

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد الصديق بن يحيى-جيجل-

Université Med -SeddikBenyahia – Jijel

Faculté des Science de la Nature et de la Vie

Département des Sciences de l'Environnement et  
Sciences Agronomiques



كلية علوم الطبيعة و الحياة  
قسم علوم المحيط و العلوم الفلاحية

## Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme : **Master Académique en Biologie**

**Option** : Toxicologie fondamental et appliquée

### Thème

# Evaluation de la contamination de la laitue cultivée par certains métaux lourds

Présenté par :

Cherra Sara

Djeddou Aziza

Jury de soutenance :

Président : M<sup>me</sup> Amira.w

Examineur : D<sup>f</sup>. Chahredine.S

Encadreur : P<sup>f</sup>. Mayache.B

Session : Juillet 2018

Numéro d'ordre : .....

Laboratoire d'écotoxicologie, université Med -SeddikBenyahia – Jijel



## *Remerciements*

*Nous tenons à remercier respectivement tous ceux qui nous ont aidées, soutenue, et encouragée pour la réalisation de ce modeste travail :*

*Tout d'abord, nous voulons remercier cordialement notre encadreur Monsieur Mayache Boualem pour avoir suivi notre travail avec une extrême attention, pour son orientation, ces corrections ainsi que pour ses encouragements. Ses nombreuses remarques, sa rigueur scientifique et son expérience ont amélioré notre travail et ont permis sa mise au point définitive.*

*Nous remercions chaleureusement notre co-encadrante Naili Fatima. Nous voudrions également lui témoigner notre gratitude pour sa patience et son soutien qui nous a été précieux afin de mener notre travail à bon port.*

*Mes remerciement sont également adressés aux membres du jury : D<sup>r</sup> Chahredine.S et M<sup>me</sup> Amira.W, ayant accepté de faire l'évaluation de cette mémoire.*

*Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à tous les professeurs qui nous ont enseigné et qui par leurs compétences nous ont soutenu dans la poursuite de nos études.*

*Enfin, merci à toute personne qui a pu, de près ou de loin, contribuer à l'accomplissement de ce modeste travail.*



*Merci*

# Dédicace

*Avec un très grand plaisir je dédie ce modeste travail :*

*A mes très chers parents ;*

*Sources inépuisables d'amour, d'affection et de sacrifices, en témoignage de ma reconnaissance pour leur inéluctable patience, leur sacrifice et leur soutien au cours de mes longues études. Toutes les dédicaces du monde ne sauraient exprimer mon profond amour et ma vive gratitude que dieu leur donne santé et longue vie.*

*A mes chers frères : Fares et Younes*

*A mes sœurs : Samah, Hanane*

*A mon neveu Ayoub (Debdoub)*

*A mon cher fiancé Youcef*

*A mes amis : Sarsoura, Meriem, Naima, Zelaikha, Houda, Semia, Oum keltoum, Khadîdja, Meriem et Fahima.*

*A tous mes amis de promotion 2018*

*A tous ceux que j'aime*

*Tous ce qui contribue de près et de loin à l'élaboration de ce travail.*

*\*Aziza\**



## *Dédicace*

*Afin d'être reconnaissant envers ceux qui m'ont appuyé et encouragé à effectuer ce travail de recherche, je dédie ce mémoire :*

*À mon très cher père et à ma très chère mère pour ses soutiens moraux, et pour tous les sentiments d'affection et d'amour qui représentent pour moi le pilier de tous mes efforts.*

*À mes chers frères : Mourad, Omar, Youcef.*

*À mes chères sœurs : Douidi, Karima, Wissem, Hana, Asma.*

*À Mon neveu Abd El Rahemen*

*À Mon neveu Abd El Wadoud*

*À mes très chères amies : surtout mon partenaire Azouza, Meriem, Naima, Zoulaikha, Nour El Houda, Om Kaltoum, Khadija, Meriem, Naima s, Souma, Vous êtes le meilleur groupe et les meilleures amies.*

