte, incontestablement, beaucoup d'éléments nouveaux dans la connaissance de la nappe et précise, pour l'instant, les données du problème. On observe que la quasi-totalité des échantillons examinés est regroupés dans le faciès de type chloruré et sulfaté calcique.

La répartition spatiale de ces faciès chimiques dépend de la nature lithologique de l'aquifère et des conditions de recharge. En effet, l'abondance des formations salifères

## Conclusion générale

---

triasiques sur les limites Est et Ouest et les couches de croûte calcaire dans l'aquifère est en parfait accord avec ces faciès chimiques de l'eau.

La cartographie hydrochimique a montré une zonalité des concentrations des éléments dosés. Les zones de forte minéralisation sont localisées surtout au niveau de ces bordures riches en halite. Par contre les faibles valeurs de minéralisation sont localisées dans la partie amont au Sud de la région d'étude où l'influence des terrains triasiques est faible. On assiste donc à une concentration de la salinité d'amont en aval dans le sens de l'écoulement.

Pour affirmer la probabilité d'éliminer la salinité du sol, on a choisi des zones de différentes salinités dans la région d'études pour les planter avec les espèces d'*Atriplex*

Concernant la variation des paramètres du sol en fonction de la salinité, sous l'effet des plantes étudiées, on peut conclure que l'accentuation de la salinité affecte l'ensemble des composantes physicochimiques mesurées du sol, mais avec une intensité, plus au moins, variable. Ainsi, nous avons remarqué, dans l'ensemble des cas, que la salinité n'exerce pas un effet assez notable sur le pH du sol dont le statut est de nature chloruré. Cependant, le type d'espèce utilisée a nettement marqué les caractéristiques du sol. En effet, l'espèce *A.nummularia* s'est caractérisée par une valeur record du pH. Contrairement à la CE et le TDS qui ont présenté une corrélation, de nature positive, avec l'effet de l'espèce, notamment en ce qui concerne l'*Atriplex halimus*. Pour ce qui est des minéraux du sol (cations et anions), il est à retenir que le taux du sodium calcium et potassium a montré une tendance à diminuer face aux deux espèces halophytes surtout l'espèce *A.nummularia*, notons que la teneur la plus faible en  $Mg^{+2}$  correspondait à l'espèce locale *A. halimus* et ceci pourrait impliquer un sous effet du  $Mg^{+2}$  du sol qui bénéficie du blocage du sodium ( $Na^+$ ) visant à atténuer le transfère du  $Na^+$  du sol vers la plante. Comme pour les cations, les anions du sol à savoir le  $Cl^-$ ,  $SO_4^{-2}$ ,  $HCO_3^-$  ont enregistré les teneurs les plus faibles au niveau de l'espèce *A. halimus*, par contre le  $NO_3^-$  a enregistré les teneurs les plus faibles au niveau de l'*Atriplex nummularia*.

L'application de la plante, laisse supposer que le sel du sol et les deux espèces d'*Atriplex*, durant les deux compagnes, présentent une interaction synergique entre eux. Néanmoins, sous les hauts niveaux de salinité, tous les paramètres étudiés du sol diminuent sensiblement, témoignant sur une translocation probable vers la plante, vue qu'il est, en cas de stress salin, particulièrement plus impliqué dans le phénomène d'osmorégulation que les autres osmolites, notamment chez les halophytes dont les *Atriplex*.

Références

Bibliographiques

- Abbad, A., Cherkaoui, M., Wahid, N., El Hadrami, A, B et Benchaabane, A,R. (2004).** Variabilités phénotypique et génétique de trois populations naturelles d'*Atriplex halimus*. J ; Comptes Rendus Biologies, 327 (4) : 371- 380.
- Aidoud, A., Le Floch, E et Le Houérou, H,N. (2006).** Les Steppes Arides du Nord de l'Afrique. J ; Science et Changement Planétaires, Sécheresse, 17 (2) : 19-30.
- Al Der Moch, K. (1976).** Influence des solutions salines sur les propriétés physiques et l'évolution des minéraux phyllithes des sols syriens.Thèse Doct, université Toulouse,France : 212 p.
- Aronson, J. (1985).** Economic halophytes: a global review. J; Plants for arid lands, 13 (4) : 177 – 188.
- Baize, D et Jabiol, B. (1995).** Guide pour la description des sols, technique et pratiques. Ed ; Institut National de la recherche Agronomique, Paris, France : 375 p.
- Baize, D. (1990).** Guide des analyses courantes en pédologie. Choix expression présentation interprétation.Etude des sols et de la carte péd. Institut National de la recherche Agronomique, Paris, France : 172 p.
- Batanouny, K, H. (1996).** Biodiversity in the rangelands of the Arab countries, 5<sup>th</sup> international congress, Rangelands sustainable biosphere, New York : 73 – 91.
- Barry, T, P et Faurel, L. (1963).** Carte de la végétation de l'Algérie, Ghardaia au 1 /500 000, Institut cartographie de la végétation de l'Univ d'Alger.
- Baskin, C,C and Baskin J,M. (1998).** Seeds. Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination. J ; Annals of Botany, 10 (6) : 705-708.
- Belkhodja, M., Chadli, R and Ziane, Z. (2000).** The ionic Behaviour of fababean ( *Vicia faba*, L) to salt stress. J ; Application science, Egypt 15 (12) : 422-437.
- Belkhodja, M. et Bidai, Y. (2004).** Réponse des graines d'*Atriplex halimus* L à la salinité au stade de la germination, J ; Sécheresse, 15 (4) : 331-335.
- Ben Ahmed, H. (1995).** Physiologie de la tolérance de l'*Atriplex halimus* L au chlorure de sodium. Mémoire de D.E.A, Université de Tunis II : 119 p.

- Bencherif, S. (2011).** L'élevage pastoral et la céréaliculture dans la steppe Algérienne Évolution et possibilités de développement. Thèse doctorat, Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement, AgroParisTech, Paris, France : 294 p
- Benchetrit, M. (1956).** Les Sols d'Algerie. Revue de géographie, 44 (4) : 749-761.
- Ben Fattoum, M. (2003).** Evaluation de la tolérance au stress salin de certaines portes greffes de Citrus. Mémoire DEA, l'INAT, Tunis : 198 p.
- Ben Naceur, M., Rahmone, C., Sdiri, H., Meddahi, M,L et Selmi, M. (2001).** Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques variétés maghrébines de blé. J ; Secheresse, 12 (1) : 167-174.
- Benrebiha, F, Z. (1987).** Contribution à l'étude de la germination de quelques espèces locales et introduit. Thèse de Magister, Univ Blida, Alger : 154 p.
- Bonneau, M et Souchier, B. (2010).** Extrait de Pédologie 2, Constituants et propriétés du sol, Ed ; Masson, Paris, France : 209-215.
- Bouneau, M et Souchier, B. (1994).** Constituants et propriétés du sol, 2 ème Ed de Masson, Paris, France : 665 p.
- Blumwald, E., Aharon, G,S and Apse, M,P, (2000).** Sodium transport in plant cells. J ; Biochimie, Biophysique,Acta,1465 : 140-151.
- Berthomieu, P., Conéjéro, G., Nublat, A., Brackenbury, W,J., Lambert, C., Savio, C., Uozumi, N., Oiki, S., Yamada, K., Cellier, F., Gosti, F., Simonneau, T., Essah, P,A., Tester, M., Very, A,A., Sentenac, H and Casse, F.(2003).** Functional analysis of athkt1 in Arabidopsis shows that Na+ J ; Europe Moléculaire Biologique Organique, 22 (9) : 12-18.
- Black, R,F.(1958).** Effect of sodium chloride on leaf succulence and area of Atriplex hastata L, J ; Australian Journal of Botany, 6 (4) : 306 - 321.
- Calvet, R. (2003).** Les propriétés du sol, phénomènes physique et chimiques Application agronomiques et environnementales, T 2, Ed ; Dunod, Paris, France : 288 p.
- Chadefaud, M et Emberger, L. (1960).** Les végétaux vasculaires, Traité de botanique.T 1, Ed ; Masson, Paris, France : 117-119.

**Cheverry, C. (1995).** Plant behaviour in Saline environnement, Action eau, Séance Spécialisée. T 4, Ed ; Acad agro, Paris, France : 49 p.

**Cengiz, E. Unlu, E. and Bale, K. (2001).** The histopathological effects of thiodan on the liver and gut of mosquitofish, *Gambusia affinis*. J ; Environnement. Science. Health B, 36 (1) : 75-85.

**Corre, J.J. (1975).** Caractéristiques du milieu salé, J ; vie et milieu, 26 (1) : 197-245.

**De Boodt, M. (1993).** Sécheresse et salinisation des terres de culture, une nouvelle approche. Désertification et aménagement. Cours des séminaires, Agadir, Maroc : 121-131.

**Djamai, R. (1993).** Contribution à l'étude de la salinité des sols du lac Fetzara (Annaba) Doc Univ ; Badji Mokhtar, Annaba : 261 p.

**Durand, J.H. (1958).** Contribution à l'étude des sols formés sur roches éruptives de l'Oranie occidentale. T 49, Ed ; Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord, Alger : 115 p.

**Duchaufour, P.H. (1995).** Pédologie, Sol, Végétation, Environnement, Abrégés. 4<sup>ème</sup> édition de Masson, Paris, France : 324 P.

**Duthil, J. (1973).** Elément d'écologie et d'agronomie. Exploitation et amélioration du milieu. T II. Ed ; J.B. Baillière, Paris, France : 265 p.

**Drever, J.F. (1997).** The géochemistry of natural waters. 3<sup>ème</sup> Ed de Prentice-Hall Inc, New York, U.S.A : 379 p.

**Edward, P., Glenn, A.J and Brown, J. (1998).** Effect of soil salt levels on the growth and water use efficiency of *Atriplex canescens* (Chenopodiaceae) varieties in drying soil. American Journal of Botany, 85(1) : 10-16.

**Emberger, L. (1955).** Une classification biogéographique des climats. Recueil, Trav, Lab, Géol, Montpellier, France, 7 : 3-43.

**Ernest, G . (1981).** Arbres, arbrisseaux en Algérie, Ed ; Office des Publications Universitaires, Alger : 686 p

**FAO . (1989).** Environment and agriculture, environmental problems affecting agriculture in the Asia and Pacific Région. World Food Day Symposium, FAO Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok, Thaïlande : 102 p.

**FAO.(2010).** Evaluation des ressources forestières mondiales 2010, Rapport national Algérie,Rome , Italie : 57 p.

**Fitter, A,H et Hay, R,K,M. (1987).** Environmental physiology of plants, 2ème Ed; Academic Press, London, Bretagne : 423 p.

**Francllet, A. et Le Houérou, H,N. (1971).** Les Atriplex en Afrique du Nord et en Tunisi, Rapport tech 3. Ed ; FAO, Rome, Italie 271 p.

**Freeze, A. R et Cherry, A. J. (1979).** Ground water engle wood cliffs, J ; Prentice-Hall,USA : 604 p.

**Fehdi, Ch., Boudoukha, A and SALAMEH, E. (2007).** Sources of water salinities in the Morsott-Laouinet aquifer. Northern area of Tébessa. (North East of Algeria). Congress, International Association of Hydrogeologists. Groundwater and Ecosystems. Lisbon,Portugal : 659-660.

**Fehdi, Ch. (2008).** Apport hydrogeochimique et isotopique dans la caracterisation des mecanismes d'aquisition de la salinite des eaux souterraines du complexe aquifere Morsott-El Aouinet (N.E. algerien), thèse Doct Univ, Annaba : 215 p.

