



Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de  
**Master d'Etat en Sciences Agronomiques**  
**Option**  
« **Gestion Conservatoire des Eaux, des Sols et de l'environnement** »

Par

**ZOUATITE Moumna**

**HADJER Mimouna**

**Thème**

**Absorption du Zn et Cu par l'Atriplex Canescens  
dans les sols salés de la plaine de la Mina (W. Relizane).**

Devant le jury :

- |                |                         |         |
|----------------|-------------------------|---------|
| - Président    | Mr : BOUALEM Abdelkader | MCB     |
| - Examineur    | Mr : TAHRI Miloude      | MCB     |
| - Encadreur    | Mr : HADDAD Ahmed       | Pr      |
| - Co-promoteur | Mr : GACEM Farid        | (INSID) |

## *Remerciements*

En premier lieu nous tenons a remercié le *Dieu* qui nous donne le courage pour accomplir ce modeste travail.

Nous voudrais remercie tout particulières mon directeur *Mr. Hadded Ahmed* professeur a l'Université de Mostaganem, d'avoir bien voulu mon encadrer mon travail

Nous remercions aussi *Mr Gacem Farid* directeur de laboratoire de l'INSID *Relizane* et *Mr Benkhedda Youcef* d'avoir suivre notre travail

Nous remercions tous les agents techniciens de la ferme expérimentale de laboratoire de l'INSID

## Résumé :

L'objectif de ce travail est d'explorer l'effet de la salinité sur les modifications et les réponses d'ordre physiologiques d'une halophyte « **Atriplex Canescens (Pursh). Nutt** », et d'étudier l'effet de cette plante sur les propriétés physico-chimiques des sols salés de la plaine de la Mina (Relizane). Cette étude a été réalisée en plein champ dans une exploitation agricole privée, située dans la région d'El Matmar (Relizane). Afin de pouvoir mener notre expérimentation nous avons divisé la parcelle expérimentale. Les deux parcelles obtenues concernent la parcelle « Témoin » et l'autre parcelle concerne la parcelle « Traitée » par l'Atriplex canescens. Nous avons ensuite positionné 03 profils de prélèvements, au niveau de chaque parcelle, pour le suivi de l'expérimentation. Dans chaque profil et à l'aide d'une tarière pédologique nous avons procédé à des prélèvements des échantillons de sol jusqu'à une profondeur de 01mètre (0 – 25cm ; 25-50cm, 50-75cm et 75-100cm). Aussi autour de chaque profil trois prélèvements, au niveau la plante, ont été effectués (racines, tiges et feuille) avec trois répétitions. Ainsi, 48 échantillons de sols et 18 échantillons du végétal ont été prélevés sur deux campagnes de mesures et analysés au laboratoire. L'interprétation des résultats des analyses du sol obtenus a permis de mettre en évidence l'effet de la plante sur les paramètres physico-chimiques du sol par l'abaissement de la salinité de sol pendant les 90 jours de la plantation. L'analyse des paramètres physiologiques de la plante (teneur relative en eau, chlorophylles, sels minéraux et proline) a montré que **Atriplex Canescens** est une espèce tolérante aux fortes intensités salines, est peut être exploitée dans la valorisation des sols fortement salés.

**Mots clés :** Sol, physico-chimie, physiologique, salinité, l'Atriplex Canescens, teneur relative en eau, chlorophylles, sels minéraux, proline, Halophyte.

## ملخص:

الهدف من هذه الدراسة هو تقييم تأثير استعمال نبتة القطف كانيسونس علي الخصائص الكيميائية الفيزيائية للتربة المالحة و دراسة تأثير الملوحة على الخواص الفيزيولوجية للنبتة ، التجربة جرت في حقل مستثمرة فلاحية خاصة متواجدة على مستوى هضبة مينا لولاية غليزان (المطمر). الدراسة تمت في قطعتين ارض الالى نتركها كشاهد و الثانية نقوم بغرس النبتة فيها ، عدد النقلات المغروسة هو 50 نبتة المسافة بينها هي 1 متر.

في كل قطعة نقوم بعمل ثلاث مواضع لآخذ عينات التربة في كل موضع نقوم بعمل اربع مستويات للعمق (0-15سم) ، (15-50سم) ، (50-75سم) ، (75-100سم) ، كذلك نقوم باخذ عينات من النبات من الجذور والسيقان والاوراق ، في شهر فيفري ثم في شهر ماي .

التحليل التي اجريت على الخصائص الفيزيائية و الكيميائية للتربة بينت انخفاض في نسبة الملوحة على مدى 90 يوم من التجربة ،اما فيما يخص الخصائص الفيزيوجية للنبات من كمية الماء داخل الاوراق والكلوروفيل و البرولين و المعادن، فقد بينت هته الاخيرة ان النبتة مقاومة جدا للملوحة و يمكن استعمالها لاعادة تهيئة الاراضي المالحة .

**الكلمات المفتاحية:** تربة، الفيزيائية-الكيميائية،الفيزيولوجية،الملوحة، برولين،الكلوروفيل، المعادن،كمية الماء في الاوراق،القطف كانيسونس .

### **Summary :**

The objective of this work and to explore the effect of salinity on changes and physiological responses of a halophyte "Atriplex Canescens (Pursh) .Nutt", and study the effect of the plant On the physicochemical properties of the salt soils of the mina plain. The study was carried out in plain field on a private farm in the region of Matmar "Relizane".

The study carried out on the Canescence Atriplex is carried out in two stations (S1, S2). The station S1 is fenced and taken into account as a control, and the second station S2 and also fenced and planted by 50 plant of the Atriplex Canescence, were established along furrows spaced 1m apart, the spacing between two plants is 1m. Four horizons were studied for each plot and for each profile, 48 soil samples were taken from two companions with a variant depth of (0-15 cm), (15-50 cm), (50-75 cm), 75-100 cm) .Samples of plant material were also carried out on the roots, stem and leaves last the two companions.

The interpretation of the results of the soil analyzes obtained made it possible to demonstrate the effect of the plant on the physicochemical parameters of the soil by lowering the soil salinity during the 90 days of planting. Of the physiological parameters of the plant (relative water content, chlorophylls, mineral salts and proline) concluded that the Canescens Atriplex is a tolerant species with high saline intensities, can be exploited in the valorization of heavily salted soils.

**Key words:** Soil, physico-chemistry, physiological, salinity, Atriplex Canescens, relative water content, chlorophylls, mineral salts, proline, halophyte.

## Liste des Figures et des photos

<b>Figures et les photos</b>	<b>Page</b>
<b>Figure 1.</b> Processus de dégradation de la qualité des sols suite à l'irrigation	10
<b>Photo 2.</b> Plante <i>Atriplex canescens</i> (Pursh) Nutt.	23
<b>Figure 3.</b> Carte de situation de la plaine de la Mina (Relizane).	24
<b>Figure 4.</b> Histogramme des précipitations moyennes mensuelles	26
<b>Figure 5.</b> Histogramme du régime saisonnier de la région d'étude.	26
<b>Figure 6.</b> Diagramme ombrothermique de la station de Relizane (1988-2007).	28
<b>Figure 7.</b> Diagramme pluviométrique d'Emberger pour la station de Relizane (1988-2006).	29
<b>Figure 8.</b> Carte géologique 1/50000 de Relizane (Boualla, 2002).	31
<b>Figure 9.</b> Démarche méthodologique	45
<b>Figure 10.</b> Localisation du site expérimental.	47
<b>Figure 11.</b> Dispositif expérimental.	48
<b>Photo 12.</b> L'analyse granulométrique (Pipette de Robinson).	49
<b>Figure 13.</b> Schémas et protocole expérimental de la pâte saturée.	51
<b>Photo 15.</b> Attaque au froid sur bain sable.	52
<b>Photo 16.</b> Séparation des phases.	52
<b>Photo 17.</b> Dosage au sel de Mohr.	53
<b>Photo 18.</b> Calcimètre de Bernard.	53
<b>Photo 19.</b> Dosage de calcaire actif.	54
<b>Photo 20 :</b> Dispositif de la capacité d'échange cationique (CEC).	55
<b>Photo 21:</b> Dosage des échantillons par l'acide et puis la filtration	55
<b>Photo 22:</b> la lecture avec spectrométrie d'absorption atomique SAA	55
<b>Photo 23 :</b> le broyage des échantillons	56
<b>Photo 24 :</b> les échantillons au bain marin	56
<b>Photo 25:</b> la filtration des échantillons.	56
<b>Photo 26:</b> la lecture avec spectrométrie d'absorption atomique SAA.	56
<b>Photo 27 :</b> Etat de la plante pendant la deuxième campagne	57
<b>Figure 28</b> Corrélation entre $CE_{d1/5}$ et $CE_{ps}$ pour la parcelle Témoin	65
<b>Figure 29.</b> Corrélation entre $CE_{d1/5}$ et $CE_{ps}$ pour la parcelle de traitement	65
<b>Figure 30.</b> La concentration du Cuivre (ppm) dans les racines dans les deux campagnes.	69
<b>Figure 31.</b> La concentration du Cuivre (ppm) dans les deux campagnes.	69
<b>Figure 32.</b> La concentration du Zinc (ppm) dans les racines dans les deux campagnes.	70
<b>Figure 33.</b> La concentration du Zinc (ppm) dans les tiges dans les deux campagnes.	71
<b>Figure 34.</b> La concentration du Zinc (ppm) dans les feuilles dans les deux campagnes	72
<b>Figure 35.</b> La concentration du Zinc (ppm) dans les deux campagnes	72

## Liste des Tableaux

<b>Tableaux</b>	<b>Page</b>
<b>Tableau N°1</b> : Les valeurs du facteur de transfert de certains métaux lourds du sol vers les plantes.	13
<b>Tableau 2.</b> Relevés pluviométriques de la station de Relizane ( <b>Période de 1988 à 2006</b> )	25
<b>Tableau 3.</b> Précipitations moyennes mensuelles et annuelles de la station de Relizane en (mm) pour la période (1988 – 2006).	25
<b>Tableau 4.</b> Précipitations mensuelles, en (mm), de l'année 2012 de la station de l'INRA de H'madna, Relizane.	25
<b>Tableau 5.</b> Moyennes mensuelles des températures (°C) de la station de Relizane pour la période (1988 – 2006).	27
<b>Tableau 6.</b> Evapotranspiration potentielle moyenne en mm, établie selon la formule PENMAN (18 ans). ( <b>Station ONM de Relizane</b> ).	27
<b>Tableau 7.</b> Salinité de l'eau du barrage de Sidi M'hamed Ben Aouda (Relizane) ( <b>Source. ANRH, 2003</b> ).	32
<b>Tableau 8.</b> Qualité de l'eau du barrage de Sidi M'hamed Ben Aouda (Relizane) ( <b>Source. INSID, Relizane ,2008</b> ).	32
<b>Tableau 9.</b> Répartition des superficies irriguées entre les différentes spéculations pratiquées ( <b>Source : AGID, cité par l'INSID, 2008</b> ).	33
<b>Tableau 10.</b> Répartition de l'occupation du sol, dans le périmètre de la Mina, sur 6000 Ha ( <b>Source, INSID, 2008</b> ).	34
<b>Tableau 11.</b> Les calendriers des prélèvements de sol et végétales.	46
<b>Tableau 12.</b> Résultats de l'Argile (en %) de parcelle Témoin.	59
<b>Tableau 13.</b> Résultats de Limon (en %) de parcelle Témoin	59
<b>Tableau 14.</b> Résultats de Sable (en %) de parcelle Témoin.	59
<b>Tableau 15.</b> Résultats de l'Argile (en %) de la parcelle de traitement.	60
<b>Tableau 16.</b> Résultats de Limon (en %) de la parcelle de traitement.	60
<b>Tableau 17.</b> Résultats de Sable (en %) de la parcelle de traitement.	60
<b>Tableau 18.</b> Résultats du pH de parcelle Témoin.	60
<b>Tableau19.</b> Résultats du pH de la parcelle de traitement.	60
<b>Tableau 20.</b> Résultats de la Matière organique (en %) de parcelle Témoin.	61
<b>Tableau 21.</b> Résultats de la Matière organique (en %) de la parcelle de traitement.	61
<b>Tableau 22.</b> Résultats de la capacité d'échange cationique (CEC meq/100g) de parcelle Témoin.	61
<b>Tableau 23.</b> Résultats de la capacité d'échange cationique (CEC meq/100g) de la parcelle de traitement.	62
<b>Tableau 24.</b> Résultats du calcaire totale (CaCO <sub>3</sub> en %) de parcelle Témoin	62
<b>Tableau 25.</b> Résultats du calcaire total (CaCO <sub>3</sub> en %) de la parcelle de traitement.	62
<b>Tableau 26.</b> Résultats du calcaire actif (en %) de parcelle Témoin.	62
<b>Tableau 27.</b> Résultats du calcaire actif (en %) de la parcelle de traitement.	63

<b>Tableau 28.</b> Résultats de la conductivité électrique ( $CE_{ps}$ ds/m) de la parcelle Témoin (22/02/2017).	63
<b>Tableau 29.</b> Résultats de la conductivité électrique ( $CE_{ps}$ ds/m) de la parcelle de traitement (22/02/2017).	63
<b>Tableau 30.</b> Résultats de la conductivité électrique ( $CE_{d_{1/5}}$ ) de la parcelle Témoin.	64
<b>Tableau 31.</b> Résultats de la conductivité électrique ( $CE_{d_{1/5}}$ ) de la parcelle de traitement.	64
<b>Tableau 32.</b> Résultats statistique de la concentration du cuivre (Cu. ppm) de la parcelle Témoin de la première campagne	66
<b>Tableau 33.</b> Résultats statistique de la concentration du cuivre (Cu. ppm) de la parcelle Témoin de la deuxième campagne	66
<b>Tableau 34.</b> Résultats statistique de la concentration du cuivre (Cu. ppm) de la parcelle de traitement de la première campagne	66
<b>Tableau 35.</b> Résultats statistique de la concentration du cuivre (Cu. ppm) de la parcelle de traitement de la deuxième campagne	66
<b>Tableau 36.</b> Résultats statistique de la concentration du Zinc (Zn. ppm) de la parcelle Témoin de la première campagne	67
<b>Tableau 37.</b> Résultats statistique de la concentration du Zinc (Zn. ppm) de la parcelle Témoin de la deuxième campagne	67
<b>Tableau 38.</b> Résultats statistique de la concentration du Zinc (Zn. ppm) de la parcelle de traitement de la première campagne	67
<b>Tableau 39.</b> Résultats statistique de la concentration du Zinc (Zn. ppm) de la parcelle de traitement de la deuxième première campagne	68
<b>Tableau 40.</b> Facteur de bioconcentration du cuivre et du zinc .	73
<b>Tableau 41.</b> Représente le facteur de translocation du cuivre et zinc dans la plante.	74

## Sommaire :

<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Introduction générale</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre I. synthèse bibliographique</b>	<b>3</b>
<b>Introduction</b>	<b>3</b>
<b>I. La salinité</b>	<b>4</b>
<b>1. Généralités sur la salinité</b>	<b>4</b>
<b>1.1. Définition</b>	<b>4</b>
<b>1.2. Définition de sols salés</b>	<b>4</b>
<b>1.3. Facteurs intervenants dans le processus de la salinisation</b>	<b>5</b>
<b>1.4. Origine des sols salés</b>	<b>5</b>
<b>1.4.1. Salinisation primaire</b>	<b>5</b>
<b>1.4.2. Salinisation secondaire</b>	<b>5</b>
<b>2. La Salinité, les sols et les plantes</b>	<b>6</b>
<b>2.1. La Salinité et les plantes</b>	<b>6</b>
<b>2.1.1. Stress</b>	<b>6</b>
<b>2.1.1.1. Définitions du stress</b>	<b>6</b>
<b>2.1.1.2. Catégories de stress</b>	<b>6</b>
<b>2.1.2. Conséquences de la salinité sur la plante</b>	<b>6</b>
<b>2.1.2.1. Effet de la salinité sur la germination</b>	<b>7</b>
<b>2.1.2.2. Effet de la salinité sur la croissance et le développement</b>	<b>7</b>
<b>2.1.2.3. Effet de la salinité sur le comportement biochimique de la plante</b>	<b>8</b>
<b>2.1.2.4. Effet de la salinité sur les processus physiologiques de la plante</b>	<b>9</b>
<b>2.2. La salinité et les sols</b>	<b>9</b>
<b>2.2.1. Effets de la salinité sur les sols</b>	<b>9</b>
<b>2.2.2. Mise en valeur des sols salés</b>	<b>10</b>
<b>II – Oligo-éléments</b>	<b>11</b>
<b>1. Les sources initiales</b>	<b>11</b>
<b>2. Carence</b>	<b>11</b>
<b>3. Toxicité</b>	<b>11</b>
<b>4. Les oligoéléments indispensables à la vie des plantes</b>	<b>12</b>
<b>5. La Phytotoxicité par des oligo-éléments</b>	<b>12</b>
<b>5.1. Effet des métaux lourds sur l'environnement</b>	<b>12</b>
<b>5.2. Effet des métaux lourds sur les plantes</b>	<b>13</b>
<b>6. Influencent des caractéristiques physico-chimiques du sol sur la disponibilité des éléments mineurs</b>	<b>13</b>
<b>6.1. Influence du pH</b>	<b>14</b>
<b>6.2. Influence du potentiel redox</b>	<b>14</b>
<b>6.3. Influence des ligands minéraux et organiques</b>	<b>14</b>
<b>7. Mécanisme de tolérance des plantes aux métaux lourds</b>	<b>15</b>
<b>7.1. Les accumulateurs</b>	<b>15</b>

<b>7.2. Les excluders</b>	<b>15</b>
<b>7.3. Les indicateurs</b>	<b>15</b>
<b>8. Caractéristiques des métaux lourds</b>	<b>16</b>
<b>8.1. Le cuivre</b>	<b>16</b>
<b>8.1.1. Cuivre total dans le sol</b>	<b>16</b>
<b>8.1.2. Différentes formes d'un même élément</b>	<b>16</b>
<b>8.1.3. Causes de déficience en cuivre</b>	<b>16</b>
<b>8.1.4. Correction de la déficience en cuivre</b>	<b>16</b>
<b>8.1.5. Excès du cuivre</b>	<b>16</b>
<b>8.1.6. Les plantes sensibles et symptômes de carences en cuivre</b>	<b>17</b>
<b>8.2. Le zinc</b>	<b>17</b>
<b>8.2.1. Zinc total dans le sol</b>	<b>17</b>
<b>8.2.2. Solubilité du Zinc</b>	<b>18</b>
<b>8.2.3. Mobilité du Zinc</b>	<b>18</b>
<b>8.2.4. Causes de déficience</b>	<b>18</b>
<b>8.2.5. Les symptômes de déficience en zinc</b>	<b>19</b>
<b>8.2.6. Excès de zinc</b>	<b>19</b>
<b>8.2.7. Les plantes sensibles et symptômes de carences en zinc</b>	<b>19</b>
<b>1. Définition</b>	<b>20</b>
<b>1. Définition</b>	<b>20</b>
<b>2. Répartition des Atriplexe</b>	<b>20</b>
<b>3. Propriétés écologiques de l'Atriplexe</b>	<b>21</b>
<b>4. Potentiel écologique et économique de l'Atriplexe</b>	<b>21</b>
<b>4. 1. Intérêt fourrager</b>	<b>21</b>
<b>4. 2. Mise en valeur des sols pauvres</b>	<b>21</b>
<b>4. 3. Mises en valeur des sols salés</b>	<b>22</b>
<b>5. Présentation d'Atriplexe canescens</b>	<b>23</b>
<b>5. 1. Systématique de l'espèce</b>	<b>23</b>
<b>5. 2. Origine</b>	<b>23</b>
<b>5. 3. Description</b>	<b>23</b>
<b>Chapitre II. Présentation de la zone d'étude</b>	<b>24</b>
<b>1. Situation géographique</b>	<b>24</b>
<b>2. Synthèse climatique</b>	<b>24</b>
<b>1) Les précipitations</b>	<b>25</b>
<b>2) Les températures</b>	<b>27</b>
<b>3) L'évapotranspiration</b>	<b>27</b>
<b>4) Classification du climat</b>	<b>28</b>
<b>2.5. Conclusion</b>	<b>29</b>
<b>3. Géologie</b>	<b>30</b>
<b>4. Géomorphologie</b>	<b>30</b>
<b>5. Réseau hydrographique et ressources en eaux</b>	<b>32</b>
<b>6. Les sols</b>	<b>33</b>

<b>7. Occupation du sol</b>	<b>33</b>
<b>8. Conclusion</b>	<b>34</b>
<b>Chapitre III .Matériel et Méthodes</b>	<b>35</b>
<b>1. Méthodologie</b>	<b>35</b>
<b>1.1. Analyse des documents de base</b>	<b>35</b>
<b>1.2. Suivi de l'expérimentation</b>	<b>35</b>
<b>2. Matériel utilisé</b>	<b>37</b>
<b>2.1. Matériel végétal</b>	<b>37</b>
<b>2.2. Matériel pédologique</b>	<b>37</b>
<b>1.2. Dispositif expérimental</b>	<b>38</b>
<b>3. Méthodes d'analyses de laboratoire</b>	<b>40</b>
<b>3.1. Analyses du sol</b>	<b>40</b>
<b>1-Préparation des échantillons de sol</b>	<b>40</b>
<b>2-L'analyse granulométrique</b>	<b>40</b>
<b>3- pH</b>	<b>40</b>
<b>4-La conductivité électrique (CE)</b>	<b>41</b>
<b>4.1. Extrait de la pâte saturée</b>	<b>41</b>
<b>4.2. Extrait non saturé</b>	<b>42</b>
<b>5-La Matière Organique</b>	<b>43</b>
<b>6-Le calcaire total (CaCO<sub>3</sub> total)</b>	<b>44</b>
<b>7- Le calcaire actif (CaCO<sub>3</sub> actif)</b>	<b>45</b>
<b>8-La capacité d'échange cationique (CEC)</b>	<b>45</b>
<b>9-Dosage de métaux lourds</b>	<b>46</b>
<b>3.2. Analyses de la plante</b>	<b>47</b>
<b>3.2.1. Dosage des métaux lourds</b>	<b>47</b>
<b>4-Analyse statistique</b>	<b>48</b>
<b>Chapitre VI : Résultat et discussions</b>	<b>49</b>
<b>Introduction</b>	<b>49</b>
<b>Partie I. Résultats d'analyses du sol et de la plante</b>	<b>49</b>
<b>I. Etude des paramètres physico-chimiques du sol.</b>	<b>49</b>
<b>1. Résultats statistiques des analyses physiques du sol</b>	<b>49</b>
<b>1. Analyse de la texture</b>	<b>49</b>
<b>2. Les résultats statistiques des analyses chimiques de sol</b>	<b>51</b>
<b>2.1. Analyses du potentiel Hydrogène (pH)</b>	<b>51</b>
<b>2.2. Analyses de la matière organique (M.O)</b>	<b>52</b>
<b>2.3. Analyses statistiques de la capacité d'échange cationique (CEC)</b>	<b>52</b>
<b>2.4. Analyses statistiques du calcaire total (CaCO<sub>3</sub>)</b>	<b>53</b>
<b>2.5. Analyses statistiques du calcaire actif</b>	<b>53</b>
<b>3. Caractérisation de la salinité du sol</b>	<b>54</b>
<b>3.1. Analyses de la conductivité électrique de la pâte saturée (CE<sub>ps</sub>)</b>	<b>54</b>
<b>3.2. Conductivité électrique de l'extrait dilué (CE<sub>d1/5</sub>)</b>	<b>55</b>
<b>4. Les métaux lourds</b>	<b>56</b>

<b>4.1. Analyse statistique du Cuivre (Cu. ppm)</b>	<b>56</b>
<b>4.1. Analyse statistique du Zinc (Zn. ppm)</b>	<b>57</b>
<b>II. Etude des paramètres physiologiques de la plante</b>	<b>59</b>
<b>1. Analyse statistique des métaux lourds</b>	<b>59</b>
<b>2.1. Analyse statistique du Cuivre (Cu. ppm)</b>	<b>59</b>
<b>2.1.1. Le cuivre dans les racines</b>	<b>60</b>
<b>2.2. Analyse statistique du Zinc (Zn. ppm)</b>	<b>61</b>
<b>2.2.1. Le zinc dans les racines</b>	<b>61</b>
<b>2.2.2. Le zinc dans les tiges</b>	<b>61</b>
<b>2.2.3. Le zinc dans les feuilles</b>	<b>62</b>
<b>2. Facteur de Translocation et Bioaccumulation des métaux.</b>	<b>63</b>
<b>2.1. Le Facteur de Bioconcentration FBC</b>	<b>64</b>
<b>2.2. Facteur de translocation FT</b>	<b>65</b>
<b>1. Les paramètres physico-chimiques du sol</b>	<b>66</b>
<b>1.1. Les caractéristiques physiques du sol.</b>	<b>66</b>
<b>1.1. La texture du sol</b>	<b>66</b>
<b>2. Les Caractéristique chimique du sol</b>	<b>67</b>
<b>2.1. Le Potentiel hydrogène</b>	<b>67</b>
<b>2.2. La matière organique</b>	<b>67</b>
<b>2.3. La capacité d'échange cationique</b>	<b>68</b>
<b>2.4. Calcaire Total</b>	<b>68</b>
<b>2.5. Calcaire Actif</b>	<b>69</b>
<b>2.6. La conductivité électrique</b>	<b>69</b>
<b>2.7. Les métaux lourds</b>	<b>69</b>
<b>1. Le cuivre</b>	<b>70</b>
<b>2. Le Zinc</b>	<b>70</b>
<b>2. Les paramètres physiologiques de la plante</b>	<b>71</b>
<b>Discussion générale</b>	<b>71</b>
<b>Conclusion générale</b>	<b>75</b>

## **Liste d'abréviation**

**CEps** : Conductivité électrique de l'extrait de la pâte saturée (dS.m-1)

**CEd<sub>1/5</sub>** : Conductivité électrique de l'extrait dilué

**CE** : Conductivité électrique du sol

**CEC** : Capacité d'échange cationique (meq/100g)

**INRAA** : Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie

**INSID** : Institut national

**MO** : Matière organique

**CV %** : coefficient de variabilité

**MOY** : La moyenne

**pH** : potentiel Hydrogène

**FBC** : Le Facteur de Bioconcentration

**FT** : Facteur de translocation

## Introduction Générale

La salinisation des sols et de l'eau, est l'un des principaux facteurs abiotiques qui limitent la productivité végétale (**Al-karaki, 2000; Baatour et al. 2004**), et le rendement agricole (**Zid et Grignon., 1991; Zhu., 2001**). Dans les écosystèmes arides et semi arides, elle résulte des fortes évaporations d'eau à partir du sol (**Munns et al. 2006**) et d'une irrégulière et insuffisante pluviométrie (**Mezniet al. 2002**). Elle provient également de l'irrigation le plus souvent mal contrôlée (**BenNaceur et al. 2001**).

Chaque année, les surfaces perdues à cause de la salinité des sols, varient autour de 20 millions d'ha dans le monde. Ainsi, ces surfaces sont passées de 48 millions à 265 millions d'ha de terres agricoles touchées par la salinité, les surfaces agricoles affectées dans le monde seraient de 340 millions d'ha, soit 23% des terres cultivées dans le monde (**Cheverry., 1995**). Selon **Szabolcs (1994)**, un milliard d'ha est menacé, dont 3,2 millions d'ha en Algérie (**Belkhouja et Bidai., 2004**).

Pour pallier cette contrainte environnementale, diverses stratégies peuvent être adoptées, par exemple l'application des techniques de drainage des sels en excès, puisqu'elles exigent un volume d'eau important pour lessiver ces sels, cette technique est très coûteuse (**Rhodes et Laveday., 1990**), de ce fait l'introduction d'espèces végétales tolérantes aux stress abiotiques et de haute valeur socio-économique, constitue une des approches pour réhabiliter les 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 halophytes 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; Ramos et al. 2004 in 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, révèlent le caractère multifactoriel des mécanismes de tolérance et d'adaptation aux stress abiotiques. La réponse au sel des espèces végétales, dépend de l'espèce même, de sa variété, de la concentration en sel et du stade de développement de la plante (**Bennaceur et al. 2001**).

Les critères d'identification de la tolérance au sel les plus usuels, incluent le rendement, la vigueur, les dommages foliaires et la taille des plantes (**Maas et Nieman., 1975; Shannon., 1984**). D'autres indices de tolérance ont été proposés, basés sur des caractéristiques physiologiques spécifiques, notamment l'absorption des oligo-éléments

nécessaires pour le fonctionnement essentiel de la plante. Néanmoins, la tolérance au sel est habituellement déterminée en termes de croissance ou de rendement (**Maas et Nieman., 1975; Shannon, 1984**).

Les réponses des plantes au stress salin ont été étudiées par l'usage des approches anatomiques, écologiques, physiologiques et moléculaires (**Tal., 1984; Sachas et HO., 1986 ; Hurkman., 1992 in Wang et al. 1997**). Des modifications morphologiques et anatomiques au niveau de la plante sont capables de minimiser les effets indésirables du stress salin (**Poljakoff-Mayber., 1988**).

Dans le but d'explorer l'effet de la salinité sur les modifications et les réponses d'ordre physiologique de la plante et de valoriser les zones menacées par la salinité, nous nous sommes intéressées à une halophyte qui est **l'Atriplex** pour ses intérêts écologiques et économiques. Les espèces du genre **Atriplex** sont souvent utilisées dans la réhabilitation de sites difficiles. Elles possèdent par ailleurs, un système racinaire très développé, fixant les couches supérieures du sol et peuvent être utilisées comme moyen de lutte contre la désertification (**Belkhodja et Bidai., 2004**).

Pour répondre à cet objectif nous avons articulé ce document en quatre parties, la première partie est consacrée à une synthèse bibliographique sur la salinité et ces effets sur le sol et sur les végétations avec une description générale sur l'Atriplex canescences, et une partie sur les oligo-éléments (Zn et Cu). La deuxième partie, est consacrée à la présentation de la zone d'étude, la troisième partie aux matériels et méthodes utilisées. Avant de conclure ce travail, une dernière partie, est consacrée à la présentation et la discussion des résultats obtenus.

**Introduction**

Une des fonctions essentielles du sol consiste à fournir à la plante les éléments nutritifs (nutriments) qui lui sont nécessaires et qui sont absorbés par les racines sous la forme minérale. même l'azote pourtant stocke dans le sol sous la forme organique.

On distingue les nutriments de base, absorbés souvent en quantité élevée par la plante (macroéléments) : azote phosphore, soufre, calcium, magnésium, potassium, et les éléments-traces (ou oligoéléments) indispensable à faible dose : bore, molybdène, fer, zinc, manganèse et cuivre. Parmi ces derniers, certains peuvent se montrer toxiques, s'ils sont en excès : manganèse et cuivre. La silice, souvent absorbée en quantité importante par la plante, n'est cependant pas considérée comme un nutriment, car elle n'est pas indispensable à la vie végétale. Enfin, il convient d'opposer aux éléments favorables, et même indispensable à la vie de la plante, ceux qui ont une action négative, voire toxique : l'aluminium des sols acides, et certains éléments rejetés par les déchets industriels, donc polluants : plomb, mercure, cadmium.

## I. La salinité

### 1. Généralités sur la salinité

#### 1.1. Définition

Le terme de salinité se rapporte à la présence des principaux solutés inorganiques dissous (essentiellement des ions  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{--}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{CO}_3^{--}$ ) dans des échantillons aqueux. La salinité est quantifiée en termes de la concentration totale de ces sels solubles, ou plus concrètement, en termes de conductivité électrique de la solution, parce que les deux sont étroitement liés (USSL, 1954).

La salinisation est l'accumulation des sels solubles (plus solubles que le gypse) à la surface du sol et dans la zone racinaire (Mermoud, 2006). La conductivité, inverse d'une résistivité (en ohms), a longtemps été exprimée en mhos (en inversant l'ordre des lettres). Dans le système international on se réfère désormais au Siemens (S), et à ses subdivisions (milli = m et micro =  $\mu$ ), pour exprimer une conductivité électrique (FAO, 1988) :

-  $1 \text{ dS / m} = 1 \text{ mS / cm} = 1 \text{ mmhos / cm} = 0.1 \text{ S / m} = 1000 \text{ } \mu\text{S / cm}$ .

- Conductivité en mmol (+) par litre:  $\text{mmol (+) / l} = 10 \times \text{CE (CE en dS / m)}$

Pour l'eau d'irrigation et les extraits de sol dans la gamme 0,1-5 dS / m.

- Conductivité en pression osmotique en bars:  $\text{PO} = 0,36 \times \text{CE (CE en dS / m)}$

Pour les extraits du sol dans la gamme de 3 à 30 dS / m.

- Conductivité en mg / l:

$\text{Mg / l} = 0,64 \times \text{CE} \times 10^3$ , ou (CE en dS / m)

$\text{Mg / l} = 640 \times \text{CE}$

Pour les eaux et extraits de sol ayant une conductivité jusqu' à 5 dS / m.

- mmol / l (analyse chimique) en mg / l.

- Multipliez mmol / l pour chaque ion par son poids moléculaire pour obtenir la somme.

#### 1.2. Définition de sols salés

Les sols salins sont naturellement présents sous tous les climats et sur tous les continents. Ils sont là où l'évaporation excède les précipitations pluviales de façon permanente ou temporaire, ils sont étroitement liés à une source de salinité d'ordre géologique (évaporites), hydrogéologique (eaux souterraines) ou hydrologique (eaux marines) (Girard et al. 2005).