*À tous mes collègues.*

*À tous les membres de famille Cherra sans aucune exception.*

*Et à tous ceux que ma réussite leur tient à cœur.*

***\*SARA\****



## Liste des abréviations

$^{63}\text{Cu}$  : isotope naturel du Cuivre

$^{64}\text{Cu}$  : isotope radioactif du Cuivre

$^{65}\text{Cu}$  : isotope naturel du Cuivre

**A** : masse atomique

**AJR** : apport journalier recommandé

**ANDI**: Agence National de Développement de l'Investissement

**As**: Arsenic

**ATSDR**: The Agency for Toxic Substances and Disease Registry

**B6**: vitamine B6

**C** : Vitamine C

**Ca** : Calcium

**Cd** : Cadmium

**CE** : conductivité électrique

**CEC** : Capacité d'Echange Cationique

**Ch a**: Chlorophylle a

**Ch b**: Chlorophylle b

**Cl<sup>+</sup>**: cation du Chlore

**Co**: cobalt

**CO<sub>2</sub>**: Dioxyde de carbone

**Cr**: Chrome

**Cr<sub>2</sub> (SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>**: Chromium (III) sulfate

**Cu**: Cuivre

**Cu<sup>+</sup>** : anion du Cuivre

**Cu<sup>2+</sup>** : Ion divalent du Cuivre

**E** : vitamine E

**E<sub>H</sub>** : Le potentiel d'oxydoréduction

**ET** : Eléments-Traces

**ETM** : Elément trace Métallique

**FBC** : facteur de bioconcentration

**Fe** : Fer

**Ft** : facteur de translocation

**H%** : pourcentage de l'humidité

**H<sup>+</sup>** : Ion d'hydrogène

**H<sub>2</sub>O**: molécule d'eau

**H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>**: Acide sulfurique

**Hg**: Mercure

**I-B**: groupe 11 du tableau périodique

**II-b**: groupe 12 du tableau périodique

**J-C**: Jésus-Christ

**K**: Potassium

**K<sub>2</sub> Cr<sub>2</sub> O<sub>7</sub>**: Bichromate de potassium

**K<sub>2</sub> SO<sub>4</sub>**: Sulfate de potassium

**Mg** : Magnésium

**Mn**: Manganèse

**MO%**: pourcentage de matière organique

**Mo:** Molibdane

**Na:** Sodium

**ONM:** Office National de Météorologique

**P (mm) :** précipitations en millimètre

**P :** Phosphore

**Pb :** Plomb

**pH :** potentiel d'Hydrogène

**ppm :** partie par million

**Se :** Sélénium

**Tl :** Thallium

**Z :** numéro atomique

**Zn :** Zinc

**Zn<sup>2+</sup> :** Ion divalent du Zinc

**ZnCO<sub>3</sub> :** smithsonite

**ZnOH<sup>+</sup> :** hydroxide de zinc

**Liste de tableaux**

**Tableau 1 :** Composition de 100g de la laitue crue.....14

**Tableau 2:** Teneurs en vitamines par 100 g de laitue crue.....14

**Tableau 3:** Teneurs en minéraux par 100 g de laitue crue.....14

**Tableau 4 :** Moyennes mensuelles des températures (1988-2017).....17

**Tableau 5 :** moyennes mensuelles des précipitations (1985-2017).....18

**Tableau 6 :** moyennes mensuelles de l'humidité dans la wilaya de Jijel (1986-2017).....19

**Tableau 7 :** variation des moyennes des facteurs de bioconcentration et de translocation pour Cu.....33

**Tableau 8 :** variation des moyennes des facteurs de bioconcentration et de translocation pour Zn.....34



**Liste des figures**

**Figure 1** : Origine des métaux lourds dans le sol.....4

**Figure 2** : Coupe transversale d'une racine montrant le transport des ET d'une cellule à l'autre dans le végétal, par voie symplasmique et apoplasmique.....7

**Figure 3** : Différent types de la laitue.....13

**Figure 4** : Variations des températures moyennes mensuelles de la période 1988-2017.....18

**Figure 5** : Variations de la précipitation moyenne mensuelle de la période 1988-2017.....18

**Figure 6** : Variations des moyennes mensuelles de l'humidité dans la wilaya de Jijel (1986-2017).....19

**Figure 7** : la laitue variété Sana.....20

**Figure 8** : la laitue variété Blonde de paris.....21

**Figure 9** : Les variétés cultivées de la laitue après le repiquage .....21

**Figure 10** : Les variétés de la laitue pendant la récolte.....22

**Figure 11** : Variations du pH avant et après le traitement du sol pour les deux variétés.....26

**Figure 12**: Variations de la matière organique avant et après le traitement du sol pour les deux variétés.....27

**Figure 13** : Variations de la conductivité avant et après le traitement du sol pour les deux variétés.....28

**Figure 14** : Concentrations du cuivre au niveau du sol des deux variétés avant et après le traitement.....28

**Figure 15** : Variations des concentrations moyennes du cuivre au niveau de la partie racinaire des plantes témoins et traités des deux variétés.....29

**Figure 16** : Variations des concentrations moyennes du cuivre au niveau de la partie aérienne des plantes témoins et traités des deux variétés.....30

**Figure 17** : Concentrations moyennes du zinc au niveau du sol des deux variétés avant et après le traitement.....31

<b>Figure 18</b> : Concentrations moyennes du Zinc au niveau des racines du témoin et du traité des deux variétés.....	31
<b>Figure 19</b> : Concentrations moyennes du Zinc au niveau de la partie aérienne du témoin et du traité des deux variétés.....	32
<b>Figure 20</b> : Variation de la concentration moyenne de la chlorophylle (a) des plantes témoins et traités pour les deux variétés.....	33
<b>Figure 21</b> : variation de la concentration moyenne de la chlorophylle (b) des plantes témoins et traités pour les deux variétés.....	33

## Sommaire

Liste des abréviations.....	i
Liste des tableaux.....	iv
Liste des figures.....	v
Introduction.....	1

### Partie I : synthèse bibliographique

#### Chapitre 01: Les éléments traces métalliques (ETMs)

1. Définition.....	3
2. Origine des éléments traces métalliques.....	3
2.1. Origine naturelle.....	3
2.2. Origine anthropique.....	3
3. Comportement des métaux lourds dans le sol.....	4
3.1. Facteurs modifiant la mobilité des éléments traces métalliques.....	4
3.1.1. Le PH.....	4
3.1.2. Matière organique.....	5
3.1.3. Capacité d'Echange Cationique (CEC).....	5
3.1.4. Conductivité électrique.....	5
3.1.5. Potentiel redox (EH).....	5
4. Transfert sol-plante des éléments-traces.....	6
4.1. Prélèvement des éléments-traces par les racines.....	6
4.2. Pénétration des éléments traces par les parties aériennes.....	7
5. Les métaux lourds étudiés.....	8
5.1. Zinc (Zn).....	8
5.1.1. Définition et propriétés physico-chimique.....	8
5.1.2. Comportement du Zinc dans le sol.....	8
5.1.3. Transfert du Zinc aux plantes.....	8
5.1.4. Toxicité du Zinc.....	9

5.2. Cuivre (Cu).....	9
5.2.1. Définition et propriétés physico-chimique.....	9
5.2.2. Comportement du Cuivre dans le sol.....	10
5.2.3. Transfert du Cuivre aux plantes.....	10
5.2.4. Toxicité du Cuivre.....	10

## **Chapitre 02 : Généralités sur la laitue**

1. Historique.....	11
2. Description botanique de la laitue.....	11
2.1. Forme végétative.....	11
2.2. Forme reproductrice.....	11
2.3. Classification.....	12
3.1. Les variétés cultivées.....	12
4. Composition des feuilles de la laitue.....	13
5. Les bienfaits de la laitue (valeur nutritionnel et santé).....	14
6. La culture de la laitue.....	15
6.1. Sol.....	15
6.2. Climat.....	15
6.3. Multiplication et la culture.....	16
6.4. Récolte .....	16