**Fidelibus M ,D et Tulipano L. (1996) .** Regional flow of intruding sea water in the carbonate aquifers of Apulia (Southern Italy). Proceedings 14<sup>th</sup> Salt Water Intrusion Meeting, Rapporteur : 230-241.

**Jacquin, F et Mallouhi, N. (1979).** Étude sur l'intensité du transfert de matière organique sous l'influence de la salinité. C.R.A.D. Paris, France : 1231 p.

**Job,J,O. (1981).** Some problems in analysis of soils in arid areas, International soil classification workshop. Damas, Syrie: 219-234

**Gorham, J. (1995).** Mechanisms of salt tolerance of halophytes, Ed ; Marcel Dekker ,New York, USA : 31-53.

**Hamdy, A., Lasram,M et Lacirignola, C. (1995).** Les problems de salinité dans la zone méditerranéenne, Ed ; Agric, France : 42-74.

**Halitim, A. (1973).** Expérimentale de l'amélioration des sols sodiques d'Algérie en vue de leur mise en valeur, Thèse Doc 3<sup>ème</sup> cycle, Univ Rennes, France, 176 p.

**Halitim, A. (1988).** Sols des Régions arides d'Algérie, Ed ; Office des Publication Universitaires, Alger : 384 p.

**H.C.D.S. (1999).** Rapport d'activité Des Hautes Commissariats Des Steppes, Région EST.

**Henin, S. (1977).** Coures de physique du sol- T 2, Ed ; Orstom-Editest, Paris, France : 222 p.

**Hem, J,D. (1985)** .Study and interpretation of the chemical characteristic of natural water, Ed ; US Geological Survey. Water-Supply, 2254: 254-263.

**Hopkins, W. (2003).** Physiologie végétale, Ed ; De Boeck, Paris: 131-133.

**Hill, M .(1991).** Nitrates and nitrites in food and water, Ed ; Ellis Horwood, New York : 194 p.

**Khan, M,A. (2002).** Halophyte seed germination, success and pitfalls, International Symposium on Optimum resource utilization in salt-affected ecosystems in Arid and Semi arid régions, Ed ; Desert research institute, Cairo, Egypt : 346-358.

**Kalaji, M,H et Pietkiewicz, S. (1993).** Salinity effects on plant growth and other physiological process. J; Acta Physiol Plant, 25 (3): 89-124.

**Klose, R,J., Gardner, K,E,. Liang, G,. Erdjument, H,. Tempst, P and Zhang, Y. (2007).** Demethylation of histone H3K36 and H3K9 by Rph1: a vestige of an H3K9 methylation system in *Saccharomyces cerevisiae*, J ; Mol Cell Biol, 8 (10) : 51-61.

**Kinet, J.M., Benrebiha, F., Bouzid, S., Laihacar, S. et Dutuit, P. (1998).** Le réseau Atriplx : Allier biotechnologies et écologie pour une sécurité alimentaire accrue en régions arides et semi-arides. Ed ; Cahier d'Agriculture, 7 (6): 505-509.

**Läuchli, A and Epstein, E. (1990).** Plant responses to saline and sodic conditions, Ed ; Agricultural salinity assessment and management, Ed ; American Society of Civil Engineers manuals and reports on engineering practice, New York, 71 : 113–137.

**Leclerc, J.C . (1999).** Ecophysiologie végétale, Ed ; Pub Univ de Saint-Etienne, France : 109-213.

**Le Houerou, H,N., Claudin, J et Pouget, M. (1977).** Etude bioclimatique des Steppes algériennes, Bull. Soc. Nat. Afro. Nord. Alger. 68 (3) : 30 - 114.

**Le Houerou, H,N. (1985).** La régénération des steppes algériennes. Rapport de mission de consultation et d'évaluation. ministère de l'Agriculture, Alger, 19 p.

**Le Houérou, H,N. (1986).** Salt tolerant plants of economic value in Mediterranean basin. Reclamation and Revegetation Research, 5 : 319-341.

**Le Houérou, H, N. (1992).** The role of saltbushes (*Atriplex* spp) in arid land rehabilitation in the Mediterranean basin, J ; Agroforestry systems 18 : 107-148.

**Le Houérou, H,N. (1995).** Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique : diversité biologique, développement durable et désertification. Ed ; Options Méditerranéennes, Série B. Montpellier, France : 396 p.

**Le Houérou, H,N. (2000).** Utilization of fodder trees and shrubs in the arid and semi arid zones of west Asia and North Africa, J ; Arid Soil Research and Rehabilitation, 14 : 101-135.

**Levigneron, A., Lopez, F., Vansuyt, G., Berthomieu, P., Fourcroy, P., et Casse-Delbart, F., (1995).** Les plantes face au stress salin.Ed ; Cahier Agricultures; 4 (4) : 263-273.

**Loyer, J,Y. (1988).** Les sols salsodiques, Ed ; Association Française pour l'Etude du Sol, 5ème version : 142 p.

**Mathiew, C et Pieltain, F. (2003).** Analyse chimique des sols : Méthodes choisies, Ed Lavoisier, Paris, France : 386 p.

**Maalem, S . (2011).** Etude de l'impact des interactions entre le phosphore et le chlorure de sodium sur trois especes végétales halophytes du genre *Atriplex* (*A. halimus*, *A. canescens* et *A. nummularia* .Thèse doctorat science ,Univ de Annaba : 233 p.

**Mahmoud, A., El Sheikh, A,M and Abdul Baset, S. (1983).** Germination of two halophytes: *Halopeplis perfoliata* and *Limonium axillare* from Saudi Arabia. J ; Arid Environ, 6 (2) : 87-98.

**Maillard, J. (2001).** Le point sur l'Irrigation et la salinité des sols en zone sahélienne, Risques et recommandations, Ed ; Handicap International : 34 p.

**Matthess, G. (1990).** Die Beschaffenheit des Grundwassers. Verlag Gebrüder Borntraeger, Berlin, Allemand : 116,139.

**Martinez, JP.,Ledent,J.F.,Bajji, M., Kinet, J,M and Lutts, S.(2003).** Effet of water stress on growth, Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> accumulation and water use efficiency in relation to osmotic adjustment in two population of *Atriplex halimus* L, J ; *Plant Growth Regul*, 41 : 63-73

**Martonne, E . (1926).** L'indice d'aridité. In: Bulletin de l'Association de géographes français, 3 (9) : 3-5.

**Mc Kell, C.M. (1995).** Salinity in *Atriplex* species : fodder shrubs of arids lands,Ed ; Pessarakli M and Marcel Dekker : 124 p.

**Messedi, D., Abdelly. N.,Grignon,C and Abdelly,C.(2004).** Limits imposed by salt to the growth of the halophyte *Sesuvium portulacastrum*, J; *Soil Science and Plante Nutrition , Soil Science* 262 (2): 702-725.

**Mezni, M., Albouchi, A .,Bizid, E et Hamza,M. (2002).** Effet de la salinité des eaux d'irrigation sur la nutrition minérale chez trois variétés de luzerne pérenne (*Medicago sativa*) *Agronomie* 22 : 283-291.

**Mermoud, A. (2006).** Cours de physique du sol : Maîtrise de la salinité des sols. Ed ; Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, suisse : 23 p.

**Ministère de l'Agriculture, (2000) .**Plan national d'action pour l'environnement, Rapport de synthèse : 15 p.

**Miyamoto,S. Glenn E.P and Olsen,M.W. (1996).** Growth, water use and salt uptake of four halophytes irrigated with highly saline water. *Journal of Arid Environments* 32 (2) : 141–159.

**Moez, S. (2014) .**The Halophyte *Cakile maritima* Reduces Phenanthrene Phytotoxicity , J ; *International Journal of Phytoremediation*, 17 (10) : 80-84.

**Munns, R., James R.A and Lauchli A. (2006).** Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. J ; *Experimental botany*. 57 (5) :1025-1043.

**Nadher A., Magaritz M and Mazor E. (1980).** Chemical reactions of seawater with rocks and fresh water : experimental and field observations on brackish water in Israel. J; *Geoch. Et Cosmoch. Acta*, 4 (4) : 879-886.

- Noe G. B. and Zedler J.B. (2000).** Differential effects of four abiotic factors on the germination of salt marsh annuals. *J; Botanique*, 87 (11) : 1679–1692.
- Nafzaoui, A. (1991).** Place et rôle des arbustes fourragers dans les parcours des zones arides et semi-arides de la Tunisie. *Seminaire Options méditerranéennes* 16 : 119-125.
- Nedjimi, B. (2010).** Recherche sur les possibilités de valorisation des sols salés en zone stéppique, Etude de la tolérance d’*Atriplex halimus* aux sels solubles. Thèse Doct en Sciences Agronomiques ; Ecole Nationale Supérieure Agronomique El-Harrach Alger, p :228.
- O’Leary, J.W. (1985).** Halophytes: Ed; *Arizona Land and People*, 36 (3) : 15 p.
- Osmond, C.B., Bjorkman, O and Anderson, D. J. (1980).** Physiological processes in plant ecology: towards a synthesis with *Atriplex*. Ed ; Springer-Verlag, Berlin, Allemand : 227 p.
- Ozenda P. (1982).** Les Végétaux dans la biosphère. Ed ; Doin éditeurs, Paris, France : 431 p.
- Quezel, P and Medail, F., (1999).** Biodiversity hotspots in the mediterranean basin setting global conservation priorities, *J ; Conservation Biology* 13 : 1510-1513.
- Quezel, P. et Santana, S. (1962).** Nouvelle flore de l’Algérie et des régions désertiques méridionale. Ed ; CNRS, Paris : 290 p.
- Pascual, M and Custodio, E. (1990).** Geochemical observation in a continuously seawater intruded area, the 11<sup>th</sup> Sym of Salt Water Intrusion Meeting. Catalonia, Spain : 308-330.
- Pottier, A.G. (1979).** Flore de la Tunisie ; Angiospermes, Dicotylédones, Apétales, dialypétales, Programme flore et végétation tunisienne. 1<sup>ère</sup> partie : 5-55.
- Piper A. M. (1944).** A graphic procedure in geochemical interpretation of water analysis. Ed ; *Trans. Amer. Geophys. Union*, 25 (6) : 914-928.
- Tisdale S. L., Nelson W. L and Havlin J. L. (1993).** Soil fertility and fertilizers. Ed ; Macmillan Publishing Company, New York, USA : 634 p.
- Tessier D, Bruand A, Le Bissonnais Y et Dambrine, E. (1996).** Qualité chimique et physique des sols : Variabilité spatiale et évolution, *J; Etude et gestion des sols* 3 (4) : 229-244.

**Trudinger, P. and Sawaine, D. (1979).** Biogeochemical cycling of mineral forming elements. J ; Studies in Environmental Science, 3 : 22-25.

**Ramade, F. (1981).** Ecologie des ressources naturelles. Ed ; Masson, Paris, 322 p.

**Raven, P.H., Evert,R,F et Eichorn,S,E. (2007).** Biologie végétale, 2 éme Ed De Boeck : 423-493.

**Recous,S., Mary,B and Faurie,J (1990).** Microbiale immobilization of ammonium and nitrate in cultivated soil, J ; Soil Biol Biochem, 22: 913-922.

**Robert, M. (1996).** Le sol interface dans l'environnement, ressource pour le développement. Ed ; Masson, 244 p.

**Rezkallah, Ch Ch.,Fehdi,Ch et Djamai,R. (2012).** Essai au laboratoire d'étude comparée de deux espèces d'Atriplex dans l'amélioration de certaines propriétés de sols salés,Mém de Magister univ de Tebessa : 118 p.