Les sols salés sont ceux dont l'évolution est dominée par la présence de fortes quantités de sels solubles, ou par la richesse de leur complexe absorbant en ions, provenant de ces sels et

# **Chapitre I**                      **Synthèse bibliographique**

susceptibles de dégrader leurs caractéristiques et propriétés physiques, en particulier leur structure. On parle en général de sol salé lorsque la concentration des solutions dépasse 0,5 g/l (**Robert, 1996**). Selon **Calvet (2003)** un sol est dit salé quand la conductivité électrique est supérieure à 4 dS/m. Génétiquement, les sols sont constitués par deux unités très différentes, les Salisols, dans lesquels les sels de sodium, de calcium ou de magnésium sont sous la forme soluble de sels simples ou complexes. Les Sodisols à complexe sodique dans lesquels les cations, essentiellement le sodium, sont sous la forme échangeable, les sels solubles étant très peu abondants (**Bouteyre et Loyer, 1992**).

## **1.3. Facteurs intervenants dans le processus de la salinisation**

Selon **Jones et Gouston (1991)**, la salinisation des sols peut être due à la lixiviation des sels solubles et/ou à l'évaporation, qui dépose leurs sels dans les sols, et en régime, non saturé, la remontée capillaire entraîne un transport des sels par flux de masse vers la surface du sol où ils s'accumulent après évaporation de l'eau (**Raju et al. 1993**).

## **1.4. Origine des sols salés**

D'après **Cherbuy (1991)**, la salinisation d'un milieu, implique la présence d'une source de sels qui peut être naturelle, dénommée primaire, et une salinisation anthropique, généralement liée à l'irrigation, que l'on appellera secondaire.

### **1.4.1. Salinisation primaire**

La salinisation primaire, d'origine géologique, marine ou lagunaire correspond à une salinisation liée au fonctionnement naturel des terrains, sous l'influence du climat, de l'altération des roches et de la dynamique des eaux.

### **1.4.2. Salinisation secondaire**

Dans les zones à climat aride et semi-aride, la pratique de l'irrigation représente l'une des plus importantes causes de la salinisation secondaire.

Actuellement, on dénombre environ 350 millions d'hectares irrigués dans le monde (**Szablocs, 1994**). Ces chiffres sont susceptibles d'être augmentés à l'avenir.

En effet, **Hamdy et al (1995)**

ont constaté que les terres irriguées affectées par la salinité correspondent à 27% de la surface irriguées dans le monde. Cette menace selon **Cheverry (1995)** occasionne, chaque année des pertes de terres, variables selon les auteurs de 10 à 12 millions d'hectares.

## **2. La Salinité, les sols et les plantes**

### **2.1. La Salinité et les plante**

#### **2.1.1. Stress**

##### **2.1.1.1. Définitions du stress**

On appelle stress toute pression dominante exercée par un paramètre, perturbant le fonctionnement habituel de la plante. Par ailleurs, la réponse du végétal dépend, entre autres, de ces paramètres environnementaux, (le type de contrainte, son intensité et sa durée) et génétiques (espèce et génotype) (**Hopkins, 2003**).

Selon **Dutuit et al (1994)**, le stress est le dysfonctionnement (rupture d'un équilibre fonctionnel) produit dans un organisme ou dans un système vivant, par exemple par une carence. Le stress est un ensemble de conditions qui provoquent des changements de processus physiologiques résultant éventuellement en dégâts, dommages, blessures, inhibition de croissance ou de développement. D'après **Jones et al (1989)**: "C'est une force ou influence hostile qui tend à empêcher un système normal de fonctionner". Au niveau d'un écosystème par exemple, toute contrainte externe qui limite laproductivité en deçà de la potentialité génétique d'une plante peut être considérée comme stress (**Grime, 1979**).

##### **2.1.1.2. Catégories de stress**

Les plantes sont souvent confrontées à des conditions environnementales défavorables qu'on peut dénommer « stress » et qui ont pour conséquence une diminution de la croissance.

Tous les stress impliquent des réactions de signalisations capables d'aboutir à la mise en place de défense ou de déclencher une mort cellulaire programmée.

On distingue deux grandes catégories de stress:

**Biotique:** imposé par d'autres organismes (insectes, herbivores...).

**Abiotique:** provoqué par un défaut ou excès de l'environnement physico-chimique comme la sécheresse, les températures extrêmes, la salinité...

### **2.1.2. Conséquences de la salinité sur la plante**

La salinité est l'un des facteurs limitant pour la croissance des plantes. Les effets de la salinité sont: l'arrêt de la croissance, le dépérissement des tissus sous forme de nécroses marginales, suivi par une perte de turgescence, par une chute des feuilles et finalement par la mort de la plante (**Zid, 1982**).

## **Chapitre I**                      **Synthèse bibliographique**

La salinité provoque le plus souvent un retard dans le développement (Gili, 1979; Elmekkaoui, 1990 et Boukachabia, 1993) et d'une manière générale la hauteur, le diamètre des tiges des différentes espèces, ainsi que la grosseur des fruits, diminuent d'une façon importante avec l'augmentation de la salinité: c'est le cas de riz (Khan et al. 1997) et de la pomme de terre (Bouaziz, 1980).

D'une façon générale, la tolérance au sel n'est pas constante pour une même espèce ou variété. Elle peut changer en fonction de l'espèce, du génotype, de l'âge et de l'état physiologique de l'organe.

### **2.1.2.1. Effet de la salinité sur la germination**

Les semences des glycophytes et des halophytes répondent de la même manière au stress salin, en réduisant le nombre total des graines germées et en accusant un retard dans l'initiation du processus de la germination (Ismail, 1990 in Lachihebet al. 2004).

Parmi les causes de l'inhibition de la germination en présence de sel, la variation de l'équilibre hormonal a été évoquée (Ungar, 1978; Kabar, 1986 in Debez et al. 2001).

La germination des plantes, qu'elles soient halophytes ou glycophytes, est affectée par la salinité. Selon l'espèce, l'effet dépressif peut être de nature osmotique ou toxique.

Les effets osmotiques se traduisent par l'inaptitude des graines à absorber des quantités suffisantes en eau pour les ramener à leur seuil critique d'hydratation, nécessaire au déclenchement du processus de germination,

Les effets toxiques sont liés à une accumulation cellulaire de sels qui provoquent des perturbations des enzymes impliquées dans la physiologie des graines en germination, empêchent la levée de dormance des embryons et conduisent à une diminution de la capacité de germination (Rejili et al., 2006).

### **2.1.2.2. Effet de la salinité sur la croissance et le développement**

Le stress salin entraîne des modifications morphologiques, mais c'est le poids de la matière végétale sèche et la longueur des tiges qui rendent compte du milieu de la tolérance ou de sensibilité des plantes au sel (Bekhouche, 1992).

Selon Levigneron et al (1995), une augmentation brutale de la salinité du sol se traduit par une réduction immédiate de la croissance foliaire. Un retard de croissance important est signalé chez la plupart des glycophytes dès 50mM/l de NaCl dans la solution du sol. Par contre chez les halophytes leur croissance ne semble diminuer que pour des concentrations

beaucoup plus élevées; par exemple chez *Atriplexhalimus* L. c'est à partir de 480 mM/l de NaCl que sa production diminue (**Brun, 1980**).

Parmi les manifestations morphologiques des plantes au stress salin, on distingue une faible ramification, une diminution de la longueur de diamètre, du poids sec des tiges, racines, un raccourcissement des entre-nœuds et une diminution du nombre de nœuds, et une réduction du nombre de feuilles (**Hamza., 1977**) et de la surface foliaire chez l'haricot avec une diminution de 20% à 40% (**Larheret al. 1987**).

Ainsi les *Medicago*, plantes fourragères telle la luzerne, ont une productivité mesurée en biomasse qui peut être réduite de 40% en présence d'une concentration en sel de 12 g/l (**Levigneronet al. 1995**). Le soja, son rendement en grains diminue de 50% en présence de seulement 0,6g/l de NaCl(**Beecher, 1993 in Levigneronet al., 1995**). De même, la teneur en huile des graines d'arachide est réduite de 12 à 25% selon l'intensité du stress salin (**Heueret al., 1994 in Levigneronet al., 1995**).

La salinité influence également la croissance et la qualité des fruits dont l'aspect (fruits plus petites et nécrosés) et la qualité organoleptique sont modifiés, et dont la valeur marchande devient médiocre (**Levigneronet al, 1995**).

Le ralentissement de la croissance peut résulter de plusieurs facteurs, à savoir :

La perte de turgescence des cellules, due au stress osmotique, induit par les solutés externes (**Serrano et Gaxiola., 1994**) ; L'utilisation des composés carbonés et azotés à des fins de protection et d'osmorégulation, aux dépens de leur implication dans la production de biomasse (**Aalarcon et al. 1994**) ; L'accumulation excessive d'électrolytes dans les tissus de la plante, entraînant un effet de toxicité (**Grouziset al. 1976**) ; Le déséquilibre nutritionnel causé par l'absorption réduite des ions essentiels comme  $K^+$ ,  $Ca^{++}$  ou  $NO_3^-$  en liaison avec cette accumulation excessive (**Grouziset al., 1976 ; Haoualaet al., 2007**).

### **2.1.2.3. Effet de la salinité sur le comportement biochimique de la plante**

Sous les conditions salines il y a un changement dans le modèle d'expression des gènes, et des changements qualitatifs et quantitatifs dans la synthèse des protéines (**Reynolds et al. 2001**).

Le stress salin induit une perturbation de la composition lipidique et protéique au niveau de la membrane cellulaire, affectant ainsi sa stabilité (**Alem et Amri, 2005**). La présence du sel en forte concentration inhibe principalement le métabolisme cellulaire et la photosynthèse (**Tremblinet Coudret, 1986**) par l'imposition d'un stress osmotique (**Hayashiet Murata, 1998**) sur la cellule et par la toxicité du sodium (**Niuet al. 1995**) et du chlorure dans le cytoplasme.

# **Chapitre I**                      **Synthèse bibliographique**

## **2.1.2.4. Effet de la salinité sur les processus physiologiques de la plante**

Un excès de sel dans le protoplasme conduit à des modifications dans la balance ionique, des perturbations des enzymes, membranes et autres macromolécules. Ces perturbations entraînent une faible production d'énergie par la phosphorylation et la photorespiration, une assimilation de l'azote est perturbée, et un dérèglement de nombreuses voies métaboliques.

Si la concentration en sel excède le niveau de tolérance de la plante, des perturbations fonctionnelles apparaissent au niveau de la photosynthèse, par effet du sel dans le stroma des chloroplastes qui perturbe le transport des électrons. La glycolyse et le cercle de Krebs sont aussi affectés. L'acquisition de nutriments minéraux, comme le potassium, les nitrates ou le calcium est également réduite. La plante montre alors des signes de stress par la production d'anthocyanes ou la destruction de la chlorophylle. Si chez certaines halophytes, la croissance est stimulée par un apport modéré de sel, ce phénomène reste limité par un niveau de tolérance. Des stress extrêmes conduisent au nanisme et à l'inhibition de la croissance. Les feuilles deviennent sclérosées avant même d'avoir fini leur croissance, et l'organisme tout entier risque de dépérir assez vite.

## **2.2. La salinité et les sols**

### **2.2.1. Effets de la salinité sur le sol**

Dans les sols salins, la présence excessive de sels solubles neutres floccule la fraction argileuse, mais la maintient stable, alors que dans les sols alcalins, un excès en sodium échangeable favorise la dispersion de l'argile et rend la structure du sol instable. Ces sols sont ainsi sensibles aux encroûtements de surface qui favorisent le ruissellement de surface (**Hassan, 2005**). Une prise en masse du sol peut également réduire fortement l'infiltration de l'eau dans le sol et conduire à une hydromorphie plus ou moins importante du sol selon sa texture et sa position topographique dans le paysage (**Douaoui et al, 2004**).

Un taux de sodium échangeable élevé a pour effet une dispersion des agrégats, ce qui conduit à une réduction de la perméabilité, de la porosité et un tassement des sols. Du point de vue agricole, cela se traduit d'une part par la prise en masse du sol qui devient très compact, dur, difficile à labourer, et d'autre part, par des difficultés de germination, et d'enracinement des plantes. Par ailleurs le sol devient totalement asphyxiant, ce qui s'accompagne d'une atrophie du système racinaire, de son développement de plus en plus superficiel, avec des conséquences défavorables sur la nutrition minérale des plantes, et la baisse considérable des rendements.

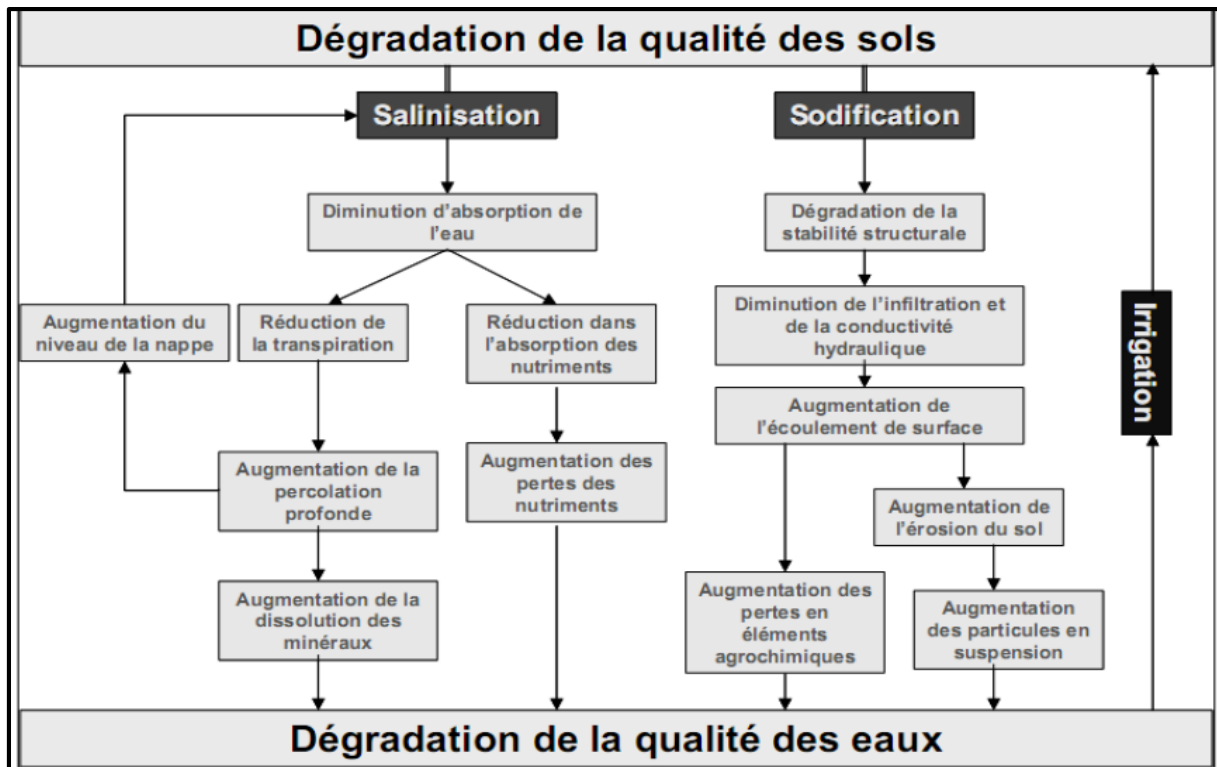


Figure 1. Processus de dégradation de la qualité des sols suite à l'irrigation (Lahlou et al, 2002).

**II – Oligo-éléments**

Ils sont indispensables à la vie des plantes, mais seulement à l'état de traces : certains sont prélevés sous la forme anionique (bore, molybdène), d'autres sous la forme cationique ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ) : ils prennent alors la forme "échangeable". Leur insuffisance engendre une carence, leur excès, au contraire, une toxicité.

**1. Les sources initiales**

Sont variées : les oligoéléments sont souvent à l'état d'impuretés de certains silicates (minéraux accessoires, surtout : abondant dans les roches éruptives basiques, sur lesquelles, les carences sont rares); d'autres sont liés aux oxyhydroxydes insolubles : certains d'entre eux, tels le fer et le manganèse, peuvent être absorbés par les plantes qu'à l'état de traces.

**2. Carence**

En dehors des cas de carences induites par la pauvreté du matériau en oligoéléments, deux types de carences sont possibles : l'une, par insolubilisation, rendant l'élément totalement inassimilable, même s'il est abondant : c'est le cas du Bore, du Fer, du Manganèse, du Cuivre et du Zinc, dans les milieux riches en calcaire actif (chlorose des calcifuges); l'autre par entraînement hors du profil, sous la forme organique complexée, dans les milieux très acides et très filtrants (sols podzoliques sur sables :  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ).

**3. Toxicité**

Dans de nombreux cas, un oligoélément, indispensable à l'état de trace, peut devenir toxique. Le manganèse a été mis en évidence dans les sols bruns acides de certaines sapinières vosgiennes, sur granite : les litières de sapins adultes accumulent le manganèse par le jeu du cycle biogéochimique, même s'il n'existe qu'en faible quantité dans le matériau minéral ; il reste échangeable dans les Moder, ce qui provoque son élimination rapide. Par contre, dans les mull acides, il se concentre sous la forme «facilement réductible ( $\text{Mn}_2\text{O}_3$ ), encore mobilisable pendant certaines saisons. Lorsqu'un certain seuil est dépassé, il s'ensuit une intoxication des espèces les plus sensibles, qui fait notamment disparaître leur régénération. Le remède consiste en un chaulage modéré, qui insolubilise le manganèse sous la forme ( $\text{Mn O}_2$ ), totalement inassimilable.

La toxicité du cuivre d'anciens sols de vignoble, abondamment traités à l'aide d'anticrotoprogamiques à base de cuivre, puis mis en culture, a été souvent signalée en agronomie : comme pour le manganèse, le chaulage diminue la toxicité du cuivre.

## **Chapitre I                      Synthèse bibliographique**

### **4. Les oligoéléments indispensables à la vie des plantes**

Comme les éléments majeurs, les oligoéléments existent dans le sol sous différentes formes : réserve inaltérée, forme mobilisable, forme échangeable et formes soluble. Mais la richesse du sol dépend en grande partie de la roche mère dont il est issu (**Pedro et Delmas, 1970**).

Parmi les roches cristallines, les roches femaphiles, les plus basiques et les plus riches en ferromagnésiens contiennent souvent d'avantage de Cu, Co, Mn, Zn que la moyenne de l'écorce terrestre (**Coppenet, 1955 et 1968**).

Les roches felsiphiles, au contraire, acides et riches en silice, sont souvent mieux pourvues en molybdène. Les roches sédimentaires, fournies à partir d'un vaste bassin de sédimentation, ont le plus souvent de bonnes teneurs en Mn, Cu et Co, et sont riches en Bore si elles sont d'origine marine, mais par exception les sables siliceux et les grès sont souvent très pauvres.

### **5. La Phytotoxicité par des oligo-éléments**

D'après (**Coïc et Coppenet, 1989**), les phytotoxicités dues aux oligo-éléments peuvent être naturelles ou provoquées par l'homme. (**Babich in Huynh, 2009**). Cette toxicité dépend de sa spéciation (forme chimique) autant que des facteurs environnementaux. Selon (**Mijno, 2007**)

La présence simultanée de plusieurs métaux peut engendrer une toxicité supérieure à celle de chaque métal séparé. Cependant l'acidité des sols, en provoquant une altération rapide des silicates et en permettant une mobilité accrue des éléments libérés, peut engendrer des prélèvements exagérés par les végétaux. Les phénomènes de toxicité en oligoéléments constituent donc un aspect particulier du problème plus général de la mise en valeur des sols acides.

Actuellement, le phénomène d'accumulation des éléments traces métalliques dans les sols agricoles est observé principalement pour le cuivre et le zinc à cause de leur teneur élevée dans certains engrais de fermes et certaines matières résiduelles fertilisantes.

#### **5.1. Effet des métaux lourds sur l'environnement**

La composition des sols qui détermine aussi la quantité des métaux lourds retenus. Les sols légers sont très peu pollués en métaux lourds : ces sols, ne contenant que de faibles quantités d'argiles et de composés humiques, ont un pouvoir d'adsorption faible vis-à-vis des métaux lourds. C'est la raison pour laquelle la pollution par les métaux lourds est plus élevée dans les sols lourds que dans les sols légers (**Bliefert et Perraud, 1997**). Sur l'environnement, il a un effet neurologique sur le comportement (mésos-faune et macro-faune); il inhibe l'activité microbienne dans la décomposition de la matière organique. Le zinc n'a pas d'effet cancérigène par voie orale ou par inhalation. Dans l'environnement, le zinc perturbe

## Chapitre I                      Synthèse bibliographique

l'écosystème forestier au niveau de la décomposition de la matière organique et du recyclage des nutriments (Mijno, 2007).

### **5.2. Effet des métaux lourds sur les plantes**

Les plantes, comme les invertébrés, réagissent de façon différente selon les variétés. Certaines sont peu ou pas tolérantes et meurent au contact des métaux lourds. D'autres ont des réactions de défense, et freinent l'absorption en sécrétant des acides qui vont augmenter le pH et par conséquent réduire la mobilité des éléments traces. D'autres enfin, sont tolérantes aux métaux, et même les accumulent, les concentrent (Gérard Miquel, 2001). En général, lorsque les teneurs en métaux lourds et autres polluants augmentent dans les sols, ces teneurs augmentent aussi dans les plantes. Le transfert des métaux lourds des sols aux plantes peut s'évaluer à l'aide du facteur de transfert F, défini comme le quotient de la concentration des métaux dans les plantes sur la concentration des métaux dans le sol (Bliefert et Perraud, 1997).

$$F = \frac{\text{Concentration du métal dans les plantes}}{\text{Concentration du métal dans les sols}}$$

Ce facteur ne donne qu'un ordre de grandeur pour décrire le transfert de certains métaux lourds du sol dans les plantes. Les valeurs de F se situent entre 0.001 et 10 (tableau 01).

**Tableau N°1** : Les valeurs du facteur de transfert de certains métaux lourds du sol vers les plantes.

Elément	Facteurs de transfert (F)	Mobilité des ions
Pb,Hg,Co,Cr	0.001...0.1	Faible
Ni,Cu	0.1...1.0	Modérée
Zn,Cd,Ti	1.0...10	Bonne

(Source : Bliefert et Perraud, 1997)

### **6. Influencent des caractéristiques physico-chimiques du sol sur la disponibilité des éléments mineurs**

La plupart des composés organiques et minéraux du sol (argile, oxydes, matières organiques) possède des charges positives ou négatives de surface qui peuvent jouer un rôle dans l'échange et l'adsorption d'ions ou de molécules organiques (Deneux-Mustin et al.,2003). Selon (Tran et al.,1995),pour les éléments mineurs, leur disponibilité potentielle dépend des types de sols et particulièrement leurs caractéristiques physico-chimiques. (Deneux-Mustin et al., 2003).Les facteurs les plus importants sont :

#### **6.1. Influence du pH**

## **Chapitre I**                      **Synthèse bibliographique**

De façon très générale, lorsque les éléments sont chimiquement stables sous forme de cations, leur solubilité diminue lorsque le pH augmente. Les variations de pH induisent aussi la formation de phases solides précipitées (hydroxydes et oxyhydroxydes) qui d'une part, peuvent limiter la solubilité et la disponibilité des éléments, et d'autre part, servir par nucléation de processus à la formation d'espèces minérales plus stables immobilisant les éléments. Toutefois, l'amplitude des variations du pH est largement pondérée par la nature des constituants organiques ou minéraux du sol et des changements de régimes hydriques ou thermiques imposés par le climat.

### **6.2. Influence du potentiel redox**

Les équilibres redox interviennent aussi dans la mobilité des ions en solution dans le sol. Le potentiel d'oxydoréduction ou potentiel redox permet de définir les conditions oxydoréductrices du milieu et de préciser les espèces chimiques les plus probables. Les espèces oxydées existent en général pour des potentiels élevés alors que les faibles valeurs de potentiel redox favorisent l'apparition des espèces réduites. Le potentiel redox varie selon les sols et, pour un même sol, selon les conditions locales. Ses valeurs vont d'un maximum d'environ +600mV (conditions oxydantes) à un minimum d'environ -300mV (conditions très réductrices). Pour un sol donné, le potentiel redox du pH (il augmente quand le pH diminue), de la présence de substances organiques acides (les pluviollessivats peuvent diminuer temporairement le potentiel redox), de l'hydromorphie (abaissement du potentiel redox par diminution de la pression partielle en oxygène).

### **6.3. Influence des ligands minéraux et organiques**

Dans les sols, la solubilité des éléments cationiques est limitée par la formation de sulfates, de phosphates, d'oxyhydroxydes et de carbonates en fonction du pH. L'aptitude à la complication des éléments par des ligands organiques dépend de nombreux paramètres comme du rapport des concentrations ligand/métal, mais aussi du pH. Les ligands organiques peuvent aussi modifier profondément la spéciation et la réactivité des cations. La complication par des acides carboxyliques de faible masse moléculaire accroît généralement la mobilité d'éléments cationiques tels que les métaux.

## **7. Mécanisme de tolérance des plantes aux métaux lourds**

Parmi les végétaux tolérants, il est possible de caractériser trois grands types différents de stratégies vis-à-vis des contaminants métalliques, basées sur les rapports entre les teneurs en métaux lourds du sol et celles des organes aériens des plantes considérées (**Baker, 1981**). On définit alors :

### **7.1. Les accumulateurs**

Pour lesquels les métaux sont concentrés, souvent préférentiellement dans les parties aériennes, quelle que soit la concentration métallique dans le sol.

### **7.2. Les excluders**

Qui présentent une faible concentration foliaire, maintenue constante par régulation du transport depuis les racines tant que la concentration dans le sol reste relativement peu élevée. Dans le cas contraire, le mécanisme de régulation est dépassé et une accumulation importante a lieu entraînant la mort de l'individu.

### **7.3. Les indicateurs**

Ne présentent aucun contrôle de la translocation. Par conséquent, les concentrations racinaires et foliaires sont en équilibre, et proportionnelles aux teneurs du sol. C'est le cas, par exemple, du pissenlit (***Taraxacum officinale***) qui accumule divers métaux lourds en fonction de la pollution environnementale (**Kuleff and Djingova, 1984**).

## **8. Caractéristiques des métaux lourds**

### **8.1. Le cuivre**

#### **8.1.1. Cuivre total dans le sol**

D'après (Loué, 1993) Les teneurs total variant de 3 à 100 ppm suivant les sols ayant reçu de nombreux traitements anticryptogamiques à base de Cu. La teneur en Cu total d'un sol est reliée à celle de la roche mère. Des teneurs totales en cuivre inférieures ou égales à 7ppm entraînent des carences cupriques et, en revanche, des toxicités apparaissent au-delà de 180 ppm (Coic et Coppenet in Baize, 2000).

#### **8.1.2. Différentes formes d'un même élément**

Dans les roches de l'écorce terrestre, le Cu se trouve principalement sous forme de sulfures, soit sulfures simples soit sulfures complexes comportant d'autres métaux, la forme la plus courante dans le sol est l'ion bivalent  $\text{Cu}^{++}$ , peu mobile car fortement adsorbé sur le complexe argilo-humique, particulièrement par la matière organique (Loué, 1993). Une analyse approfondie conduirait à distinguer chaque forme, chaque espèce chimique: c'est la spéciation (Baize, 2000). Voici à titre d'exemple, les diverses formes chimiques du cuivre que l'on peut trouver dans les sols.

Complexes	citrate, fulvate, humate, oxalate, etc.
Anions	$\text{HCuO}_2^-$ ; $\text{Cu}(\text{CO}_3)_2^-$
Cations	$\text{Cu}^{++}$ ; $\text{CuOH}^+$ (ion hydroxo)
Espèce neutres	$\text{CuCO}_3$ (carbonate) ; $\text{Cu}(\text{OH})_2$ (hydroxyde)

#### **8.1.3. Causes de déficience en cuivre**

Les principaux facteurs susceptible de favoriser l'apparition de déficiences de Cu sont les suivants (Loué, 1993) : Les faibles réserves du sol en Cu total ou la mauvaise disponibilité de Cu du sol pour les plantes, le pH du sol, les interactions avec d'autres éléments fertilisants, types de sols déterminés ou des sols développés sur une roche mères pauvres en cuivre.

#### **8.1.4. Correction de la déficience en cuivre**

Pour corriger les déficiences de Cu, on peut appliquer les engrais sous forme minérale ou organique (Loué, 1993).

#### **8.1.5. Excès du cuivre**

L'utilisation de sels de cuivre pour lutter contre les maladies cryptogamiques et notamment contre le mildiou est à l'origine de l'accumulation de ce métal jusqu'à des niveaux toxiques : certains sols de vieux vignobles français contiennent des quantités de cuivre total qui dépassent souvent 500 mg/kg de terre. Les plantes pérennes en place dont les systèmes

racinaires sont situés à grande profondeur ne souffrent pas de cette accumulation du métal qui demeure retenu en surface. Par contre, les cultures annuelles suivantes ou les jeunes plantations extériorisent très vite les symptômes de toxicité : levée irrégulière, atrophie du système racinaire (sont épaisses, moins ramifiées, avec des radicelles de couleur anormalement foncée) (Loué, 1993), ralentissement du développement (Delas et Juste, 1975) s'accompagnant parfois de rougissements et de nécroses. Les symptômes de toxicité se manifestent pour des pH inférieurs à 6 dès que la teneur en cuivre échangeable dépasse 25 mg/kg dans les sols sableux (Delas, 1963) et 100 mg/kg de terre dans les sols argileux (Drouineau et al., 1953). Le cuivre demeurant bloqué dans les racines, le diagnostic par analyse des parties aériennes est très difficile.

La méthode de lutte la plus efficace est le chaulage mais, quand l'accumulation est trop importante, on doit faire appel en outre à des apports massifs de matière organique, qui bloque le cuivre ou favorise au contraire son entraînement en profondeur (Delas, 1967).

### **8.1.6. Les plantes sensibles et symptômes de carences en cuivre**

Les roches suffisamment riches en cuivre sont les roches sédimentaires ou les roches cristallines les plus riches en Ca, Fe, Mg et notamment celles qui contiennent de la biotite. L'élévation du pH est défavorable à la solubilité des sels de cuivre mais c'est sur les sols pauvres en Cu total, issus de granulites, granites à muscovite, limons, grès, que l'on trouve la carence.

Les céréales, sauf le seigle, sont très sensibles à la carence en cuivre ainsi que les petits pois et le trèfle violet. Les graminées fourragères, sur les sols les plus déficients, peuvent extérioriser le symptôme du « bout blanc des plus jeunes feuilles » (Coïc et Coppenet, 1989). Une carence légère affecte d'abord les organes reproducteurs, une carence grave affecte tous les organes. Les arbres à pépins présentent des nécroses de la pointe et du bord des feuilles rappelant ainsi une carence en potasse. Les feuilles les plus jeunes tombent prématurément dans le courant de l'été laissant les extrémités des rameaux nues et desséchées, la croissance en hauteur est très perturbée. L'incorporation au sol de 7 à 8 kg de Cu/ha guérit la carence des plantes annuelles pour de longues années.

## **8.2. Le zinc**

### **8.2.1. Zinc total dans le sol**

D'après (Loué, 1993) la teneur des sols en Zn total dépend beaucoup de celle de la roche mère et se situe entre 10 et 300 ppm. Selon Baize, 2000, le zinc est présent le plus souvent sous forme de sulfure (blende) dans des filons hydrothermaux et des gîtes stratiformes imprégnant des roches sédimentaires où il se trouve associé au plomb, au fer, et au cuivre

## **Chapitre I**                      **Synthèse bibliographique**

(association blende, pyrite, Galena, chalcopryrite). Le zinc peut être considéré comme très mobile. Les formes les plus mobiles du zinc seraient facilement adsorbées par les constituants organiques et minéraux des sols.

### **8.2.2. Solubilité du Zinc**

Le zinc diffère du cuivre du fait que son sulfure est plus soluble. La solubilité de Zn est particulièrement faible dans les sols à haut pH. La solubilité de Zn du sol et des minéraux est maximale à pH 4 et beaucoup plus faible dans les conditions neutres et surtout alcalines. La solubilité de Zn dans les sols peut être améliorée par des engrais acidifiants (**Loué, 1993**). Des études avec  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  ont montré qu'en présence de fortes concentration  $\text{SO}_{4.2}$  il y avait formation de  $\text{ZnSO}_4$  particulièrement mobiles dans les sols et susceptible d'augmenter l'assimilabilité de Zn.

### **8.2.3. Mobilité du Zinc**

En comparaison avec le Cu, le Zn est plus mobile. L'intensité de l'absorption de Zn tend à croître avec l'élévation du pH, et la mobilité de Zn se trouve nettement diminuée au-dessus de pH 7. La matière organique du sol forme des complexes très stables avec Zn et les acides fulviques et humiques sont très importants dans l'adsorption du zinc. Cependant, le Zn est l'un des métaux lourds les plus mobiles (**Loué, 1993**).

### **8.2.4. Causes de déficience**

D'après (**Loué, 1993**), les principaux facteurs susceptibles d'engendrer ou d'aggraver la déficience en zinc sont soit la pauvreté naturelle des sols en zinc, soit la mauvaise assimilabilité de Zn et les conditions favorables à ces déficiences sont bien identifiées :

- Sols à bas niveau en Zn (en particulier les sols sableux acides lessivés),
- Sols pauvres en matière organiques,
- Sols calcaires (Zn du sol moins assimilable),
- Basses températures.

Mais il y a aussi des traitements du sol et des pratiques culturales qui sont susceptibles d'accroître les cas de déficience en Zn :

- Sols nettement enrichis en P par la fertilisation pratiquée (mais l'effet de P sur l'absorption de Zn varie avec les sols et les cultures et avec les niveaux P, Zn en cause),
- Système racinaire mal développé (sols compactés, sols trop souvent nivelés pour l'irrigation),
- Chaulage des sols acides à trop fortes doses,
- Fortes fertilisations N éventuellement.