## **Partie II : Partie expérimental**

### **Chapitre 03 : Matériels et méthodes**

1. Présentation de la zone d'étude.....	17
1.1. Situation géographique.....	17
1.2. Climatologie.....	17
1.2.1. La température.....	17
1.2.2. Les précipitations.....	18
1.2.3. L'humidité.....	19

2. Enquête.....	19
3. Échantillonnage.....	20
3.1. Provenance du sol.....	20
3.2. Le matériel végétal.....	20
3.2.1. La culture de la laitue.....	21
3.2.1.1. Besoins hydriques et nutritionnels.....	21
3.3. Analyse au laboratoire.....	22
3.3.1. Analyse des échantillons du végétal.....	23
3.3.1.1. Dosage de la chlorophylle.....	23
3.3.1.2. Analyse des éléments traces métalliques.....	23
3.3.2. Analyse des échantillons du sol.....	24
3.3.2.1. Analyse des éléments traces métalliques.....	24
3.3.2.2. Analyse physique du sol.....	24
3.3.2.2.1. Le pH.....	24
3.3.2.2.2. La conductivité électrique.....	24
3.3.2.2.3. Dosage de la matière organique (méthode de Walkley et Black modifié).....	24
4. Le facteur de bioconcentration et le Facteur de translocation.....	25
5. Analyse statistique.....	26
<b>Chapitre 04 : résultats et discussion</b>	
<b>4.1. Résultats et interprétation.....</b>	<b>27</b>
1. Les caractéristiques physico-chimiques du sol.....	27
1.1. Le pH.....	27
1.2. Matière organique.....	28
1.3. Conductivité électrique.....	28
2. Les métaux étudiés.....	29
2.1. Cuivre (Cu).....	29
2.1.1. Le sol.....	29
2.1.2. La partie racinaire.....	30
2.1.3. La partie aérienne.....	30
2.2. Zinc (Zn).....	31

---

2.2.1. Le sol.....	31
2.2.2. La partie racinaire.....	32
.2.3. Partie aérienne.....	33
3. Facteur de bioconcentration et de translocation.....	33
4. La chlorophylle.....	34
<b>4.2. Discussion.....</b>	<b>36</b>
1. Les caractéristiques physico-chimiques du sol.....	36
1.1. Le pH.....	36
1.2. La matière organique.....	36
1.3. La conductivité électrique (CE).....	37
2. Les métaux étudiés.....	37
2.1. Le Cuivre (Cu).....	37
2.2. Le Zinc.....	40
3. La chlorophylle.....	41
<b>Conclusion .....</b>	<b>43</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>45</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>I</b>

La contamination métallique de la biosphère due aux activités anthropiques ; industrielles (industries métallurgiques et chimiques), agricoles (pesticides, engrais, ...) et domestiques a généré de véritables problèmes des sols cultivés en raison de la pertinence de ces polluants (Fytianos et al., 2001 ; Madejón et al., 2010).

Les plantes absorbent les métaux lourds principalement par les racines à partir du sol, certains métaux sont essentiels pour la nutrition des plantes : les oligoéléments ; dans les environnements pollués, ces derniers peuvent s'accumuler dans les plantes (racines, tiges, feuilles et fruits) à de fortes concentrations entraînant un risque pour la santé humaine des consommateurs d'aliments végétaux contaminés (Fytianos et al., 2001 ; Stančić et al., 2016).

Jijel est une Wilaya agricole par excellence, avec une superficie agricole importante, l'augmentation des surfaces cultivables avec une utilisation abusive des pesticides et des engrais. Certes, cette pratique a permis une augmentation des rendements de production et assure une protection contre les ravageurs de cultures mais a par ailleurs entraîné la perturbation de l'équilibre de l'écosystème en raison du caractère chimique de ces intrants. Les polluants ainsi générés dans l'environnement, ont des effets pervers proportionnels à leur concentration et à leur capacité de nuisance.

Nombreux de ces métaux (Fe, Mn, Zn, Cu, Cr, Co, Se1, etc.) ont une fonction essentielle à de faibles concentrations pour les plantes, la santé humaine et pour tous les organismes vivants (Baize et Michel, 2004), mais ils deviennent toxiques à de fortes concentrations. D'autres comme le Pb ou le Cd sont toxiques dès l'état de trace, leur accumulation et leur transfert via la contamination de la chaîne alimentaire constituent un risque pour la santé humaine et pour l'écosystème naturel dans son ensemble (Blum et al., 1997 ; Van Oort et al., 2002).

Les légumes et en particulier ceux des légumes-feuilles cultivés ont le pouvoir d'accumuler des quantités élevées des métaux dans leurs feuilles (DuPont et al., 2000).

La laitue est l'un des légumes les plus consommés dans le monde (Lee et al., 2009) et largement cultivée sur tous les continents, leur production mondiale atteint plus de 22 millions de tonnes sur environ 1 million d'hectares en 2005 (Mou, 2008). La culture de ce légume dans la wilaya connaît chaque année une importante évolution, selon la direction de l'agriculture de la wilaya de Jijel, la superficie consacrée à cette culture est passée de 148.68 hectares lors de la saison 2010-2011, à 253.35 hectares durant la saison 2016-2017.

La laitue peut fournir des effets bénéfiques sur la santé humaine par les diverses molécules antioxydantes qu'elle renferme telles que les polyphénols, les vitamines (C, E..), les caroténoïdes, fibre...etc. (Nicolle et al., 2004), mais elle est révélée responsable plus que les autres légumes de l'accumulation de métaux lourds chez les humains à travers la partie comestible (DuPont et al., 2000), elle est considérée comme un très bon bioaccumulateur (Wojcik et al., 2010).

Dans ce contexte, que nous sommes intéressés dans notre étude à la culture de la laitue. Le premier objectif de cette étude est de vérifier si le pesticide le plus couramment utilisé dans la région d'étude a un effet sur l'accumulation des métaux lourds dans la laitue.