**Rezkallah, Ch.,Fehdi,Ch et Djamai,R. (2014).** Les effet d'irrigation par l'eau salée sur les propriétés physico-chimiques d'un sol planté avec Atriplex, halimus,J ; Afrique science, 10 (1) : 139-144.

**Saikachout, S ., Ben mansoura,A., Jaffel, K., Leclerc, J.C and Rejeb, M.N. (2009).**The effect of salinity on the growth of the halophyte Atriplex hortensis (chenopodiaceae) , J; Applied ecology and environmental research,3 (4): 319-332.

**Shamsutdinov N. Z. and Shamsutdinov Z. (2008).** Halophytes usage for soil desalting and sustainable development of Agriculture in Arid Regions of Russia. J ; Biosaline Agriculture and High salinity tolerance 37 (1) : 39-45.

**Shamsutdinov,Z.Sh. (1993).** Biological amelioration: concept and perspectives. Amelioration and water husbandry, Russian, 11 (2) : 12-14.

**Station de Météorologie de Tébessa. (2014).** Rapport de métiorologie de la wilaya de Tébessa entre 2000 jusqu'au 2014.

**Servant, J. (1986).** Les systèmes halomorphes. Ed ; Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, Paris, France : 607-621.

**STATISTICA. (2000).** Statistiqua 9.0 for windows XP. U.S.A.

**Szabolcs, I. (1994).** Soils and salinisation, Plant and crop stress, Ed ; M Pessarakli, Marcel Dekker New York, U.S.A : 3-11.

**Szabolcs, I. (1989).** Salt-affected Soils, Ed ; Chemical Rubber Company Press Inc, Florida, U.S.A : 274 p.

**Tellam, J.H. (1995).** Hydrochemistry of the saline groundwaters of the lower Mersey Basin Permo-Triassic sandstone aquifer, Journal of Hydrology, 165: 45-84.

**Tulipano, L and Fidelibus, M.D. (1984).** Geochemical characteristics of Apulian coastal springs water (Southern Italy) related to mixing processus of ground waters with sea water having different residence time into the aquifer. 5<sup>th</sup> international conference on water resources planning and management, Athens, Grèce : 255-267.

**XLSTAT (<http://www.xlstat.com>). Version 6.2007 (version démo)**

**Wang, L,W., Showalter, A,M and Ungar, I,A. (1997).** Effect of salinity on growth, ion content and cell wall chemistry in *Atriplex prostrata* (Chenopodiaceae). American Journal of Botanny 84 (9) : 1247-1255

**Ziani, P. (1970).** *Atriplex halimus*, exploitation des formations naturelles et des plantation, NoteTech.N°10, INRF, Tunis : 24 p.

**Zia, S and Khan, M,A. (2004).** Effet of light salinity and temperature on seed germination of *limonium stocksii* ,J,Botanique, 82 : 151-157.

# |Annexes

## **ANNEXE 1 :**

### **Les protocoles utilisés :**

#### **Méthode de conductivité électrique ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).**

La mesure de la teneur en sels dans le sol est effectuée sur l'extrait au 1/5 avec un conductimètre

#### **Classification selon Mathieu et Pieltain (2003).**

<b>Conductivité (mS/cm)</b>	<b>0.6</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>CE (1/5)</b>	<b>Non salé</b>	<b>Légèrement salé</b>	<b>Salé</b>	<b>Très Salé</b>	<b>Extrêmement salé</b>

#### **Méthode de pH-mètre.**

La mesure du pH de la solution du sol est effectuée sur l'extrait au 1/5 au pH mètre.

#### **Référentiel pédologique (Baize et Jabiol, 1995).**

<b>pH</b>	<b>Classes</b>
<b>&lt;3.5</b>	<b>Hyper acide</b>
<b>3.5 à 4.2</b>	<b>Très acide</b>
<b>4.2 à 5.0</b>	<b>Acide</b>
<b>5 à 6.5</b>	<b>Faiblement acide</b>
<b>6.5 à 7.5</b>	<b>Neutre</b>
<b>7.5 à 8.7</b>	<b>Basique</b>
<b>&gt; 8.7</b>	<b>Très basique</b>

#### **Dosage de Cation ( $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ ).**

Mise en solution d'éléments minéraux solubles du sol tamisé à 2 mm, leur extraction est réalisée par dissolution direct de l'échantillon du sol dans l'eau distillée, avec un rapport 1/5, puis une agitation, après une lixiviation pendant deux jours décantation et une double filtration, faire la lecture par Spectromètre a flamme.

### **Dosage de Na<sup>+</sup> et K<sup>+</sup> dans les plantes.**

Pour effectuer ces analyses, nous avons utilisée la matière sèche foliaire obtenue préalablement par nettoyage du feuillage à l'eau distillée et séchage à l'étuve à 70°C pendant 24h, au moment de l'analyse chimique, les échantillons sont séchés de nouveau dans une étuve pendant 120 minutes à une température de 110°C.

100 mg de poudre est mise dans un creuset en porcelaine, l'échantillon et ensuite transféré dans un four à moufle pendant 5 heures à une température de 550°C.

Après refroidissement, les cendres sont solubilisées par ajout de 2.5 ml de HCl (37) et digérées pendant quelque minute. Après filtration à l'eau distillée le filtrat est recueilli dans une fiole de 50 ml et constitue la solution mère à partir de laquelle la détermination des éléments est faite (C.I.I.A.F. 1969), les cations K<sup>+</sup> et Na<sup>+</sup> sont dosés par spectrophotomètre d'émission à flamme (utilisant un appareil de type jeunway, felsted, Essex).

La détermination du pourcentage des cations a été faite par la relation suivante:

$$(Na^+, K^+) \% = Y \times D \times D' / 10^4 P$$

**D** : volume de la solution (50 ml)

**P** : poids de la matière sèche (0.1g)

**D'** : dilution du filtrat (×20)

**Y** : obtenue de l'équation déduite de l'étalonnage du photomètre

$$Y_{Na} = 0.3 + 0.115 \times$$

$$Y_{K} = 0.00 + 1.11429 \times$$

### **Dosage du calcaire total (Méthode titrimétrique HCl 0.54).**

L'évaluation du calcaire totale a été réalisée à l'aide et une solution basique Na OH à 0.25 N et en utilisant le réactif de la phénophtaléine.

- ✓ introduire 5g de terre fine ajouter exactement 50 ml de Hcl (0.5 N) dans une erlan pendant 5 minute et agiter pendant 2 heures à l'aide d'un agitateur avec une vitesse de 1 tour/seconde
- ✓ filtrer la solution et lavée avec l'eau distillée jusqu' a 100 ml.
- ✓ prendre 20ml dans un bécher + 3 goutts de phénophtaléine et titrer avec NaOH 0.25 N jusqu'la couleur rose.

$$\% \text{ de calcaire total} = 50 \times (N \text{ Hcl}) - (V_0 - V') \times (N \text{ .NaOH}) / 5g$$

### **Dosage du calcaire actif (Méthode Galet-Drouineau)**

- ✓ Il est réservé aux échantillons contenant plus de 5 % de calcaire totale. il s'agit de doser la fraction chimiquement active du calcaire du sol. On pratique une réaction modérée qui n'intéresse les particules calcaires fines.
- ✓ Ce dosage repose sur titrage par oxydoréduction qui utilise le permanganate de potassium et l'oxalate d'ammonium. On met en contact la terre avec un excès d'une solution d'oxalate de calcium ( $\text{CaC}_2\text{O}_4$ ). l'oxalate qui reste avec une solution de permanganate en milieu acide.
- ✓ pendant ce titrage, le  $\text{KMnO}_4$  ajouté se décolore en oxalate, une persistance de la coloration violette du  $\text{KMnO}_4$  indique qu'il n'y a plus d'oxalate à oxyder et qu'on est arrivé au point d'équivalence
- ✓ introduire 2 g de terre fine dans une erlen de 250ml, Ajouter exactement 100ml de la solution d'oxalate 0.2N, Agiter pendant 2 heures à l'aide d'un agitateur avec une vitesse de 1 tours seconde, filtration la solution dans une erlen de 250 ml, prendre 10ml du filtrat ajouter 50ml eau distillée, puis 5ml acide sulfurique concentré, faire chauffer à  $70^\circ\text{C}$  et titrer avec une solution de permanganate jusqu'à une couleur rose persistante (V) et témoin sans sol (V').

### **Dosage du phosphore total (Méthode Joret-Herbert)**

- ✓ Prise d'essai 2g de sol broyé et tamisé
- ✓ Ajouter 4ml de perchlorique ( $\text{HClO}_4$ ) à 72 % ou 6 ml si sa concentration est 60 %
- ✓ Bien fermer l'erlen et faire chauffer jusqu'à l'obtention d'une couleur blanchâtre
- ✓ Ajouter 30ml eau distillée, filtrer
- ✓ Rincer l'erlen et compléter jusqu'à 100ml
- ✓ Prendre 2ml du filtrat dans une fiole de 100ml, ajouter 4ml de molybdate d'ammonium, puis 99.5 ml d'eau distillée puis 10 gouttes de  $\text{SnCl}_2$  (chlorure d'étain).
- ✓ Lire au spectrophotomètre à 660 nm, le témoin suivre les mêmes étapes sans sol.

La gamme d'étalonnage réalisée avec le phosphate de potassium.

La droite de régression  $y = 0.0441455 + 0.36624X$  avec  $R^2 = 96.7$

### **Dosage du carbone (%)**

On oxyde le carbone organique d'un échantillon avec le bichromate de potassium en excès (en milieu acide) l'excès de bichromate non réduit par le carbone organique est alors titré par le carbone organique est alors titré par une solution de sel de Mohr (le sulfate ferreux).

Ce titrage se fait en présence d'un indicateur coloré, le diphénylamine qui vire au vert foncé lorsque l'excès de bichromate est réduit

introduire 1 g de sol tamisé à 2 mm dans une erlenmeyer, y ajouter 10 ml de bichromate de potassium (8 %) et 13 ml d'acide sulfurique, porter à ébullition pendant 5 min et laisser refroidir, transvaser dans un ballon et ajouter à 100 ml avec l'eau de rinçage de l'erlenmeyer, prélever 20 ml et diluer à 10 ml avec l'eau distillée, Ajouter 1 g de NaF et 3 à 4 gouttes de diphénylamine, traiter le sol avec le sel de Mohr à 0.2 N. La solution de couleur brune-noirâtre virera au vert (X ml de sel de Mohr).