**8.2.5. Les symptômes de déficience en zinc**

D'une manière assez générale, les symptômes les plus permanents de la déficience en Zn sont des signes de chlorose entre les nervures, de réduction de taille et de malformation des rameaux et des feuilles. La déficience du Zn perturbe le métabolisme de l'auxine (entre-nœuds plus courts) et inhibe la synthèse de l'ARN, nuisant ainsi au développement normal des chloroplastes (Loué, 1993).

**8.2.6. Excès de zinc**

D'après (Loué, 1993), en quantité excessive dans le sol, le zinc peut devenir toxique pour les plantes. La toxicité de Zn concerne généralement des sols acides ou des cultures sur solutions nutritives. L'excès de Zn se traduit par des teneurs en Zn anormalement élevées dans la plante, soit supérieures à 400ppm.

Des accidents dus à un excès de zinc ont été observés sur des cultures de cotonnier en sol acide précédemment occupé par des plantations de pêchers traités avec des sels de zinc (Lee et al., 1969) ; l'addition de chaux fait disparaître les symptômes d'intoxication (croissance défectueuse et chlorose ferrique). En sol sableux neutre, pauvre en matière organique, un apport de 250 kg/ha de sulfate de zinc entraîne une chute sensible du rendement d'une culture de pommes de terre (Dartidues, 1968), une application de 1500 kg/ha dans le même type de sol ne provoque aucun effet dépressif sur une culture de maïs. Le zinc est assez facilement transporté vers les parties aériennes des végétaux : certaines espèces résistantes qui colonisent les terrains situés à proximité d'usines d'extraction de minerai de zinc peuvent ainsi accumuler des quantités énormes de ce métal (Petit, 1974).

**8.2.7. Les plantes sensibles et symptômes de carences en zinc**

Dans la croûte terrestre on rencontre surtout le zinc sous forme de sulfure ou blende. Lorsque le pH de la couche arable est supérieur à 6, l'alimentation zincique de certains végétaux peut devenir insuffisante, surtout si l'on est en présence d'une forte teneur en phosphates. Les plantes sensibles à cette carence sont le maïs, le lin, le haricot, les arbres fruitiers, la vigne avec un symptôme commun, la « maladie des rosettes ». Les entre-nœuds sont raccourcis, les feuilles sont petites, cassantes, à bord ondulé avec parfois des plages chlorotiques ; elles sont groupées en rosettes. Les feuilles sont petites et déformées (Coïc et Coppinet, 1989). STOATE (1950) signale une carence zincique sur *pinus radiata* en Australie, le maïs, particulièrement sensible, présente des signes de carence sur les sols de pH voisin de 6,5. On peut guérir cette carence par pulvérisation foliaire de  $(\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O})$ , mais

pour un effet durable de plusieurs années il est nécessaire d'enfouir des quantités de ce même sel allant de 50 à 75 kg /ha suivant l'importance du complexe absorbant.

### **III. L'Atriplex**

#### **1. Définition**

Les plantes du genre *Atriplex* sont des halophytes présentes dans la plupart des régions du globe. Ce sont des plantes qui poussent sur des terrains riches en chlorures et nitrates (terrains salés) (**LeHouerou, 1992**). Ces plantes élèvent leur concentration osmotique à un niveau supérieur à celui du sol et accumulent une grande quantité de sels. Les *Atriplex*s semblent actuellement les plantes les mieux adaptées pour stabiliser et augmenter la production fourragère en climat semi-aride et aride. Ils sont susceptibles de mettre en valeur des terres où la végétation naturelle est profondément dégradée et la production agricole très irrégulière; ou encore des terres chargés en sels sur les quelles peu d'espèces peuvent se développer. Leur production fourragère, bien qu'ayant un maximum en fin de printemps, peut être exploitée dans certains milieux presque, toute l'année (**Fromnet, 1972**).

L'*Atriplex* est une plante arbustive, appartenant à la famille des *Amaranthaceae* qui comprend 1400 espèces, réparties en une centaine de genres. Le genre *Atriplex* comprend environ 417 espèces dans le bassin méditerranéen (**LeHouerou, 1992**). En Afrique du nord, le genre *Atriplex* comprend 15 espèces spontanées et 2 espèces introduites, soit 07 espèces vivaces, 01 bisannuelle et 09 annuelles (**Farncltet LeHouerou, 1971**). Par ailleurs, **Maire (1962)**, a identifié une dizaine d'espèces en Algérie dont les plus répandues sont: *Atriplex halimus* et *Atriplex portulacata*.

#### **2. Répartition des *Atriplex***

Dans le monde, les *Atriplex* se rencontrent de l'Alaska à la Patagonie, de la Bretagne à la Sibérie et de la Norvège à l'Afrique du sud (**Francltet LeHouerou, 1971**). En Algérie, l'*Atriplex* est spontané dans les étages bioclimatiques semi-aride et arides, les plus grandes superficies correspondent aux zones dites steppiques (Tébessa, Batna, M'sila, Boussaâda, Biskra, Djelfa, Tiaret, Saida...). Le genre *Atriplex* se rencontre aussi sur le littoral et même au Sahara, particulièrement dans la région de Béchar où les nappes longent les dépressions d'Oued (**Benrebiha, 1987**).

**3. Caractéristiques écologiques de l'Atriplex**

Les Atriplex présentent une bonne tolérance aux conditions défavorables du milieu: l'Atriplexe halimus L.cv halimussupporte des concentrations de chlorure de sodium (NaCl) voisines de celles de l'eau de mer (30 g/l) (**Zid et Boukheris, 1977**).

Cependant, les graines ne sont pas aussi tolérantes au sel au stade germination.

En effet, **Belkhodjaet Bidia (2004)** rapportent que la germination des graines d'Atriplex halimus des sites de Djelfa et de Senia est inhibée dès que la concentration en NaCl dépasse 5 g/l. L'examen de la répartition du genre Atriplexe, montre que la plupart des espèces se situent dans les régions où les précipitations varient entre 200 et 400 mm/an (**Francllet et Le Houerou., 1971**). L'Atriplex supporte des températures minimales de 5 à 10°C (**Froment., 1972**) et selon (**H.C.D.S., 1996**) l'Atriplexehalimuspeut supporter jusqu'à -10°C. Selon **Froment (1972)**, cette espèce peut s'adapter à des milieux divers. Selon **Killian (1953)**, les Atriplexeprospèrent dans les sols sableux et limoneux. Pour **Pouget(1971)**, l'espèce Atriplexe halimuss'accommode à divers types de sols mais selon **Forment (1972)**, il préfère les sols limoneux. Par contre l'Atriplexecanescensse développe mieux dans les sols sableux et argileux (**H.C.D.S., 1996**).

**4. Potentiel écologique et économique de l'Atriplex****4. 1. Intérêt fourrager**

Au vu de sa grande résistance à la sécheresse, à la salinité et à l'ensoleillement, les Atriplexe constituent une réserve fourragère importante, utilisable par les ovins, les caprins et les camélidés (**Castroviejoet al. 1990**). Sous des précipitations annuelles de 200 à 400 mm, Atriplex halimus compte, avec Atriplex nummularia et Atriplex canescens, parmi les espèces les plus intéressantes, produisant de 2000 à 4000 kg de matière sèche par an et par ha de fourrage riche en protéine (10 à 20 % de la MS) (**LeHouerou., 1992; Ben Ahmed et al. 1996**). Cependant, la teneur importante en NaCl du fourrage augmente la consommation en eau des animaux et diminue son appétence, pouvant à terme limiter l'exploitation d'Atriplexe halimus en tant que plante fourragère dans les régions où l'accès à l'eau est difficile.

**4. 2. Mise en valeur des sols pauvres**

Les Atriplex sont les arbustes les mieux adaptés aux régions arides et au sol pauvres, d'autres part, la couverture d'Atriplexe accroît considérablement la perméabilité des sols et l'augmentation de drainage dans les horizons superficiels. Elles permettent la reconstitution d'un tapis végétal herbacé.

## Chapitre I                      Synthèse bibliographique

Elles sont susceptibles de mettre en valeur des terres où la végétation naturelle est profondément dégradée et la production agricole irrégulière.

Les Atriplex permettent également de remettre en état de nombreux pâturages à flore et sols dégradés. En Algérie les essais réalisés dans les régions de Djelfa et Boussaâda avec plusieurs espèces d'Atriplex dans le cadre du "barrage vert" ont donné des résultats satisfaisants (**Benrebiha, 1987**).

### **4. 3. Mises en valeur des sols salés**

Les plantations d'Atriplex peuvent permettre la récupération des zones salées surtout avec l'Atriplex halimus qui est particulièrement résistant au NaCl. Sa croissance est stimulée en présence de NaCl à 150 Mm (**Ben Ahmed et al. 1996**). Les Atriplex peuvent aussi "désaliniser" les sols. En effet la teneur en NaCl atteint 20% de la matière sèche pour Atriplex nummularia (**Sarson., 1970**). IL est possible d'extraire d'un hectare 1100 Kg de NaCl en une année de culture (**Franclet et LeHouerou, 1971**). Les Atriplex sont donc des plantes qui peuvent être utilisées dans les régions menacées par la salinité.

D'après **LeHouerou et Pontanier (1987)**, les espèces d'Atriplex qui ont suscité un intérêt particulier sont: Atriplex glauca; Atriplex malvana; Atriplex repanda; Atriplex atacamensis; Atriplex mollis; Atriplex sembiccata; Atriplex halimus; Atriplex canescens; Atriplex vesicaria. Selon ces auteurs, cinq espèces seulement présentent un réel intérêt pratique dans un avenir immédiat:

- **Atriplex nummularia**: en raison de sa productivité élevée et sa bonne appétibilité.
- **Atriplex halimus**: en raison de sa grande rusticité et de sa facilité d'implantation.
- **Atriplex canescens**: en raison de sa haute productivité et son adaptation aux sols sableux.
- **Atriplex glauca**: en raison de sa facilité d'implantation par semis direct et de son rôle antiérosif.
- **Atriplex mollis**: en raison de son adaptation aux sols hydromorphes salés et de sa bonne appétibilité.

## **5. Présentation d'*Atriplex canescens***

### **5. 1. Systématique de l'espèce**

**Règne Végétal** (Pursh) Nutt.

**Embranchement** Spermaphytes (Phanérogames)

**Sous-embranchement** Angiospermes

**Classe** Dicotylédones

**Sous- classe** Apétales

**Ordre** Centrospermales

**Famille** Amaranthaceae (Chénopodiacées)

**Genre** *Atriplex*

**Espèce** *A. canescens* (Pursh) Nutt



**Photo 2.**Plante *Atriplex canescens*

(Pursh) Nutt.

Dans sa terminologie originelle (Etats-Unis), il est connu sous le nom de «Forwingsaltbush», dans le sens de buisson salé. Son nom arabe est aussi le **G'ttaf**.

### **5. 2. Origine**

Plante originaire du Mexique et du Canada, elle s'est largement propagée en Afrique du Nord et au Moyen-Orient. Elle est cultivée dans les étages humides et subhumides, semi arides et arides (**H.C.D.S., 1996**).

### **5. 3. Description**

L'*Atriplex canescens* est un arbuste buissonnant de 1 à 3 m de hauteur, à port plus ou moins étrié, formant des touffes de 1 à 3 m de diamètre.

Les rameaux blanchâtres sont étalés, ascendants ou arqués, retombants vers l'extrémité. Les feuilles courtement pétiolées ou sub-sessiles, sont alternes, et leur limbe linéaire, lancéolé et uninervé est vert grisâtre. Il peut atteindre 3 à 5 cm de longueur et 0,3 à 0,5 cm de largeur. Des feuilles axillaires plus petites (0,5 à 1,5 sur 0,1 à 3 cm) sont aussi présentes le long de l'axe feuillé.

Les inflorescences dioïques en épis simples ou panicules sont au sommet des rameaux pour les fleurs mâles et axillaires ou en épis sub-terminaux pour les fleurs femelles. Les graines vêtues de 4 ailes à bords denticulés, ont des dimensions de 10 à 20 mm (**Benrbiha, 1987**).

## Chapitre II. Présentation de la zone d'étude

### 1. Situation géographique

Le périmètre de la mina se trouve dans le bassin inférieur de l'Oued Chéelif et couvre une superficie totale de 20000 Ha environs. Il fut créé en 1945 et il est considéré parmi les plus anciens périmètres irrigués de l'Algérie (ANRH, 2003).

La partie centrale du périmètre se trouve dans le Nord de l'Oued Mina, qui coule et se jette dans l'Oued Chéelif. La partie Ouest s'étend à gauche et à droite de la route nationale N°4 et comprend le voisinage immédiat de la ville d'El Matmar. La partie Est s'étend à gauche et à droite de la RN°4 et comprend les environs de la ville de Oued Djemaa (Fig3).



Figure 3. Carte de situation de la plaine de la Mina (Relizane).

### 2. Synthèse climatique

Pour estimer rapidement l'influence des principaux éléments, divers systèmes sont proposés. Les plus utilisés en région méditerranéenne sont: le diagramme ombrothermique de **Bagnouls et Gaussen** et le climagramme pluviométrique **d'Emberger**.

Ces deux systèmes résument le bioclimat d'une station donnée par trois éléments fondamentaux du climat: précipitations (mm) - températures maximales et minimales (°C)

Les données climatiques dans la présente étude proviennent de la station météorologique de Relizane et couvrent une période de 19 ans allant de 1988 à 2006.

Ces données recueillies concernent les températures maximales M (°C), les minimales m (°C) et les précipitations P (mm).

Concernant l'évapotranspiration potentielle, les valeurs sont celles de l'ANRH qui ont été calculées avec les données de Seltzer.

**1) Les précipitations**

D'après le **tableau.2**, on remarque que les valeurs des moyennes mensuelles de la pluviométrie indiquent un maximum de sécheresse durant le mois le plus chaud (Juillet) avec une pluviométrie de 01.5 mm, par contre le mois le plus humide est Novembre avec 39.4 mm. La répartition mensuelle des pluies laisse apparaître une répartition irrégulière de celles-ci. En effet, d'après la **figure.4**, 72.5 mm sont enregistrées, au cours de l'automne soit 28.6 % du total, 90.1 mm, en hiver soit 35.6% du total et 80.1 mm, pendant le printemps, soit 31.6 % du total.

**Tableau 2.** Relevés pluviométriques de la station de Relizane (**Période de 1988 à 2006**)

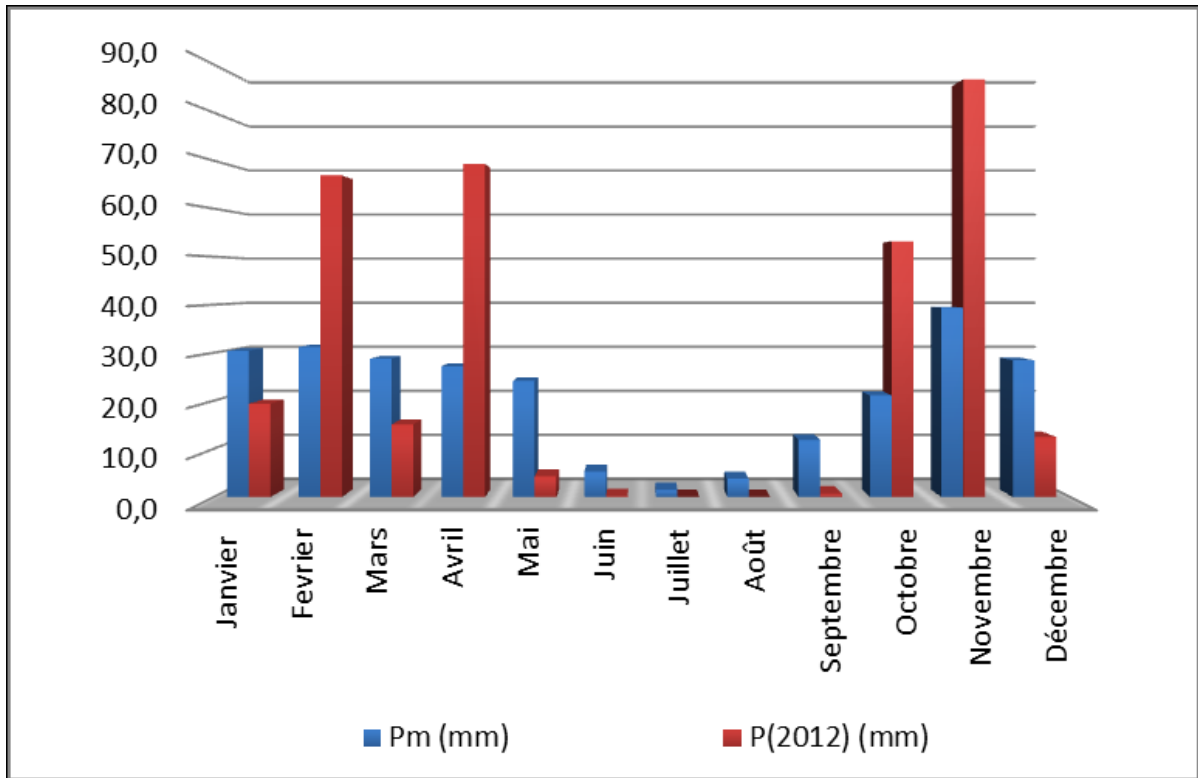
Station	Relizane (1982-2005)
Code	13505
Coordonnées : X (Lambert en km) Y	304.3 272.2
Altitude (m)	75
Pluie / Année (mm)	253,3

**Tableau 3.** Précipitations moyennes mensuelles et annuelles de la station de Relizane en (mm) pour la période (1988 – 2006).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	T
Pluie (mm)	11.2	21.2	39.4	28.4	30.4	31.2	28.8	27.2	24.2	5.3	1.5	3.8	253.3

**Tableau 4.** Précipitations mensuelles, en (mm), de l'année 2012 de la station de l'INRA de H'madna, Relizane.

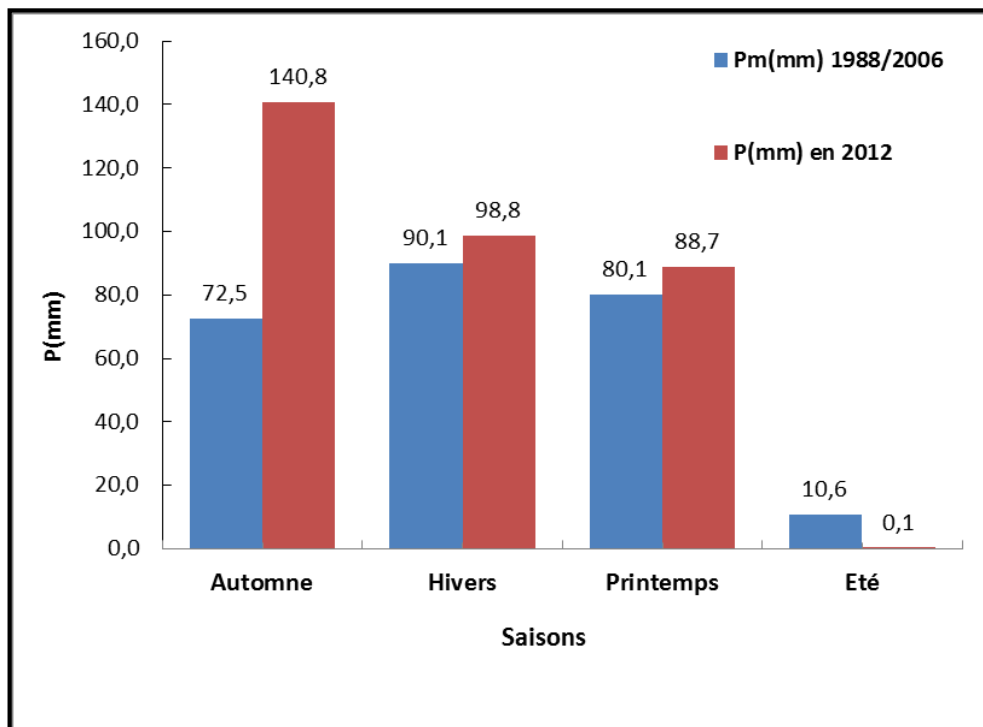
Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	T
Pluie (mm)	0.7	53.2	86.9	12.5	19.4	66.9	15.1	69.3	4.3	0.1	0.0	0.0	328.5



**Figure 4.** Histogramme des précipitations moyennes mensuelles

- Pm : précipitations moyennes mensuelles (mm) (station de Relizane - 1988/2006)

-P(2012) : précipitations moyennes mensuelles (mm) de l'année 2012 de la station de l'INRAA, H'madna, Relizane.



**Figure 5.** Histogramme du régime saisonnier de la région d'étude.

2) Les températures

La caractéristique de la température en un lieu donné se fait généralement à partir de la connaissance d'au moins cinq variables importantes qui sont les moyennes des minimums et des maximums, la moyenne mensuelle, le minimum absolu et le maximum absolu ainsi que l'amplitude thermique.

Des fortes variations saisonnières sont enregistrées entre le mois le plus chaude 38.9 °C, en Juillet, et le mois le plus froid 6.1 °C, en Janvier, ou la moyenne annuelle est de 20 °C (Tab.5)

**Tableau 5.** Moyennes mensuelles des températures (°C) de la station de Relizane pour la période (1988 – 2006).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Moy
m °C	17	14,5	9	7,7	6,1	6,4	9,4	11,6	15	17	21,1	20,8	13,0
M °C	32,5	27,1	23,1	19,3	17,2	18,9	23	24,2	30,1	34,7	38,9	38,5	27,3
Moy°C	24,2	20,8	15,9	13,6	11,6	12,8	16,1	18,5	22,7	25,8	29,6	29,3	20

- M: moyenne mensuelle des maximums.

- m: moyenne mensuelle des minimums.

- Moy : Moyenne mensuelle.

3) L'évapotranspiration

L'évapotranspiration est très importante au mois d'Août avec 232 mm par contre elle est très faible au mois de Décembre avec 39 mm.

**Tableau 6.** Evapotranspiration potentielle moyenne en mm, établie selon la formule PENMAN (18 ans). (Station ONM de Relizane).

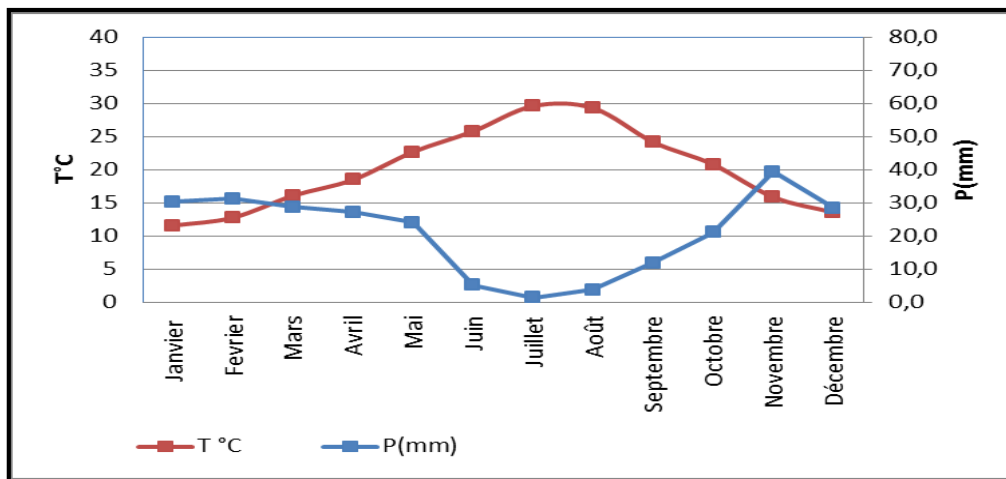
Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	T
ETP (mm)	44	60	99	137	174	198	231	232	153	98	55	39	1523

#### 4) Classification du climat

##### a) Diagramme Ombrothermique de Gausсен et Bagnouls

Le diagramme ombrothermique de **Gausсен et Bagnouls** est une méthode graphique qui permet de définir les périodes sèche et humide de l'année, où sont portés en abscisses les mois, et en ordonnées les précipitations (**P**) et les températures (**T**), avec  $P=2T$ .

La **figure.6** porte le Diagramme Ombrothermique de la région de Relizane établi à partir des données pluviométriques et thermiques moyennes mensuelles calculées sur une période de 19ans. D'après ce diagramme, la saison sèche s'étale sur une période de 07 mois, au cours de l'année. La figure.6 montre la courbe des pluies passant au-dessous de la courbe des températures.



**Figure 6.** Diagramme ombrothermique de la station de Relizane (1988-2007).

##### b) Climagramme d'Emberger

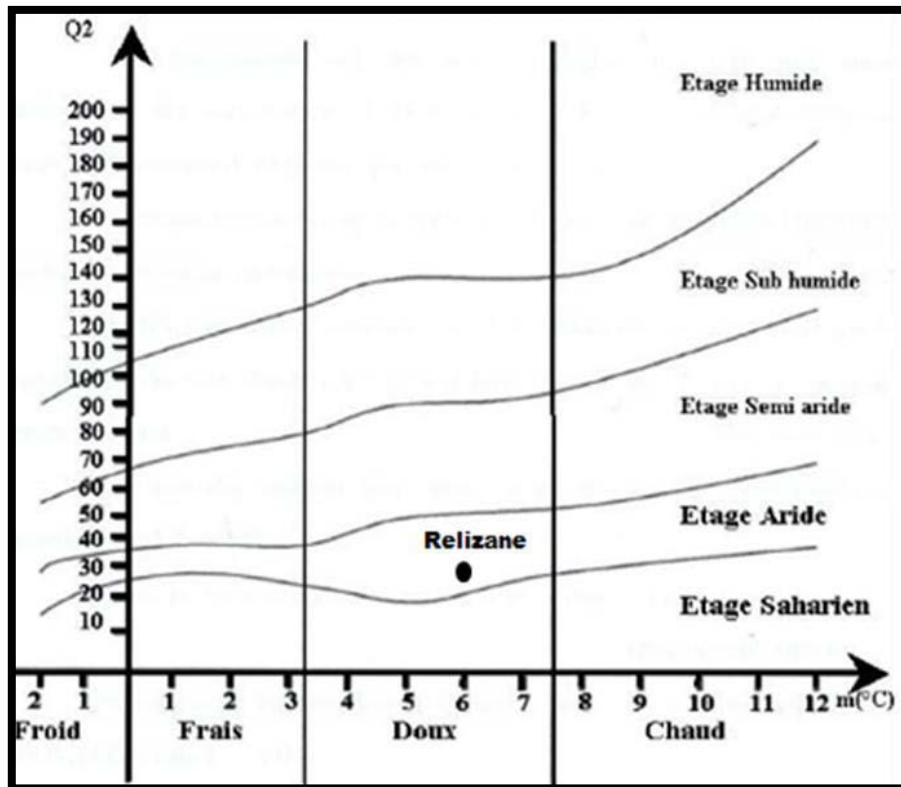
Ce climagramme permet, grâce au quotient pluviométrique de **Stewart (Q)** spécifique au climat méditerranéen, de situer une zone d'étude dans un étage bioclimatique.

Ce quotient tient compte des précipitations et des températures est déterminé comme suit :

$$Q = 3.43 \times PM - m$$

- Q : le quotient pluviométrique d'Emberger ;
- P : Pluviométrie annuelle moyenne en mm = à 253.3 mm
- M : Moyenne maximale du mois le plus chaud = à 38.9°C
- m : Moyenne minimale du mois le plus froid = 6.1°C

Après application de la formule, nous obtenons la valeur de Q égale à 26,5, ce dernier situe Relizane dans l'étage Aride (**Fig.7**).



**Figure 7.** Diagramme pluviométrique d'Emberger pour la station de Relizane(1988- 2006).

## 2.5. Conclusion

Selon l'analyse climatique, La plaine de la Mina est caractérisée par un climat contrasté, à hiver froid s'étalant de Novembre à Février. Ses caractéristiques essentielles sont : une faible pluviosité annuelle (328.42mm.), irrégulière d'une année à l'autre (du simple au double, 183mm en 1992, 365mm en 2000 et 272 en 2001), une sécheresse estivale de Mars à Octobre, et souffre d'un déficit pluviométrique de 1194.6 mm/an qui confère à l'irrigation un caractère obligatoire. Grâce au quotient pluviométrique d'Emberger ( $Q=26.5$ ) la zone d'étude se situe dans un étage bioclimatique aride.

### 3. Géologie

La plaine de la Mina est une zone déprimée dominée au sud, à l'est et l'ouest par des massifs montagneux (ANRH, 2003) :

- **Région de Hillil (Yellel)** : Au nord-ouest, elle est entourée par les monts de Belhacel, qui sont formés de grès pliocène et de sables de désagrégation de ces grès. A l'ouest, on trouve un affleurement de grès recouvert d'une croûte calcaire sur le piedmont. Au sud, les monts de Gerbouça sont formés de grès et marne du pliocène.
- **Région de Touila-Khaourara** : A l'ouest les affleurements sont formés de grès pliocène et de marnes grises du miocène. A l'est, la plaine est séparée de la vallée de la mina par des collines formées de grès et de poudingues.
- **Vallée de la Mina** : Au sud et à l'est, la vallée est bordée de massifs érodés de marnes miocènes (du helvétien) à petits cristaux de gypse. A l'ouest la vallée est bordée par des collines de Relizane, formées de grès et de poudingue encroûtés.
- **Région d'Oued Djemâa** : La partie sud-ouest d'Oued Djemâa est bordée par des affleurements de marnes et d'argiles du miocène qui se raccordent à la plaine de Relizane par un glacis de piedmont ancien, recouvert d'une croûte calcaire.

### 4. Géomorphologie

Du point de vue géomorphologique, la plaine est caractérisée par quatre types de formations géomorphologiques (Ghoul, 1974 ; Ghoul et Peter, 1974):

**1) Les glacis de piedmonts** : Ce sont des formations colluviales de piedmonts s'appuyant sur des versants, de topographie régulière ou peu ondulée, se raccordant, en aval à des formations colluviales ou à des alluvions. Elles sont recouvertes d'une croûte calcaire épaisse et durcie du quaternaire ancien.

**2) Les alluvions** : Ce sont des formations déposées par les oueds qui coulent dans la plaine (Hillil, Mina, Malah, Djemâa). Leur texture est variable et est sous la dépendance de la lithologie de l'arrière-pays drainé vers la plaine. Dans les parties basses la texture devient plus argileuse et vers le centre de la plaine, les sols de la rive gauche sont de texture moyenne et deviennent de texture fine et sont mal structurés dans la rive droite. Dans la limite Est, ces formations sont moyennement salées.

- Certains oueds ont raviné des formations géologiques salées (marnes à gypse miocène du bassin versant de la Mina, massif de gypse du trias du bassin versant de l'oued Malah) qui ont déposés dans certaines zones des alluvions salées.

- Ces alluvions salées sont localisées dans la vallée de l'oued Malah, la plaine de Khourara, la vallée de la Mina, et la partie sud de la sebkha de Benziane (action de la nappe phréatique salée dans certaines zones et ravinement de la colline argileuse salée bordant la sebkha de Benziane).

**3) Les cônes de déjection des oueds :** Les bordures géologiques de la zone d'étude sont ravinées par des petits oueds qui déposent un cône de matériaux à l'aval de texture variable : dans la vallée de la mina et la plaine de oued djemaa, le cône de déjection comporte une texture lourde, alors que dans les zones de Khourara et Yellel, la texture est plus légère. Les couvertures sableuses sont caractérisées par des dépôts sableux épais (plus de 2m) d'origine éolienne qui proviennent des ables de désagrégation des grés pliocènes. La topographie est légèrement ondulée à uniforme. Ces dépôts sont localisés dans la plaine de Yellel au pied du massif de Belhacel.

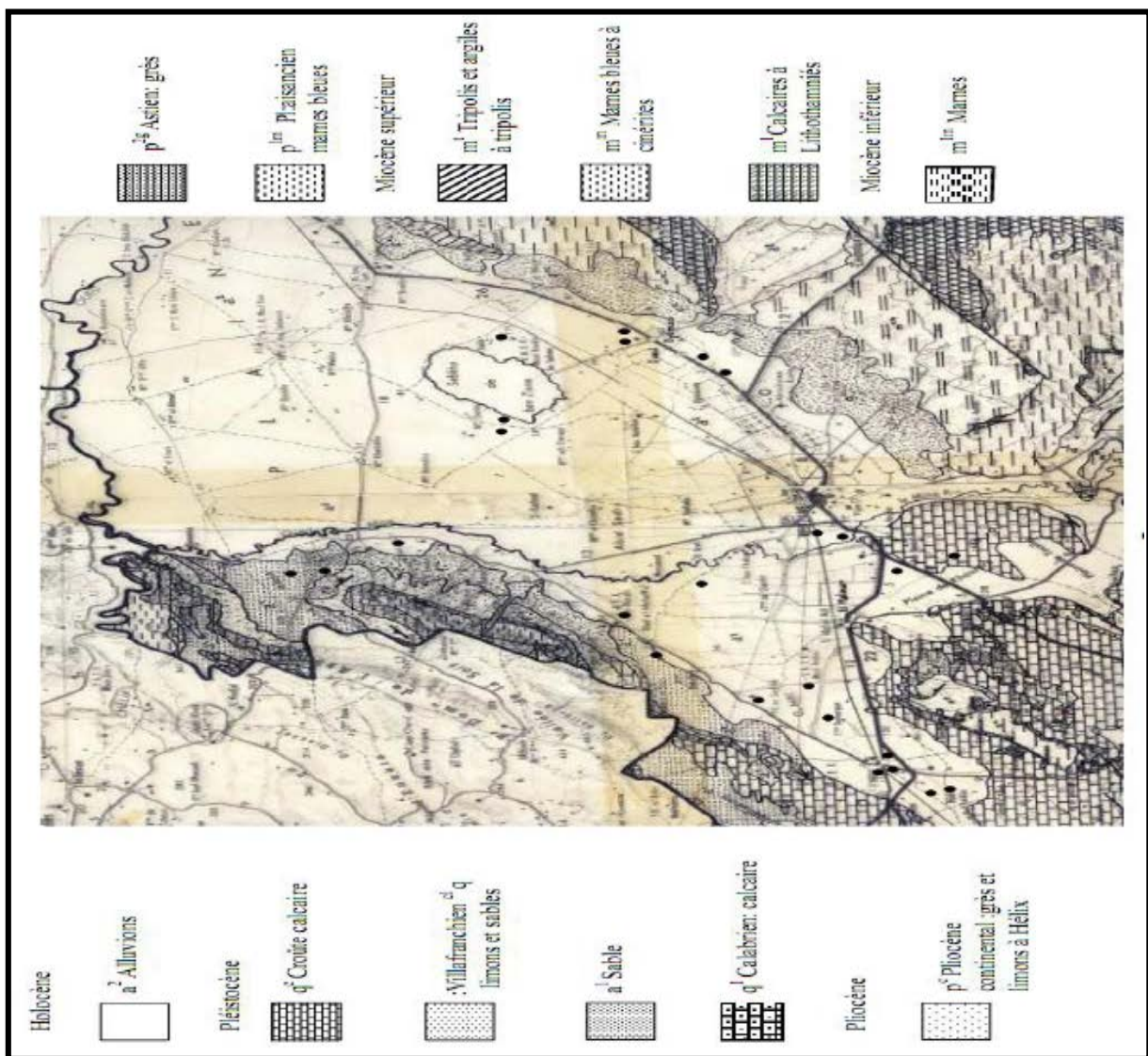


Figure 8. Carte géologique 1/50000 de Relizane(Boualla, 2002).