Le seconde est d'examiner est ce que les variétés étudiées se comportent de la même manière dans leurs interactions avec les métaux lourds?

Le troisième et le dernier objectif est d'évaluer est-ce que les concentrations trouvées dans nos échantillons répondent aux normes ou provoquent des effets nocifs sur la santé des consommateurs.

Ce manuscrit est organisé en deux parties :

- La première partie est une synthèse bibliographique constituée de deux chapitres :
  - Le premier traite des généralités sur les métaux lourds, et en particulier les métaux lourds étudiés.
  - Le second chapitre expose des généralités sur la laitue.
- La deuxième partie c'est la partie expérimentale, elle est composée de deux chapitres.
- Le troisième chapitre décrit le matériel et la méthodologie utilisée pour la réalisation du présent travail.
- Le quatrième chapitre traite les résultats obtenus pour les discuter et les interpréter en les comparant avec d'autres travaux antérieurs. Les résultats sont suivis d'une discussion dans laquelle nous interprétons nos résultats et nous les comparons avec des études réalisées dans d'autres régions.
- Le mémoire est enfin complété par une conclusion et des perspectives.



## Chapitre 01: les éléments traces métalliques (ETMs)

### 1. Définition

Les métaux lourds sont définis comme étant les éléments métalliques ayant une densité supérieure à 5 g/cm<sup>3</sup> : cadmium, mercure, plomb, cuivre, nickel, zinc... Ceux-ci sont présents le plus souvent dans l'environnement sous forme de traces à des concentrations variables suivant les milieux et les organismes (Adriano, 1986). Beaucoup d'éléments traces métalliques, ETM (Fe, Mn, Zn, Cu, Cr, Co, Se, etc.) ont une fonction essentielle pour la santé de l'homme et de tous les organismes vivants (Baize et Michel, 2004).

Dans la littérature, on trouvera également l'expression métaux lourds, utilisé volontairement avec une connotation péjorative. En fait, certains éléments traces toxiques ne sont pas des métaux (arsenic, sélénium). C'est pourquoi il vaut mieux utiliser le terme général d'éléments traces métalliques (lorsqu'il s'agit effectivement de métaux) ou d'ETM (Baize, 2000).

### 2. Origine des éléments traces métalliques

Les éléments traces métalliques sont présents naturellement dans les sols à de faibles concentrations, mais leurs concentrations peuvent être élevées à cause des activités humaines (Bañuelos et Ajwa, 1999). Leur source et leur espèce chimique conditionne leur comportement dans les sols (Senesi et al., 1999) (fig. 1).

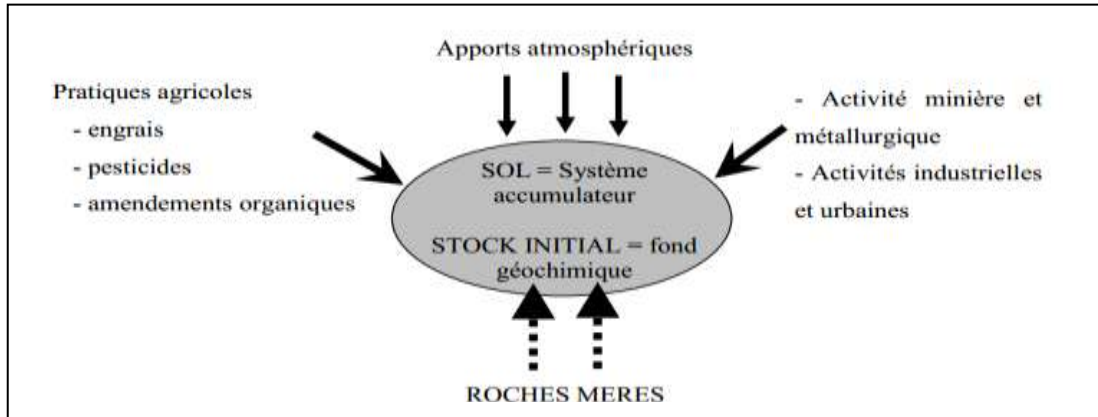
#### 2.1. Origine naturelle

- Les éléments traces métalliques sont présents naturellement dans la croûte terrestre à des teneurs moyennes inférieures à 100 mg.kg.<sup>-1</sup>. Dans un sol ces éléments proviennent de la dégradation de la roche mère (Semlali et al., 2002). Caractérisant le fond pédo-géochimique naturel, qui est par définition «la concentration naturelle en ETM présents dans un sol, résultant uniquement de l'évolution géologique et pédologique, en absence de tout apport lié amendements et déchets d'animaux et l'utilisation des eaux usées pour l'irrigation des sols (Senesi et al., 1999 ; Alloway, 2013).

#### 2.2. Origine anthropique

- **Urbaines** : comme ;
  - les résidus de construction, les déchets de démolition et les déchets de carrière introduits dans le sol ou dans les poussières.
  - les déchets solides ou liquides des décharges.
  - le trafic routier.
  - Et l'épandage des boues de station d'épuration (Senesi et al., 1999 ; Alloway, 2013).

- **Industrielles** : qui émettent dans l'environnement tous les éléments métalliques par les activités métallurgiques telles que l'extraction et le traitement des minerais (Alloway, 2013), de même les dépôts atmosphériques tels que la combustion des combustibles fossiles et bois, l'incinération des ordures etc. (Senesi et al., 1999).



**Figure 1** : Origine des métaux lourds dans le sol (Robert et Juste, 1999).

### 3. Comportement des métaux lourds dans le sol

#### 3.1. Facteurs modifiant la mobilité des éléments traces métalliques

##### 3.1.1. Le pH

La variation du pH est le facteur le plus déterminante sur la mobilité des métaux lourds. D'une manière générale, la majorité des éléments métalliques sont plus mobile en conditions acides qu'en conditions alcalines (Richards et al., 2000).