**Témoin (Y) :** suivre les mêmes étapes sans le sol

$$\% \text{ de carbone} = (Y-X) \cdot 6,15 \times (100/20) \times (100/p) \times 1/1000$$

Y = quantité de sels de Mohr ajouté

P = poids du sol

**Matière Organique (%)**

$$\text{M.O} = \% \text{ de C} \times 1,72$$

#### Classification

Taux de matière organique (%)	Terre
<1	Très pauvre
1-2	Pauvre
2-4	Moyenne
>4	Riche

## ANNEXE 2.

### Les résultats

#### 1. Les moyennes des résultats des analyses des sols traités par la plantation d'*Atriplex halimus* au niveau de serre

Doses	CE ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	TDS (g/l)	Na+ (ppm)	K+ (ppm)	pH	P (ppm)	CT (%)	CA (%)	MO (%)
Témoin	102,367	31,667	316,230	4,200	6,293	82,793	22,443	0,833	10,043
D0 0g/kg	125,400	89,210	55,357	4,200	4,544	78,087	23,403	0,867	8,110
D1 3g/kg	454,977	540,867	173,970	7,203	6,507	88,094	23,103	2,667	6,603
D2 6g/kg	628,330	321,643	220,573	4,500	6,917	51,573	22,470	4,500	4,620
D3 12g/kg	1145,883	564,777	307,530	4,800	6,857	72,743	22,800	1,000	11,630
D4 24g/kg	1495,667	704,667	368,400	5,700	7,997	95,210	23,327	4,333	9,783

#### 2. Les moyennes des résultats des analyses des sols traités par la plantation d'*Atriplex nummularia* au niveau de serre

Doses	CE ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	TDS (g/l)	Na+ (ppm)	K+ (ppm)	pH	P (ppm)	CT (%)	CA (%)	MO (%)
Témoin	102,367	31,667	316,230	4,200	6,293	82,793	22,443	0,833	10,043
D0 0g/kg	83,887	35,663	35,067	2,400	6,550	61,909	23,173	4,000	8,107
D1 3g/kg	228,100	115,887	116,227	3,000	6,460	42,604	23,407	3,000	7,927
D2 6g/kg	495,660	224,773	226,373	3,300	7,107	61,211	22,633	1,000	3,876
D3 12g/kg	808,220	399,997	304,633	4,800	7,380	75,816	22,280	5,250	6,253
D4 24g/kg	1352,220	621,777	400,287	5,400	7,534	55,217	23,117	2,500	7,750

#### 3. Les moyennes des résultats d'accumulation de Sodium et de Potassium dans les feuilles d'*Atriplex* planté au niveau de serre

Doses	Na <sup>+</sup> (ppm)		k <sup>+</sup> (ppm)	
	Halimus	Nummularia	Halimus	Nummularia
0 g/kg	87,240	66,953	33,627	28,827
3 g/kg	110,430	75,647	34,230	31,227
6 g/kg	119,127	64,050	26,420	20,715
12 g/kg	84,340		22,520	

**4. Les moyennes des résultats de sol témoin (sol sans plantation) après deux mois de plantation**

zone	CE ( $\mu\text{s/cm}$ )	TDS (mg/l)	pH (mg/l)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	Mg <sup>+</sup> (mg/l)	Ca <sup>+</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)
zone 1	3220,00	1612,00	7,00	48,70	16,50	4,92	12,00	213,00	55,00	1,10	1,94
zone 2	3260,00	1654,00	7,30	10,40	9,50	3,27	11,00	106,50	53,00	2,40	1,74
zone 3	205,00	103,00	8,10	23,60	16,40	3,70	13,00	67,47	50,00	0,70	2,46
zone 4	288,00	145,00	7,80	13,40	6,50	4,72	10,00	46,15	58,00	0,20	4,13

**5. Les moyennes des résultats de sol après deux mois de plantation d'*Atriplex halimus***

zone	CE ( $\mu\text{s/cm}$ )	TDS (mg/l)	pH (mg/l)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	Mg <sup>+</sup> (mg/l)	Ca <sup>+</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)
zone 1	2150,00	1067,00	7,40	18,60	8,00	3,13	11,00	106,50	53,00	0,60	1,54
zone 2	2900,00	1461,00	6,60	7,80	11,10	2,97	9,00	71,00	50,00	1,40	1,70
zone 3	276,00	138,00	7,10	23,30	11,30	3,82	11,00	63,90	49,00	0,50	3,06
zone 4	272,00	137,00	7,20	11,90	8,30	3,73	10,00	36,90	57,00	0,10	3,30

**6. Les moyennes des résultats de sol après deux mois de plantation d'*Atriplex nummularia***

zone	CE ( $\mu\text{s/cm}$ )	TDS (mg/l)	pH (mg/l)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	Mg <sup>+</sup> (mg/l)	Ca <sup>+</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)
zone 1	2130,00	1071,00	7,00	13,50	6,30	4,60	8,00	71,00	52,00	0,40	1,82
zone 2	2060,00	1029,00	6,90	9,70	9,10	3,39	10,00	81,65	53,00	1,50	1,70
zone 3	180,00	90,00	8,30	17,60	16,60	3,89	11,00	60,35	53,00	0,40	3,18
zone 4	158,20	79,00	7,40	14,30	5,90	3,56	9,00	53,25	57,00	0,00	3,90

**7. Les moyennes des résultats de sol témoin (sol sans plantation) après six mois de plantation**

zone	CE ( $\mu\text{s/cm}$ )	TDS (mg/l)	pH (mg/l)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	Mg <sup>+</sup> (mg/l)	Ca <sup>+</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)
zone 1	4480,00	2000,00	7,60	16,00	10,00	4,44	12,00	213,00	55,00	1,30	3,10
zone 2	5600,00	2000,00	6,50	6,20	7,70	0,95	11,00	177,50	54,00	0,40	2,30
zone 3	566,00	274,00	7,40	27,20	3,10	3,73	11,00	88,75	53,00	0,90	1,10
zone 4	374,00	187,00	7,20	11,70	12,90	3,93	9,00	71,00	59,00	0,60	2,26

**8. Les moyennes des résultats de sol après six mois de plantation d'*Atriplex halimus***

zone	CE ( $\mu\text{s/cm}$ )	TDS (mg/l)	pH (mg/l)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	Mg <sup>+</sup> (mg/l)	Ca <sup>+</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)
zone 1	2470,00	1234,00	7,10	15,60	4,00	4,91	11,00	106,00	56,00	1,00	1,66
zone 2	2310,00	1151,00	6,60	10,40	6,90	0,68	12,00	127,80	53,00	0,10	1,80
zone 3	788,00	396,00	6,80	41,20	5,70	4,17	12,00	78,10	54,00	0,30	1,08
zone 4	559,00	280,00	6,60	17,10	4,70	4,33	9,00	85,10	58,00	0,20	2,08

**9. Les moyennes des résultats de sol après six mois de plantation d'*Atriplex nummularia***

zone	CE ( $\mu\text{s/cm}$ )	TDS (mg/l)	pH (mg/l)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	Mg <sup>+</sup> (mg/l)	Ca <sup>+</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)
zone 1	3540	1771	6,9	19	6,4	4,45	12	74	55	0,4	2,06
zone 2	4100	2000	6,5	16,7	8,1	2,86	12	173,95	55	0,4	2,28
zone 3	754	378	6,9	24,6	7,7	4,18	10	88,75	60	0,4	1,1
zone 4	484	243	6,9	15,4	1,3	4,15	10	99,4	58	0,3	1,94

### Annexe 3 :

#### 1. L'analyse de la variance de la conductivité électrique (CE ( $\mu\text{s/cm}$ )) des sols traités par l'implantation de *Atriplex halimus* et *nummularia*

##### Analyse de la variance (CE ( $\mu\text{s/cm}$ )) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	17	58211160,27833	3424185,89873	11,11469	<b>0,00346</b>
Erreur	6	1848465,56000	308077,59333		
Total corrigé	23	60059625,83833			

##### Moyennes pour le facteur campagne :

Modalité	Moyenne
deux mois	1424,93333
six mois	2168,75000

##### campagne\*zone :

Modalité	Moyenne
deux mois* zone 1	2500,00000
deux mois* zone 2	2740,00000
deux mois* zone 3	220,33333
deux mois* zone 4	239,40000
six mois* zone 1	3496,66667
six mois* zone 2	4003,33333
six mois* zone 3	702,66667
six mois* zone 4	472,33333

campagne\zone	zone 1	zone 2	zone 3	zone 4
deux mois	2500,00000	2740,00000	220,33333	239,40000
six mois	3496,66667	4003,33333	702,66667	472,33333

##### campagne\*espece :

Modalité	Moyenne
deux mois* halimus	1399,50000
deux mois* nummularia	1132,05000
deux mois* temoin	1743,25000
six mois* halimus	1531,75000
six mois* nummularia	2219,50000
six mois* temoin	2755,00000

campagne\espece	halimus	nummularia	temoin
deux mois	1399,50000	1132,05000	1743,25000
six mois	1531,75000	2219,50000	2755,00000

**Moyennes pour le facteur zone :**

<b>Modalité</b>	<b>Moyenne</b>
zone 1	2998,33333
zone 2	3371,66667
zone 3	461,50000
zone 4	355,86667

**zone\*campagne :**

<b>Modalité</b>	<b>Moyenne</b>
deux mois* zone 1	2500,00000
deux mois* zone 2	2740,00000
deux mois* zone 3	220,33333
deux mois* zone 4	239,40000
six mois* zone 1	3496,66667
six mois* zone 2	4003,33333
six mois* zone 3	702,66667
six mois* zone 4	472,33333

<b>zone\campagne</b>	<b>deux mois</b>	<b>six mois</b>
zone 1	2500,00000	3496,66667
zone 2	2740,00000	4003,33333
zone 3	220,33333	702,66667
zone 4	239,40000	472,33333

**zone\*espece :**

<b>Modalité</b>	<b>Moyenne</b>
zone 1* halimus	2310,00000
zone 1* nummularia	2835,00000
zone 1* temoin	3850,00000
zone 2* halimus	2605,00000
zone 2* nummularia	3080,00000
zone 2* temoin	4430,00000
zone 3* halimus	532,00000
zone 3* nummularia	467,00000
zone 3* temoin	385,50000
zone 4* halimus	415,50000
zone 4* nummularia	321,10000
zone 4* temoin	331,00000

<b>zone\espece</b>	<b>halimus</b>	<b>nummularia</b>	<b>temoin</b>
zone 1	2310,00000	2835,00000	3850,00000
zone 2	2605,00000	3080,00000	4430,00000
zone 3	532,00000	467,00000	385,50000
zone 4	415,50000	321,10000	331,00000

**Moyennes pour le facteur espece :**

<b>Modalité</b>	<b>Moyenne</b>
halimus	1465,62500
nummularia	1675,77500
temoin	2249,12500

**espece\*campagne :**

<b>Modalité</b>	<b>Moyenne</b>
deux mois* halimus	1399,50000
deux mois* nummularia	1132,05000
deux mois* temoin	1743,25000
six mois* halimus	1531,75000
six mois* nummularia	2219,50000
six mois* temoin	2755,00000

<b>espece\campagne</b>	<b>deux mois</b>	<b>six mois</b>
halimus	1399,50000	1531,75000
nummularia	1132,05000	2219,50000
temoin	1743,25000	2755,00000

**espece\*zone :**

<b>Modalité</b>	<b>Moyenne</b>
zone 1* halimus	2310,00000
zone 1* nummularia	2835,00000
zone 1* temoin	3850,00000
zone 2* halimus	2605,00000
zone 2* nummularia	3080,00000
zone 2* temoin	4430,00000
zone 3* halimus	532,00000
zone 3* nummularia	467,00000
zone 3* temoin	385,50000
zone 4* halimus	415,50000
zone 4* nummularia	321,10000
zone 4* temoin	331,00000

<b>espece\zone</b>	<b>zone 1</b>	<b>zone 2</b>	<b>zone 3</b>	<b>zone 4</b>
halimus	2310,00000	2605,00000	532,00000	415,50000
nummularia	2835,00000	3080,00000	467,00000	321,10000
temoin	3850,00000	4430,00000	385,50000	331,00000

## 2. L'analyse de la variance du taux des sels solubles (TDS (mg/l)) des sols traités par l'implantation de *Atriplex halimus* et *Nummularia*

### Analyse de la variance (TDS (mg/l)) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	17	11650065,41667	685297,96569	15,36256	<b>0,00141</b>
Erreur	6	267649,91667	44608,31944		
Total corrigé	23	11917715,33333			

### Moyennes pour le facteur campagne :

Modalité	Moyenne
deux mois	715,50000
six mois	992,83333

### campagne\*zone :

Modalité	Moyenne
deux mois* zone 1	1250,00000
deux mois* zone 2	1381,33333
deux mois* zone 3	110,33333
deux mois* zone 4	120,33333
six mois* zone 1	1668,33333
six mois* zone 2	1717,00000
six mois* zone 3	349,33333
six mois* zone 4	236,66667

campagne\zone	zone 1	zone 2	zone 3	zone 4
deux mois	1250,00000	1381,33333	110,33333	120,33333
six mois	1668,33333	1717,00000	349,33333	236,66667