**5. Réseau hydrographique et ressources en eaux**

Il existe deux principaux oueds dans la plaine de la Mina : l'oued Yellel à l'est et l'oued Mina au centre qui reçoit un affluent salé au sud du périmètre : l'oued Malah.

Le réseau hydrographique est constitué par l'Oued Mina qui draine les reliefs de l'Ouarsenis et est considéré comme l'un des principaux affluents de l'Oued Cheliff.

La mise en eau du barrage de Sidi M'hamed Ben Aouda en 1978 avec une capacité de 225 Hm<sup>3</sup> a permis l'exploitation du potentiel en eaux de surface de l'Oued Mina pour l'irrigation de la plaine de la Mina. Les **tableaux.7 et 8** montrent la salinité et la qualité de l'eau d'irrigation, au niveau de ce barrage, celle-ci se situe entre 1.28 et 2.02 dS/m (de 1990 à 2002) avec une moyenne générale de 1.47 dS/m (0.94g/l de sel).

Ainsi, l'irrigation avec cette eau présente un risque important de salinisation secondaire sur les sols lourds à drainage déficient.

Le tableau montre la qualité de l'eau d'irrigation au niveau du barrage ainsi que le bilan ionique.

Les résultats analytiques montrent que la qualité de l'eau pour l'irrigation est moyenne à médiocre, elle est à utiliser avec précaution et nécessite un drainage avec des doses de lessivage et/ou apport de gypse.

**Tableau 7.** Salinité de l'eau du barrage de Sidi M'hamed Ben Aouda (Relizane) (Source.ANRH,2003).

Année	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02
<b>BSM</b>	1.35	1.39	1.67	2.02	1.28	-	1.28	1.33	1.44	1.64	1.59	1.29	1.3

**Tableau 8.** Qualité de l'eau du barrage de Sidi M'hamed Ben Aouda(Relizane)(Source.INSID, Relizane ,2008).

Analyses	CL <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SAR	CE	Class
		-	-								
<b>Unité</b>	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	/	dS/m	/
<b>Décembre 2005</b>	7.6	7.65	0.24	2.2	4.72	6.09	0.19	6.39	2.74	1.71	C3S1

Le réseau d'irrigation mis en place depuis 1938 est constitué par des canaux à ciel ouvert de différents types. Des moyens financiers importants ont été mobilisés par les pouvoirs publics pour la réalisation de travaux de réhabilitation du réseau d'irrigation et de son extension vers les zones les plus éloignées du périmètre.

Les ressources en eaux souterraines sont représentées par l'existence d'une nappe salée à faible profondeur qui a fait que l'orientation vers l'utilisation de cette ressource n'ayant pas été retenue.

## 6. Les sols

Du point de vue pédologique, la plaine de la Mina est constituée d'apports alluviaux caractérisés par des terres à structure fine, potentiellement salinisables. Ceux déjà irrigués sont effectivement affectés par la salinité (ANRH, 2003). Selon l'étude menée par l'INSID (2008), les sols affectés par une salinité supérieure à 2 dS.m-1, représentent 75 % de la superficie sur les 6000 hectares prospectés, au niveau du périmètre irrigué de la Mina.

Les sols sont regroupés dans différentes classes pédologiques qui sont : les sols peu évolués, les sols halomorphes, les sols hydromorphes, les sols calcimagnésiques et les vertisols (Ghoul, 1974 ; Ghoul et Peter, 1974).

## 7. Occupation du sol

L'agriculture dans le périmètre est très diversifiée. Les cultures pratiquées sont les céréales, les fourrages, le maraîchage, l'arboriculture (agrumes, olivier, grenadier et autres fruitiers).

Les superficies irriguées dans le périmètre se situent autour de 3856 Ha qui se répartissent entre les différentes spéculations pratiquées (Tab.9).

**Tableau 9.** Répartition des superficies irriguées entre les différentes spéculations pratiquées (Source : AGID, cité par l'INSID, 2008).

Spéculations	Superficies (Ha)
Agrumes	2772
Oliviers	396
Arbres fruitiers	160
Fourrages verts	50
Pépinières	58
Maraîchages	100
Tomate industrielle	20
Artichaut	250
Pomme de terre	50

Totale	3856
--------	------

Les sols très salés abandonnés sont couverts par une végétation halophyte dont la densité de recouvrement est très variable dans l'espace et dans le temps.

Le **tableau 10** montre la répartition de la superficie de l'occupation du sol du sol, au niveau du périmètre, sur une superficie de 6000 Ha (**INSID, 2008**).

**Tableau 10.** Répartition de l'occupation du sol, dans le périmètre de la Mina, sur 6000 Ha (**Source, INSID, 2008**).

Occupation du sol	Superficie (%)
Agrumes et arbres fruitiers	33
Oliviers	8
Céréales / Jachère	46
Maraîchages	4
Pépinières	1
Végétation naturelle (halophyte)	7
<b>Totale</b>	<b>Sur 6000 Ha</b>

## 8. Conclusion

Le milieu physique doit son originalité à la combinaison d'un relief en cuvette, d'un climat à sécheresse saisonnière accentuée, d'eaux courantes peu abondantes, de terres parfois salées et d'une végétation d'halophytes couvrant certaines zones de la plaine.

Ces conditions naturelles défavorables à la mise en valeur agricole a conduit les pouvoirs publics à suppléer à l'insuffisance des précipitations par l'installation d'un réseau d'irrigation, alimenté à partir du barrage de Sidi M'Hamed Benaouda.

**Chapitre III .Matériel et Méthodes**

Cette partie est consacrée à la description de la parcelle expérimentale, de la méthodologie utilisée, des techniques analytiques et des différentes méthodes de traitement des données.

**1. Méthodologie**

Dans le cadre de cette étude, la démarche utilisée comporte quatre étapes importantes :

- Analyse des documents de base.
- Travail de terrain (suivi de l'expérimentation).
- Analyses de laboratoire.
- Traitement des données.

**1.1. Analyse des documents de base**

Cette étape concerne l'examen des documents disponibles ainsi que les études réalisées dans la zone d'étude. Elles concernent l'étude sur la caractérisation de l'état actuel de la salinité dans le périmètre irrigué de la Mina sur 6000 Ha (**INSID, 2008**) ;

**1.2. Suivi de l'expérimentation**

Les principaux objectifs de ce travail consistent à l'étude du comportement d'une espèce non autochtone halophyte du genre *Atriplex* Canescence face à la contrainte de salinité, et le suivi de l'absorption des oligoéléments (Cu et Zn) par cette plante, sur deux campagnes de prélèvements.

Afin de répondre à ces objectifs ,il était nécessaire de localiser une parcelle agricole qui se trouve sur une zone salée de la plaine ,à cet effet ,nous avons procéder à la localisation de la zone d'étude sur la carte de salinité du sol établie par l'INSID en 2008 ,nous avons réalisé une sortie ,sur terrain pour une récolte de données existantes ,le propriétaire de la parcelle était notre principale source d'information ,en effet ,nous avons reçu des informations qui concernent la salinité au niveau de la parcelle ,le niveau de la nappe ,le travail du sol et sur l'utilisation des amendements organiques et les produits phytosanitaires,les cultures pratiquées et la conduite de l'irrigation et le réseau de drainage .

Après la délimitation de la parcelle, par le biais d'un GPS de navigation de type GARMIN, nous avons établi un plan de cette parcelle, par l'utilisation du logiciel ARC-GIS, afin de positionner 6 point de prélèvements.Nous avons utilisé une tarière pédologique pour le

prélèvement des échantillons de sol. Nous avons réalisé deux campagnes de prélèvements des échantillons pour le sol et la plante.

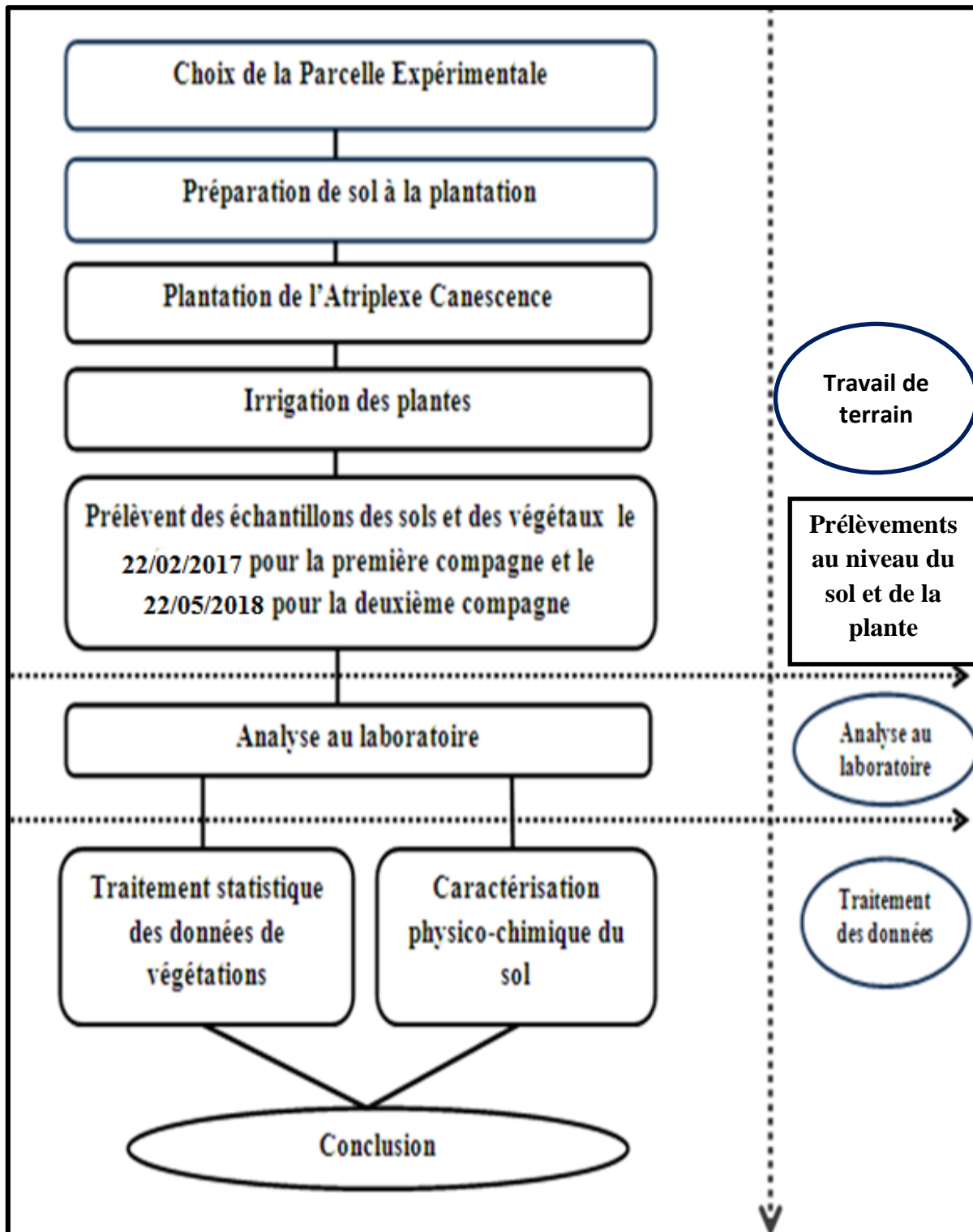


Figure 9. Démarche méthodologique

## 2. Matériel utilisé

### 2.1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans le cadre de ce travail, est une espèce du genre *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt.

Les raisons de ce choix sont d'une part, l'importance agro-économique de cette plante, et d'autre part sa tolérance à la salinité et à l'aridité.

Les plantes proviennent de la pépinière de Matmar loin de 10 km du chef lieu de la wilaya de Relizane plantées en moi de Septembre à ciel ouvert, localisées dans l'étage bioclimatique semi-aride.

### 2.2. Matériel pédologique

Les échantillons du sol ont été prélevés à partir d'une parcelle expérimentale, située à 08km à l'ouest de la ville de Relizane et à 05 km de la ville de Matmar, entre 0°29'35'' et 0°29'46'' de longitude et 35°43'56'' et 35°44'9'' de latitude.

Les prélèvements des échantillons de sol ont été réalisés sur quatre profondeurs : (0-25 cm, 25-50cm, 50-75cm et 75-10cm). Les paramètres physico-chimiques pris en compte sont : la granulométrie, le pH, la conductivité électrique 1/5, la conductivité de la pâte saturée, la matière organique, le calcaire total et actif, la CEC et les métaux lourds (zinc et cuivre). Les méthodes d'analyses utilisées sont celles exposées, par **Aubert (1978)**, dans son manuel d'analyse des sols.

**Tableau 11.** Les calendriers des prélèvements de sol et végétales.

<b>Calendrier des prélèvements</b>		
<b>Date de prélèvement</b>	<b>Nombre d'échantillons de sol</b>	<b>Nombre d'échantillons de végétal</b>
<b>22/02/2017</b>	<b>24</b>	<b>9</b>
<b>22/05/2018</b>	<b>24</b>	<b>9</b>
<b>Total échantillons</b>	<b>48</b>	<b>18</b>

### 1.2. Dispositif expérimental

L'étude menée sur l'*Atriplex canescens*, est effectuée dans un bloc expérimental composé de deux parcelles (S1 et S2). La parcelle S1 est clôturée et prise en compte comme témoin et la deuxième parcelle S2 est aussi clôturée et plantée par 50 plants d'*Atriplex canescens*. Ces derniers ont été implantés le long de sillons espacés de 1m les uns des autres avec une densité moyenne des plantations, estimée à 10000 plants/ha.

Les plantes ont été cultivées en pépinière durant six mois avant d'être transplantées. Après plantation, six arrosages ont été effectués à l'aide d'une citerne, à raison de 20 litres/plant, pendant deux mois.

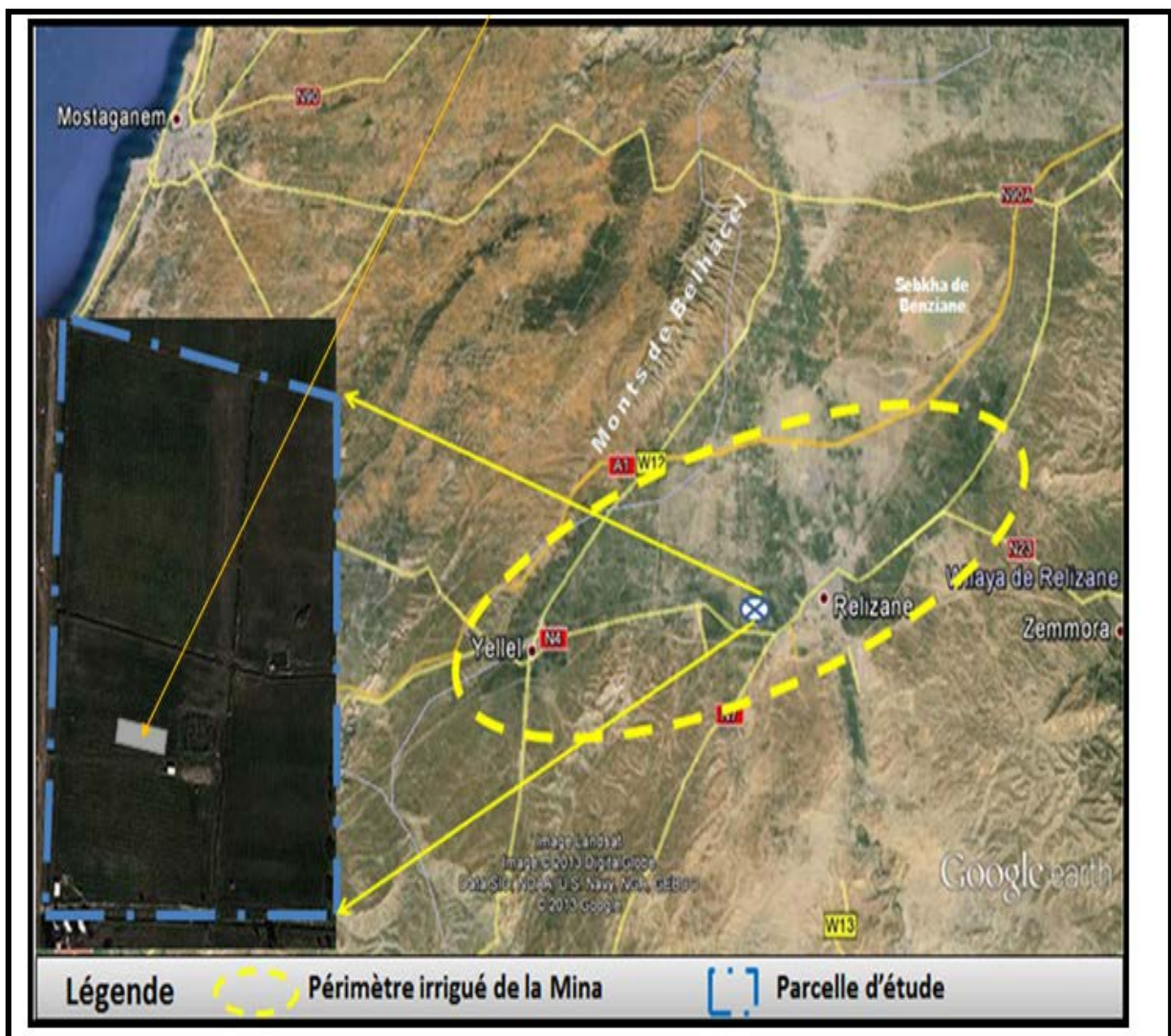


Figure 10. Localisation du site expérimental.

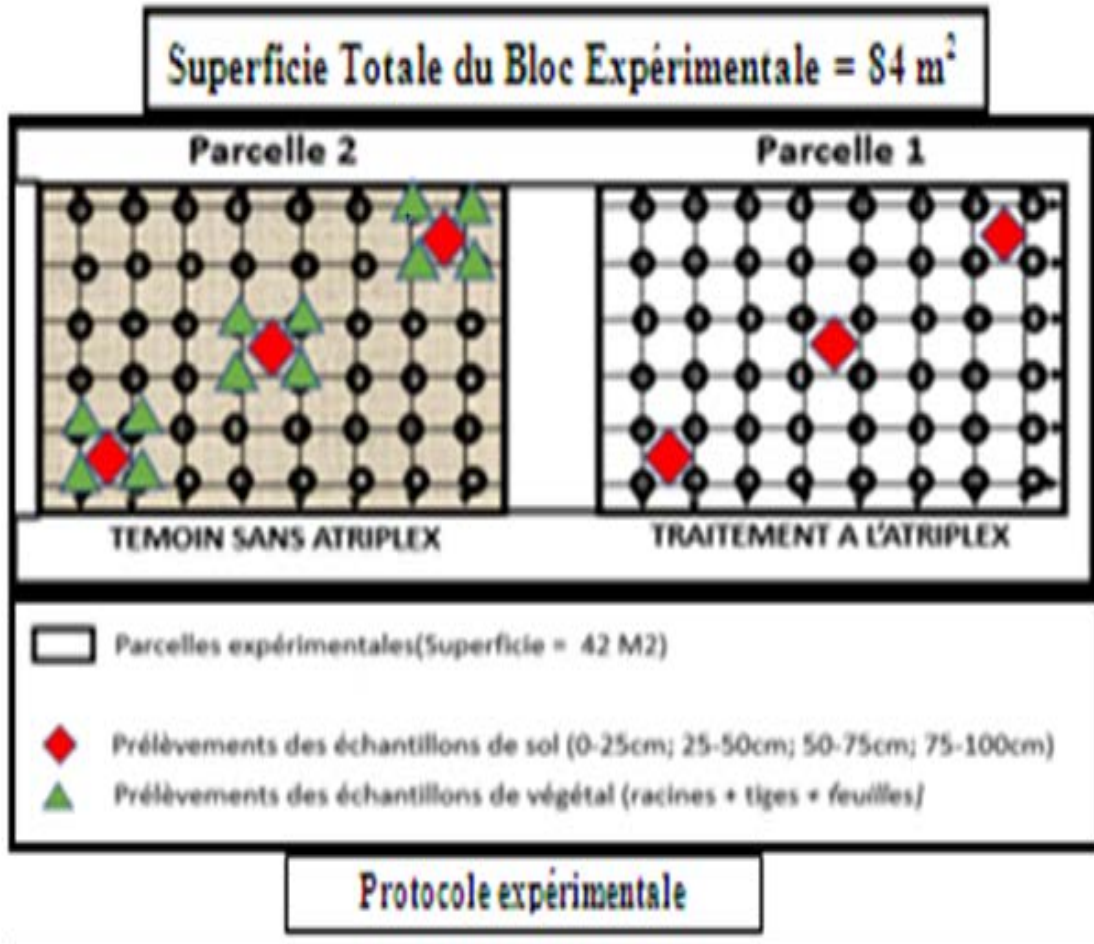


Figure 11. Dispositif expérimental.

### 3. Méthodes d'analyses de laboratoire

#### 3.1. Analyses du sol

Les analyses physico-chimiques du sol ont été réalisées, au niveau du laboratoire régional ouest du sol de l'INSID d'El Matmar (Relizane).

##### 1-Préparation des échantillons de sol

Les échantillons du sol qui parviennent au laboratoire sont étalés à l'air libre et à l'ombre, avec leur fiche d'identification pour séchage. Après séchage les échantillons sont broyés puis tamisés à 2mm, la fraction du sol <2 mm a été utilisée pour les analyses physico-chimiques.

##### 2-L'analyse granulométrique

L'analyse granulométrique est réalisée par la méthode internationale de la **Pipette de Robinson**. La granulométrie exprime la teneur en argile, limon fin et grossier, sable fin et grossier du sol.



**Photo12.** L'analyse granulométrique (**Pipette de Robinson**).

### 3- pH

L'accumulation des sels solubles dans le profil d'un sol, réduit sontpH mais dans le cas d'un sol alcalin, le pH augmente avec la salinité à cause de la présence des bicarbonates et des carbonates de (**Gupta et al ,1990**).

D'après **Khartir en 2008**, les sols salés ont un pH généralement supérieur à 7 il peut atteindre des valeurs nettement supérieures à 8.5 quand il y a une forte abondance et une diversité en espèces chimiques des sels, En fonction de la valeur de pH d'un sol, on peut classer les sols selon l'échelle d'alcalinité suivante :

**PH 4.5** : sols très acides.

**4.5 PH 6** : sols faiblement acides.

**6 PH 7** : neutres, sols équilibrés permettant une bonne alimentation des plantes.

**PH 7** : sols calcaires (alcalins, basiques).

Les mesures sont effectuées à l'aide d'une électrode, on pèse 20 g de terre (<2 mm) séchée à 40 C° dans un bécher. On ajoute 50 ml de solution d'eau déminéralisée et on agite une minute avec une baguette de verre, on laisse reposer deux heures, on plonge ensuite l'électrode dans le liquide surnageant et on effectue la mesure, on laisse se stabiliser durant plusieurs secondes, on note les valeurs aux deuxièmes décimaux près.

#### **4- La conductivité électrique (CE)**

La conductivité électrique d'une solution du sol est un indice des teneurs en sels solubles dans ce sol, elle exprime approximativement la concentration des solutés ionisables présentes dans l'échantillon c'est à dire son degré de salinité.

Cette propriété électro-chimique est basée sur le fait que la conductance (inverse de la résistance électrique, ohm) d'une solution s'accroît au fur et à mesure que les concentrations en cations et anions, porteurs de charges électrique augmente.

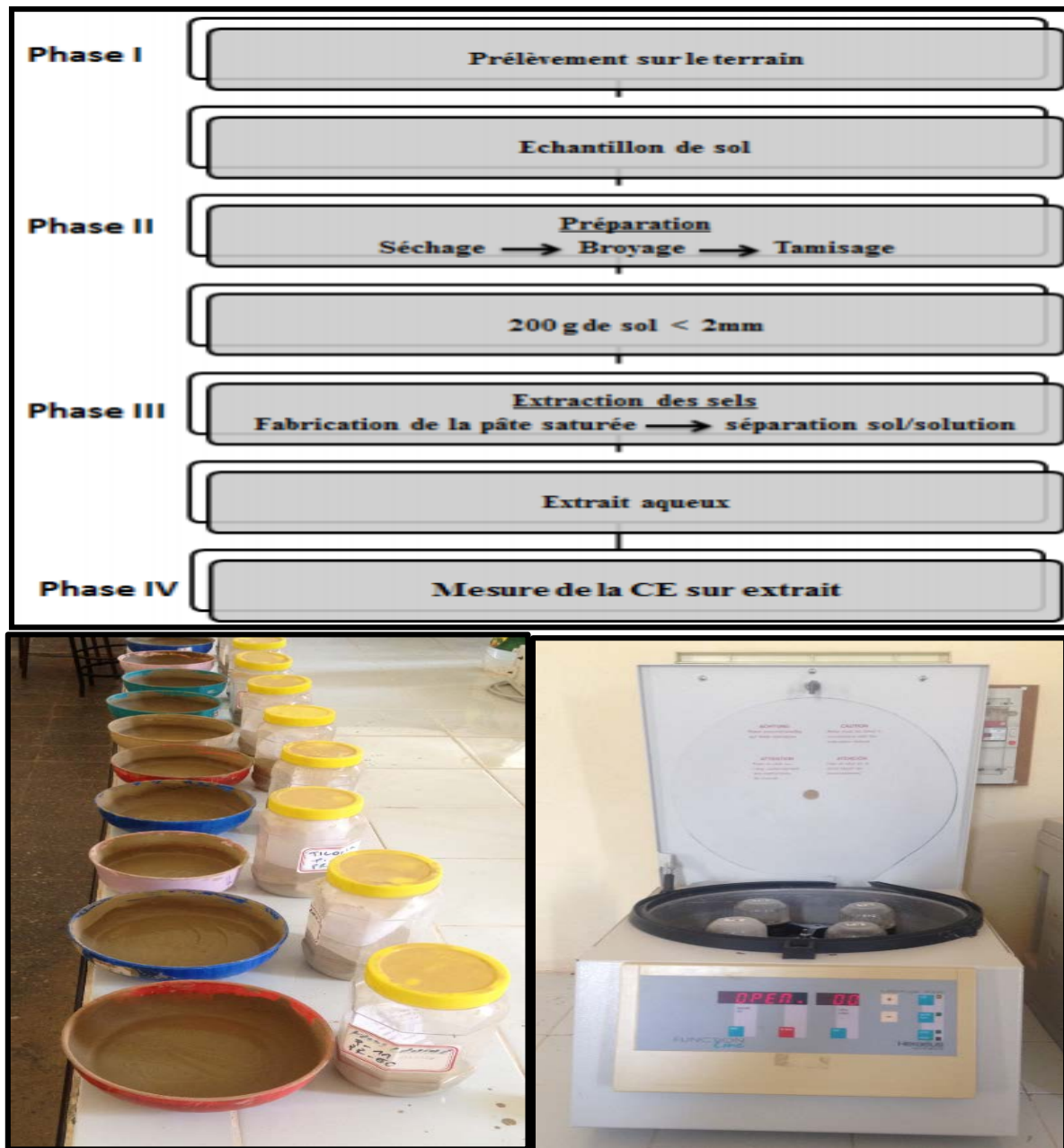
En science du sol , la conductivité électrique CE est exprimée en mmho.cm<sup>-1</sup> ou ds.m<sup>-1</sup> à une température de 25 C° ,la CE est la conductance mesurée dans des conditions spécifiées entre les faces opposées d'un cube unité matérialisé par une cellule conductimétrique composée de deux électrodes de 1 cm<sup>2</sup> de surface distance de 1 cm .

Pour extraire les sels solubles et apprécier la salinité du sol, deux méthodes peuvent être utilisées :

##### **4.1. Extrait de la pâte saturée**

Cette méthode a été mise au point par les chercheurs américains de l'U.S.Salinity Laboratory. Pour extraire les sels, on amène le sol préalablement séché à saturation, c'est à dire à sa limite de liquidité d'**Atterberg** par malaxage avec de l'eau distillée. En opérant ainsi, on cherche à se rapprocher au mieux de ce qui se passe dans le sol, tout en opérant dans des conditions standardisées. Cette façon de faire permet notamment de se rapprocher d'une réalité

agronomique, l'humidité étant à proximité de la capacité de rétention, la plus efficace pour la plante (Le Brusq et Loyer, 1982).



**Figure 13.** Schémas et protocole expérimental de la pâte saturée.

#### 4.2. Extrait non saturé

Dans cette méthode, une quantité d'échantillon de sol est mélangée avec une quantité d'eau suffisante pour obtenir de fortes dilutions. Le rapport poids sol/poids eau est en général de 1/5 ou 1/10.

Cette méthode est plus facile à réaliser et permet ainsi de faire un grand nombre d'échantillons qui est au contraire difficile, par la pâte saturée.

### 5- La Matière Organique

La méthode utilisée est la méthode **Anne**, le carbone organique contenu dans un échantillon de sol est oxydé dans des conditions définies en utilisant une quantité d'un mélange oxydant : le bichromate de potassium en milieu sulfurique.

On effectue un dosage en retour, l'excès de bichromate de potassium non utilisé pour l'oxydation est dosé à l'aide d'une solution réductrice, **le sel de Mhor**.

Il n'est pas nécessaire de connaître le titre exact de la solution oxydante, en effet pour tenir compte des conditions expérimentales de l'oxydation, on effectue un dosage témoin, sans terre ou sur sable calciné, avec une quantité de bichromate de potassium identique à celle utilisée dans le dosage du carbone du sol.

Le pourcentage de la matière organique est obtenu en multipliant le taux de carbone organique obtenu par **1.72**.



**Photo 15.** Attaque au froid sur bain sable. **Photo 16.** Séparation des phases.



**Photo 17.** Dosage au sel de Mohr.

#### **6- Le calcaire total ( $\text{CaCO}_3$ total)**

Le taux de calcaire total est déterminé par acidimétrie, on ajoute à l'échantillon de l'acide chlorhydrique (10 %), le volume de gaz carbonique dégagé est mesuré à l'aide d'un **Calcimètre de Barnard** et comparé au volume produit par du carbonate de calcium pur.



**Photo 18.** Calcimètre de Barnard.

### 7- Le calcaire actif ( $\text{CaCO}_3$ actif)

Le dosage du calcaire actif fait par la méthode de **Drouineau-Galet**, elle correspond au calcaire fin, facilement solubilisé.

Au contact d'une solution d'oxalate d'ammonium, ce calcaire fin se transforme en oxalate insoluble, le reliquat de solution d'oxalate non utilisé est dosé par une solution de permanganate de potassium, le calcaire actif correspond à l'oxalate de calcium précipité.



**Photo 19.** Dosage de calcaire actif.

### 8-La capacité d'échange cationique (CEC)

La capacité d'échange cationique (CEC) d'un sol est la quantité totale de cation (ions<sup>+</sup>) que ce sol peut absorber sur son complexe et échanger avec la solution environnante dans des conditions de pH bien définies.

La mesure de la capacité d'échange cationique dans notre cas (sol salé) est déterminée par la méthode **BOWER**, elle comporte 3 phases :

**1-**le lavage et le déplacement des cations échangeables et l'hydrogène du complexe absorbant avec une solution mono-ionique, l'acétate de sodium ( $\text{CH}_3\text{COONa}$ , N 82.03g/l à PH =7).

**2-**le lavage avec l'éthanol pour enlever l'excès en cation saturant, on lave avec le méthanol puis par l'éthanol si la CE <20  $\mu\text{cm}$ .

**3-**le déplacement des cations échangeables et l'hydrogène du complexe absorbant avec une solution généralement tamponnée à PH déterminé (l'acétate d'ammonium).

A la fin le filtrat recueilli contient tous les cations et l'hydrogène déplacé par la solution mono-ionique, c'est à partir de ce filtrat que l'on déterminera les cations échangeables



**Photo 20 :** Dispositif de la capacité d'échange cationique (CEC).

### 9-Dosage de métaux lourds

Le dosage des métaux lourds (zinc et cuivre) fait par la méthode **Kovacs et al, (2000)**, après séchage et broyage et tamisage à tamis de diamètre  $< 2\text{mm}$ , en prend 5 g de chaque échantillons et en ajoute 5 ml de l'eau oxygéné ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) et 5 ml de l'acide nitrique ( $\text{HNO}_3$ ) et en laisse au repos pendant 5 heures jusqu'au la destruction totale de la matière organique.