La diminution du pH du sol contribue également à l'augmentation de la mobilité du métal. À l'inverse, l'augmentation du pH conduit à l'immobilisation des métaux par des réactions de précipitation et d'adsorption (Tremel-Schaub et Feix, 2005 ; Zeng et al., 2011).

Le pH du sol exerce une influence sur la solubilité des métaux en modifiant l'équilibre de sa répartition entre la phase liquide et la phase solide, et spécialement le nombre de charges négatives pouvant être mises en solution.

L'adsorption des métaux lourds dépend du pH du milieu. En effet, il agit aussi bien sur la charge de surface du matériau adsorbant que sur la répartition et la spéciation des cations. L'augmentation du pH contribue également à la diminution du potentiel de surface, en diminuant également la concurrence des protons par rapport aux ions métalliques et elle favorise ainsi leur fixation (Benahmed et al., 2016).

### 3.1.2. Matière organique

L'existence de la plupart des métaux dans les sols est liée aux minéraux et à la matière organique. La teneur en matière organique est également l'un des propriétés les plus importantes du sol affectant la mobilité et la disponibilité des métaux lourds (Zeng et al., 2011).

Les métaux peuvent se lier à la matière organique du sol formant des complexes solubles ou insolubles stables. Ces complexes résultent de la liaison des métaux à travers les groupes fonctionnels carboxyle et phénolique dans la matière organique. La matière organique a à la fois la propriété d'échange de cations et la capacité de chélation (Adriano, 1986). De plus, la matière organique dissoute dans les sols pourrait augmenter la mobilité et l'absorption des métaux lourds par les racines des plantes (Zeng et al., 2011).

### 3.1.3. Capacité d'Echange Cationique (CEC)

La capacité d'échange cationique est un paramètre global, qui représente le total des charges négatives du sol disponibles pour la fixation de cations métalliques ou d'ion  $H^+$ . Plus la CEC est élevée, plus les cations métalliques (Cd, Pb, Cr, Co, Zn, Hg, Cu, Tl) sont absorbés ou complexés par les matières organiques, les argiles et les oxydes, donc moins assimilables par les plantes (Tremel-Schaub et Feix, 2005).

### 3.1.4. Conductivité électrique

Le sol est composé de deux phases : phase solide et phase liquide qui contient divers ions et confère au sol une certaine conductivité électrique (Calvet, 2003).

La conductivité électrique est définie comme étant la facilité avec laquelle un courant électrique (qui correspond au déplacement macroscopique de charges électrique porté par des ions) peut circuler dans le sol (Besson et Cousin, 2013). Elle dépend des minéraux et des constituants organiques du sol (Calvet, 2003). Elle peut être une conductivité volumique (quand les ions migrent en parallèle dans la solution du sol) ou surfacique (quand les ions migrent aux interfaces entre la phase solide et la solution du sol) (Besson et Cousin, 2013).

### 3.1.5. Potentiel redox

Le potentiel d'oxydoréduction  $E_H$  détermine les conditions oxydoréductrices du milieu et définit les espèces chimiques. Généralement l'augmentation du potentiel redox conduit à l'apparition des espèces oxydées au contraire les faibles valeurs d' $E_H$  conduit à l'apparition des espèces réduites (Sylvie et al., 2003).

Le potentiel redox a un rôle important sur la mobilité de certains éléments. Par exemple la formation des sulfures insolubles de certains éléments tels que Zn, Cu et Pb se fait à des conditions réductrices, de façon que leur mobilité et leur phytodisponibilité sont largement moins que prévu

dans des sols oxydés. A l'exception pour le manganèse (Mn) et le fer (Fe) qu'ils sont plus solubles en condition réductrices que dans des conditions oxydants ce qui les rend très mobiles (Adriano, 1986 ; Calvet, 2003).

#### 4. Transfert sol-plante des éléments-traces

Les plantes peuvent absorber les métaux à partir du sol, de sédiments, de l'eau et de l'air donc les plantes sont exposées de deux façons aux éléments-traces : par la partie aérienne et par les racines. L'importance relative de ces deux voies d'exposition dépend des éléments-traces, des plantes et de la proximité d'une source de contamination (émissions industrielles ou urbaines, routes ...etc.) (Baize, 2004). La fraction absorbable des éléments-traces du sol par les plantes a une relation avec les teneurs totales en éléments traces du sol et leurs concentration dans la solution du sol (Stengel et Gelin, 1998). Cette fraction introduite sous le terme de la biodisponibilité qui est la capacité de substances à être prélevées ou absorbées par un organisme vivant (Tremel-Schaub et Feix, 2005).

##### 4.1. Prélèvement des éléments-traces par les racines

Selon Baize, (2004) la voie racinaire est souvent la voie majoritaire. Les éléments-traces sont prélevés sous des formes cationiques, sauf le Molybdène, Mo qui est absorbé sous forme d'anion (molybdate). Les éléments-traces peuvent circuler dans la racine de deux façons, par la voie symplasmique et par la voie apoplasmique (Tremel-Schaub et Feix, 2005).

- **Voie symplasmique (à l'intérieur de la cellule)**

Le symplasme est défini comme ce qui se trouve à l'intérieur de la membrane plasmique. Les métaux traversent la paroi, puis la membrane plasmique, et se déplacent de cellule en cellule par les plasmodesmes (Tremel-Schaub et Feix, 2005).