### campagne\*espece :

Modalité	Moyenne
deux mois* halimus	700,75000
deux mois* nummularia	567,25000
deux mois* temoin	878,50000
six mois* halimus	765,25000
six mois* nummularia	1098,00000
six mois* temoin	1115,25000

campagne\espece	halimus	nummularia	temoin
deux mois	700,75000	567,25000	878,50000
six mois	765,25000	1098,00000	1115,25000

**Moyennes pour le facteur ZONE :**

Modalité	Moyenne
zone 1	1459,16667
zone 2	1549,16667
zone 3	229,83333
zone 4	178,50000

**zone\*campagne :**

Modalité	Moyenne
deux mois* zone 1	1250,00000
deux mois* zone 2	1381,33333
deux mois* zone 3	110,33333
deux mois* zone 4	120,33333
six mois* zone 1	1668,33333
six mois* zone 2	1717,00000
six mois* zone 3	349,33333
six mois* zone 4	236,66667

zone\campagne	deux mois	six mois
zone 1	1250,00000	1668,33333
zone 2	1381,33333	1717,00000
zone 3	110,33333	349,33333
zone 4	120,33333	236,66667

**zone\*espece :**

Modalité	Moyenne
zone 1* halimus	1150,50000
zone 1* nummularia	1421,00000
zone 1* temoin	1806,00000
zone 2* halimus	1306,00000
zone 2* nummularia	1514,50000
zone 2* temoin	1827,00000
zone 3* halimus	267,00000
zone 3* nummularia	234,00000
zone 3* temoin	188,50000
zone 4* halimus	208,50000
zone 4* nummularia	161,00000
zone 4* temoin	166,00000

zone\espece	halimus	nummularia	temoin
zone 1	1150,50000	1421,00000	1806,00000
zone 2	1306,00000	1514,50000	1827,00000
zone 3	267,00000	234,00000	188,50000
zone 4	208,50000	161,00000	166,00000

**Moyennes pour le facteur espece :**

<b>Modalité</b>	<b>Moyenne</b>
halimus	733,00000
nummularia	832,62500
temoin	996,87500

**espece\*campagne :**

<b>Modalité</b>	<b>Moyenne</b>
deux mois* halimus	700,75000
deux mois* nummularia	567,25000
deux mois* temoin	878,50000
six mois* halimus	765,25000
six mois* nummularia	1098,00000
six mois* temoin	1115,25000

<b>espece\campagne</b>	<b>deux mois</b>	<b>six mois</b>
halimus	700,75000	765,25000
nummularia	567,25000	1098,00000
temoin	878,50000	1115,25000

**espece\*zone :**

<b>Modalité</b>	<b>Moyenne</b>
zone 1* halimus	1150,50000
zone 1* nummularia	1421,00000
zone 1* temoin	1806,00000
zone 2* halimus	1306,00000
zone 2* nummularia	1514,50000
zone 2* temoin	1827,00000
zone 3* halimus	267,00000
zone 3* nummularia	234,00000
zone 3* temoin	188,50000
zone 4* halimus	208,50000
zone 4* nummularia	161,00000
zone 4* temoin	166,00000

<b>espece\zone</b>	<b>zone 1</b>	<b>zone 2</b>	<b>zone 3</b>	<b>zone 4</b>
halimus	1150,50000	1306,00000	267,00000	208,50000
nummularia	1421,00000	1514,50000	234,00000	161,00000
temoin	1806,00000	1827,00000	188,50000	166,00000

### 3. L'analyse de la variance du pH des sols traités par l'implantation de l'*atriplex halimus* et *nummularia*

#### Analyse de la variance (pH) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	17	4,63042	0,27238	2,72756	0,10996
Erreur	6	0,59917	0,09986		
Total corrigé	23	5,22958			

#### Moyennes pour le facteur campagne :

Modalité	Moyenne
deux mois	7,34167
six mois	6,91667

#### campagne\*zone :

Modalité	Moyenne
deux mois* zone 1	7,13333
deux mois* zone 2	6,93333
deux mois* zone 3	7,83333
deux mois* zone 4	7,46667
six mois* zone 1	7,20000
six mois* zone 2	6,53333
six mois* zone 3	7,03333
six mois* zone 4	6,90000

campagne\zone	zone 1	zone 2	zone 3	zone 4
deux mois	7,13333	6,93333	7,83333	7,46667
six mois	7,20000	6,53333	7,03333	6,90000

#### campagne\*espece :

Modalité	Moyenne
deux mois* halimus	7,07500
deux mois* nummularia	7,40000
deux mois* temoin	7,55000
six mois* halimus	6,77500
six mois* nummularia	6,80000
six mois* temoin	7,17500

campagne\espece	halimus	nummularia	temoin
deux mois	7,07500	7,40000	7,55000
six mois	6,77500	6,80000	7,17500

**Moyennes pour le facteur zone :**

<b>Modalité</b>	<b>Moyenne</b>
zone 1	7,16667
zone 2	6,73333
zone 3	7,43333
zone 4	7,18333

**zone\*campagne :**

<b>Modalité</b>	<b>Moyenne</b>
deux mois* zone 1	7,13333
deux mois* zone 2	6,93333
deux mois* zone 3	7,83333
deux mois* zone 4	7,46667
six mois* zone 1	7,20000
six mois* zone 2	6,53333
six mois* zone 3	7,03333
six mois* zone 4	6,90000

<b>zone\campagne</b>	<b>deux mois</b>	<b>six mois</b>
zone 1	7,13333	7,20000
zone 2	6,93333	6,53333
zone 3	7,83333	7,03333
zone 4	7,46667	6,90000

**zone\*espece :**

<b>Modalité</b>	<b>Moyenne</b>
zone 1* halimus	7,25000
zone 1* nummularia	6,95000
zone 1* temoin	7,30000
zone 2* halimus	6,60000
zone 2* nummularia	6,70000
zone 2* temoin	6,90000
zone 3* halimus	6,95000
zone 3* nummularia	7,60000
zone 3* temoin	7,75000
zone 4* halimus	6,90000
zone 4* nummularia	7,15000
zone 4* temoin	7,50000

<b>zone\espece</b>	<b>halimus</b>	<b>nummularia</b>	<b>temoin</b>
zone 1	7,25000	6,95000	7,30000
zone 2	6,60000	6,70000	6,90000
zone 3	6,95000	7,60000	7,75000
zone 4	6,90000	7,15000	7,50000

**Moyennes pour le facteur espece :**

Modalité	Moyenne
halimus	6,92500
nummularia	7,10000
temoin	7,36250

**espece\*campagne :**

Modalité	Moyenne
deux mois* halimus	7,07500
deux mois* nummularia	7,40000
deux mois* temoin	7,55000
six mois* halimus	6,77500
six mois* nummularia	6,80000
six mois* temoin	7,17500

espece\campagne	deux mois	six mois
halimus	7,07500	6,77500
nummularia	7,40000	6,80000
temoin	7,55000	7,17500

**espece\*zone :**

Modalité	Moyenne
zone 1* halimus	7,25000
zone 1* nummularia	6,95000
zone 1* temoin	7,30000
zone 2* halimus	6,60000
zone 2* nummularia	6,70000
zone 2* temoin	6,90000
zone 3* halimus	6,95000
zone 3* nummularia	7,60000
zone 3* temoin	7,75000
zone 4* halimus	6,90000
zone 4* nummularia	7,15000
zone 4* temoin	7,50000

espece\zone	zone 1	zone 2	zone 3	zone 4
halimus	7,25000	6,60000	6,95000	6,90000
nummularia	6,95000	6,70000	7,60000	7,15000
temoin	7,30000	6,90000	7,75000	7,50000

#### 4. L'analyse de la variance des teneurs en Sodium (Na<sup>+</sup> (mg/l)) des sols traités par l'implantation de l'*atriplex halimus* et *nummularia*

Analyse de la variance (Na<sup>+</sup> (mg/l)) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	17	2014,21375	118,48316	3,03484	0,08786
Erreur	6	234,24583	39,04097		
Total corrigé	23	2248,45958			

Moyennes pour le facteur campagne :

Modalité	Moyenne
deux mois	17,73333
six mois	18,42500

campagne\*zone :

Modalité	Moyenne
deux mois* zone 1	26,93333
deux mois* zone 2	9,30000
deux mois* zone 3	21,50000
deux mois* zone 4	13,20000
six mois* zone 1	16,86667
six mois* zone 2	11,10000
six mois* zone 3	31,00000
six mois* zone 4	14,73333

CAMPAGNE\ZONE	ZONE 1	ZONE 2	ZONE 3	ZONE 4
DEUX MOIS	26,93333	9,30000	21,50000	13,20000
SIX MOIS	16,86667	11,10000	31,00000	14,73333

campagne\*espece :

Modalité	Moyenne
deux mois* halimus	15,40000
deux mois* nummularia	13,77500
deux mois* temoin	24,02500
six mois* halimus	21,07500
six mois* nummularia	18,92500
six mois* temoin	15,27500

campagne\espece	halimus	nummularia	temoin
deux mois	15,40000	13,77500	24,02500
six mois	21,07500	18,92500	15,27500

**Moyennes pour le facteur zone :**

<b>Modalité</b>	<b>Moyenne</b>
zone 1	21,90000
zone 2	10,20000
zone 3	26,25000
zone 4	13,96667

**zone\*campagne :**

<b>Modalité</b>	<b>Moyenne</b>
deux mois* zone 1	26,93333
deux mois* zone 2	9,30000
deux mois* zone 3	21,50000
deux mois* zone 4	13,20000
six mois* zone 1	16,86667
six mois* zone 2	11,10000
six mois* zone 3	31,00000
six mois* zone 4	14,73333

<b>zone\campagne</b>	<b>deux mois</b>	<b>six mois</b>
zone 1	26,93333	16,86667
zone 2	9,30000	11,10000
zone 3	21,50000	31,00000
zone 4	13,20000	14,73333

**zone\*espece :**

<b>Modalité</b>	<b>Moyenne</b>
zone 1* halimus	17,10000
zone 1* nummularia	16,25000
zone 1* temoin	32,35000
zone 2* halimus	9,10000
zone 2* nummularia	13,20000
zone 2* temoin	8,30000
zone 3* halimus	32,25000
zone 3* nummularia	21,10000
zone 3* temoin	25,40000
zone 4* halimus	14,50000
zone 4* nummularia	14,85000
zone 4* temoin	12,55000

<b>zone\espece</b>	<b>halimus</b>	<b>nummularia</b>	<b>temoin</b>
zone 1	17,10000	16,25000	32,35000
zone 2	9,10000	13,20000	8,30000
zone 3	32,25000	21,10000	25,40000
zone 4	14,50000	14,85000	12,55000

**Moyennes pour le facteur espece :**

Modalité	Moyenne
halimus	18,23750
nummularia	16,35000
temoin	19,65000

**espece\*campagne :**

Modalité	Moyenne
deux mois* halimus	15,40000
deux mois* nummularia	13,77500
deux mois* temoin	24,02500
six mois* halimus	21,07500
six mois* nummularia	18,92500
six mois* temoin	15,27500

espece\campagne	deux mois	six mois
halimus	15,40000	21,07500
nummularia	13,77500	18,92500
temoin	24,02500	15,27500