La solution obtenu est ensuite filtrer par papier filtre **42 Whatman** puis en complet le volume jusqu'au 50 ml avec l'eau distillées.

A la fin la Lecture des concentrations des éléments traces métalliques (ETM) sur le spectrophotomètre d'absorption atomique (SAA).



**Photo 21:** Dosage des échantillons par l'acide et puis la filtration. **Photo 22:** la lecture avec spectrométrie d'absorption atomique SAA.

## 3.2. Analyses de la plante

### 3.2.1. Dosage des métaux lourds

Le dosage des métaux lourds (zinc et cuivre) est réalisé par la méthode de **Jhones et Case, (1990)**. Après rinçage du matériel végétal à l'eau distillée et séchage avec papier filtre, les échantillons séchés à l'étuve pendant 48 heures à température de 70 C°.

Après séchage, les échantillons sont broyés et finement tamisés. On prend 0.5 g de la matière sèche et on ajoute 4 ml de acide nitrique HNO<sub>3</sub> et on laisse 15 mn au bain marie.

La solution obtenue est ensuite filtrée sur papier filtre. Le volume est ensuite complété à 50 ml avec l'eau distillée.

La solution est ensuite passée sur le spectrophotomètre d'absorption atomique (SAA) pour la lecture des concentrations en éléments traces métalliques (zinc et cuivre).



**Photo 23** :le broyage des échantillons.

**Photo24** :les échantillons au bain marin.



**Photo 25**:la filtration des échantillons. **Photo 26**:la lecture avec spectrométrie d'absorption atomique SAA.



**Photo 27** : Etat de la plante pendant la deuxième campagne

#### **4-Analyse statistique**

Dans le but de déterminer la signification entre l'échantillon témoin et l'échantillon traité pour chaque paramètre analysé, les résultats obtenus sont traités et analysés à l'aide de Microsoft Excel et le logiciel (**Statbox**) ;

## Introduction

Ce chapitre organisé en deux parties. La première partie est consacrée à la présentation des caractéristiques physico-chimiques du sol étudié ainsi que les caractéristiques physiologiques de la plante. La deuxième partie est réservée à la discussion des résultats.

### Partie I. Résultats d'analyses du sol et de la plante

#### I. Etude des paramètres physico-chimiques du sol.

Dans cette partie, nous présentons une description statistique des données du sol relatives à la texture, calcaire total, calcaire actif, la matière organique, la capacité d'échange cationique, le pH, la conductivité électrique de la pâte saturée et diluée 1/5, et enfin les métaux lourds (zinc et cuivre).

Les analyses ont été effectuées sur 48 échantillons provenant de 6 profils de sols, réalisés quatre profondeurs (0-25cm), (25-50cm), (50-75cm), (75-100cm), au cours de deux campagnes de prélèvements.

Pour l'interprétation des résultats, nous avons utilisé le coefficient de variation, pour décrire et étudier la variabilité des propriétés physico-chimiques du sol. Cette approche fournit un outil moderne pour comprendre le modèle de variabilité spatiale des propriétés du sol dans les deux parcelles pour les deux campagnes de mesures. Cinq classes, basées sur la valeur du coefficient de variation (CV en %), sont proposées par **Nolin et al, 1997**, pour qualifier l'intensité de la variabilité des sols (Tableau 1, Annexe).

#### 1. Résultats statistiques des analyses physiques du sol

##### 1. Analyse de la texture

D'après les **Tableaux. 12, 13, 14, 15, 17 et 17**, nous remarquons que les fractions granulométriques prédominantes sont les fractions argileuses et limoneuses dans les deux parcelles avec une fraction sableuse peu présente.

Dans la parcelle témoin, les fractions limoneuses sont plus présentes par rapport aux fractions argileuses, le taux de limon augmente vers la profondeur par contre on remarque une diminution des taux des argiles. Le pourcentage des limons varie entre 46.46 % et 55.04% dans l'horizon de surface et dans l'horizon de profondeur. Les argiles varient entre 46.46% et 27.31% pour l'horizon de surface et dans l'horizon de profondeur.

Dans la parcelle de traitement, les fractions argileuses et limoneuses sont homogènes à la surface et en profondeur. Le pourcentage d'argile varie de 44.33%, pour l'horizon de surface,

et de 37.77% pour l'horizon de profondeur. Le pourcentage des limons varie de 44.77% pour l'horizon de surface et de 44.70% pour l'horizon de profondeur.

Pour les fractions sableuses leur taux est en augmentation vers la profondeur pour les deux parcelles, avec des valeurs entre (9.45 % à 21.26%) pour la parcelle témoin et entre (10.88 % à 19.54 %) pour la parcelle plantée.

Nous remarquons que le coefficient de variation est faible (< 15%) dans tous les horizons de la parcelle témoin sauf l'horizon (50-75 cm) qui présente un coefficient de variation modéré avec une valeur de 27.03 % . Pour la parcelle de traitement, le coefficient de variation augmente vers la profondeur. Ce dernier est faible < 15% dans l'horizon de surface, modéré dans l'horizon (25-50cm) et élevé dans les horizons (50-75cm) et (75-100cm) avec des valeurs de l'ordre 46.08% et 56.38% respectivement .

Pour la fraction limoneuse la variabilité est faible <15% pour les horizons des deux parcelles, sauf l'horizon (25-50 cm) de la parcelle témoin et (50-75 cm) de la parcelle de traitement qui est modéré, avec des valeurs de 19.30% et 16.54% respectivement. Par contre, il est élevé dans l'horizon (75-100cm) de la parcelle témoin avec une valeur de 46.39 %.

Pour la fraction sableuse, le coefficient de variation augmente vers la profondeur, avec des valeurs modérées dans les horizons de surface des deux parcelles (15.10% et 27.15%) et plus élevés dans tout le reste de profil (61.30 % < CV < 124.95 %).

**Tableau 12.** Résultats de l'Argile (en %) de parcelle Témoin.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	44,09	39,07	29,90	27,31
CV%	7,05	3,43	27,03	14,45

**Tableau 13.** Résultats de Limon (en %) de parcelle Témoin.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	46,46	48,00	51,43	55,04
CV%	5,85	19,30	14,71	46,39

**Tableau 14.** Résultats de Sable (en %) de parcelle Témoin.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	9,45	12,92	15,06	21,26
CV%	15,10	61,30	41,47	94,62

**Tableau 15.** Résultats de l'Argile (en %) de la parcelle de traitement.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	44,33	43,97	46,97	35,77
CV%	13,15	28,55	46,08	56,38

**Tableau 16.** Résultats de Limon (en %) de la parcelle de traitement.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	44,77	43,80	41,02	44,70
CV%	6,43	4,49	16,54	9,94

**Tableau 17.** Résultats de Sable (en %) de la parcelle de traitement.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	10,88	12,60	11,88	19,54
CV%	27,15	94,82	124,95	81,12

## 2. Les résultats statistiques des analyses chimiques de sol

### 2.1. Analyses du potentiel Hydrogène (pH)

Les tableaux 18, 19, montrent que le pH moyen du sol dans les deux parcelles est supérieur à 7.94 avec une moyenne variante entre 7.94 à 8.39. Ces valeurs indiquent que le sol est basique, ce qui caractérise principalement les sols calcaires et salés et confirment les résultats du calcaire total et de la conductivité électrique.

Le coefficient de variation est faible dans les deux parcelles, il varie entre (0.14 % < CV < 2.97 %).

**Tableau 18.** Résultats du pH de parcelle Témoin.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	7,94	8,08	8,13	8,34
CV%	0,63	0,14	0,28	2,97

**Tableau 19.** Résultats du pH de la parcelle de traitement.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	8,10	8,18	8,33	8,39
CV%	0,72	0,69	1,60	1,37

## 2.2. Analyses de la matière organique (M.O)

Les tableaux 20, et 21 montrent que le taux de la matière organique diminue avec la profondeur, dans les deux compagnes, avec des moyennes varie entre 2.54% et 1.48% dans les couches superficielles et entre 0.84% et 0.32% dans les couches profondes. Ces valeurs indiquent que les valeurs de la matière organique sont moyennes a faible dans les couches superficielles, est très faibles dans les horizons profonds.

Le coefficient de variabilité est faible (<15%) dans les horizons (0-25 cm) des deux parcelles ,modéré dans l'horizons (75-100cm) de la parcelle témoin ,et élevé (>35%) pour le reste des horizons.

**Tableau 20.**Résultats de la Matière organique (en %) de parcelle Témoin.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	2,54	1,80	0,84	0,74
CV%	7,06	41,07	33,17	28,38

**Tableau 21.**Résultats de la Matière organique (en %) de la parcelle de traitement.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	2,29	1,48	0,57	0,32
CV%	6,90	37,54	47,10	33,17

## 2.3. Analyses statistiques de la capacité d'échange cationique (CEC)

Les tableaux 22 et 23 montrent que la capacité d'échange cationique (CEC) est en diminution vers la profondeur, avec une moyenne variable entre (19.74 meq/100g et 16.86 meq/100g) pour les horizons de surface entre (18.22meq/100g et 14.43 meq/100g) pour les horizons de profondeurs. D'après **Doucet 1992** ces valeurs correspondent à des sols d'une capacité d'échange cationique très faible.

Le coefficient de variation est faible < 15% pour les horizons (0-25cm) et (75-100cm) de la parcelle témoin et modéré pour le reste des horizons des deux parcelles.

**Tableau 22.**Résultats de la capacité d'échange cationique (CEC meq/100g) de parcelle Témoin.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	19,74	19,61	18,22	14,57
CV%	8,31	20,38	18,41	6,90

**Tableau 23.** Résultats de la capacité d'échange cationique (CEC meq/100g) de la parcelle de traitement.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	18,06	16,68	16,61	14,43
CV%	18,49	17,48	16,13	28,43

#### 2.4. Analyses statistiques du calcaire total (CaCO<sub>3</sub>)

Les tableaux 24 et 25 montrent que les teneurs en calcaire total sont homogènes au niveau des horizons et dans les deux parcelles, la moyenne varie entre 18.40 % et 21.37 %, avec un faible coefficient de variabilité (CV < 15%). Ces valeurs correspondent à des sols moyennement calcaires avec un risque de chlorose moyenne, pour les cultures agricoles.

**Tableau 24.** Résultats du calcaire totale (CaCO<sub>3</sub> en %) de parcelle Témoin.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	19.81	20.52	21.37	21.23
CV%	1.22	10.20	7.52	7.99

**Tableau 25.** Résultats du calcaire total (CaCO<sub>3</sub> en %) de la parcelle de traitement.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	19.10	18.40	19.67	19.25
CV%	2.22	2.67	1.23	5.10

#### 2.5. Analyses statistiques du calcaire actif

Les tableaux 26 et 27 montrent que les teneurs en calcaire actif sont homogènes au niveau des horizons et dans les deux parcelles, la moyenne varie entre 3.88 % et 5.09 %. Ces valeurs correspondent à des sols moyennement calcaires avec un risque de chlorose moyen.

Le coefficient de variabilité est faible, dans tous les horizons des deux parcelles (CV < 15%), sauf l'horizon (0-25 cm) de la parcelle témoin et (75-100cm) de la parcelle de traitement qui ont une variabilité modérée.

**Tableau 26.** Résultats du calcaire actif (en %) de parcelle Témoin.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	4,92	5,09	4,96	3,88
CV%	21,96	6,24	12,95	14,08

**Tableau 27.**Résultats du calcaire actif (en %) de la parcelle de traitement.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	4,58	4,29	4,29	4,46
CV%	3,15	13,69	13,69	18,18

### 3. Caractérisation de la salinité du sol

#### 3.1. Analyses de la conductivité électrique de la pâte saturée ( $CE_{ps}$ )

Les tableaux 28 et 29 montrent que la conductivité moyenne de la pâte saturée est en augmentation progressive vers la profondeur. Pour la parcelle témoin et la parcelle de traitement, ces valeurs moyennes passent de 9.44 dS.m<sup>-1</sup> pour l'horizon de la surface à 27.72 ds.m<sup>-1</sup> pour l'horizon profond dans la parcelle témoin et de 8.19 dS.m<sup>-1</sup>, pour l'horizon de surface à 25.57 dS.m<sup>-1</sup> pour l'horizon de profondeur de la parcelle de traitement.

La salinité moyenne de la couche (0-100cm) révèle que les sels se concentrent dans la partie inférieure du profil, ce type de profil salin a été qualifié de descendant par (Servant ,1975)(Fig. 36).

le coefficient de variation dans la parcelle témoin est faible pour l'horizon (75-100 cm), modéré pour l'horizons (50-75cm) et élevé pour les horizons de surface (0-25cm) et (25-50cm).

Pour la parcelle de traitement la variabilité est faible pour l'horizon (50-75 cm) et (75-100cm), élevée pour l'horizon (25-50cm) et extrêmement élevée pour l'horizon (0-25cm).

**Tableau 28.**Résultats de la conductivité électrique ( $CE_{ps}$ ds/m) de la parcelle Témoin (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	9,44	20,99	26,35	27,72
CV%	40,76	42,24	19,20	7,17

**Tableau 29.**Résultats de la conductivité électrique ( $CE_{ps}$ ds/m) de la parcelle de traitement (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	8,19	15,78	21,82	25,57
CV%	83,82	51,24	13,19	1,22

### 3.2. Conductivité électrique de l'extrait dilué ( $CEd_{1/5}$ )

Les tableaux 30 et 31 montrent que la salinité est en augmentation progressive vers la profondeur, avec des valeurs moyennes qui passent de  $1.69 \text{ dS.m}^{-1}$  pour l'horizon de la surface à  $3.64 \text{ dS.m}^{-1}$  pour l'horizon profond, dans la parcelle témoin et de  $1.36 \text{ dS.m}^{-1}$  pour l'horizon de surface à  $3.38 \text{ dS.m}^{-1}$  pour l'horizon profond de la parcelle de traitement.

Le coefficient de variation de la parcelle témoin est faible pour l'horizon (50-75cm) et modéré pour le reste des horizons. Pour la parcelle de traitement la variabilité est faible pour l'horizons 50-75cm, modérée pour l'horizon (75-100cm), élevée pour l'horizon (25-50cm) et extrêmement élevée pour l'horizon de surface (0-25cm).

**Tableau 30.** Résultats de la conductivité électrique ( $CEd_{1/5}$ ) de la parcelle Témoin.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	1,69	3,27	3,66	3,64
CV%	18,95	23,43	13,97	26,77

**Tableau 31.** Résultats de la conductivité électrique ( $CEd_{1/5}$ ) de la parcelle de traitement.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	1,36	2,83	3,87	3,38
CV%	78,04	42,76	14,32	26,48

L'analyse de la corrélation entre les valeurs de la conductivité électrique moyenne de l'extrait de la pâte saturée ( $Ce_{ps}$ ) et celles de l'extrait dilué ( $ced_{1/5}$ ) de la parcelle témoin et de la parcelle de traitement, a montré une bonne corrélation ( $r^2 > 0.8$ ) qui est statistiquement hautement significative.

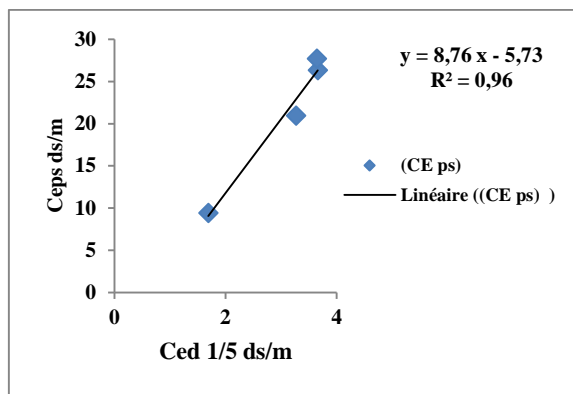


Figure 28 Corrélation entre CEd<sub>1/5</sub> et CE<sub>ps</sub> pour

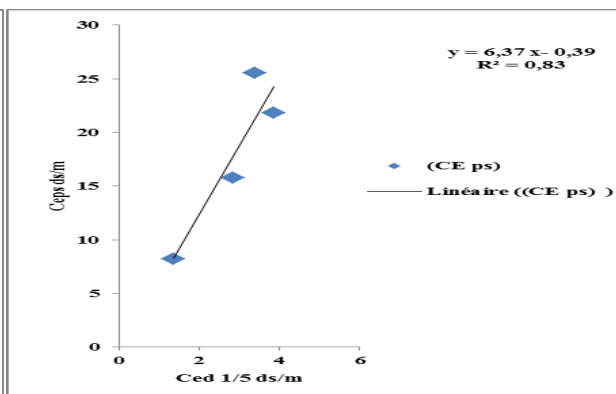


Figure 29. Corrélation entre CEd<sub>1/5</sub> et CE<sub>ps</sub> pour la parcelle Témoin.de traitement.

#### 4. Les métaux lourds

##### Calcul

$$T(\text{ug/g}) = \frac{(C - C1) * V}{S} = 10(C - C1)$$

OùT : Cu ou Zn.

C : Concentration de l'élément déterminée par la courbe d'étalonnage (µg/ml).

C1 : Concentration du témoin déterminée par la courbe d'étalonnage (µg/ml).

S : Poids de la prise de terre en g (5g).

V : Volume d'extraction en ml (50 ml).

##### 4.1. Analyse statistique du Cuivre (Cu. ppm)

Les tableaux 32 ,33 ,34 et 35 montrent que les concentrations du cuivre dans les deux parcelles et dans les deux campagnes sont hétérogènes et faibles. Pour la parcelle témoin les valeurs moyennes varient entre **4.47** ppm et **7.89** ppm dans la première campagne, et entre **3.63** ppm et **6.32** ppm, dans la deuxième campagne. Pour la parcelle de traitement les valeurs moyennes varient entre **2.30** ppm et **4.45** ppm dans la première campagne, et entre **2.13** ppm à **3.20** ppm dans la deuxième campagne.

Le coefficient de variation est faible (<15%) dans la parcelle témoin, sauf pour les horizons (25-50cm) et (75-100cm) de la première campagne et l'horizon (50-75cm) de la deuxième campagne qui ont une variabilité modérée.

Pour la parcelle de traitement le coefficient de variation est modéré, dans les deux campagnes, sauf l'horizon (25-50cm) de la première campagne et les horizons et (75-100cm) de la

deuxième campagne qui ont un coefficient de variation élevé, et l'horizon (0-25 cm) de la deuxième campagne qui a une variabilité extrêmement élevée.

**Tableau 32.** Résultats statistique de la concentration du cuivre (Cu. ppm) de la parcelle Témoin de la première campagne.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	6,70	5,08	5,45	3,29
Maximum	8,73	7,19	7,03	5,28
MOY	7,89	6,30	6,01	4,47
CV%	13,41	17,34	14,67	23,36

**Tableau 33.** Résultats statistique de la concentration du cuivre (Cu. ppm) de la parcelle Témoin de la deuxième campagne

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	5,36	4,86	5,11	3,63
Maximum	6,87	13,03	15,32	12,69
MOY	6,32	4,14	4,29	3,16
CV%	13,23	5,32	5,85	4,08

**Tableau 34.** Résultats statistique de la concentration du cuivre (Cu. ppm) de la parcelle de traitement de la première campagne

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	4,45	2,30	2,63	2,72
CV%	22,24	57,01	29,10	17,97

**Tableau 35.** Résultats statistique de la concentration du cuivre (Cu. ppm) de la parcelle de traitement de la deuxième campagne

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	2,34	3,20	2,13	2,48
CV%	87,74	20,41	22,21	62,71

#### 4.1. Analyse statistique du Zinc (Zn. ppm)

Les tableaux 36 ,37 ,38 et 39 montrent que les concentrations de Zinc dans les deux parcelles et dans les deux campagnes sont hétérogènes et faibles. D'après les résultats analytiques, la concentration du Zn dans la parcelle témoin est en diminution vers la profondeur dans les deux campagnes, avec des valeurs moyennes variant entre **9.25** ppm et **14.66** ppm dans la

première campagne, et des valeurs moyennes varient entre 7.77 ppm et 9.21 ppm dans la deuxième campagne. Pour la parcelle de traitement les concentrations du Zn sont hétérogènes pour les différents horizons dans les deux campagnes, avec des valeurs moyennes variant entre 11.40 ppm et 5.32 ppm, dans la première campagne, et entre 6.92 ppm et 5.34 ppm dans la deuxième campagne.

Le coefficient de variation dans la parcelle témoin est faible (<15%), dans tous les horizons des deux campagnes, sauf l'horizon (25-50cm) et (75-100cm) de la première campagne qui ont une variabilité modérée et très élevée. Par contre, l'horizon (0-25cm) de la deuxième campagne présente une variabilité élevée.

Pour la parcelle de traitement le coefficient de variation est faible, dans les horizons (75-100cm) de la première campagne et l'horizon (50-75cm) de la deuxième campagne; modéré pour les horizons (0-25cm) et (50-75cm) de la première campagne et l'horizon (25-50cm) de la deuxième campagne; élevé pour l'horizon (25-50cm) de la première campagne et l'horizon (75-100cm) de la deuxième campagne et très élevé dans l'horizon (0-25cm) de la deuxième campagne.

**Tableau 36.** Résultats statistique de la concentration du Zinc (Zn. ppm) de la parcelle Témoin de la première campagne

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	14,66	11,33	9,25	13,25
CV%	9,38	21,26	11,45	52,12

**Tableau 37.** Résultats statistique de la concentration du Zinc (Zn. ppm) de la parcelle Témoin de la deuxième campagne

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	9,06	9,21	8,54	7,77
CV%	49,00	12,30	14,10	6,74

**Tableau 38.** Résultats statistique de la concentration du Zinc (Zn. ppm) de la parcelle de traitement de la première campagne

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	11,40	5,32	5,41	6,69
CV%	24,39	46,99	21,82	8,97

**Tableau 39.**Résultats statistique de la concentration du Zinc (Zn. ppm) de la parcelle de traitement de la deuxième première compagne

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	6,03	6,88	5,34	6,92
CV%	64,61	16,35	6,28	38,42

## II. Etude des paramètres physiologiques de la plante

Les oligo-éléments jouent un rôle important, dans les phénomènes d'oxydo-réduction. Ils peuvent être divisés en trois groupes :

- 1 - Cu, Fe, Mo qui interviendraient principalement comme transporteurs d'électrons.
- 1 - Mn, Zn, auxquels il faut rattacher Mg, seraient des éléments "structuraux"
- 3 - Le B, dont l'action pratique est manifeste, mais dont les propriétés biochimiques chez les plantes étaient encore mal connues en 1954. On sait maintenant qu'il joue un rôle important dans la translocation des carbohydrates. (Dr P. Prevot).

### 1. Analyse statistique des métaux lourds

#### Calcul

D'après (Ryan et al, 2001) :

$$\text{Zn et Cu (ppm)} = (\text{extrait en ppm-témoin}) * A/Wt$$

Où, A : volume de l'extrait en ml (50ml),

Wt : poids de la prise de la plante en g (0.5 ou 1g).

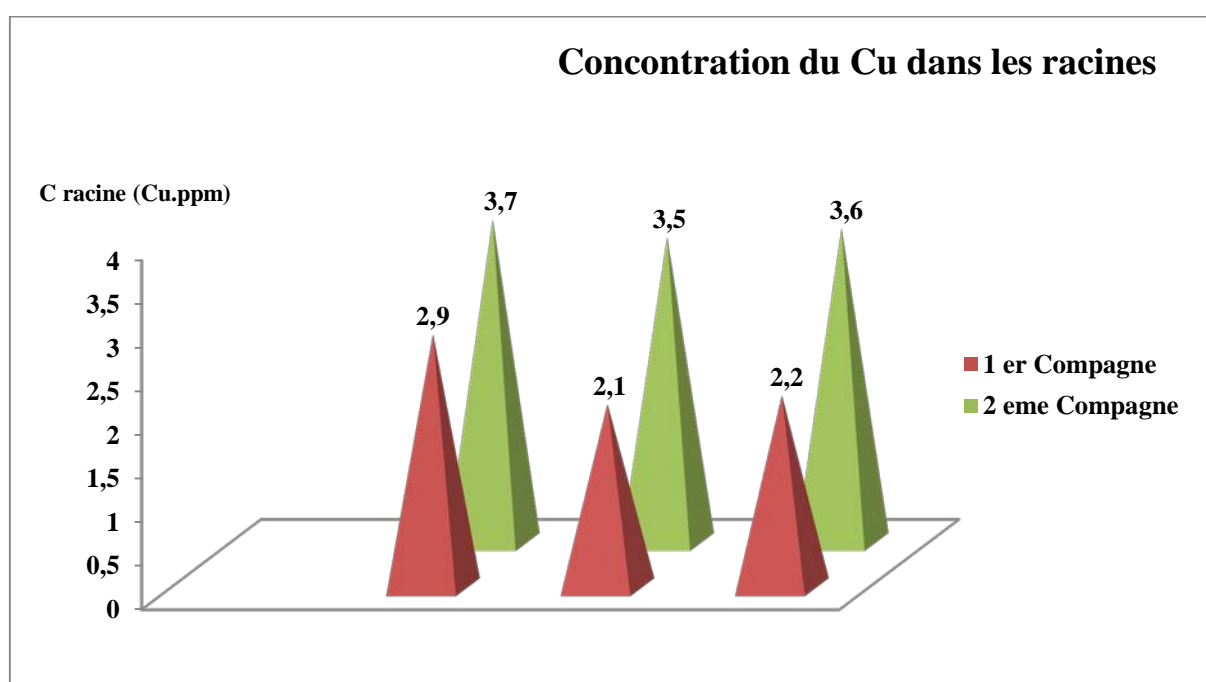
### 2.1. Analyse statistique du Cuivre (Cu. ppm)

Pour la plante, le Cu est essentiel car il joue un rôle pour plusieurs fonctions métaboliques cellulaires. Il intervient au niveau de la photosynthèse par l'intermédiaire de la plastocyanine, au niveau de la respiration avec le cytochrome c-oxydase et au niveau de la lignification avec les laccases (Vinit-Dunand et al. 2002). Toutes ces fonctions n'ont pas lieu au même endroit dans la cellule et des mécanismes de transport et d'adressage du Cu cellulaire sont nécessaires. Dans la cellule le Cu se situe dans le cytosol, dans le réticulum endoplasmique, dans les mitochondries, dans les chloroplastes et dans l'apoplaste (Pilon et al. 2006).

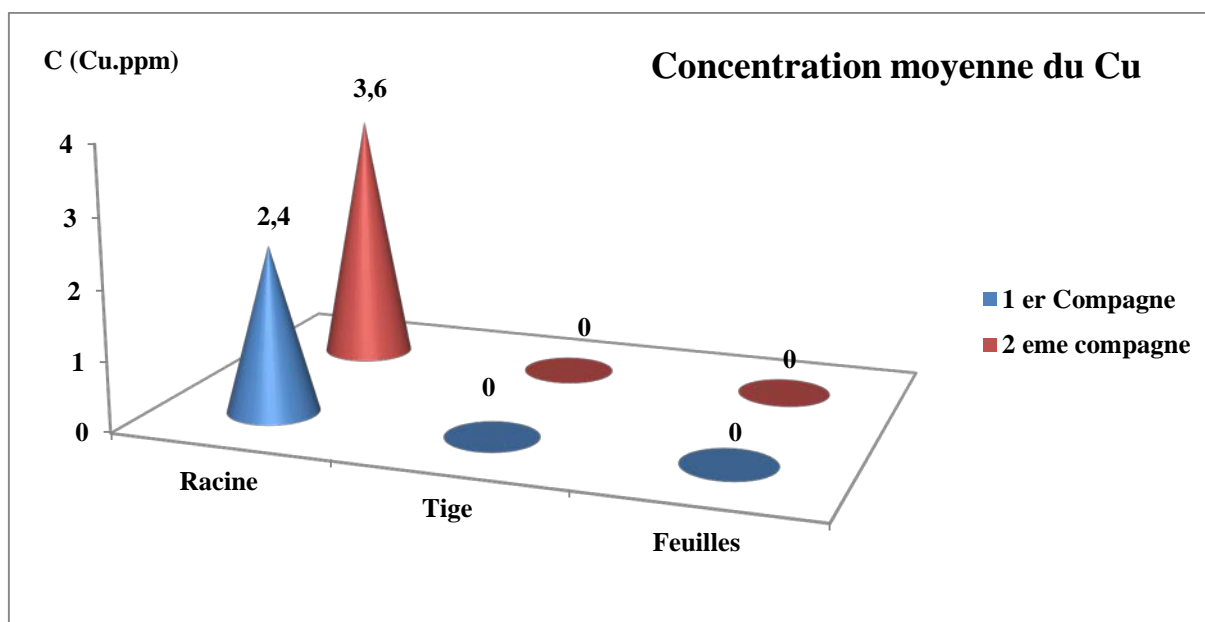
### 2.1.1. Le cuivre dans les racines

La figure 31 montre que la concentration en Cu, dans les racines, a légèrement augmenté dans les plantes stressées par rapport aux plantes témoins, avec des valeurs moyennes passant de **(2.4 ppm)** dans la première campagne à **(3.6 ppm)** dans la deuxième campagne.

L'analyse des résultats obtenus de l'estimation de cette caractéristique (Tableau 50, annexe), démontre qu'elle se trouve influencée d'une manière significative ( $p > 0.01$ ).



**Figure 30.** La concentration du Cuivre (ppm) dans les racines dans les deux campagnes.



**Figure 31.** La concentration du Cuivre (ppm) dans les deux campagnes.

La figure 30 montre que le cuivre est resté bloqué dans les racines, sa mobilisation dans les feuilles à partir des tiges est nulle.

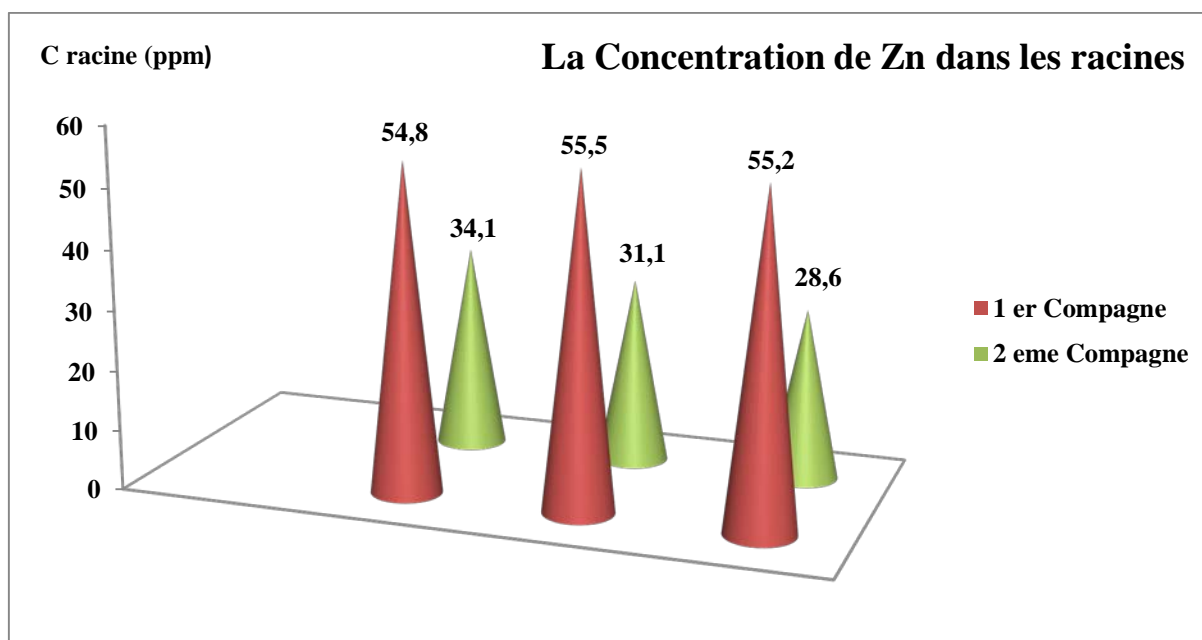
## 2.2. Analyse statistique du Zinc (Zn. ppm)

Le zinc joue un rôle direct dans la croissance de la plants. Il active la croissance, alors que la carence en cet élément la freine, Suivant **Mulder**, l'influenceen zinc sur la croissance repose sur un processus enzymatique. Là où il y a carence en cuivre, le freinage de la croissance ne se manifeste qu'au milieu de l'été, tandis que la carence en zinc se remarque dès le début de la croissance par une végétation ralentie et une formation insuffisante de chlorophylle.

### 2.2.1. Le zinc dans les racines

La figure 32 montre une diminution significative de la concentration du Zn dans les racines des plantes stressées par rapport aux plantes témoins avec des valeurs moyennes passant de **(55.17 ppm)** dans la première campagne à **(31.27 ppm)** dans la deuxième campagne.

L'analyse des résultats obtenus de l'estimation de cette caractéristique (Tableau 51, annexe), démontre qu'elle se trouve influencée d'une manière très hautement significative ( $p < 0.01$ ).