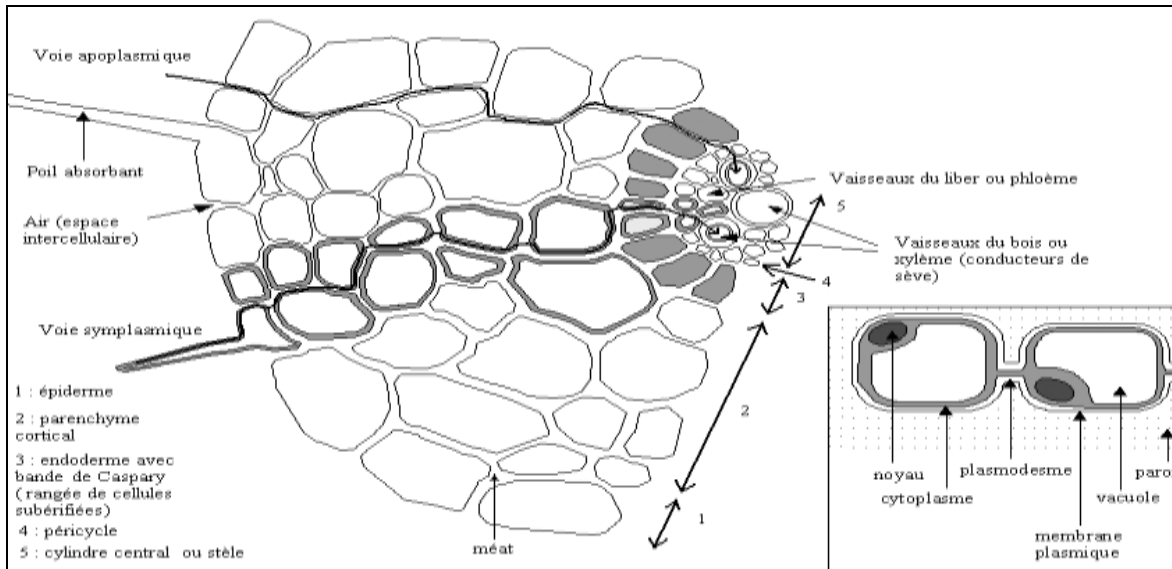
Dans le cytoplasme, les métaux se lient à des charges négatives dans diverses macromolécules qui sont solubles ou font partie de structures cellulaires. Ainsi, les métaux peuvent être accumulés dans le cytoplasme, la quantité dépend de l'espèce végétale et du métal (Prasad et Hagemeyer, 1999). Comme le montre la figure (2).

- **Voie apoplasmique**

L'apoplasme est constitué de la paroi perméable et des espaces entre les cellules. Il représente 10- 15 % du volume de la racine (Tremel-Schaub et Feix, 2005). L'apoplaste joue un rôle important dans le transport et la distribution des ions entre les tissus et les cellules et la réponse cellulaires aux stress environnementaux. La fixation apoplastique des cations métalliques tels que le

cuivre et le zinc contribuer de manière significative à la teneur totale en cations dans les racines et peuvent également servir pour le stockage transitoire du métal. (Briat et Lebrun, 1999).

Cette voie ne s'agit pas d'une absorption exacte de l'élément puisqu'il n'est pas, en réalité, dans la cellule végétale. Le transport vers les vaisseaux conducteurs de sève brute se fait donc par l'intérieur des cellules et nécessite donc une absorption réelle où les éléments peuvent être transportés vers les parties aériennes de la plante (Tremel-Schaub et Feix, 2005).



**Figure 2:** Coupe transversale d'une racine montrant le transport des ET d'une cellule à l'autre dans le végétal, par voie symplasmique et apoplasmique (Tremel-Schaub et Feix, 2005).

## 4.2. Pénétration des éléments traces par les parties aériennes

Les éléments-traces entrent dans la composition des matériaux minéraux et organo-minéraux qui composent les fines poussières présentes dans l'air se déposent sur les feuilles, les tiges et les fruits.

La contamination par voie aérienne est généralement faible, sauf lorsque les retombées atmosphériques sont importantes (Tremel-Schaub et Feix, 2005).

Les ET déposés à la surface des organes (feuilles, tiges) pénètrent dans les stomates sous forme de composés gazeux (Hg, As, Se, etc.) (Baize, 2004) ou rentrent à travers la cuticule des feuilles sous forme d'ions (Prasad et Hagemeyer, 1999). L'absorption des métaux lourds par les feuilles des plantes diffère selon l'espèce métallique impliquée par exemple : le Cadmium, le zinc et le cuivre ont montré une plus grande pénétration par les feuilles, de même les espèces végétales qui ont différentes cuticules donc une perméabilité différente de métaux (Prasad et Hagemeyer, 1999).

## 5. Les métaux lourds étudiés

### 5.1. Zinc (Zn)

#### 5.1.1. Définition et propriétés physico-chimique

Le zinc est un métal de numéro atomique  $Z=30$  et de masse atomique  $A=65.3$  g/mol (Ramade, 2000). Le point d'ébullition du zinc est de  $907$  °c. Il appartient au groupe II-b du tableau périodique. Cet élément possède 5 isotopes (Adriano, 1986) et 6 isotopes radioactifs (Adriano, 2001). La concentration moyenne de zinc dans la croûte terrestre est d'environ 70, 40 et  $100\text{mg.kg}^{-1}$  (Storey, 2007).

A l'état métallique il prend l'aspect d'un métal brillant blanc bleuté (ATSDR, 1994), il s'agit d'un élément biogène doué de propriétés hermétiques (Ramade, 2000).

Le zinc est l'un des éléments les plus communs dans la croûte terrestre au niveau des roches ou des minerais riches en Zn. Principalement, il se trouve sous forme de sulfure de zinc (ATSDR, 1994 ; Alloway, 2013) ou smithsonite ( $\text{ZnCO}_3$ ). Dans la solution du sol, il se présente sous forme de  $\text{Zn}^{2+}$  ou le plus souvent sous forme de complexe soluble avec les matières organiques (Tremel-Schaub et Feix, 2005).

#### 5.1.2. Comportement du Zinc dans le sol

Dans le sol, le Zinc se trouve sous plusieurs formes ioniques, principalement à l'état d'oxydation ( $\text{Zn}^{2+}$ ) qui est la forme la plus courante et la plus mobile du zinc dans les sols.

Il est facilement adsorbé sur les composants minéraux et organiques, ce qui conduit à une accumulation dans les horizons superficiels (Kabata- Pendias et Pendias, 2001; Tremel-Schaub et Feix, 2005; Benahmed et al., 2016).