**espece\*zone :**

Modalité	Moyenne
zone 1* halimus	17,10000
zone 1* nummularia	16,25000
zone 1* temoin	32,35000
zone 2* halimus	9,10000
zone 2* nummularia	13,20000
zone 2* temoin	8,30000
zone 3* halimus	32,25000
zone 3* nummularia	21,10000
zone 3* temoin	25,40000
zone 4* halimus	14,50000
zone 4* nummularia	14,85000
zone 4* temoin	12,55000

espece\zone	zone 1	zone 2	zone 3	zone 4
halimus	17,10000	9,10000	32,25000	14,50000
nummularia	16,25000	13,20000	21,10000	14,85000
temoin	32,35000	8,30000	25,40000	12,55000

**5. L'analyse de la variance des teneurs en Potassium ( $K^+$  (mg/l)) des sols traités par l'implantation de *atriplex halimus* et *nummularia***

**Analyse de la variance (K (mg/l)) :**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	17	312,22333	18,36608	1,69022	0,26721
Erreur	6	65,19667	10,86611		
Total corrigé	23	377,42000			

**Moyennes pour le facteur campagne :**

Modalité	Moyenne
deux mois	10,45833
six mois	6,54167

**campagne\*zone :**

Modalité	Moyenne
deux mois* zone 1	10,26667
deux mois* zone 2	9,90000
deux mois* zone 3	14,76667
deux mois* zone 4	6,90000
six mois* zone 1	6,80000
six mois* zone 2	7,56667
six mois* zone 3	5,50000
six mois* zone 4	6,30000

campagne\zone	zone 1	zone 2	zone 3	zone 4
deux mois	10,26667	9,90000	14,76667	6,90000
six mois	6,80000	7,56667	5,50000	6,30000

**campagne\*espece :**

Modalité	Moyenne
deux mois* halimus	9,67500
deux mois* nummularia	9,47500
deux mois* temoin	12,22500
six mois* halimus	5,32500
six mois* nummularia	5,87500
six mois* temoin	8,42500

campagne\espece	halimus	nummularia	temoin
deux mois	9,67500	9,47500	12,22500
six mois	5,32500	5,87500	8,42500

**Moyennes pour le facteur zone :**

<b>Modalité</b>	<b>Moyenne</b>
zone 1	8,53333
zone 2	8,73333
zone 3	10,13333
zone 4	6,60000

**zone\*campagne :**

<b>Modalité</b>	<b>Moyenne</b>
deux mois* zone 1	10,26667
deux mois* zone 2	9,90000
deux mois* zone 3	14,76667
deux mois* zone 4	6,90000
six mois* zone 1	6,80000
six mois* zone 2	7,56667
six mois* zone 3	5,50000
six mois* zone 4	6,30000

<b>zone\campagne</b>	<b>deux mois</b>	<b>six mois</b>
zone 1	10,26667	6,80000
zone 2	9,90000	7,56667
zone 3	14,76667	5,50000
zone 4	6,90000	6,30000

**zone\*espece :**

<b>Modalité</b>	<b>Moyenne</b>
zone 1* halimus	6,00000
zone 1* nummularia	6,35000
zone 1* temoin	13,25000
zone 2* halimus	9,00000
zone 2* nummularia	8,60000
zone 2* temoin	8,60000
zone 3* halimus	8,50000
zone 3* nummularia	12,15000
zone 3* temoin	9,75000
zone 4* halimus	6,50000
zone 4* nummularia	3,60000
zone 4* temoin	9,70000

<b>zone\espece</b>	<b>halimus</b>	<b>nummularia</b>	<b>temoin</b>
zone 1	6,00000	6,35000	13,25000
zone 2	9,00000	8,60000	8,60000
zone 3	8,50000	12,15000	9,75000
zone 4	6,50000	3,60000	9,70000

**Moyennes pour le facteur espece :**

Modalité	Moyenne
halimus	7,50000
nummularia	7,67500
temoin	10,32500

**espece\*campagne :**

Modalité	Moyenne
deux mois* halimus	9,67500
deux mois* nummularia	9,47500
deux mois* temoin	12,22500
six mois* halimus	5,32500
six mois* nummularia	5,87500
six mois* temoin	8,42500

espece\campagne	deux mois	six mois
atriplex halimus	9,67500	5,32500
atriplex nummularia	9,47500	5,87500
temoin	12,22500	8,42500

**espece\*zone :**

Modalité	Moyenne
zone 1* halimus	6,00000
zone 1* nummularia	6,35000
zone 1* temoin	13,25000
zone 2* halimus	9,00000
zone 2* nummularia	8,60000
zone 2* temoin	8,60000
zone 3* halimus	8,50000
zone 3* nummularia	12,15000
zone 3* temoin	9,75000
zone 4* halimus	6,50000
zone 4* nummularia	3,60000
zone 4* temoin	9,70000

espece\zone	zone 1	zone 2	zone 3	zone 4
halimus	6,00000	9,00000	8,50000	6,50000
nummularia	6,35000	8,60000	12,15000	3,60000
temoin	13,25000	8,60000	9,75000	9,70000

**6. L'analyse de la variance des teneurs en Magnésium (Mg<sup>+</sup> (mg/l)) des sols traités par l'implantation de l'*atriplex halimus* et *nummularia***

**Analyse de la variance (Mg (mg/l)) :**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	17	23,66063	1,39180	4,28049	<b>0,04042</b>
Erreur	6	1,95090	0,32515		
Total corrigé	23	25,61153			

**Moyennes pour le facteur campagne :**

Modalité	Moyenne
deux mois	3,80833
six mois	3,56500

**campagne\*zone :**

Modalité	Moyenne
deux mois* zone 1	4,21667
deux mois* zone 2	3,21000
deux mois* zone 3	3,80333
deux mois* zone 4	4,00333
six mois* zone 1	4,60000
six mois* zone 2	1,49667
six mois* zone 3	4,02667
six mois* zone 4	4,13667

campagne\zone	zone 1	zone 2	zone 3	zone 4
deux mois	4,21667	3,21000	3,80333	4,00333
six mois	4,60000	1,49667	4,02667	4,13667

**campagne\*espece :**

Modalité	Moyenne
deux mois* halimus	3,41250
deux mois* nummularia	3,86000
deux mois* temoin	4,15250
six mois* halimus	3,52250
six mois* nummularia	3,91000
six mois* temoin	3,26250

campagne\espece	halimus	nummularia	temoin
deux mois	3,41250	3,86000	4,15250
six mois	3,52250	3,91000	3,26250

**Moyennes pour le facteur zone :**

<b>Modalité</b>	<b>Moyenne</b>
zone 1	4,40833
zone 2	2,35333
zone 3	3,91500
zone 4	4,07000

**zone\*campagne :**

<b>Modalité</b>	<b>Moyenne</b>
deux mois* zone 1	4,21667
deux mois* zone 2	3,21000
deux mois* zone 3	3,80333
deux mois* zone 4	4,00333
six mois* zone 1	4,60000
six mois* zone 2	1,49667
six mois* zone 3	4,02667
six mois* zone 4	4,13667

<b>zone\campagne</b>	<b>deux mois</b>	<b>six mois</b>
zone 1	4,21667	4,60000
zone 2	3,21000	1,49667
zone 3	3,80333	4,02667
zone 4	4,00333	4,13667

**zone\*espece :**

<b>Modalité</b>	<b>Moyenne</b>
zone 1* halimus	4,02000
zone 1* nummularia	4,52500
zone 1* temoin	4,68000
zone 2* halimus	1,82500
zone 2* nummularia	3,12500
zone 2* temoin	2,11000
zone 3* halimus	3,99500
zone 3* nummularia	4,03500
zone 3* temoin	3,71500
zone 4* halimus	4,03000
zone 4* nummularia	3,85500
zone 4* temoin	4,32500

<b>zone\espece</b>	<b>halimus</b>	<b>nummularia</b>	<b>temoin</b>
zone 1	4,02000	4,52500	4,68000
zone 2	1,82500	3,12500	2,11000
zone 3	3,99500	4,03500	3,71500
zone 4	4,03000	3,85500	4,32500

**Moyennes pour le facteur espece :**

Modalité	Moyenne
halimus	3,46750
nummularia	3,88500
temoin	3,70750

**espece\*campagne :**

Modalité	Moyenne
deux mois* halimus	3,41250
deux mois* nummularia	3,86000
deux mois* temoin	4,15250
six mois* halimus	3,52250
six mois* nummularia	3,91000
six mois* temoin	3,26250

espece\campagne	deux mois	six mois
halimus	3,41250	3,52250
nummularia	3,86000	3,91000
temoin	4,15250	3,26250

**espece\*zone :**

Modalité	Moyenne
zone 1* halimus	4,02000
zone 1* nummularia	4,52500
zone 1* temoin	4,68000
zone 2* halimus	1,82500
zone 2* nummularia	3,12500
zone 2* temoin	2,11000
zone 3* halimus	3,99500
zone 3* nummularia	4,03500
zone 3* temoin	3,71500
zone 4* halimus	4,03000
zone 4* nummularia	3,85500
zone 4* temoin	4,32500

espece\zone	zone 1	zone 2	zone 3	zone 4
halimus	4,02000	1,82500	3,99500	4,03000
nummularia	4,52500	3,12500	4,03500	3,85500
temoin	4,68000	2,11000	3,71500	4,32500

**7. L'analyse de la variance des teneurs en Calcium (Ca<sup>+</sup> (mg/l)) des sols traités par l'implantation de l'*atriplex halimus* et *nummularia***

**Analyse de la variance (Ca (mg/l)) :**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	17	31,25000	1,83824	1,81305	0,23773
Erreur	6	6,08333	1,01389		
Total corrigé	23	37,33333			

**Moyennes pour le facteur campagne :**

Modalité	Moyenne
deux mois	10,41667
six mois	10,91667

**campagne\*zone :**

Modalité	Moyenne
deux mois* zone 1	10,33333
deux mois* zone 2	10,00000
deux mois* zone 3	11,66667
deux mois* zone 4	9,66667
six mois* zone 1	11,66667
six mois* zone 2	11,66667
six mois* zone 3	11,00000
six mois* zone 4	9,33333

campagne\zone	zone 1	zone 2	zone 3	zone 4
deux mois	10,33333	10,00000	11,66667	9,66667
six mois	11,66667	11,66667	11,00000	9,33333

**campagne\*espece :**

Modalité	Moyenne
deux mois* halimus	10,25000
deux mois* nummularia	9,50000
deux mois* temoin	11,50000
six mois* halimus	11,00000
six mois* nummularia	11,00000
six mois* temoin	10,75000

campagne\espece	halimus	nummularia	temoin
deux mois	10,25000	9,50000	11,50000
six mois	11,00000	11,00000	10,75000

**Moyennes pour le facteur zone :**

<b>Modalité</b>	<b>Moyenne</b>
zone 1	11,00000
zone 2	10,83333
zone 3	11,33333
zone 4	9,50000

**zone\*campagne :**

<b>Modalité</b>	<b>Moyenne</b>
deux mois* zone 1	10,33333
deux mois* zone 2	10,00000
deux mois* zone 3	11,66667
deux mois* zone 4	9,66667
six mois* zone 1	11,66667
six mois* zone 2	11,66667
six mois* zone 3	11,00000
six mois* zone 4	9,33333

<b>zone\campagne</b>	<b>deux mois</b>	<b>six mois</b>
zone 1	10,33333	11,66667
zone 2	10,00000	11,66667
zone 3	11,66667	11,00000
zone 4	9,66667	9,33333