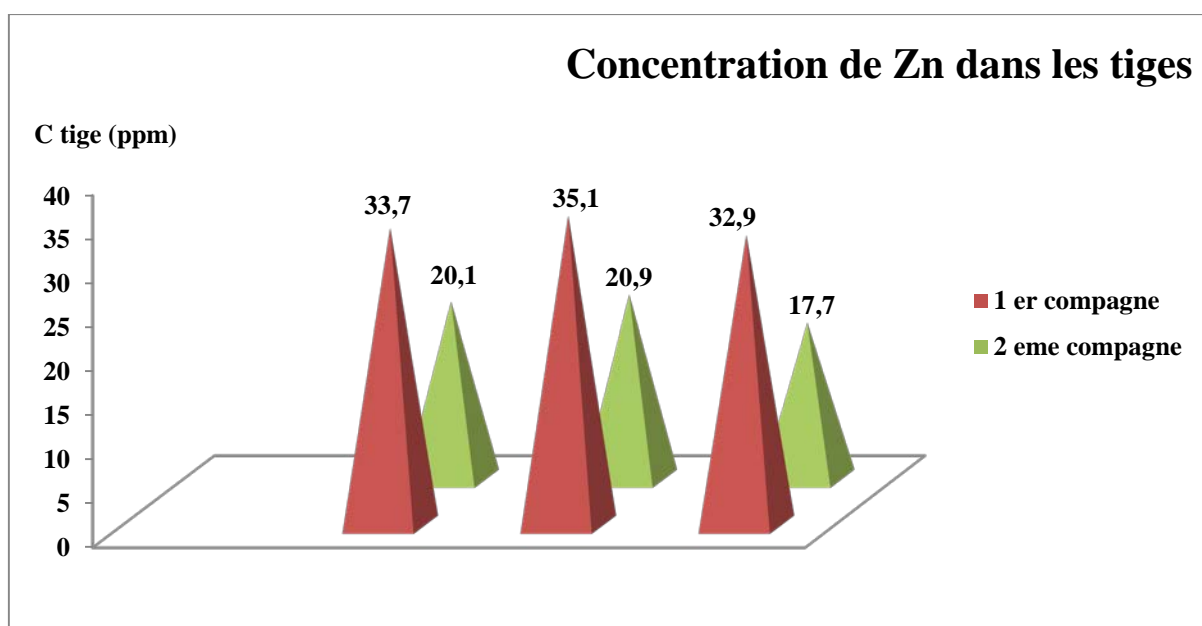


**Figure 32.** La concentration du Zinc (ppm) dans les racines dans les deux campagnes.

### 2.2.2. Le zinc dans les tiges

La figure 33 montre une diminution significative de la concentration du zinc dans les tiges des plantes stressées par rapport aux plantes témoins avec des valeurs moyennes passant de (**33.9 ppm**) pour la première campagne à (**19.75 ppm**) dans la deuxième campagne.

L'analyse des résultats obtenus de l'estimation de cette caractéristique (Tableau 52, annexe), démontre qu'elle se trouve influencée d'une manière très hautement significative ( $p < 0.001$ ).

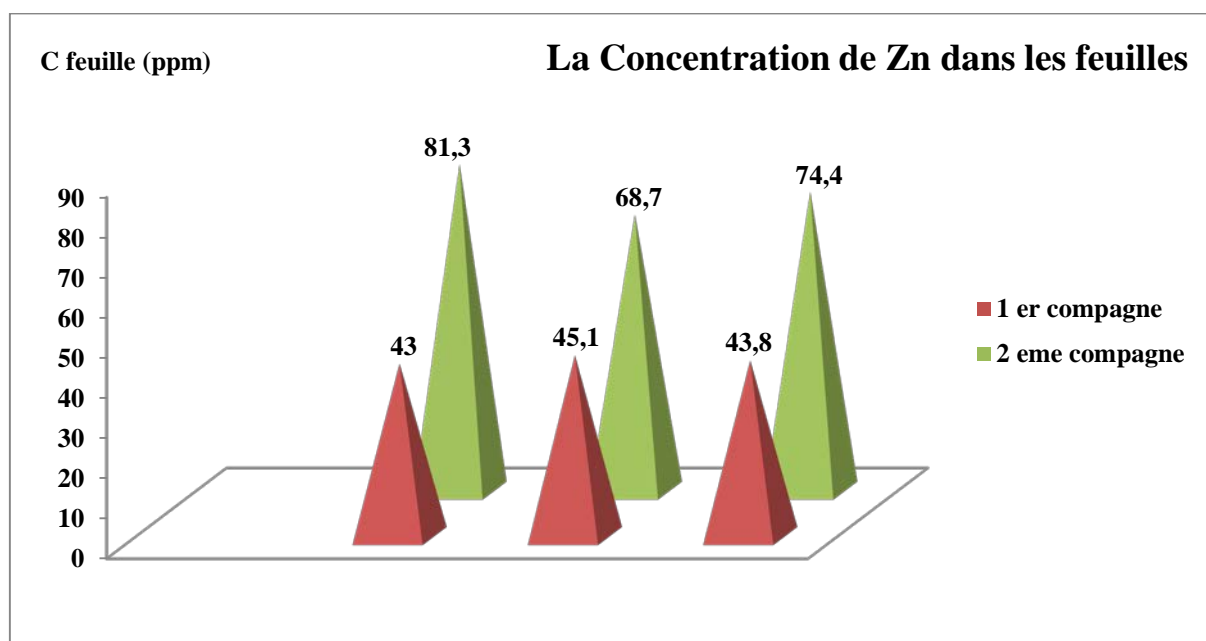


**Figure 33.** La concentration du Zinc (ppm) dans les tiges dans les deux campagnes.

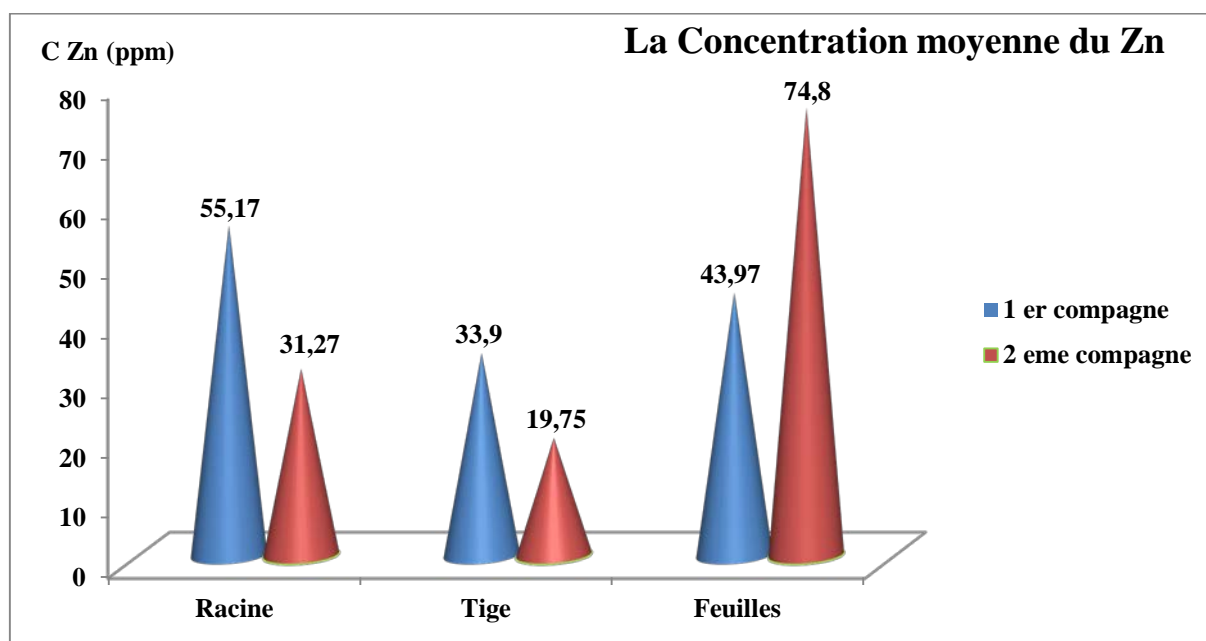
### 2.2.3. Le zinc dans les feuilles

La figure 35 montre une augmentation significative de la concentration du zinc dans les feuilles des plantes stressées par rapport aux plantes témoins avec des valeurs moyennes passent de **(43.97 ppm)** pour la première campagne à **(74.8 ppm)** dans la deuxième campagne.

L'analyse des résultats obtenus de l'estimation de cette caractéristique (Tableau 53, annexe), démontre qu'elle se trouve influencée d'une manière très hautement significative ( $p < 0.01$ ).



**Figure 34.** La concentration du Zinc (ppm) dans les feuilles dans les deux campagnes.



**Figure 35.** La concentration du Zinc (ppm) dans les deux campagnes.

## 2. Facteur de Translocation et Bioaccumulation des métaux.

La capacité d'une plante à accumuler des polluants à partir de son environnement peut s'évaluer au travers de deux facteurs qui sont le facteur de bioconcentration FBC et le facteur de translocation FT. Le facteur de bioconcentration traduit la capacité d'une espèce végétale à accumuler dans ses tissus (généralement les racines) un polluant à partir du sol. Le Facteur de translocation traduit la capacité d'une espèce végétale à transférer un polluant de ses racines vers ses parties aériennes (tige, feuilles,...). Pour un polluant donné, ces deux facteurs sont définis comme suit :

$$FT = \frac{\text{Concentration dans les parties aériennes (ug/g)}}{\text{Concentration dans les racines (ug/g)}}$$

$$FBC = \frac{\text{Concentration dans la plante (ug/g)}}{\text{Concentration dans le sol (ug/g)}}$$

### 2.1. Le Facteur de Bioconcentration FBC

La pénétration d'un élément dans une plante peut être évaluée par le facteur de transfert sol/plante ou également appelé facteur de bioconcentration, noté **FBC**. Celui-ci représente la possibilité de transfert d'un contaminant du sol vers les plantes. Il est généralement défini comme le rapport entre la concentration dans les plantes et celle dans le sol où ont poussé les plantes (Zheng et al., 2007).

Plus la plante absorbe facilement le métal, plus le facteur de bioconcentration est grand. Ce transfert du sol vers les plantes est en fonction :

- de la nature du métal (Zheng et al., 2007) ;
- de la nature des plantes (de l'espèce ou du cultivar) et également de leur âge (Yoon et al., 2006) ;
- les caractéristiques des sols, telles que le pH, le taux de matière organique, la capacité d'échange cationique ou la mobilité des métaux (Yoon et al., 2006 ; Zhenget al., 2007).

**Tableau 40.** Facteur de bioconcentration du cuivre et du zinc .

Matériel végétal	1 <sup>er</sup> campagne	2 <sup>ème</sup> campagne
Facteur de bioconcentration de cuivre	0,16	0,47
Facteur de bioconcentration de zinc	5,08	11,89

D'après le tableau 40, le facteur de bioconcentration est très faible pour le cuivre  $FBC < 1$ , avec une valeur de l'ordre de **0.16** pour la première campagne et de l'ordre de **0.47** pour la deuxième campagne. Ces résultats sont expliqués par une très faible absorption du métal par la plante. Pour le zinc le facteur de bioconcentration a une valeur supérieure à **1** ( $FBC > 1$ ), il est en augmentation significative, dans les plantes stressées, par rapport aux plantes témoin et passe d'une valeur de l'ordre de **5.08** dans la première campagne à **11.98** dans la deuxième campagne. Cette augmentation est deux fois plus élevée dans les plantes stressées à cause de la mobilité élevée du Zn.

D'après de tableau de **Briefert et Perraud ,1997** (Annexe, tableau N°54), les valeurs du facteur de bioconcentration pour le cuivre sont modérés, dans les deux campagnes. Par contre, pour le zinc les valeurs de FBC sont plus élevées.

**Nous pouvons donc admettre que cette espèce végétale est considérée comme un bon candidat dans le cadre des études relatives à la Phytoremediation de sites contaminés par le Zinc.**

## 2.2. Facteur de translocation FT

Après l'absorption par les racines, la translocation correspond au transfert des éléments traces métalliques vers les parties aériennes. Elle peut varier considérablement en fonction du métal, mais également de l'espèce végétale (**Briat et Lebrun, 1999**). Pour être conduit vers les parties aériennes, les éléments prélevés dans le sol par les racines doivent être transportés dans le cortex puis déversés dans les vaisseaux du xylème (par circulation de la sève brute).

**Tableau 41.** Représente le facteur de translocation du cuivre et zinc dans la plante.

Matériel végétale	1 <sup>er</sup> campagne	2 <sup>ème</sup> campagne
<b>Facteur de translocation de cuivre</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Facteur de translocation de zinc</b>	<b>1.41</b>	<b>3.02</b>

Les facteurs de translocation (FT) ont été calculés afin d'évaluer la capacité de l'Atriplex Canescence à transférer les métaux lourds (Cuivre et Zinc) des racines vers les parties aériennes.

Les résultats moyens présentés dans le tableau 41, indiquent que le facteur de translocation est différent pour les deux métaux et pour les deux campagnes. Pour le cuivre le FT est nul alors que pour le zinc  $FT > 1$ . Cette différence peut s'expliquer par l'absorption importante du Zn par rapport au cuivre qui reste bloqué, dans la partie racinaire.

Le FT du Zn qui est en augmentation progressive, passe d'une moyenne de **1.41** dans la première campagne à une moyenne de **3.02** dans la deuxième campagne. Cette augmentation est expliquée par le pouvoir d'absorption de la plante.

Les plantes peuvent, comme pour les autres éléments, prélever des quantités différentes de métaux lourds (**Haghiri, 1973 ; Page et al., 1981 ; Juste et Solda, 1984 ; Kim et al., 1988**). La migration et l'accumulation des métaux lourds dans les organes, les tissus, les cellules de la plante dépendent essentiellement du métal considéré (**Reddy et Patrick, 1977 ; Richter et Hlusek, 1986 ; Mench et al., 1987**). La plupart des espèces végétales paraissent opérer une forte rétention des métaux lourds, dans les racines, à un degré moindre dans les feuilles (**Page et al., 1981 ; Peterson, 1986**). Ces éléments traces sont absorbés par les racines, et y demeurent le plus souvent (**Miquel, 2001**).

Selon **Zn et al., 2005**, un facteur de translocation élevé est favorable à la Phytoremediation. Ce résultat souligne la capacité de cette espèce à transférer le métal lourd de ces racines vers ses parties aériennes. L'étude menée par **Deng et al., 2006**, a également montré un meilleur transfert des métaux de racines vers les parties aériennes du **Oenanthe javanica**.

## **1. Les paramètres physico-chimiques du sol**

L'étude expérimentale de ce travail de recherche qui a été effectuée au plein champ, avait pour objectif principal de tester le comportement de l'Atriplexe Canescence dans les sols très salés. Pour le suivi de ce comportement, il faut d'abord étudier les caractéristiques physiques et chimiques du sol, qui donnent une idée sur leur influence sur le mécanisme d'adaptation de la plante.

L'analyse du sol est importante pour deux raisons selon **Benaradj, année :**

- du point de vue physique, elle renseigne sur la nécessité d'apporter des modifications à la structure du sol et cela en tenant compte du climat ;
- du point de vue chimique, elle renseigne sur la richesse du sol en éléments organiques et minéraux.

### **1.1. Les caractéristiques physiques du sol.**

#### **1.1.1. La texture du sol.**

Cette partie fournit les résultats de granulométrie du sol, soit les pourcentages de sable, de limon et d'argile et la classe texturale. L'analyse de la texture permet de connaître et de déduire des propriétés physiques qui aident à mieux connaître les sols.

Dans la parcelle de traitement la fraction argileuse oscille entre 35.77% et 46.97% ,et entre 27.31% et 44.09 dans la parcelletémoin. Pour la fraction limoneuse les valeurs moyennes oscille entre 55.04 % et 46.46 % pour la parcelle témoins ,et oscille entre 44.77 % et 41.02 % pour la parcelles de traitement. Pour le sable,les valeurs moyennes oscillent entre 21.26 % et 9.45% pour la parcelle témoin et entre 19.54% et 10.88% pour la parcelle de traitement .

Ce taux élevé d'argile et de limon donne une structure massive qui perturbe le bon développement du système racinaire des plantes , la rupture de radicelles absorbantes ,le tassement et l'élévation de la densité apparente.

Selon le triangle de texture de l'**U.S.D.A.**,la texture du sol dans les deux parcelles varie entre limono-argileuse à argilo-limoneuse (texture fine à moyenne) .

Cette composition granulométrique présente l'inconvénient de créer une mauvaise perméabilité à ce sol, voir un mauvais état de drainage interne qui donne un sol avec un pouvoir de rétention en eau et en sels minéraux plus élevé. La présence d'une telle texture et en l'absence du réseau de drainage et aussi la topographie défavorable du terrain (bas fond) et l'hydrogéologie de la parcelle (présence d'une nappe perchée salée) contribue à la salinisation du sol étudié.

## **2. Les Caractéristique chimique du sol**

### **2.1. Le Potentiel hydrogène**

Le pH indique le degré d'acidité ou la basicité qui joue un rôle très important sur l'assimilation des éléments nutritifs par la plante, il a une influence sur trois composants importantes de la fertilité d'un sol : la biodisponibilité des nutriments , activité biologique et la stabilité structurale. la variation de pH dépend à les variations saisonniers et le nombre des ions en réserve sur le complexe argilo-humique, l'état hydrique du sol, sa température et la présence ou non d'une culture en période de croissance active (**PAUL THOREZ, DEJEAN, 2012**).

Les résultats montrent que le pH oscille entre 7.94 et 8.39 dans les deux parcelles, avec une moyenne de 8.12 pour la parcelle témoin et 8.25 pour la parcelle de traitement. Ceci indique que le pH est moyennement alcalin. Ces valeurs sont qualifiés de moyennement a peu favorables pour la nutrition des cultures. Cette élévation est liée à la forte teneur du sol en calcaire, l'aridité du climat, l'absence du lessivage-drainage interne et la contenance de ces sols en sodium.

### **2.2. La matière organique**

La matière organique est un indicateur important de la dégradation de la qualité des sols, de par sa contribution dans la stabilité du sol. L'augmentation de la capacité de rétention en eau

du sol, la fixation des éléments minéraux et le substrat pour micro-organismes du sol, jouent aussi un rôle essentiel dans la structure du sol et dans la nutrition de la plante (Huber, Schaub, 2011).

Letaux en M.O des sols est influencé globalement par les facteurs climatiques, la végétation, la texture du sol, les conditions topographiques et les pratiques culturales (Halitim, 1988).

Plusieurs études ont montré que les teneurs en carbone et en azote varient beaucoup selon la profondeur du sol et selon les utilisations, soit agricole et forestière (Dam et al., 1997; Conant et al., 2003; Don et al., 2007; Schilling et al., 2009; Li et al., 2013).

On constate que les teneurs en matière organique diminuent avec la profondeur pour l'ensemble des profils, la moyenne de la matière organique oscille entre 2.54% et 1.48% dans les horizons de surface, et entre 0.84% et 0.32% dans les horizons profonds, Ces valeurs indiquent que la matière organique présente une valeur moyenne dans la couche superficielle, et elle diminue progressivement en profondeur pour atteindre des valeurs très faibles. Ces teneurs contraignantes de la matière organique et suite à une absence de la couverture végétale et une minéralisation élevée dans une région à forte aridité, donnent lieu à une réserve en humus très faible à nulle.

### 2.3. La capacité d'échange cationique

La capacité d'échange cationique est une référence à la capacité du sol à retenir et échanger des éléments nutritifs facilement disponibles pour les plantes.

Les cations retenus sur les colloïdes du sol peuvent être remplacés par d'autres cations; cela veut dire qu'ils sont échangeables. La CEC dépend des quantités et des types d'argiles et de la matière organique présente; plus il y en a, plus la CEC est élevée.

On constate que les teneurs en CEC diminuent avec la profondeur pour l'ensemble des profils, la moyenne de la CEC oscille entre 19.75 meq/100g et 16.68 meq/100g dans les horizons de surface, et entre 18.22 meq/100g et 14.43 meq/100g dans les horizons profonds. Ces valeurs indiquent que la moyenne de la CEC présente une valeur très faible dans tous les horizons et pour les deux parcelles. Ces très faibles valeurs s'expliquent par la teneur très faible en matière organique dans le sol étudié, malgré la dominance de la fraction argileuse.

### 2.4. Calcaire Total

L'analyse du calcaire total est nécessaire pour affiner la caractérisation des constituants du sol et améliorer les choix stratégiques en termes de chaulage. Comme la granulométrie, c'est une caractéristique stable du sol, qui n'est pas utile de mesurer à chaque analyse. D'après les résultats d'analyses, les moyennes du calcaire total oscillent entre 18.40% et 21.37% dans les deux parcelles. Ces moyennes indiquent que notre sol moyennement calcaire avec un risque de

chlorose. Ces valeurs sont contraignantes pour une grande gamme de cultures, et pouvant nuire à l'absorption de certains oligoéléments.

### 2.5. Calcaire Actif

Du taux de calcaire présent dans la terre fine, on ne peut tirer d'enseignements agronomiques. Car on ignore si ces carbonates sont de la taille de sables ou sous la forme de particules très fines. Or, pour les plantes, c'est la réactivité du calcaire qui est importante (réactivité élevée pour les particules fines).

C'est pourquoi **Drouineau, en 1942**, a tenté de mettre au point un test d'aptitude des carbonates, à une dissolution rapide. Actuellement, le dosage du calcaire dit actif consiste à déterminer quelle quantité de  $\text{Ca}^{++}$  réagit avec l'oxalate d'ammonium.

D'après les résultats d'analyses, les moyennes du calcaire actif oscillent entre 3.88% et 5.09% dans les deux parcelles, ces moyennes indiquent que le sol étudié présente des teneurs moyennes en calcaire actif, et donc un risque moyen de chlorose ferrique. Cette maladie sévit en effet dans les sols très calcaires ou elle frappe la vigne et certains arbres fruitiers (pêchers, cerisiers) ou forestiers (pin Douglas, pin sylvestres ou maritimes, mélèzes du Japon, châtaignier, chêne rouge d'Amérique, épicéa commun) et certaines plantes herbacées (haricot, lupin). Sur les sols calcaires, le feuillage de ces espèces prend une teinte vert-jaune. La chlorose cause également d'autres inconvénients (insolubilisation des phosphates, mauvaise absorption du Mn, antagonisme Ca/K,...).

### 2.6. La conductivité électrique

La conductivité électrique est une mesure qui donne une approximation de la concentration des sels solubles présents dans l'échantillon.

Les valeurs moyennes de la conductivité électrique de la pâte saturée pour les deux parcelles oscillent entre 8.19 ds/m et 20.99 dS/m, dans les couches superficielles, et entre 21.82 dS/m et 27.752 dS/m dans les couches profondes. D'après ces valeurs analytiques, les moyennes de la conductivité électrique de la pâte saturée sont extrêmement élevées et augmentent progressivement vers la profondeur (profil salin de type descendant).

D'après la classification française (**Aubert, 1967**), le sol étudié est salin.

Le plus souvent les sels sont transportés latéralement sur de courtes distances, et, en raison d'un drainage superficiel insuffisant, ces sels s'accumulent dans les dépressions. La salinité est aussi une conséquence de la présence d'une nappe perchée saline, un régime climatique aride, une texture fine du sol et de l'absence du drainage.

Avec ces valeurs analytiques liées à la salinité des sols, aucune culture (céréalière, maraichère et arboriculture) ne peut supporter les effets nocifs de l'excès des sels.

## 2.7. Les métaux lourds

D'après (Deneux-Mustinet al 2003) Les sols doivent être considérés comme des réacteurs biogéochimiques complexes, interactifs, dans lesquels les éléments minéraux majeurs et en traces, dont les radionucléides, peuvent subir d'importants changements de leur forme chimique ou de leurs phases porteuses. Ces évolutions de leur spéciation modifient aussi leur mobilité, leur disponibilité, leur toxicité, les propriétés physiques et chimiques mais aussi les paramètres biologiques des sols contrôlent ces processus.

### 1. Le cuivre

Pour l'agriculture, ce sont les épandages de lisier, l'utilisation du cuivre comme additif alimentaire dans les élevages, et l'utilisation de fertilisants, de fongicides (bouillie Bordelaise, Sulfate de Cu, Arsenate de Cu chromé ou CCA) pour de nombreuses cultures (comme la vigne, les vergers, etc.) et de bactéricides, concèdent comme la principale source du cuivre dans le sol.

D'après (Loué, 1993), les teneurs totales en cuivre varient entre 3 ppm et 100 ppm, suivant les sols ayant reçu de nombreux traitements anticryptogamiques à base de Cu. La teneur en Cu total d'un sol est reliée à celle de la roche mère. (Baize, 2000). Des teneurs totales en cuivre inférieures ou égales à 7 ppm entraînent des carences cupriques. En revanche, des toxicités apparaissent au-delà de 180 ppm (Coic et Coppenet in Baize, 2000).

D'après les résultats analytiques, la concentration du Cu dans la parcelle témoin et la parcelle de traitement sont hétérogènes dans les deux campagnes avec des valeurs moyennes variant entre 2.13 ppm et 7.89 ppm.

D'après ces résultats on constate que les concentrations de cuivre sont inférieures ou égales à 7 ppm, donc les plantes sont exposées à des signes de carence en cuivre. Cette carence indique que la quantité des produits phytosanitaires utilisée par l'agriculteur est très faible.

La concentration critique du sol est définie comme étant la valeur au-dessus de laquelle la toxicité est possible. Kabata-Pendias et Pendias (1984) considèrent que les valeurs au-dessus desquelles le sol est critique sont les suivantes : 8 mg kg<sup>-1</sup> (Cd), 125 mg kg<sup>-1</sup> (Cu) et 400 mg kg<sup>-1</sup> pour le Pb et le Zn.

### 2. Le Zinc

D'après (Loué, 1993) la teneur des sols en Zn total dépend beaucoup de celle de la roche mère et se situe entre 10 et 300ppm. (Baize, 2000). Le zinc est présent le plus souvent sous forme de sulfure (blende) dans des filons hydrothermaux et des gites stratiformes imprégnant des roches sédimentaires où il se trouve associé au plomb, au fer, et au cuivre (association blende, pyrite, Galena, chalcopryrite). Le zinc peut être considéré comme très mobile. Les formes les plus mobiles du zinc seraient facilement adsorbées par les constituants organiques et minéraux des sols.

D'après les résultats analytiques, les concentrations du Zn dans la parcelle témoin et la parcelle de traitement sont hétérogènes dans les deux campagnes avec des valeurs moyennes variant entre 14.66 ppm et 5.32 ppm.

En remarque une légère diminution des concentrations du Zn dans la deuxième campagne de la parcelle de traitement, cette diminution est expliquée par l'absorption du métal par la plante.

La concentration critique du sol est définie comme étant la valeur au-dessus de laquelle la toxicité est possible. Kabata-Pendias et Pendias (1984) considèrent que les valeurs au-dessus desquelles le sol est critique sont les suivantes : 8 mg kg<sup>-1</sup> (Cd), 125 mg kg<sup>-1</sup> (Cu) et 400 mg kg<sup>-1</sup> pour le Pb et le Zn.

En résumé, les sols des différents sites présentent des concentrations non élevées en Cu et Zn par comparaison avec les moyennes mondiales des sols non contaminés (Cu 30 mg kg<sup>-1</sup>; Zn 90 mg kg<sup>-1</sup> ; Bowen, 1979).

## 2. Les paramètres physiologiques de la plante

### Discussion générale

L'intérêt porté aux caractères physiologiques d'adaptation aux contraintes environnementales a attiré l'attention de nombreux chercheurs. L'un des principaux caractères physiologiques de tolérance aux contraintes du milieu est la biodisponibilité des oligo-éléments. Celui-ci est réalisé grâce à la mobilité et la solubilité des métaux lourds dans le sol, qui est influencé par ces caractères physiques et chimiques.

Dans ce travail, nous avons analysé la variation d'un paramètre physiologique, en présence du stress salin chez *L'Atriplex Canescens*, sur deux campagnes de prélèvements. Ce paramètre (la biodisponibilité des oligo-éléments Zn et Cu) est souvent mesuré pour l'étude de la réponse des différents végétaux au stress salin.

En comparant les valeurs obtenues avec les concentrations critiques au-dessus desquelles les effets de toxicité sont possibles 20-100 mg kg<sup>-1</sup> pour le Cu, entre 100-400 mg kg<sup>-1</sup> pour le

Zn, (**Kabata-Pendias et Pendias, 1992**), nous constatons que les teneurs trouvées sont en dessous de la concentration toxique pour la plante.

Selon les normes proposés par (**Loué, 1993**) et (**Tremel-Schaub et Feix, 2005**), les résultats obtenus pour les teneurs en cuivre et en zinc dans les racines, tiges et feuilles sont classés avec les niveaux normaux.

Pour le cuivre l'accumulation est concentrée dans les racines seulement, sa translocation dans la partie aérienne est absolument nulle, cette bioconcentration dans les racines est accompagnée par une légère augmentation dans la deuxième campagne avec une moyenne qui passe de **2.4 ppm** dans la première campagne à **3.6 ppm** dans la deuxième campagne. Par contre, il a été observé que la valeur la plus forte a été enregistrée en été (deuxième campagne). Ceci confirme les résultats similaires signalés par (**Khan et al, 2009**) en zone arides du Pakistan. L'étude statistique sur la concentration du cuivre dans les racines indique que les résultats obtenus sont significatifs (Annexe, tableaux n°50).

La diminution de la translocation du Cu des racines vers les parties aériennes permet de protéger et de maintenir des métabolismes essentiels comme la photosynthèse qui n'ont lieu que dans les feuilles (**Cuyper et al. 2000**). Chez *Malva sylvestris* la tolérance repose sur une diminution de l'absorption et de la translocation du Cu (**Boojar & Goodarzi 2007**). Pour limiter les entrées dans la cellule, les plantes peuvent fixer le Cu au niveau de la paroi cellulaire, comme par exemple dans les racines d'*Elsholtzia haichowensis* où le Cu est lié aux pectines et glycoprotéines de la paroi (**Qian et al. 2005**).

Pour le zinc, nos résultats montrent que la concentration du Zn dans les plantes témoins par rapport aux plantes stressées est diminuée progressivement dans les racines et les tiges, et augmentée dans les feuilles. Elle passe d'une moyenne de **55.17 ppm** à **31.27 ppm** dans les racines, et de **33.9 ppm** à **19.75 ppm** dans les tiges, et de **43.97 ppm** à **74.8 ppm** dans les feuilles. L'étude statistique montre que les résultats pour les racines et les tiges sont très hautement significatifs et hautement significatifs pour les feuilles (Annexe, tableaux n°51,51,53).

Donc le Zn s'est accumulé dans tous les organes de la plante mais avec des concentrations différentes. Par une comparaison des deux campagnes nous avons remarqué une diminution de la concentration du zinc dans les racines et les tiges et une augmentation dans les feuilles. À partir de cette comparaison nous pouvons conclure que le Zn est absorbé par les racines, et transporté par les tiges pour être stocké dans les feuilles. Donc nous pouvons dire que la bioconcentration du Zn s'est réalisée au niveau des feuilles de la plante.

**Généralement**, les métaux lourds extraits par la plante sont stockés dans leurs vacuoles, mais parfois dans l'apoplasme selon certaines études encore en cours. Néanmoins, les organes de stockage principal ne sont pas toujours les mêmes chez les différentes plantes, il peut s'agir des racines, des tiges, des feuilles principalement, mais aussi de la sève, des graines ou **des bourgeons**.

Du point de vue écotoxicologique, le transfert des métaux vers les parties aériennes est une propriété non désirable puisque les métaux qui s'accumulent peuvent passer dans la chaîne alimentaire par le biais des herbivores.

Une plante particulièrement étudiée, le **Tabouret bleuâtre** (*Thlaspi caerulescens*) a résolu ce problème en acidifiant elle-même le sol où elle pousse, se gavant littéralement de zinc qui, une fois dans ses tissus, protégera ses organes de la consommation par ses prédateurs herbivores **de prédilection**.

**Il est important** de noter que seuls les métaux solubles seront biodisponibles, c'est-à-dire assimilable par les végétaux, et il arrive parfois que l'on soit obligé d'ajouter un chélateur (« agent transformateur ») pour que les ions métalliques soient libérés et libres **d'absorption**.

La plupart des composés organiques et minéraux du sol (argile, oxydes, matières organiques) possède des charges positives ou négatives de surface qui peuvent jouer un rôle dans l'échange et l'adsorption d'ions ou de molécules organiques (**Deneux-Mustin et al., 2003**). Selon (**Tran et al., 1995**), pour les éléments mineurs, leur disponibilité potentielle dépend des types de sols et particulièrement leurs caractéristiques physico-chimiques. Les facteurs les plus importants sont, le pH, la texture du sol, la matière organique, le potentiel redox (**Deneux-Mustin et al., 2003**).

Le pH constitue un facteur dont le rôle est crucial pour la mobilité des ions métalliques, car il influence le nombre de charges négatives pouvant être mises en solution (**McLaughlin, et al., 2000**). Les protons proviennent majoritairement de la respiration végétale et microbienne, ainsi que de l'oxydation des sulfures. A l'inverse, ils sont consommés par l'hydrolyse des minéraux altérables. D'une façon générale, lorsque le pH augmente, les cations sont moins solubles et les anions sont plus solubles (**Blanchard, 2000**).

De plus, l'augmentation de pH induit souvent la formation d'espèces précipitées qui peuvent limiter la solubilité et la biodisponibilité de toutes les espèces ioniques (**Deneux-Mustinet al., 2003**). Les variations de pH ont donc des conséquences complexes et parfois contraires sur la mobilité des métaux lourds, en particulier en présence de ligands organiques et inorganiques.

**Martinez et Motto (2000)** ont montré, dans différents types de sol, que la concentration des métaux dans la phase aqueuse augmentait quand le pH diminuait. Les travaux de **Shu et al**

(2001) ont mis en évidence un appauvrissement en Pb, Zn, Cu et Cd dans des horizons superficiels acides de sols miniers. Cet appauvrissement serait causé par une augmentation de la mobilité des métaux due à une acidification des résidus miniers.