Dans le sol, le Zn est considéré comme facilement soluble par rapport aux autres métaux lourds. Le pH est le facteur le plus important qui peut contrôler leur solubilité. La matière organique est capable de lier le Zn sous des formes stables par conséquent, l'accumulation du Zn dans les horizons organiques et dans certaines boues est observée (Kabata- Pendias et Pendias, 2001).

#### 5.1.3. Transfert du Zinc vers les plantes

Le zinc est connu comme un élément essentiel pour la croissance et le développement des plantes (Lukowski et Dec, 2018).

A l'état majeur, les formes solubles du Zn ( $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{ZnOH}^+$ ) sont facilement disponibles pour l'absorption des plantes (Kabata- Pendias et Pendias, 2001 ; Storey, 2007). Le taux

d'absorption du Zn dépend essentiellement des espèces végétales et des propriétés du milieu de croissance (Kabata- Pendias et Pendias, 2001).

Le Zn a l'avantage d'être concentré dans les feuilles matures de la plante. Dans le cas où le Zinc est un polluant atmosphérique, il se concentre aux sommets des plantes. D'autre part, les plantes cultivées dans un sol contaminé par le Zn accumulent le métal dans les racines (Kabata-Pendias et Pendias, 2001).

#### **5.1.4. Toxicité du zinc**

Le zinc est l'un des nutriments essentiels à la croissance des plantes en concentrations infimes (Adriano, 1986). La concentration critique de toxicité du zinc (définie comme étant la concentration qui provoque une diminution de 10% de la matière sèche d'un tissu, varie selon le microélément et l'espèce végétale) est de 200  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  de matière sèche (Epstein, 1972). Le Zn a été largement dispersé et a atteint des concentrations phytotoxiques dans de nombreux sols. Lorsque le pH du sol diminue, la solubilité, l'absorption et la phytotoxicité du Zn augmentent (Chaney, 1993).

Sa phytotoxicité sur les feuilles se manifeste sur la taille des feuilles et une grave chlorose par carence en Fe chez les dicotylédones (Chaney, 1993). Il inhibe la photosynthèse des plantes vertes à cause de l'interférence du Zn dans la biosynthèse de la chlorophylle et d'autres réactions biochimiques (Ramade, 2002 ; Chaney, 1993).

Chez l'homme le zinc est peu toxique et sa dangerosité résulte plutôt d'une déficience (Tremel-Schaub et Feix, 2005), les niveaux de zinc qui produisent des effets néfastes sur la santé sont beaucoup plus élevés que les apports nutritionnels recommandés (AJR) : 15mg / jour pour les hommes et de 12 mg / jour pour femmes) (ATSDR, 1994).

## **5.2. Cuivre (Cu)**

### **5.2.1. Définition et propriétés physico-chimiques**

Le cuivre est un métal de couleur rougeâtre, de numéro atomique  $Z=29$ . Il appartient au groupe I-B du tableau périodique, a un atome de poids 63,546, de point de fusion de  $1.083^{\circ}\text{C}$  et de densité de 8,96. Il se compose de deux isotopes naturels :  $^{63}\text{Cu}$  et  $^{65}\text{Cu}$  et un isotope radioactif :  $^{64}\text{Cu}$ , avec une demi-vie de 12,8 heures (Adriano, 1986).

Le cuivre est connu depuis longtemps et considéré comme le plus abondant de la croûte terrestre. Il se trouve dans les sols à des teneurs variantes d'un sol à un autre, selon les caractéristiques géographiques locales. Il existe sous forme de minéraux sulfurés et d'oxydes, de silicates, de sulfates et de carbonates moins stables (Storey, 2007 ; Savary, 2010).

### 5.2.2. Comportement du Cuivre dans le sol

Le comportement du cuivre dans les sols dépend de nombreux facteurs tels que le pH du sol, la capacité d'échange cationique, la présence d'oxydes, le type de sol, la présence d'argiles et la composition en matière organique où cette dernière est considérée comme le facteur le plus important (Adriano, 1986 ; Tremel-Schaub et Feix, 2005).

Le cuivre est un métal moins mobile dans le sol, il se trouve sous forme soluble soit libre ou complexé dans la solution du sol. Le poids moléculaire des complexes de Cu et les quantités présentes de celles-ci affectent leurs biodisponibilités par les plantes (Kabata- Pendias et Pendias, 2001).

### 5.2.3. Transfert du Cuivre vers les plantes

Le cuivre est un élément essentiel pour la croissance et le développement des plantes. (Lukowski et Dec, 2018). De nombreux facteurs contrôlent l'absorption du cuivre par les plantes y compris le pH du sol, les espèces chimiques dominantes et la concentration de cuivre présente dans le sol. Par rapport aux autres éléments nécessaires, le cuivre est parmi les métaux les plus faibles absorbés par les plantes. L'absorption et l'accumulation du cuivre se fait par la voie racinaire des plantes (Tremel-Schaub et Feix, 2005 ; Storey, 2007).

### 5.2.4. Toxicité du Cuivre

Le cuivre a été considéré comme un poison végétal avant l'identification en tant que micronutriment. Leur utilisation en tant que fongicide au cuivre, corrige de nombreuses carences en cuivre avant que ce dernier a été identifié comme un élément essentiel. Le mode d'action des ions du cuivre est la dénaturation non spécifique des groupes sulfhydryle des protéines, l'accélération de la peroxydation des lipides dans les membranes chloroplastiques et peut également produire un stress oxydatif des plantes. Par conséquent il doit être utilisés à des doses bien définies ou sous des formes relativement insolubles pour prévenir les lésions tissulaires (Kopsell et Kopsell, 2007).