**zone\*espece :**

<b>Modalité</b>	<b>Moyenne</b>
zone 1* halimus	11,00000
zone 1* nummularia	10,00000
zone 1* temoin	12,00000
zone 2* halimus	10,50000
zone 2* nummularia	11,00000
zone 2* temoin	11,00000
zone 3* halimus	11,50000
zone 3* nummularia	10,50000
zone 3* temoin	12,00000
zone 4* halimus	9,50000
zone 4* nummularia	9,50000
zone 4* temoin	9,50000

<b>zone\espece</b>	<b>halimus</b>	<b>nummularia</b>	<b>temoin</b>
zone 1	11,00000	10,00000	12,00000
zone 2	10,50000	11,00000	11,00000
zone 3	11,50000	10,50000	12,00000
zone 4	9,50000	9,50000	9,50000

**Moyennes pour le facteur espece :**

Modalité	Moyenne
halimus	10,62500
nummularia	10,25000
temoin	11,12500

**espece\*campagne :**

Modalité	Moyenne
deux mois* halimus	10,25000
deux mois* nummularia	9,50000
deux mois* temoin	11,50000
six mois* halimus	11,00000
six mois* nummularia	11,00000
six mois* temoin	10,75000

espece\campagne	deux mois	six mois
halimus	10,25000	11,00000
nummularia	9,50000	11,00000
temoin	11,50000	10,75000

**espece\*zone :**

Modalité	Moyenne
zone 1* halimus	11,00000
zone 1* nummularia	10,00000
zone 1* temoin	12,00000
zone 2* halimus	10,50000
zone 2* nummularia	11,00000
zone 2* temoin	11,00000
zone 3* halimus	11,50000
zone 3* nummularia	10,50000
zone 3* temoin	12,00000
zone 4* halimus	9,50000
zone 4* nummularia	9,50000
zone 4* temoin	9,50000

espece\zone	zone 1	zone 2	zone 3	zone 4
halimus	11,00000	10,50000	11,50000	9,50000
nummularia	10,00000	11,00000	10,50000	9,50000
temoin	12,00000	11,00000	12,00000	9,50000

**8. L'analyse de la variance des teneurs en Chlore (Cl<sup>-</sup> (mg/l)) des sols traités par l'implantation de l'*atriplex halimus* et *nummularia***

**Analyse de la variance (Cl (mg/l)) :**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	17	55018,72016	3236,39530	61,54437	< 0,0001
Erreur	6	315,51822	52,58637		
Total corrigé	23	55334,23838			

**Moyennes pour le facteur campagne :**

Modalité	Moyenne
deux mois	81,47250
six mois	115,27917

**campagne\*zone :**

Modalité	Moyenne
deux mois* zone 1	130,16667
deux mois* zone 2	86,38333
deux mois* zone 3	63,90667
deux mois* zone 4	45,43333
six mois* zone 1	131,00000
six mois* zone 2	159,75000
six mois* zone 3	85,20000
six mois* zone 4	85,16667

campagne\zone	zone 1	zone 2	zone 3	zone 4
deux mois	130,16667	86,38333	63,90667	45,43333
six mois	131,00000	159,75000	85,20000	85,16667

**campagne\*espece :**

Modalité	Moyenne
deux mois* halimus	69,57500
deux mois* nummularia	66,56250
deux mois* temoin	108,28000
six mois* halimus	99,25000
six mois* nummularia	109,02500
six mois* temoin	137,56250

campagne\espece	halimus	nummularia	temoin
deux mois	69,57500	66,56250	108,28000
six mois	99,25000	109,02500	137,56250

**Moyennes pour le facteur zone :**

<b>Modalité</b>	<b>Moyenne</b>
zone 1	130,58333
zone 2	123,06667
zone 3	74,55333
zone 4	65,30000

**zone\*campagne :**

<b>Modalité</b>	<b>Moyenne</b>
deux mois* zone 1	130,16667
deux mois* zone 2	86,38333
deux mois* zone 3	63,90667
deux mois* zone 4	45,43333
six mois* zone 1	131,00000
six mois* zone 2	159,75000
six mois* zone 3	85,20000
six mois* zone 4	85,16667

<b>zone\campagne</b>	<b>deux mois</b>	<b>six mois</b>
zone 1	130,16667	131,00000
zone 2	86,38333	159,75000
zone 3	63,90667	85,20000
zone 4	45,43333	85,16667

**zone\*espece :**

<b>Modalité</b>	<b>Moyenne</b>
zone 1* halimus	106,25000
zone 1* nummularia	72,50000
zone 1* temoin	213,00000
zone 2* halimus	99,40000
zone 2* nummularia	127,80000
zone 2* temoin	142,00000
zone 3* halimus	71,00000
zone 3* nummularia	74,55000
zone 3* temoin	78,11000
zone 4* halimus	61,00000
zone 4* nummularia	76,32500
zone 4* temoin	58,57500

<b>zone\espece</b>	<b>halimus</b>	<b>nummularia</b>	<b>temoin</b>
zone 1	106,25000	72,50000	213,00000
zone 2	99,40000	127,80000	142,00000
zone 3	71,00000	74,55000	78,11000
zone 4	61,00000	76,32500	58,57500

**Moyennes pour le facteur espece :**

Modalité	Moyenne
halimus	84,41250
nummularia	87,79375
temoin	122,92125

**espece\*campagne :**

Modalité	Moyenne
deux mois* halimus	69,57500
deux mois* nummularia	66,56250
deux mois* temoin	108,28000
six mois* halimus	99,25000
six mois* nummularia	109,02500
six mois* temoin	137,56250

espece\campagne	deux mois	six mois
halimus	69,57500	99,25000
nummularia	66,56250	109,02500
temoin	108,28000	137,56250

**espece\*zone :**

Modalité	Moyenne
zone 1* halimus	106,25000
zone 1* nummularia	72,50000
zone 1* temoin	213,00000
zone 2* halimus	99,40000
zone 2* nummularia	127,80000
zone 2* temoin	142,00000
zone 3* halimus	71,00000
zone 3* nummularia	74,55000
zone 3* temoin	78,11000
zone 4* halimus	61,00000
zone 4* nummularia	76,32500
zone 4* temoin	58,57500

espece\zone	zone 1	zone 2	zone 3	zone 4
halimus	106,25000	99,40000	71,00000	61,00000
nummularia	72,50000	127,80000	74,55000	76,32500
temoin	213,00000	142,00000	78,11000	58,57500

**9. L'analyse de la variance des teneurs en Sulfate (SO<sub>4</sub><sup>-</sup> (mg/l)) des sols traités par l'implantation de l'*Atriplex halimus* et *nummularia***

**Analyse de la variance (SO<sub>4</sub> (mg/l)) :**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	17	190,58333	11,21078	20,69683	<b>0,00061</b>
Erreur	6	3,25000	0,54167		
Total corrigé	23	193,83333			

**moyennes pour le facteur campagne :**

Modalité	Moyenne
deux mois	53,33333
six mois	55,83333

**campagne\*zone :**

Modalité	Moyenne
deux mois* zone 1	53,33333
deux mois* zone 2	52,00000
deux mois* zone 3	50,66667
deux mois* zone 4	57,33333
six mois* zone 1	55,33333
six mois* zone 2	54,00000
six mois* zone 3	55,66667
six mois* zone 4	58,33333

campagne\zone	zone 1	zone 2	zone 3	zone 4
deux mois	53,33333	52,00000	50,66667	57,33333
six mois	55,33333	54,00000	55,66667	58,33333

**campagne\*espece :**

Modalité	Moyenne
deux mois* halimus	52,25000
deux mois* nummularia	53,75000
deux mois* temoin	54,00000
six mois* halimus	55,25000
six mois* nummularia	57,00000
six mois* temoin	55,25000

campagne\espece	halimus	nummularia	temoin
deux mois	52,25000	53,75000	54,00000
six mois	55,25000	57,00000	55,25000

**Moyennes pour le facteur zone :**

<b>Modalité</b>	<b>Moyenne</b>
zone 1	54,33333
zone 2	53,00000
zone 3	53,16667
zone 4	57,83333

**zone\*campagne :**

<b>Modalité</b>	<b>Moyenne</b>
deux mois* zone 1	53,33333
deux mois* zone 2	52,00000
deux mois* zone 3	50,66667
deux mois* zone 4	57,33333
six mois* zone 1	55,33333
six mois* zone 2	54,00000
six mois* zone 3	55,66667
six mois* zone 4	58,33333

<b>zone\campagne</b>	<b>deux mois</b>	<b>six mois</b>
zone 1	53,33333	55,33333
zone 2	52,00000	54,00000
zone 3	50,66667	55,66667
zone 4	57,33333	58,33333

**zone\*espece :**

<b>Modalité</b>	<b>Moyenne</b>
zone 1* halimus	54,50000
zone 1* nummularia	53,50000
zone 1* temoin	55,00000
zone 2* halimus	51,50000
zone 2* nummularia	54,00000
zone 2* temoin	53,50000
zone 3* halimus	51,50000
zone 3* nummularia	56,50000
zone 3* temoin	51,50000
zone 4* halimus	57,50000
zone 4* nummularia	57,50000
zone 4* temoin	58,50000

<b>zone\espece</b>	<b>halimus</b>	<b>nummularia</b>	<b>temoin</b>
zone 1	54,50000	53,50000	55,00000
zone 2	51,50000	54,00000	53,50000
zone 3	51,50000	56,50000	51,50000
zone 4	57,50000	57,50000	58,50000

**Moyennes pour le facteur espece :**

<b>Modalité</b>	<b>Moyenne</b>
halimus	53,75000
nummularia	55,37500
temoin	54,62500

**espece\*campagne :**

<b>Modalité</b>	<b>Moyenne</b>
deux mois* halimus	52,25000
deux mois* nummularia	53,75000
deux mois* temoin	54,00000
six mois* halimus	55,25000
six mois* nummularia	57,00000
six mois* temoin	55,25000

<b>espece\campagne</b>	<b>deux mois</b>	<b>six mois</b>
atriplex halimus	52,25000	55,25000
atriplex nummularia	53,75000	57,00000
temoin	54,00000	55,25000

**espece\*zone :**

<b>Modalité</b>	<b>Moyenne</b>
zone 1* halimus	54,50000
zone 1* nummularia	53,50000
zone 1* temoin	55,00000
zone 2* halimus	51,50000
zone 2* nummularia	54,00000
zone 2* temoin	53,50000
zone 3* halimus	51,50000
zone 3* nummularia	56,50000
zone 3* temoin	51,50000
zone 4* halimus	57,50000
zone 4* nummularia	57,50000
zone 4* temoin	58,50000

<b>espece\zone</b>	<b>zone 1</b>	<b>zone 2</b>	<b>zone 3</b>	<b>zone 4</b>
halimus	54,50000	51,50000	51,50000	57,50000
nummularia	53,50000	54,00000	56,50000	57,50000
temoin	55,00000	53,50000	51,50000	58,50000

**10. L'analyse de la variance des teneurs en Nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l)) des sols traités par l'implantation de *Atriplex halimus* et *nummularia***

**Analyse de la variance (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l)) :**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	17	6,92333	0,40725	7,71641	<b>0,00922</b>
Erreur	6	0,31667	0,05278		
Total corrigé	23	7,24000			

**Moyennes pour le facteur campagne :**

Modalité	Moyenne
deux mois	0,77500
six mois	0,52500

**campagne\*zone :**

Modalité	Moyenne
deux mois* zone 1	0,70000
deux mois* zone 2	1,76667
deux mois* zone 3	0,53333
deux mois* zone 4	0,10000
six mois* zone 1	0,90000
six mois* zone 2	0,30000
six mois* zone 3	0,53333
six mois* zone 4	0,36667

campagne\zone	zone 1	zone 2	zone 3	zone 4
deux mois	0,70000	1,76667	0,53333	0,10000
six mois	0,90000	0,30000	0,53333	0,36667