De façon très générale, lorsque les éléments sont chimiquement stables sous forme de cations, leur solubilité diminue lorsque le pH augmente. Les variations de pH induisent aussi la formation de phases solides précipitées (hydroxydes et oxyhydroxydes) qui d'une part, peuvent limiter la solubilité et la disponibilité des éléments, et d'autre part, servir par nucléation de processus à la formation d'espèces minérales plus stables immobilisant les éléments. Toutefois, l'amplitude des variations du pH est largement pondérée par la nature des constituants organiques ou minéraux du sol et des changements de régime hydriques ou thermiques imposés par le climat.

Le potentiel d'oxydoréduction (Eh) exprime le flux d'électrons des agents réducteurs vers les agents oxydants. Il est contrôlé par l'activité des électrons en solution (Sposito, 1983).

Evans (1989) montre qu'une diminution de la teneur en eau ou en matière organique favorise une augmentation du potentiel redox. Ces réactions d'oxydoréduction influencent fortement le devenir des ETM en solution. Chuan et al (1996) observent une augmentation de la solubilité du plomb et du zinc lorsque le potentiel redox diminue.

**Pour le sol étudié, nous avons remarqué que le Zn est plus mobile par rapport au Cu.** L'intensité de l'absorption de Zn tend à croître avec l'élévation du pH, et la mobilité de Zn se trouve nettement diminuée au-dessus du pH= 7. La matière organique du sol forme des complexes très stables avec Zn, et les acides fulviques et humiques sont très importants dans l'adsorption du zinc. Cependant, Zn est un des métaux lourds les plus mobiles (Loué, 19).

Le zinc diffère du cuivre du fait que son sulfure est plus soluble. La solubilité de Zn est particulièrement faible dans les sols à haut pH. La solubilité de Zn du sol et des minéraux Zn est maximale à pH =4 et beaucoup plus faible dans les conditions neutres et surtout alcalines. La solubilité de Zn dans les sols peut être améliorée par des engrais acidifiants (Loué, 1993). Des études avec  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  ont montré qu'en présence de fortes concentration  $\text{SO}_4$ , il y avait formation de  $\text{ZnSO}_4$  particulièrement mobiles dans les sols et susceptible d'augmenter l'assimilabilité de Zn.

---

## Conclusion générale

Les conditions climatiques défavorables, associées à l'accumulation des sels, constituent les problèmes les plus graves dans la mise en valeur des sols des régions arides et semi-arides.

L'utilisation d'une ou plusieurs espèces végétales est nécessaire, et leur choix doit être judicieux. Il faudra privilégier des espèces natives du site à remédier plutôt que des plantes hors de leur aire d'origine qui pourraient devenir des espèces invasives (**Gonzalez et Gonzalez-Chavez, 2005**). Les espèces choisies devraient être capables de supporter la salinité mais aussi les autres stress souvent présents comme la sécheresse ou le manque de nutriments. Elles doivent aussi avoir une croissance rapide (**Pilon-Smits, 2005**).

Enfin, les caractéristiques supplémentaires sont nécessaires. Par exemple les plantes doivent posséder un important système racinaire et un fort taux d'enzymes dégradantes (**Pilon-Smits, 2005**). Elles doivent avoir un fort taux de translocation vers les parties aériennes et une forte accumulation des métaux dans celles-ci.

Les plantes indiquées pour cette techniques (désalinisation des sols) doivent pousser vite, produire beaucoup de biomasse, tolérer la contamination et les conditions de vie sévères des environnements contaminés (**Pilon-Smits 2005**).

Les résultats obtenus par le biais de cette étude ont montré que les sols des parcelles étudiées sont caractérisés par une salinité très élevée avec un profil salin descendant.

- **Concernant les paramètres physiques du sol :** La texture du sol est argilo-limoneuse, sur tout le profil, ce qui explique la forte salinité du sol.
- **Concernant les paramètres chimiques du sol :**L'étude a montré que le sol est moyennement calcaire avec un pH moyennement alcalin variant entre 7,94 et 8.93. Le taux de matière organique est faible et diminue vers la profondeur. Les valeurs de la capacité d'échange cationique sont faibles sur tout le profil. Les teneurs en calcaire total sont moyennes et varient entre 18.40 % et 21.37 %.Les teneurs en calcaire actif indiquent que le sol est moyennement calcaire avec des moyennes variant entre 3.88 % et 5.09 %.Les moyennes de la conductivité électrique de la pâte saturé sont extrêmement élevée et varient entre 8.19 ds/m et 27.75 dS/m.Les concentrations en zinc et en cuivre sont faibles,dans le sol, avec des valeurs moyennes entre 2.13 ppm et 7.89 ppm pour le cuivre et 5.32 ppm et 14.66 ppm pour le zinc.

---

### **Concernant la plante:**

L'intérêt porté aux caractères physiologiques d'adaptation aux contraintes environnementales a attiré l'attention de nombreux chercheurs. L'un des principaux caractères physiologiques de tolérance aux contraintes du milieu est la biodisponibilité des oligo-éléments (Zn et Cu). Celui-ci est réalisé grâce à la mobilité et la solubilité des métaux lourds dans le sol, qui est influencé par ces caractères physiques et chimiques.

L'étude de ce paramètre à indiquer que la plantes a absorbé et bio concentré les deux métaux en mêmetemps, mais avec une grands concentration pour le Zn. Pour la translocation nous avons trouvé que le transport du Cu vers la partie aérienne est absolument nul, par rapport au Zn qu'il a une translocation élevée et le stockage effectué, au niveau des feuilles de la plante.

Le transfert des métaux lourds du sol aux plantes diffère d'un métal à l'autre, aussi influencé par la nature du sol. Lorsque la teneur en humus ou en argile est élevée, les métaux lourds restent plus solidement liés dans le sol, une valeur de pH élevée est responsable d'une augmentation de la concentration des métaux lourds dans le sol sous forme d'hydroxydes ou de complexes faiblement mobiles ; dans les deux cas, de petites quantités d'ions de métaux lourds se trouvent disponibles pour les racines, et c'est le cas pour le cuivre.

Nous prouvons donc conclure **l'Atriplex canescens (Pursh). Nutt** présente une forte résistance aux fortes concentrations de salinité, ce qui rend possible la réhabilitation des parcours dégradés de la plaine de la Mina(Relizane).

## Références Bibliographiques

- **A.Marmoud, janvier 2006** : Maitrise de la salinité.
- **Asma Achour, Yasmina Bidai, and Moulay Belkhodja , 2015** :L'impact de la (Abelmoschus esculentus L.) :Laboratoire de Bio-toxicologie Expérimentale, Bio-dépollution et de Phytoremediation, Université d'Oran Ahmed Ben Bella, Département de biologie, Algérie
- **Azzouz Fatima ,2011** : Effet de l'interaction plomb-salinité sur les réponses physiologique et biochimique d'une halophyte (Atriplex halimus L) et d'une glycophyte (Vicia faba L) : Thèse de Magistère :Université d'Oran . . **Barigah TS, Bonhomme M, Ameglio T, Cochard H. (1998)**. L'arbre et le changement climatique, INRA, France
- **Babou Fatima Zohra ,2010** :L'action du plomb sur les marqueurs de résistance d'Atriplex Halimus et d'Atriplex Canescens(Pursh) Nutt : Thèse de Doctorat : Univers salinité sur le comportement hydrique et métabolique d'une variété de Gombo
  
- **Baha-Eddine Ghezlaoui, Noury Benabadji, Djamel Benmansour & Abdessamad Merzouk ,30 mars 2011** : Analyse des peuplements végétaux halophytes dans le Chott el-Gharbi (Oranie-Algérie) : Laboratoire d'Ecologie et gestion des Ecosystèmes Naturels, Faculté des Sciences, Université Abou-Bekr Belkaid,
  
- **Baba Sidi-kaci ,2010** :Effet du stress salin sur quelques paramètres physiologiques (biométrie, anatomie) et nutritionnels de l'Atriplex en vue d'une valorisation agronomique : Thèse de Magistère : Université Kasdi Merbah –Ouargla.
  
- **Bessaih Abderrahmane Hellal Benchaben Ayad Nadira, November 2014** : Réhabilitation par l'Atriplex des parcours steppiques du sud de la préfecture de Saida Algérie : Université Djillali Liabes Sidi Bel Abbas.
  
- **BOUCHOUKH Imane ,2010** : Comportement éco-physiologique de deux Chenopodiacées des genres Atriplex et Spinacia soumises au stress salin : Thèse de Magistère : Université Mentouri – Constantine.

- **Bouaouina S., Zid E., Hajji M. ,2000** :Tolérance à la salinité, transports ioniques et fluorescencechlorophyllienne chez le blé dur (*Triticumturgidum L.*).
- **Boukraâ Djamila ,2016** : Effet de l'acide salicylique sur les composantes du rendement et la résistancebiotique et abiotique chez *Cicer arietinum* :Thèse de Doctorat : Université Mustapha Stambouli ,Mascara .
- **Djerroudi O., Mehani. et BelkhodjaM., juin 2011** :Effet du stress salin sur deux paramètres hydriques (Turgescence et Transpiration) de jeunes plantes d'Atriplexe Halimus et Atriplexe Canescence : *Laboratoire des Bio-ressources Sahariennes*. Université KasdiMerbah, Ouargla (Algérie).
- **Djahra Ali Boutlelis, Benmakhlouf Zoubida, BenkheraraSalah,BenkaddourMounia ,December 2015** : Effet du stress salin sur la teneur en eau et certains osmolytes chez le blé dur *Triticumdurum* var kebirpulverise par une phytohormone synthétisée :Benzyl-Amino-Purine (BAP) : Laboratoire de Biologie Végétale et Environnement,
- **ChafikaRezkallah, Rachid Djemai , SouhailMaalemet ChamsseeddineFehdi** : Les effets d'irrigation par l'eau salée sur les propriétés physico-chimiques d'un sol planté avec Atriplex. Halimus : Laboratoire d'éco-pédologie et de l'environnement, Université d'Annaba, Algérie.  
Département de Biologie Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie. ité d'Oran
- **Essafi N. E., Mounsiif M., Bendaou M., Abousalim A. et RachidaiA, mars 2005** : Evaluation de la valeur fourragère de l'Atriplexhalimus, sous l'effet du stress hydrique
- **F. Benrebaha, F. Hamdani, C. Chaouia, et F. Bouchenak ,2012** : Effet du stress salin sur le taux de chlorophylle et la perméabilité membranaire chez l'Atriplexe Halimus : Université de Blida.
- **FAO, 1986** : Les besoins en eau des cultures. Bulletin d'irrigationet de drainage n° 24, Rome 1986, 123 pages. **Kajeiou M., Khalid A. et SerghiniCaid H. Juin 2012** :Effet du stress salin sur des paramètresphysiologiques et agronomiquesde différentes variétés de carthame(*CarthamustinctoriusL.*) :Laboratoire des plantes et biologie des micro-organismes, Faculté des Sciences, UniversitéMohamed Premier, Maroc.

- **Kacis., Bissati. et Djerroudi ,décembre 2012** :Effet d'un stress salins sur la réponse minérale d'*atriplexcanescens* (Pursh )Nutt :Université KasdiMerbahOuargla.
- **KerbabSouhila** : Les actinomycètes d'un sol salé: Rôle des osmoprotecteurs naturels : Thèse Magistère : Université Ferhat Abbas de Sétif, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département de Microbiologie
- **KADI Zahia, 12 mars 2012** : Sélection de l'orge (*Hordeumvulgara* L) pour la tolérance aux stress abiotique : Thèse de Doctorat : Université Ferhat Abbas Sétif.
- **Lamia Hamrouni, MohsenHanana, ChédlyAbdelly,AbdelwahedGhorbel ,16 novembre 2010** : Exclusion du chlorure et inclusion du sodium : deuxmécanismes concomitants de tolérance à la salinité chez la vigne sauvage *Vitis viniferasubsp. Sylvestris* : Institut National de Recherches en Génie Rural, Eaux et Forêts. Laboratoire d'Écologie et d'Amélioration sylvo-pastorale.Tunisie.
- **Leila Radhouane ,2013** :Comparaison de la nutrition minérale du mil(*Pennisetumglaucum* L.R. Br.) en présence de stress hydrique et de stress salin : Laboratoire des Sciences et Techniques Agronomiques, Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie : Journal of Applied Biosciences 66:5114–5129.
- **Lamia Hamrouni, MohsenHanana,ChédlyAbdelly, AbdelwahedGhorbel, 2011** :Exclusion du chlorure et inclusion du sodium : deuxmécanismes concomitants de tolérance à la salinité chezla vigne sauvage *Vitis viniferasubsp. sylvestris* : Institut National de Recherches en Génie Rural, Eaux et Forêts. Laboratoire d'Écologie et d'Amélioration sylvo-pastorale, Ariana (Tunisie).
- **Labdelli Amina ,2011** : Etude des variations morpho-structurales du système racinaire pour la tolérance a la sécheresse du blé dur (*Triticumdurum*Desf) : Thèse de Magistère : Université d'Oran.
- **M. Grouzis, G. Heim et A. Berger 1977** : Croissance et accumulation de sels chez deux salicornes du littoral méditerranéen :Montpellier
- **Meriem Belfakihi, Mohammed Ibrizi, AbdelmjidZouahriet SaidHilali, mars 2013** : Effet de la salinité sur la croissance des deux variétés de bananier « grande

naine » et « petite naine » et leur nutrition minérale au Maroc : Journal of Applied Biosciences 63: 4689 – 4702 .

- **Mouna Mehani, Samia Bissati, Ouiza Djeroudi ,2012** : Effet d'eau de mer sur deux paramètres hydriques (turgescence et transpiration) de jeunes plants d'*Atriplex canescens* (Effect of seawater on two water parameters (turgescence and transpiration) of young plants of *Atriplex canescens*): Laboratoire de Génie des procédés. Faculté des Sciences. Université d'Ouargla (Algérie).
- **M. El Midaoui1, M. Benbella1, A. Aït Houssa1, M. Ibriz2 & A. Talouizte,10 Octobre 2007** : Contribution à l'étude de quelque mécanisme d'adaptation à la salinité chez le Tournesol Cultivé (*Helianthus Annuus* L).
- **Meriem Belfakhih , Mohammed Ibriz, Abdelmjid Zouahri ,2013** : Effet de la salinité sur les paramètres morpho-physiologiques de deux variétés de bananier (*Musa acuminata* L) : Laboratoire de Génétique et Biométrie, Faculté des sciences, Université Ibn Tofail, BP: 133. 14 000. Kenitra. Maroc : Journal of Applied Biosciences 70:5652– 5662.
- **M. Denden, T. Bettaieb, Alef Salhi & M. Mathlouthi, 2005** : Effet de la salinité sur la fluorescence chlorophyllienne, latenceur en proline et la production florale de trois espèces ornementales : *Tropicultura*, 2005, 23, 4, 220-225
- **Mouna El fakhria, Said Mahboubb, Mounsif Benchekrounc, Nasser elhaq Nsarellahd , 31 Juillet 2010** : Effet du stress hydrique sur la répartition ionique dans les feuilles et les racines du blé dur (*Triticum Durum*) : Département de Biologie Appliquée et Agro-alimentaire, Faculté des Sciences et Technique, Settat, Maroc.
- **Ndiaye et al. J. Appl. Biosci ,2014** : Effets du stress salin sur la germination des grains de *Gossypium hirsutum* L : Université de Thiès, Institut Supérieur de Formation Agricole et Rurale : Journal of Applied Biosciences 80:7081 – 7092
- **Najar T, Héli S, Nasr H, 2011** : Valorisation des plantes tolérantes à la salinité par les petits ruminants.
- **Ndèye Thioro Diaw ,31 Juillet 2000** : Evaluation au champ et en conditions de salinité des performances agro-morphologiques et physiologiques de lignées de riz *Oryza sativa* L. : Thèse de doctorat : Université Chikh Anta Diop de Dakar.

- **Nancy Morin, 1984** :La qualité de l'eau d'irrigation, un facteur à ne pas négliger
- **Nadjem Kamel ,2012** : Contribution a l'études des effets du semis direct sur l'efficience d'utilisation de l'eau et le comportement variétal de la culture de blé en région semi aride : Thèse de Magistère : Université Ferhat Abbas Sétif Faculté des Sciences de la Nature et de la vie.
- **Rahmoune C, Maâlem S, Bennaceur M ,2004** :Etude comparative de rendement en matière sèche et en matière azotée totale de trois espèces de plantes steppiques du genre Atriplexe.
- **R'himThouraya., TliliImen., HnanImen, IlahyRiadh , Benali Ahlem et Jebari Hager ,2013** : Effet du stress salin sur le comportementphysiologique et métabolique de trois variétés de piment (*Capsicumannuum* L.) : Laboratoire d'Horticulture. Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie (INRAT: Journal of Applied Biosciences 66:5060 – 5069.
- **S. Dbara, R. Ouni, N. Fezai , Mars 2016** : Réponses physiologiques de deux variétés de poirier (*Pyruscommunis*L.) au déficit hydrique : Centre Régional des Recherches en Horticulture et Agriculture Biologique Chott Mariem Sousse Tunisie.
- **. SebaneRymFafa ,27 janvier 2015** : Action combiné de la salinité et de l'acide salicylique sur les réponses biochimiques de deux espèces, Atriplexehalimus L et Atriplexe canescens (Pursh)Nutt :Thèse de Magistère :Université d'Oran
- **Yamina Bouatrous et Nadia Yakhlef, 19 juin 2013** :Effet de phytohormones (AIA ,GA3) sur la sélectivité  $k^+/Na^+$  et la résistance stomatique dans l'adaptation à la salinité du blé dur (*TriticumDurum*Desf) et une empèse apparentée : Laboratoire de génétique, biochimie et biotechnologie végétales, département de biologie et d'écologie végétales, faculté des sciences de la nature et de la vie, université Mentouri Constantine, Algérie.
- **Zidane DjerroudiOuiza ,12 janvier 2017** : Caractérisation morpho-physiologique d'une halophyte Atriplexe, aux condition arides :Thèse de doctorat :Université d'Oran

## Annexe :

### 1. Les Tableaux

**Tableaux N° 1. Classes d'intensité du coefficient de variabilité (Nolin et al, 1997).**

Intensité de la variabilité	Coefficient de variation (%)
Faible	<15
Modérée	15-35
Elevée	35-50
Très élevée	50-100
Extrêmement élevée	>100

**Tableau N°2. Interprétation des valeurs du PH du sol, Norme d'après (AFES, INRA ,1988).**

Classe de réaction du sol	PH eau
Hyper acide	<3.5
Très acide	3.5-5
Acide	5-6.5
Neutre	6.5-7.5
Basique	7.5-8.5
Très basique	>8.5

**Tableau N° 3. Conductivité électrique de l'extrait aqueux au 1/5 (ds/m), Norme ISO 11265.**

Non salé	Peu salé	Salé	Très salé	Extrêmement salé
C.E Extrait 1/5(dS/m)	0.6	1.2	2.4	6

**Tableau N°4. Conductivité électrique de la pâte saturé (ds/m)**

Echelle de la conductivité électrique de l'extrait de la pâte saturée (dS.m <sup>-1</sup> à 25° C.)				
<i>L. A. Richards, 1954. United States Salinity Laboratory Staff – USDA.</i>				
<i>Les effets de la salinité sont négligeables</i>	<i>Les rendements des cultures très sensibles peuvent être limités</i>	<i>Les rendements de nombreuses cultures limités</i>	<i>Seules les cultures tolérantes donnent des rendements satisfaisants</i>	<i>Seules quelques cultures très tolérantes donnent des rendements satisfaisants</i>
<b>Non salé</b>	<b>Peu salé</b>	<b>Salé</b>	<b>Fortement salé</b>	<b>Extrêmement salé</b>
0	2	4	8	16
CE <sub>ps</sub> en dS.m <sup>-1</sup> →				

**Tableau N°5.** Interprétation des résultats d'analyse de la matière organique (Achkar, non daté)

Intervalle (%)	Jugement	Dose de fumier recommandée (T/ha)
<b>Sols argileux et limoneux : AA, A, AS, ASS, AL, ALS, LA, LSA, L, LS, et LL</b>		
≥3	Large ment satisfaisant	-
≥2-3	Satisfaisant	-
≥1,7-2	Moyenne	-
≥1,6-1,7	Moyennement faible	20
≥1,4-1,6	Moyennement faible	30
≥1,15-1,4	Faible	40
≥1-1,15	Très faible	50
≥0,8-1	Très faible	60
≥0,60-0,80	Excessive ment faible	70
≥0,40-0,60	Excessive ment faible	80
<0,40	Excessive ment faible	100
<b>Sols sableux : SA, SAL, SL, S, et SS</b>		
≥2	Large ment satisfaisant	-
≥1,75-2,00	Satisfaisant	-
≥1,5-1,75	Moyenne	-
≥1,25-1,50	Moyennement faible	20
≥1,00-1,25	Faible	30
≥0,86-1,00	Faible	40
≥0,70-0,85	Très faible	50
≥0,60-0,70	Très faible	60
≥0,50-0,60	Excessive ment faible	80
≥0,40-0,50	Excessive ment faible	90
<0,40	Excessive ment faible	100

**Tableau N°6.** Interprétation des niveaux de calcaire total et calcaire actif (Achkar, non daté).

Calcaire total (%)	Jugement	Commentaires
0	Nul	-
<0-1	Très faible	Aucun risque de chlorose
<1-4	Faible	Aucun risque de chlorose
<4-10	Moyenne	Risque de chlorose très faible
<10-15	Moyennement élevé	Risque de chlorose faible
<15-30	Elevé	Risque de chlorose important
<30-45	Très élevé	Très fort risque de chlorose, éviter toutes les cultures sensibles au calcaire, en arboriculture fruitière et viticulture, utiliser les portes greffes résistants. Risque de déficience en oligo-éléments (Cu, Zn, Fe, B, et Mn), sauf pour le molybdène.
>45	Excessivement élevé	
Calcaire actif (%)		
<0-3	Faible	Risque de chlorose très faible
<3-7	Moyenne	Risque moyen de chlorose
<7-15	Elevé	Risque élevé de chlorose, il faut faire des apports foliaires en oligo-éléments Cu, Zn, B, Fe, et Mn.
>15	Très élevé	Risque très élevé de chlorose, éviter toutes les cultures sensibles au calcaire, en arboriculture fruitière et viticulture, utiliser les portes greffes résistants. Risque de déficience en oligo-éléments (Cu, Zn, Fe, B, et Mn), sauf pour le molybdène.

**Tableau N°7.** Capacité d'échange cationique (CEC) des différents types de sol, adapté de Doucet (1992) cite dans collection (2001).

Type de sol	CEC (meq/100g)				
	Très faible	Faible	Moyenne	Elevée	Très élevée
Sableux	<4	4-6	6-8	8-10	10
Limoneux	<10	10-15	15-20	20-25	25
Argileux	<25	25-30	30-35	35-40	40

**Tableau N° 8.**Résultats statistiques de la granulométrie pour les deux parcelles.

Texture									
Code	Argile	Limon	Sable	OBS	code	Argile	Limon	Sable	OBS
T <sub>1</sub> AH <sub>1</sub>	40,66	49,55	9,79	AL	P <sub>1</sub> AH <sub>1</sub>	37,83	48,06	14,11	L.A.F
T <sub>1</sub> AH <sub>2</sub>	38,54	51,95	9,51	LAF	P <sub>1</sub> AH <sub>2</sub>	29,49	45,14	26,36	L.A
T <sub>1</sub> AH <sub>3</sub>	20,76	60,12	19,1	LF	P <sub>1</sub> AH <sub>3</sub>	22,47	48,16	28,92	L
T <sub>1</sub> AH <sub>4</sub>	23,23	71,35	5,41	LF	P <sub>1</sub> AH <sub>4</sub>	20,35	47,22	32,43	L
T <sub>2</sub> AH <sub>1</sub>	46,72	45,41	7,88	AF	P <sub>2</sub> AH <sub>1</sub>	46,21	43,56	10,23	A.L
T <sub>2</sub> AH <sub>2</sub>	40,6	37,42	22	A	P <sub>2</sub> AH <sub>2</sub>	51,97	41,54	6,49	A.L
T <sub>2</sub> AH <sub>3</sub>	36,1	45,7	18,2	LAF	P <sub>2</sub> AH <sub>3</sub>	63,59	34,66	1,75	A
T <sub>2</sub> AH <sub>4</sub>	31,11	24,99	43,9	LA	P <sub>2</sub> AH <sub>4</sub>	58,59	39,57	1,84	A
T <sub>3</sub> AH <sub>1</sub>	44,9	44,43	10,7	AL	P <sub>3</sub> AH <sub>1</sub>	48,99	42,7	8,31	A.L
T <sub>3</sub> AH <sub>2</sub>	38,08	54,64	7,28	LAF	P <sub>3</sub> AH <sub>2</sub>	50,35	44,71	4,94	A.L
T <sub>3</sub> AH <sub>3</sub>	32,83	59,3	7,87	LAF	P <sub>3</sub> AH <sub>3</sub>	54,8	40,23	4,97	A.L
T <sub>3</sub> AH <sub>4</sub>	27,58	57,94	14,5	LAF	P <sub>3</sub> AH <sub>4</sub>	28,33	47,31	24,36	L.A

**Tableau N°9.**Résultats statistiques de la granulométrie d'argile de la parcelle Témoin.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	40,66	38,08	20,76	23,23
Maximum	46,72	40,6	36,1	31,11
Ecartype	3,11	1,34	8,08	3,95

**Tableau N°10.**Résultats statistiques de la granulométrie de limon de parcelle la Témoin.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	44,43	37,42	45,7	24,99
Maximum	49,55	54,64	60,12	71,35
Ecartype	2,72	9,26	8,10	23,86

**Tableau N°11.**Résultats statistiques de la granulométrie de sable de la parcelle témoin.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
<b>Minimum</b>	7,88	7,28	7,87	5,41
<b>Maximum</b>	10,67	21,98	19,12	43,89
<b>Ecartype</b>	1,43	7,92	6,25	20,12

**Tableau N°12.**Résultats statistiques de la granulométrie d'argile de la parcelle Atriplexe.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
<b>Minimum</b>	37,8	29,5	22,5	20,4
<b>Maximum</b>	49	52	63,6	58,6
<b>Ecartype</b>	5,83	12,55	21,64	20,16

**Tableau N° 13.**Résultats statistiques de la granulométrie de limon de la parcelle Atriplexe.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
<b>Minimum</b>	42,7	41,54	34,66	39,57
<b>Maximum</b>	48,06	45,14	48,16	47,31
<b>Ecartype</b>	2,88	1,97	6,78	4,44

**Tableau N°14.**Résultats statistiques de la granulométrie de sable de la parcelle Atriplexe.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
<b>Minimum</b>	8,31	4,94	1,75	1,84
<b>Maximum</b>	14,11	26,36	28,92	32,43
<b>Ecartype</b>	2,95	11,94	14,84	15,85

**Tableau N° 15.**Résultats du pH <sub>1/5</sub>.

Code	1 <sup>er</sup> compagne	code	1 <sup>er</sup> compagne
<b>T<sub>1</sub>AH<sub>1</sub></b>	7,98	<b>P<sub>1</sub>AH<sub>1</sub></b>	8,06
<b>T<sub>1</sub>AH<sub>2</sub></b>	8,09	<b>P<sub>1</sub>AH<sub>2</sub></b>	8,23
<b>T<sub>1</sub>AH<sub>3</sub></b>	8,12	<b>P<sub>1</sub>AH<sub>3</sub></b>	8,48
<b>T<sub>1</sub>AH<sub>4</sub></b>	8,23	<b>P<sub>1</sub>AH<sub>4</sub></b>	8,51
<b>T<sub>2</sub>AH<sub>1</sub></b>	7,94	<b>P<sub>2</sub>AH<sub>1</sub></b>	8,08
<b>T<sub>2</sub>AH<sub>2</sub></b>	8,07	<b>P<sub>2</sub>AH<sub>2</sub></b>	8,2
<b>T<sub>2</sub>AH<sub>3</sub></b>	8,16	<b>P<sub>2</sub>AH<sub>3</sub></b>	8,26
<b>T<sub>2</sub>AH<sub>4</sub></b>	8,62	<b>P<sub>2</sub>AH<sub>4</sub></b>	8,28
<b>T<sub>3</sub>AH<sub>1</sub></b>	7,99	<b>P<sub>3</sub>AH<sub>1</sub></b>	8,17
<b>T<sub>3</sub>AH<sub>2</sub></b>	8,09	<b>P<sub>3</sub>AH<sub>2</sub></b>	8,12
<b>T<sub>3</sub>AH<sub>3</sub></b>	8,12	<b>P<sub>3</sub>AH<sub>3</sub></b>	8,24
<b>T<sub>3</sub>AH<sub>4</sub></b>	8,16	<b>P<sub>3</sub>AH<sub>4</sub></b>	8,39

**Tableau N°16.**Résultats statistiques du pH <sub>1/5</sub> de la parcelle Témoin.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
<b>Minimum</b>	7,89	8,09	8,12	8,23
<b>Maximum</b>	7,94	8,07	8,16	8,62
<b>Ecartype</b>	0,05	0,01	0,02	0,25

**Tableau N°17.**Résultats statistiques du pH <sub>1/5</sub> de la parcelle Atriplexe .

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
<b>Minimum</b>	8,06	8,12	8,24	8,28
<b>Maximum</b>	8,17	8,23	8,48	8,51
<b>Ecartype</b>	0,06	0,06	0,13	0,12

**Tableau N°18.**Résultats statistiques du calcaire total.

Code	1 <sup>er</sup> compagne	code	1 <sup>er</sup> compagne
<b>T<sub>1</sub>AH<sub>1</sub></b>	19,95	<b>P<sub>1</sub>AH<sub>1</sub></b>	19,53
<b>T<sub>1</sub>AH<sub>2</sub></b>	19,10	<b>P<sub>1</sub>AH<sub>2</sub></b>	18,68
<b>T<sub>1</sub>AH<sub>3</sub></b>	22,08	<b>P<sub>1</sub>AH<sub>3</sub></b>	19,95
<b>T<sub>1</sub>AH<sub>4</sub></b>	22,92	<b>P<sub>1</sub>AH<sub>4</sub></b>	20,38
<b>T<sub>2</sub>AH<sub>1</sub></b>	19,53	<b>P<sub>2</sub>AH<sub>1</sub></b>	18,68
<b>T<sub>2</sub>AH<sub>2</sub></b>	19,53	<b>P<sub>2</sub>AH<sub>2</sub></b>	18,68
<b>T<sub>2</sub>AH<sub>3</sub></b>	19,53	<b>P<sub>2</sub>AH<sub>3</sub></b>	19,53
<b>T<sub>2</sub>AH<sub>4</sub></b>	19,53	<b>P<sub>2</sub>AH<sub>4</sub></b>	18,68
<b>T<sub>3</sub>AH<sub>1</sub></b>	19,95	<b>P<sub>3</sub>AH<sub>1</sub></b>	19,10
<b>T<sub>3</sub>AH<sub>2</sub></b>	22,92	<b>P<sub>3</sub>AH<sub>2</sub></b>	17,83
<b>T<sub>3</sub>AH<sub>3</sub></b>	22,50	<b>P<sub>3</sub>AH<sub>3</sub></b>	19,95
<b>T<sub>3</sub>AH<sub>4</sub></b>	21,23	<b>P<sub>3</sub>AH<sub>4</sub></b>	19,53

**Tableau N° 19.**Résultats statistiques du calcaire total de la parcelle Témoin.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
<b>Minimum</b>	19,53	19,1	19,53	19,53
<b>Maximum</b>	19,95	22,92	22,50	22,92
<b>Ecartype</b>	0,24	2,09	1,61	1,70

**Tableau N°20.**Résultats statistiques du calcaire total de la parcelle Atriplexe .

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
<b>Minimum</b>	18,68	17,83	19,53	18,68
<b>Maximum</b>	19,53	18,68	19,95	20,38
<b>Ecartype</b>	0,43	0,49	0,24	0,98

**Tableau N° 21.**Résultats statistiques du calcaire active.

Code	1 <sup>er</sup> compagne	code	1 <sup>er</sup> compagne
T <sub>1</sub> AH <sub>1</sub>	5,13	P <sub>1</sub> AH <sub>1</sub>	4,50
T <sub>1</sub> AH <sub>2</sub>	4,75	P <sub>1</sub> AH <sub>2</sub>	3,63
T <sub>1</sub> AH <sub>3</sub>	4,25	P <sub>1</sub> AH <sub>3</sub>	3,50
T <sub>1</sub> AH <sub>4</sub>	4,13	P <sub>1</sub> AH <sub>4</sub>	3,63
T <sub>2</sub> AH <sub>1</sub>	5,88	P <sub>2</sub> AH <sub>1</sub>	4,75
T <sub>2</sub> AH <sub>2</sub>	5,38	P <sub>2</sub> AH <sub>2</sub>	4,50
T <sub>2</sub> AH <sub>3</sub>	5,50	P <sub>2</sub> AH <sub>3</sub>	4,75
T <sub>2</sub> AH <sub>4</sub>	3,25	P <sub>2</sub> AH <sub>4</sub>	5,25
T <sub>3</sub> AH <sub>1</sub>	3,75	P <sub>3</sub> AH <sub>1</sub>	4,50
T <sub>3</sub> AH <sub>2</sub>	5,13	P <sub>3</sub> AH <sub>2</sub>	4,75
T <sub>3</sub> AH <sub>3</sub>	4,63	P <sub>3</sub> AH <sub>3</sub>	4,88
T <sub>3</sub> AH <sub>4</sub>	4,25	P <sub>3</sub> AH <sub>4</sub>	4,50

**Tableau N°22.**Résultats statistiques du calcaire active de la parcelle Témoin.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	3,75	4,75	4,25	3,25
Maximum	5,88	5,38	5,5	4,25
Ecartype	1,08	0,32	0,64	0,55

**Tableau N°23.**Résultats statistiques du calcaire active de la parcelle Atriplexe.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	4,5	3,63	3,63	3,63
Maximum	4,5	3,63	3,63	3,63
Ecartype	0,14	0,59	0,59	0,81

**Tableau N°24.**Résultats statistiques de la matière organique.

Code	1 <sup>er</sup> compagne	code	1 <sup>er</sup> compagne
T <sub>1</sub> AH <sub>1</sub>	2,64	P <sub>1</sub> AH <sub>1</sub>	2,33
T <sub>1</sub> AH <sub>2</sub>	1,48	P <sub>1</sub> AH <sub>2</sub>	0,85
T <sub>1</sub> AH <sub>3</sub>	0,74	P <sub>1</sub> AH <sub>3</sub>	0,32
T <sub>1</sub> AH <sub>4</sub>	0,53	P <sub>1</sub> AH <sub>4</sub>	0,21
T <sub>2</sub> AH <sub>1</sub>	2,64	P <sub>2</sub> AH <sub>1</sub>	2,43
T <sub>2</sub> AH <sub>2</sub>	2,64	P <sub>2</sub> AH <sub>2</sub>	1,90
T <sub>2</sub> AH <sub>3</sub>	0,63	P <sub>2</sub> AH <sub>3</sub>	0,85
T <sub>2</sub> AH <sub>4</sub>	0,95	P <sub>2</sub> AH <sub>4</sub>	0,42
T <sub>3</sub> AH <sub>1</sub>	2,33	P <sub>3</sub> AH <sub>1</sub>	2,12
T <sub>3</sub> AH <sub>2</sub>	1,27	P <sub>3</sub> AH <sub>2</sub>	1,69
T <sub>3</sub> AH <sub>3</sub>	1,16	P <sub>3</sub> AH <sub>3</sub>	0,53
T <sub>3</sub> AH <sub>4</sub>	0,74	P <sub>3</sub> AH <sub>4</sub>	0,32

**Tableau N°25.**Résultats statistiques de la matière organique de la parcelle Témoin.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
<b>Minimum</b>	2,33	1,27	0,63	0,53
<b>Maximum</b>	2,64	2,64	1,16	0,95
<b>Ecartype</b>	0,18	0,74	0,28	0,21

**Tableau N° 26.**Résultats statistiques de la matière organique de la parcelle Atriplexe.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
<b>Minimum</b>	2,12	0,85	0,32	0,21
<b>Maximum</b>	2,43	1,9	0,85	0,42
<b>Ecartype</b>	0,16	0,56	0,27	0,11

**Tableau N° 27.**Résultats statistiques de la capacité d'échange cationique.

Code	1 <sup>er</sup> compagne	code	1 <sup>er</sup> compagne
<b>T<sub>1</sub>AH<sub>1</sub></b>	18,18	<b>P<sub>1</sub>AH<sub>1</sub></b>	19,52
<b>T<sub>1</sub>AH<sub>2</sub></b>	17,59	<b>P<sub>1</sub>AH<sub>2</sub></b>	15,38
<b>T<sub>1</sub>AH<sub>3</sub></b>	14,64	<b>P<sub>1</sub>AH<sub>3</sub></b>	14,53
<b>T<sub>1</sub>AH<sub>4</sub></b>	15,03	<b>P<sub>1</sub>AH<sub>4</sub></b>	13,13
<b>T<sub>2</sub>AH<sub>1</sub></b>	19,6	<b>P<sub>2</sub>AH<sub>1</sub></b>	20,42
<b>T<sub>2</sub>AH<sub>2</sub></b>	24,21	<b>P<sub>2</sub>AH<sub>2</sub></b>	20,02
<b>T<sub>2</sub>AH<sub>3</sub></b>	21,29	<b>P<sub>2</sub>AH<sub>3</sub></b>	19,63
<b>T<sub>2</sub>AH<sub>4</sub></b>	13,42	<b>P<sub>2</sub>AH<sub>4</sub></b>	19,02
<b>T<sub>3</sub>AH<sub>1</sub></b>	21,45	<b>P<sub>3</sub>AH<sub>1</sub></b>	14,24
<b>T<sub>3</sub>AH<sub>2</sub></b>	17,02	<b>P<sub>3</sub>AH<sub>2</sub></b>	14,64
<b>T<sub>3</sub>AH<sub>3</sub></b>	18,72	<b>P<sub>3</sub>AH<sub>3</sub></b>	15,66
<b>T<sub>3</sub>AH<sub>4</sub></b>	15,27	<b>P<sub>3</sub>AH<sub>4</sub></b>	11,13

**Tableau N°28.**Résultats statistiques de la de la capacité d'échange cationique de la parcelle Témoin.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
<b>Minimum</b>	18,18	17,02	14,64	13,42
<b>Maximum</b>	21,45	24,21	21,29	15,27
<b>Ecartype</b>	1,64	4,00	3,35	1,01

**Tableau N° 29.**Résultats statistiques de la de la capacité d'échange cationique de la parcelle Atriplexe.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
<b>Minimum</b>	14,24	14,64	14,53	11,13
<b>Maximum</b>	20,42	20,02	19,63	19,02
<b>Ecartype</b>	3,34	2,92	2,68	4,10

**Tableau N°30.**Résultats de la conductivité électrique 1/5 (ds/m) .

Code	1 <sup>er</sup> compagne	code	1 <sup>er</sup> compagne
T <sub>1</sub> AH <sub>1</sub>	1,728	P <sub>1</sub> AH <sub>1</sub>	0,86
T <sub>1</sub> AH <sub>2</sub>	3,88	P <sub>1</sub> AH <sub>2</sub>	2,06
T <sub>1</sub> AH <sub>3</sub>	3,13	P <sub>1</sub> AH <sub>3</sub>	4,19
T <sub>1</sub> AH <sub>4</sub>	3,45	P <sub>1</sub> AH <sub>4</sub>	2,48
T <sub>2</sub> AH <sub>1</sub>	2	P <sub>2</sub> AH <sub>1</sub>	2,58
T <sub>2</sub> AH <sub>2</sub>	3,52	P <sub>2</sub> AH <sub>2</sub>	4,22
T <sub>2</sub> AH <sub>3</sub>	4,15	P <sub>2</sub> AH <sub>3</sub>	4,19
T <sub>2</sub> AH <sub>4</sub>	4,69	P <sub>2</sub> AH <sub>4</sub>	4,27
T <sub>3</sub> AH <sub>1</sub>	1,365	P <sub>3</sub> AH <sub>1</sub>	0,639
T <sub>3</sub> AH <sub>2</sub>	2,41	P <sub>3</sub> AH <sub>2</sub>	2,2
T <sub>3</sub> AH <sub>3</sub>	3,71	P <sub>3</sub> AH <sub>3</sub>	3,23
T <sub>3</sub> AH <sub>4</sub>	2,77	P <sub>3</sub> AH <sub>4</sub>	3.39

**Tableau N°31.**Résultats statistiques de la conductivité électrique 1/5 (ds/m) de la parcelle Témoin.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
<b>Minimum</b>	1,36	2,41	3,13	2,77
<b>Maximum</b>	2	3,88	4,15	4,69
<b>Ecartype</b>	0,32	0,77	0,51	0,97

**Tableau N° 32.**Résultats statistiques de la conductivité électrique 1/5 (ds/m) de la parcelle Atriplexe.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
<b>Minimum</b>	0,639	2,06	3,23	2,48
<b>Maximum</b>	2,58	4,22	4,19	4,27
<b>Ecartype</b>	1,06	1,21	0,55	0,90

**Tableau N° 33.**Résultats de la conductivité électrique de la pâte saturé (ds/m) .

Code	1 <sup>er</sup> compagne	code	1 <sup>er</sup> compagne
T <sub>1</sub> AH <sub>1</sub>	12,27	P <sub>1</sub> AH <sub>1</sub>	4,29
T <sub>1</sub> AH <sub>2</sub>	27,74	P <sub>1</sub> AH <sub>2</sub>	10,98
T <sub>1</sub> AH <sub>3</sub>	32,12	P <sub>1</sub> AH <sub>3</sub>	19,79
T <sub>1</sub> AH <sub>4</sub>	29,3	P <sub>1</sub> AH <sub>4</sub>	25,22
T <sub>2</sub> AH <sub>1</sub>	11	P <sub>2</sub> AH <sub>1</sub>	16,11
T <sub>2</sub> AH <sub>2</sub>	24,29	P <sub>2</sub> AH <sub>2</sub>	25,11
T <sub>2</sub> AH <sub>3</sub>	22,64	P <sub>2</sub> AH <sub>3</sub>	25,11
T <sub>2</sub> AH <sub>4</sub>	28,38	P <sub>2</sub> AH <sub>4</sub>	25,81
T <sub>3</sub> AH <sub>1</sub>	5,06	P <sub>3</sub> AH <sub>1</sub>	4,16
T <sub>3</sub> AH <sub>2</sub>	10,95	P <sub>3</sub> AH <sub>2</sub>	11,24
T <sub>3</sub> AH <sub>3</sub>	22,65	P <sub>3</sub> AH <sub>3</sub>	20,55
T <sub>3</sub> AH <sub>4</sub>	25,49	P <sub>3</sub> AH <sub>4</sub>	25,69

**Tableau N°34.**Résultats statistiques de la conductivité électrique pate saturé (ds/m) de la parcelle Témoin.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	5,06	10,95	22,65	25,49
Maximum	12,27	27,74	32,12	29,3
Ecartype	3,85	8,87	5,06	1,99

**Tableau N°35.**Résultats statistiques de la conductivité électrique pate saturé (ds/m) de la parcelle Atriplexe.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	4,16	10,98	19,79	25,22
Maximum	16,11	25,11	25,11	25,81
Ecartype	6,86	8,08	2,88	0,31

**Tableau N° 36.** Coefficient de corrélation linéaire (**Table r de Bravais Pearson**).

v / $\alpha$	0.10	0.05	0.02	v / $\alpha$	0.10	0.05	0.02
1	0.9877	0.9969	0.9995	16	0.4000	0.4683	0.5425
2	0.9000	0.9500	0.980	17	0.3887	0.4555	0.5285
3	0.8054	0.8783	0.9343	18	0.3783	0.4438	0.5155
4	0.7293	0.8114	0.8822	19	0.3687	0.4329	0.5034
5	0.6694	0.7545	0.8329	20	0.3598	0.4227	0.4921
6	0.6215	0.7067	0.7887	25	0.3233	0.3809	0.4451
7	0.5822	0.6664	0.7498	30	0.2960	0.3494	0.4093
8	0.5494	0.6319	0.7155	35	0.2746	0.3246	0.3810
9	0.5214	0.6021	0.6851	40	0.2573	0.3044	0.3578
10	0.4973	0.5750	0.6581	45	0.2428	0.2875	0.3384
11	0.4762	0.5529	0.6339	50	0.2306	0.2732	0.3218
12	0.4575	0.5324	0.6120	60	0.2108	0.2500	0.2948
13	0.4409	0.5139	0.5923	70	0.1954	0.2319	0.2737
14	0.4259	0.4973	0.5742	80	0.1829	0.2172	0.2565
15	0.4124	0.4821	0.5577	90	0.1726	0.2050	0.2422
				100	0.1638	0.1946	0.2301

V : le degré de liberté.  $v=n-p-1$  avec n : le nombre d'observation.

P : le nombre de variables explicatives.  $\alpha$  : le risque d'erreur.

La table indique le seuil inférieur de signification du coefficient de corrélation linéaire. Elle exprime la limite supérieure qui peut être imputée au hasard. Pour que la relation soit significative avec un risque d'erreur  $\alpha$ , il faut que r calculé dépasse la valeur de la table au seuil  $\alpha$  et au degré de liberté égal à  $v = n - p - 1$  (n: le nombre d'observations, p: le nombre de relations considérées ou de variables explicatives). Dans le cas d'une corrélation simple on a  $p = 1$  d'où on tire :  $v = n - 2$ .

**Tableau N°37.** Interprétation des niveaux de calcaire total Norme d'après (**AFES, INRA ,1988**).

CaCO <sub>3</sub>	Teneur
<2	Trace
2-10	Faible
10-25	Moyen
25-55	Fort
>55	Très forte

**Tableau N°38.**Résultats de la concentration du cuivre (Cu .ppm).

Code	1 <sup>er</sup> compagne	2 <sup>ème</sup> compagne	code	1 <sup>er</sup> compagne	2 <sup>ème</sup> compagne
T <sub>1</sub> AH <sub>1</sub>	6,7	5,35	P <sub>1</sub> AH <sub>1</sub>	6,74	0,01
T <sub>1</sub> AH <sub>2</sub>	6,62	3,14	P <sub>1</sub> AH <sub>2</sub>	5,13	3,91
T <sub>1</sub> AH <sub>3</sub>	7,03	2,26	P <sub>1</sub> AH <sub>3</sub>	5,2	1,84
T <sub>1</sub> AH <sub>4</sub>	4,83	3,24	P <sub>1</sub> AH <sub>4</sub>	4,08	1,46
T <sub>2</sub> AH <sub>1</sub>	8,23	3,39	P <sub>2</sub> AH <sub>1</sub>	5,36	3,89
T <sub>2</sub> AH <sub>2</sub>	7,19	0,79	P <sub>2</sub> AH <sub>2</sub>	5,32	3,08
T <sub>2</sub> AH <sub>3</sub>	5,45	3,51	P <sub>2</sub> AH <sub>3</sub>	5,85	2,68
T <sub>2</sub> AH <sub>4</sub>	3,29	2,65	P <sub>2</sub> AH <sub>4</sub>	3,64	4,27
T <sub>3</sub> AH <sub>1</sub>	8,73	4,62	P <sub>3</sub> AH <sub>1</sub>	6,87	3,13
T <sub>3</sub> AH <sub>2</sub>	5,08	2,98	P <sub>3</sub> AH <sub>2</sub>	4,14	2,62
T <sub>3</sub> AH <sub>3</sub>	5,56	2,12	P <sub>3</sub> AH <sub>3</sub>	4,29	1,88
T <sub>3</sub> AH <sub>4</sub>	5,28	2,27	P <sub>3</sub> AH <sub>4</sub>	3,16	1,71

**Tableau N°39.**Résultats statistiques de la concentration du cuivre (Cu .ppm) de la parcelle Témoin de la première compagne.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	6,70	5,08	5,45	3,29
Maximum	8,73	7,19	7,03	5,28
Ecartype	1,06	1,09	0,88	1,04

**Tableau N° 40.**Résultats statistiques de la concentration du cuivre (Cu. ppm) de la parcelle Témoin de la deuxième compagne.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	5,36	4,14	4,29	3,16
Maximum	6,87	5,32	5,85	4,08
Ecartype	0,84	0,63	0,78	0,46

**Tableau N° 41.**Résultats statistiques de la concentration du cuivre (Cu. ppm) de la parcelle de traitement de la première compagne.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	3,39	0,79	2,12	2,27
Maximum	5,35	3,14	3,51	3,24
Ecartype	0,99	1,31	0,77	0,49

**Tableau N° 42.**Résultats statistiques de la concentration du cuivre (Cu. ppm) de la parcelle traitement de la deuxième compagne.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
<b>Minimum</b>	0,01	2,62	1,84	1,46
<b>Maximum</b>	3,89	3,91	2,68	4,27
<b>Ecartype</b>	2,06	0,65	0,47	1,56

**Tableau N°43.**Résultats de la concentration du zinc (Zn .ppm).

Code	1 <sup>er</sup> compagne	2 <sup>ème</sup> compagne	code	1 <sup>er</sup> compagne	2 <sup>ème</sup> compagne
T <sub>1</sub> AH <sub>1</sub>	13,5	14,26	P <sub>1</sub> AH <sub>1</sub>	4	1,67
T <sub>1</sub> AH <sub>2</sub>	12,05	6,91	P <sub>1</sub> AH <sub>2</sub>	10,17	7,71
T <sub>1</sub> AH <sub>3</sub>	9,35	4,93	P <sub>1</sub> AH <sub>3</sub>	7,61	5
T <sub>1</sub> AH <sub>4</sub>	8,73	6,04	P <sub>1</sub> AH <sub>4</sub>	8,23	5,54
T <sub>2</sub> AH <sub>1</sub>	14,3	8,71	P <sub>2</sub> AH <sub>1</sub>	10,88	9,17
T <sub>2</sub> AH <sub>2</sub>	13,29	2,44	P <sub>2</sub> AH <sub>2</sub>	9,5	7,33
T <sub>2</sub> AH <sub>3</sub>	8,14	6,75	P <sub>2</sub> AH <sub>3</sub>	9,9	5,67
T <sub>2</sub> AH <sub>4</sub>	21,2	6,82	P <sub>2</sub> AH <sub>4</sub>	7,2	9,99
T <sub>3</sub> AH <sub>1</sub>	16,18	11,22	P <sub>3</sub> AH <sub>1</sub>	12,3	7,25
T <sub>3</sub> AH <sub>2</sub>	8,64	6,62	P <sub>3</sub> AH <sub>2</sub>	7,96	5,6
T <sub>3</sub> AH <sub>3</sub>	10,25	4,54	P <sub>3</sub> AH <sub>3</sub>	8,11	5,36
T <sub>3</sub> AH <sub>4</sub>	9,82	7,22	P <sub>3</sub> AH <sub>4</sub>	7,88	5,24

**Tableau N°44.**Résultats statistiques de la concentration du zinc (Zn. ppm) de la parcelle Témoin de la première compagne.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
<b>Minimum</b>	13,5	8,64	8,14	8,73
<b>Maximum</b>	16,18	13,29	10,25	21,2
<b>Ecartype</b>	1,38	2,41	1,06	6,91

**Tableau N°45.**Résultats statistiques de la concentration du zinc (Zn. ppm) de la parcelle Témoin de la deuxième compagne.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
<b>Minimum</b>	4	7,96	7,61	7,2
<b>Maximum</b>	12,3	10,17	9,9	8,23
<b>Ecartype</b>	4,44	1,13	1,20	0,52

**Tableau N°46.**Résultats statistiques de la concentration du zinc (Zn. ppm) de la parcelle de traitement de la première campagne.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
<b>Minimum</b>	8,71	2,44	4,54	6,04
<b>Maximum</b>	14,26	6,91	6,75	7,22
<b>Ecartype</b>	2,78	2,50	1,18	0,60

**Tableau N°47.**Résultats statistiques de la concentration du zinc (Zn .ppm) de la parcelle traitement de la deuxième campagne.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
<b>Minimum</b>	1,67	5,6	5	5,24
<b>Maximum</b>	9,17	7,71	5,67	9,99
<b>Ecartype</b>	3,90	1,12	0,34	2,66

**Tableau N°48.** Contamination des sols en Cu, Cr et As, (Fond pédogéochimique français pour Cu, Cr et As).

Type de sol	Cu mg/kg	Cr mg/kg	Asmg/kg
<b>Sableux</b>	3,2	14,1	1
<b>Limoneux</b>	6,2	37,9	--
<b>Equilibré</b>	11,8	60,3	--
<b>Argileux</b>	14,5	76	--
<b>Très argileux</b>	16,7	100	--

Les valeurs sont les médianes pour Cu et Cr en fonction du type de sol (**Baize 1997**) et pour As la valeur fréquente est mesurée sur tous types de sol (**Baize & Tercé 2002**).

**Tableau N° 49.** Ordres de grandeur des teneurs en oligoéléments dans des sols et les végétaux.

Sol en ppm de terre fine			Plantes en ppm de M.S.
Teneurs totales extrêmes observées	Teneurs les plus courantes	Formes assimilables. Seuils de carence	Seuils de carence
<b>Fe ,10 000 à 50 000</b>		> 7% de calcaire actif ou I.P.C.>60	-20 ppm pour les feuilles de poirier -20 ppm pour les aiguilles de pin
<b>Mn, 100 à 3 000</b>	1 000	-20 ppm Mn facilement réductible si pH>60 - 1 ppm Mn échangeable si pH >6,0	-20 ppm pour les céréales en herbe ou les feuilles d'arbres fruitiers
<b>Zn, 10 à 300</b>	40 à 50	-2,5 ppm pour Zn extrait par HCL a pH final =2,0 si pH > 6,5	-15 ppm pour le maïs plante entière
<b>Cu ,3 à 100</b>	25	-7a 8 ppm Cu extrait par mélange nitroperchlorique -2 ppm Cu extrait par E.D.T.A.	-5 ppm pour les aiguilles en herbe - 3 ppm pour les aiguilles de douglas
<b>B, 5 à 150</b>		-0,3 ppm B soluble eau à 100° (rapport terre/eau =1/2) si pH compris entre 5,5 et 6,5	-20 ppm pour les feuilles de betteraves et de luzerne
<b>Mo, 0,5 à 50</b>	1,0	-0,15 ppm Mo extrait par oxalate NH a pH 3,3si pH> 6,0	-0,1ppm pour les feuilles de choux-fleurs et de luzerne

**Tableau N°50. Analyse de variance de la teneur du cuivre dans les racines**

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	2,56	5	0,512				
VAR.FACTEUR 1	2,16	1	2,16	21,599	0,01095		
VAR.RESIDUELLE 1	0,4	4	0,1			0,316	10,54%

**Tableau N°51. Analyse de variance de la teneur du zinc dans les racines**

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	872,229	5	174,446				
VAR.FACTEUR 1	856,815	1	856,815	222,357	0,00051		
VAR.RESIDUELLE 1	15,413	4	3,853			1,963	4,54%

**Tableau N°52. Analyse de variance de la teneur du zinc dans les tiges**

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	316,192	5	63,238				
VAR.FACTEUR 1	308,165	1	308,165	153,575	0,00075		
VAR.RESIDUELLE 1	8,026	4	2,007			1,417	5,30%

**Tableau N°53. Analyse de variance de la teneur du zinc dans les feuilles**

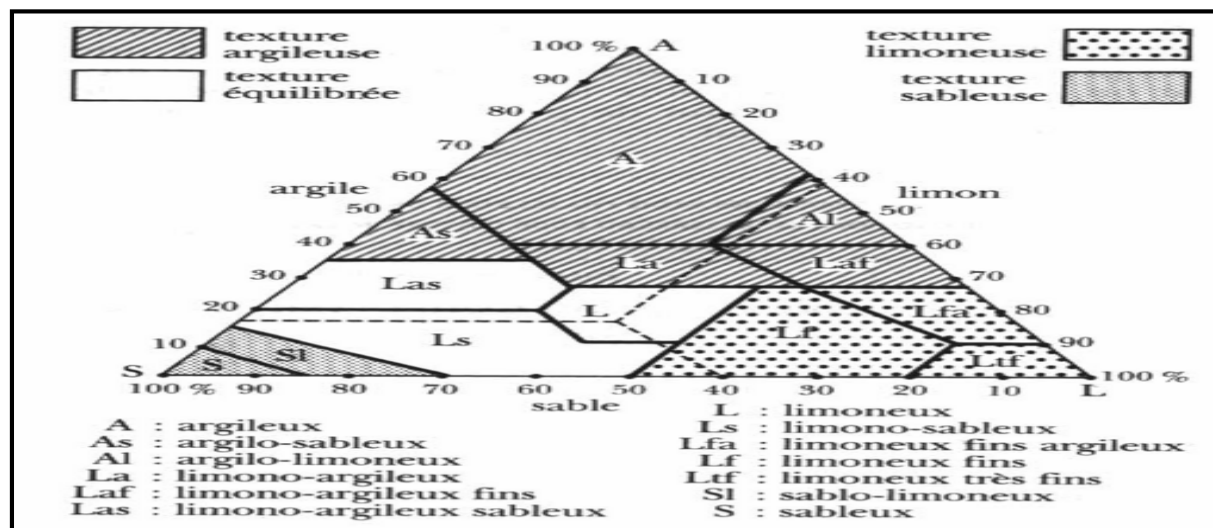
	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1507,909	5	301,582				
VAR.FACTEUR 1	1426,042	1	1426,042	69,676	0,00197		
VAR.RESIDUELLE 1	81,867	4	20,467			4,524	7,62%

**Tableau N°54. Les valeurs de facteur de transfert de certains métaux lourds du sol vers les plantes**

Elément	Facteur de transfert (F)	Mobilité des ions
Pb, Hg, Co, Cr	0.001...0.1	Faible
Ni, Cu	0.1...1.0	Modérée
Zn, CD, Ti	1.0...10	Bonne

(Source :Bliefert et Perraud,1997)

## 2. Les figures



**Figure 1 N° .Triangle de texture d'après U.S département of agriculture.**

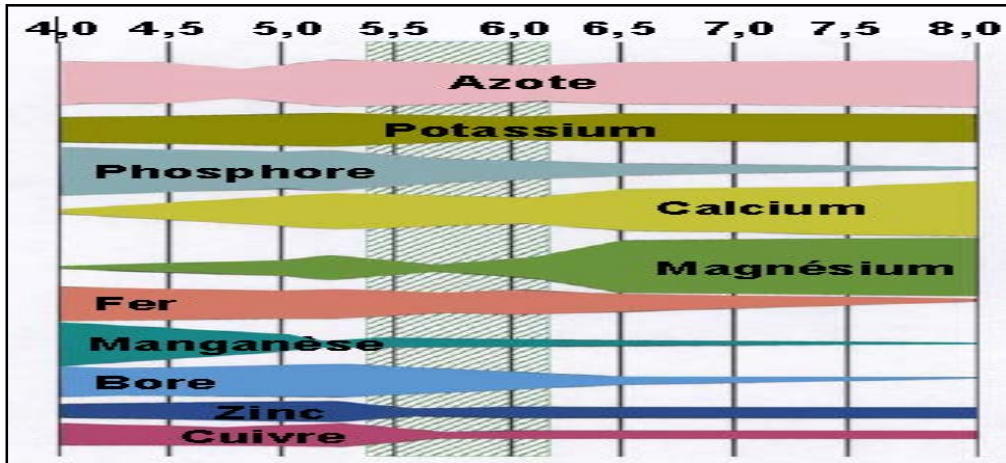
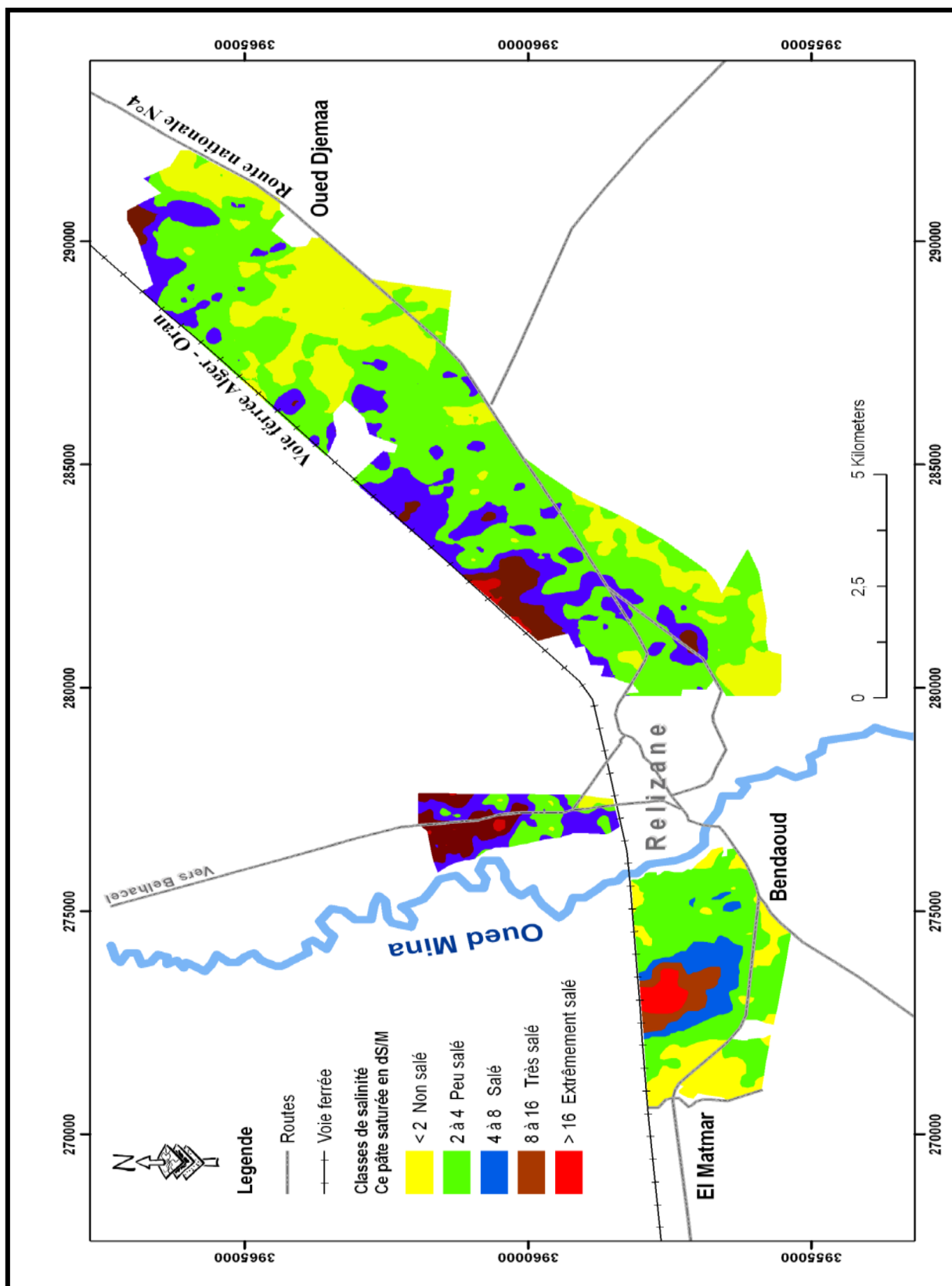
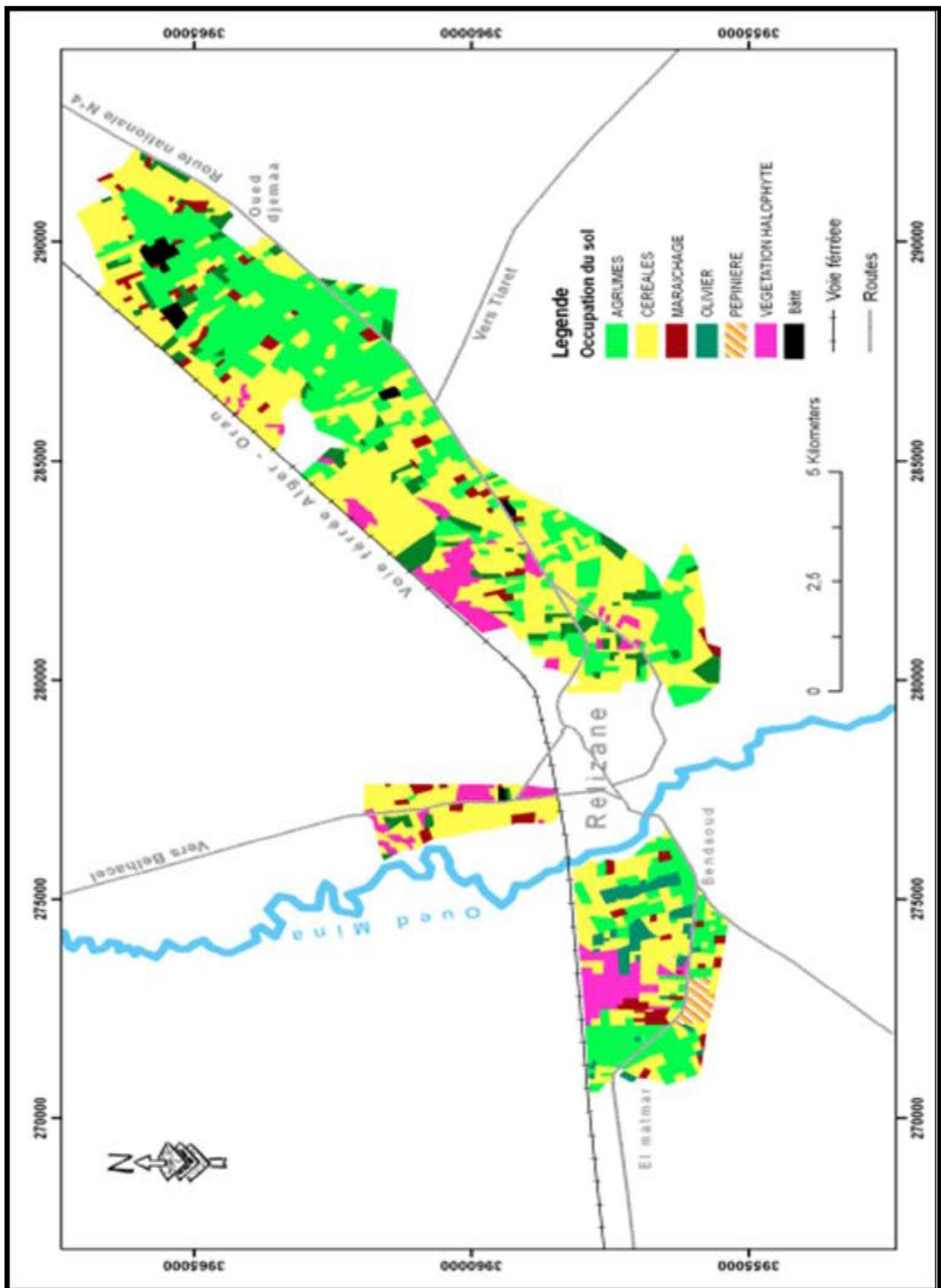


Figure 2 N°. Disponibilité des éléments minéraux selon le pH de la solution du sol.



**Figure 3 N°.** Carte de salinité des sols du périmètre irrigué de la Mina sur 6000 Ha (INSID, 2008).



**Figure 4 N°.** Carte d'occupation des sols du périmètre irrigué de la Mina sur 6000 Ha (INSID, 2008).