**campagne\*espece :**

Modalité	Moyenne
deux mois* halimus	0,65000
deux mois* nummularia	0,57500
deux mois* temoin	1,10000
six mois* halimus	0,40000
six mois* nummularia	0,37500
six mois* temoin	0,80000

campagne\espece	halimus	nummularia	temoin
deux mois	0,65000	0,57500	1,10000
six mois	0,40000	0,37500	0,80000

**Moyennes pour le facteur zone :**

<b>Modalité</b>	<b>Moyenne</b>
zone 1	0,80000
zone 2	1,03333
zone 3	0,53333
zone 4	0,23333

**zone\*campagne :**

<b>Modalité</b>	<b>Moyenne</b>
deux mois* zone 1	0,70000
deux mois* zone 2	1,76667
deux mois* zone 3	0,53333
deux mois* zone 4	0,10000
six mois* zone 1	0,90000
six mois* zone 2	0,30000
six mois* zone 3	0,53333
six mois* zone 4	0,36667

<b>zone\campagne</b>	<b>deux mois</b>	<b>six mois</b>
zone 1	0,70000	0,90000
zone 2	1,76667	0,30000
zone 3	0,53333	0,53333
zone 4	0,10000	0,36667

**zone\*espece :**

<b>Modalité</b>	<b>Moyenne</b>
zone 1* halimus	0,80000
zone 1 nummularia	0,40000
zone 1* temoin	1,20000
zone 2* halimus	0,75000
zone 2* nummularia	0,95000
zone 2* temoin	1,40000
zone 3* halimus	0,40000
zone 3* nummularia	0,40000
zone 3* temoin	0,80000
zone 4* halimus	0,15000
zone 4* nummularia	0,15000
zone 4* temoin	0,40000

<b>zone\espece</b>	<b>halimus</b>	<b>nummularia</b>	<b>temoin</b>
zone 1	0,80000	0,40000	1,20000
zone 2	0,75000	0,95000	1,40000
zone 3	0,40000	0,40000	0,80000
zone 4	0,15000	0,15000	0,40000

---

**Moyennes pour le facteur espece :**

<b>Modalité</b>	<b>Moyenne</b>
halimus	0,52500
nummularia	0,47500
temoin	0,95000

**espece\*campagne :**

<b>Modalité</b>	<b>Moyenne</b>
deux mois* halimus	0,65000
deux mois* nummularia	0,57500
deux mois* temoin	1,10000
six mois* halimus	0,40000
six mois* nummularia	0,37500
six mois* temoin	0,80000

<b>espece\campagne</b>	<b>deux mois</b>	<b>six mois</b>
halimus	0,65000	0,40000
nummularia	0,57500	0,37500
temoin	1,10000	0,80000

**espece\*zone :**

<b>Modalité</b>	<b>Moyenne</b>
zone 1* halimus	0,80000
zone 1* nummularia	0,40000
zone 1* temoin	1,20000
zone 2* halimus	0,75000
zone 2* nummularia	0,95000
zone 2* temoin	1,40000
zone 3* halimus	0,40000
zone 3* nummularia	0,40000
zone 3* temoin	0,80000
zone 4* halimus	0,15000
zone 4* nummularia	0,15000
zone 4* temoin	0,40000

<b>espece\zone</b>	<b>zone 1</b>	<b>zone 2</b>	<b>zone 3</b>	<b>zone 4</b>
halimus	0,80000	0,75000	0,40000	0,15000
nummularia	0,40000	0,95000	0,40000	0,15000
temoin	1,20000	1,40000	0,80000	0,40000

---

**11. L'analyse de la variance des teneurs en Bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$  (mg/l)) des sols traités par l'implantation de *l'atriplex halimus* et *nummularia***

**Analyse de la variance ( $\text{HCO}_3$  (mg/l)) :**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	17	15,50324	0,91196	10,97951	<b>0,00358</b>
Erreur	6	0,49836	0,08306		
Total corrigé	23	16,00160			

**Moyennes pour le facteur CAMPAGNE :**

Modalité	Moyenne
deux mois	2,53917
six mois	1,89667

**campagne\*zone :**

Modalité	Moyenne
deux mois* zone 1	1,76667
deux mois* zone 2	1,71333
deux mois* zone 3	2,90000
deux mois* zone 4	3,77667
six mois* zone 1	2,27333
six mois* zone 2	2,12667
six mois* zone 3	1,09333
six mois* zone 4	2,09333

campagne\zone	zone 1	zone 2	zone 3	zone 4
deux mois	1,76667	1,71333	2,90000	3,77667
six mois	2,27333	2,12667	1,09333	2,09333

**campagne\*espece :**

Modalité	Moyenne
deux mois* halimus	2,40000
deux mois* nummularia	2,65000
deux mois* temoin	2,56750
six mois* halimus	1,65500
six mois* nummularia	1,84500
six mois* temoin	2,19000

campagne\espece	halimus	nummularia	temoin
deux mois	2,40000	2,65000	2,56750
six mois	1,65500	1,84500	2,19000

**Moyennes pour le facteur zone :**

<b>Modalité</b>	<b>Moyenne</b>
zone 1	2,02000
zone 2	1,92000
zone 3	1,99667
zone 4	2,93500

**zone\*campagne :**

<b>Modalité</b>	<b>Moyenne</b>
deux mois* zone 1	1,76667
deux mois* zone 2	1,71333
deux mois* zone 3	2,90000
deux mois* zone 4	3,77667
six mois* zone 1	2,27333
six mois* zone 2	2,12667
six mois* zone 3	1,09333
six mois* zone 4	2,09333

<b>zone\campagne</b>	<b>deux mois</b>	<b>six mois</b>
zone 1	1,76667	2,27333
zone 2	1,71333	2,12667
zone 3	2,90000	1,09333
zone 4	3,77667	2,09333

**zone\*espece :**

<b>Modalité</b>	<b>Moyenne</b>
zone 1* halimus	1,60000
zone 1* nummularia	1,94000
zone 1* temoin	2,52000
zone 2* halimus	1,75000
zone 2* nummularia	1,99000
zone 2* temoin	2,02000
zone 3* halimus	2,07000
zone 3* nummularia	2,14000
zone 3* temoin	1,78000
zone 4* halimus	2,69000
zone 4* nummularia	2,92000
zone 4* temoin	3,19500

<b>zone\espece</b>	<b>halimus</b>	<b>nummularia</b>	<b>temoin</b>
zone 1	1,60000	1,94000	2,52000
zone 2	1,75000	1,99000	2,02000
zone 3	2,07000	2,14000	1,78000
zone 4	2,69000	2,92000	3,19500

**Moyennes pour le facteur espece :**

<b>Modalité</b>	<b>Moyenne</b>
halimus	2,02750
nummularia	2,24750
temoin	2,37875

**espece\*campagne :**

<b>Modalité</b>	<b>Moyenne</b>
deux mois* halimus	2,40000
deux mois* nummularia	2,65000
deux mois* temoin	2,56750
six mois* halimus	1,65500
six mois* nummularia	1,84500
six mois* temoin	2,19000

<b>espece\campagne</b>	<b>deux mois</b>	<b>six mois</b>
halimus	2,40000	1,65500
nummularia	2,65000	1,84500
temoin	2,56750	2,19000

**espece\*zone :**

<b>Modalité</b>	<b>Moyenne</b>
zone 1* halimus	1,60000
zone 1* nummularia	1,94000
zone 1* temoin	2,52000
zone 2* halimus	1,75000
zone 2* nummularia	1,99000
zone 2* temoin	2,02000
zone 3* halimus	2,07000
zone 3* nummularia	2,14000
zone 3* temoin	1,78000
zone 4* halimus	2,69000
zone 4* nummularia	2,92000
zone 4* temoin	3,19500

<b>espece\zone</b>	<b>zone 1</b>	<b>zone 2</b>	<b>zone 3</b>	<b>zone 4</b>
halimus	1,60000	1,75000	2,07000	2,69000
nummularia	1,94000	1,99000	2,14000	2,92000
temoin	2,52000	2,02000	1,78000	3,19500

**ANNEXE 4 :**



**Photo 1 : dispositif experimental sous serre ( les plantes sont morts après quatre mois de traitement avec NaCl)**



**Photo 2 : Les feuilles d'Atriplex avant le séchage**



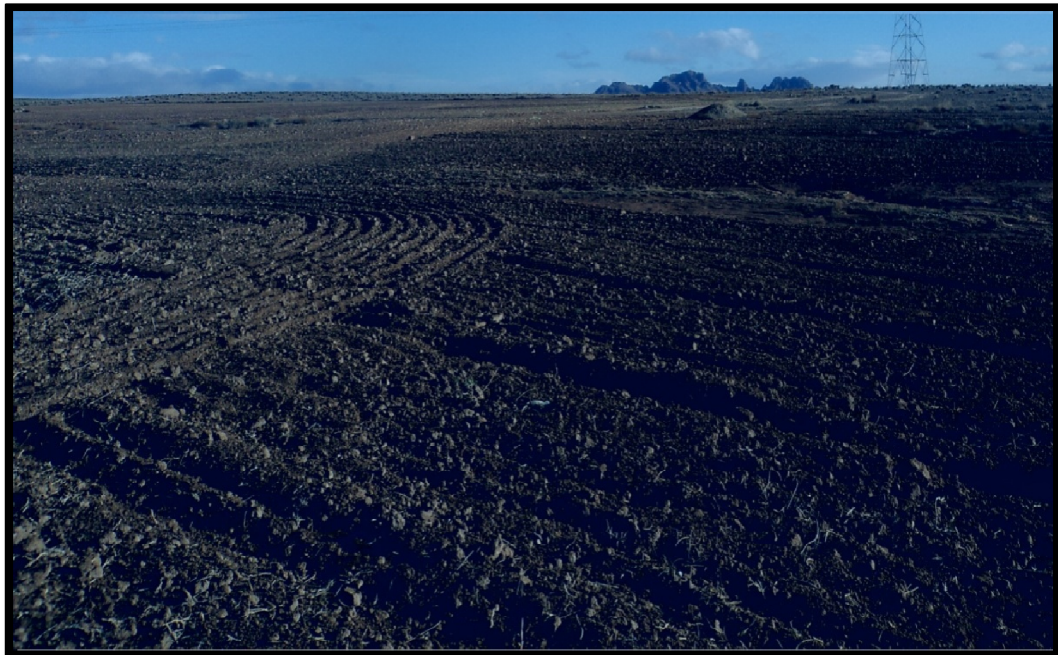
**Photo 3 : Labour et la préparation de la parcelle 3 (zone de Meslola 1)**



**Photo 4 : La Parcelle trois après six mois de plantation (zone de Meslola 1)**



**Photo 5 : La Parcelle trois après six mois de plantation (zone de Meslola 1)**



**Photo 6 : Laboure et préparation de la parcelle deux (zone de Meslola 2)**



**Photo 7 : La Parcelle trois après six mois de plantation (zone de Meslola 2)**



**Photos 8 : La Parcelle trois après six mois de plantation (zone de Meslola 2)**



**Photos 9 : La Parcelle trois avant la préparation (zone de Rmila)**



**Photo 10 : La parcelle trois de la zone (Rmila) après six mois de plantation**



**Photo 11 : *L'Atriplex nummularia* après six mois de plantation de la zone 3 (Rmila)**



**Photo 12 : *L'Atriplex halimus* après six mois de plantation de la zone 3 (Rmila)**



**Photo 13 : La parcelle de la zone 4 (Morsott ferme de Haouam) avant la plantation d'*Atriplex***



**Photo 14 : la Parcelle quatre après deux mois de plantation (zone de Morsott)**