En général, la phytotoxicité du cuivre se manifeste d'une part par la Chlorose des feuilles qui est ressemblant souvent à une carence en fer et produit en raison de blocage ionique de  $\text{Cu}^+$  et  $\text{Cu}^{2+}$  du transport d'électrons photosynthétiques, d'autre part par la croissance des racines fines où le système racinaire devenue mal développé et décoloré. De plus, la toxicité du Cu entraîne un retard de ramification, épaissement, et une coloration inhabituellement sombre dans les racines de beaucoup de plantes (Adriano, 1986 ; Kopsell et Kopsell, 2007).

Chez l'homme, des manifestations pathologiques du cuivre sont liées à une déficience en Cu : retard de croissance associées à des troubles du métabolisme osseux, lésions cardiaques, troubles du système nerveux...etc. (Tremel-Schaub et Feix, 2005).



## Chapitre 02 : Généralités sur la laitue

### 1. Historique

La laitue (*Lactuca sativa* L.) provient de la laitue sauvage (*L. serriola* L) dont les chromosomes de *L. sativa* et ceux de *L. serriola* sont très identiques morphologiquement (Mou, 2008 ; Doré et Varoquaux, 2006).

La Laitue est un légume de la région méditerranéenne dès 4500 ans avant J-C ; les tombes Egyptiennes en 2500 ans avant J-C sont la preuve sur ça (Grubben, 2004). Les égyptiens ont été cultivé la laitue pour la fabrication d'huile alimentaire au moment où les Romains et les Grecs aussi ont été utilisé la laitue pour la production du latex qui a un rôle médicinal pharmacologique (anesthésique, calmant...) (Doré et Varoquaux, 2006).

La laitue a été introduite en Amérique par les premiers voyageurs, à partir de 1494 par Christopher Columbus. Ensuite elle a été subit à des manipulations modifiant sa morphologie, sa résistance contre les ravageurs et leur d'adaptation aux différents environnements et zones géographiques (Mou, 2008).

### 2. Description botanique de la laitue

La laitue cultivée est une plante herbacée, annuelle (Munro et Small, 1998), elle a deux formes : la forme végétative et la forme reproductrice (Pitrat et Foury, 2003).

#### 2.1. Forme végétative

Durant cette forme végétative, la plante forme d'abord une rosette de feuilles entières, puis, la plante arrive à la phase de pomaison, où la plante prend la forme d'une pomme plus ou moins fermée, correspond au stade de développement utilisé pour la commercialisation (Pitrat et Foury, 2003)

Les feuilles de la laitue sont alternées, lisses, rondes ou longues, un peu dentées, d'une couleur verte pâle, fraîches et croquantes mais elles peuvent être aussi rouges (Moquin-Tandon, 1866). Les racines sont fasciculées et leur tige est de type acaule, de 6 à 12 décimètres d'hauteur, droite, cylindrique, lisse, très ramifiée (Moquin-Tandon, 1866 ; Mappa, 2010). Durant cette période, les types ou les variétés de la laitue sont différencié et distingué (Pitrat et Foury, 2003).

#### 2.2. Forme reproductrice

Au cours de laquelle, la tige centrale de la plante subit une élongation et l'apex évolue en hampe florale ramifiée en corymbe qui porte de nombreux capitules (appelés couramment fleurs) de 12 à 20 fleurons de couleur jaunâtre, suivent un cycle annuel ou bisannuel et la produit des graines (de 800 à 1000 graines/g) de différentes couleurs ; blanche, jaune, brun, grise et le noire (Mou, 2008 ; Mappa, 2010 ; Blancard, et al., 2018).

### 3. Classification

La laitue dont le nom scientifique (latin) : *Lactuca sativa* L (Munro et Small, 1998), appartient au genre *Lactuca* de la famille des Astéracées, ce genre comprend environ de 60 variétés annuelles ou bisannuelles, ce genre est caractérisé par la présence du «lait» : le lactucarium, qui est un liquide transparent ou coloré et d'où vient le nom de «*lactuca*» (Munro et Small, 1998 ; Pitrat et Foury, 2003).

Règne : Plantae

Division : magnoliophytes,

Classe : magnoliopsides

Famille : Astéracées (composées)

Genre : *Lactuca*

Espèce : *sativa* ou *hybrida* (Mappa, 2010; Pitrat et Foury, 2003).

#### 3.1. Les variétés cultivées

La classification des variétés cultivées tenir compte des caractères morphologiques tels que : la forme de la feuille, la taille et la texture,...au stade de pomaison et au stade de reproduction (la couleur de la graine...) (Jean-Noël, 1986). On distingue :

- **Laitue pommée**

Produit une tête ferme sphérique qui pèse entre 700 et 1000 g. Les premières feuilles sont allongées au stade de la rosette, leur largeurs augmentent progressivement avec chaque feuille successive jusqu'à ce qu'elles soient leurs largeur supérieur que leurs longueurs à maturité. Après la formation de 10 à 12 feuilles, les feuilles commencent à se chevaucher en formant une coupe qui prend par la suite une structure de tête. De nouvelles feuilles continuent à apparaître et développent de l'intérieur vers l'extérieur pour remplir la tête, qui devient grande et fermée.

Les feuilles externes sont vertes croquantes, puis leur couleur s'est dégradée de vert clair au jaune blanchâtres au fur et à mesure que nous nous dirigeons vers le centre (en raison de l'absence de la lumière). Ces feuilles sont étroitement pliées cassantes et croustillantes (figure 3) avec un goût doux (Québec Amérique International, 1999 ; Mou, 2008).

- **Laitue romaine**

On désigne de ce nom les laitues avec des feuilles larges allongées fermées, avec une grande nervure au centre des feuilles dont la côte principale est rigide fibreuse et cassante. Les feuilles extérieures sont généralement vert clair à vert foncé et les feuilles intérieures sont jaunâtre. Les têtes de Romaine peuvent peser jusqu'à 750 g (Québec Amérique International, 1999 ; Mou, 2008 ; Ménard, 2010).

- **Laitue à couper**

Elle ne forme pas de véritable pomme. Elle forme un bouquet ouvert ou une rosette de feuilles qui peuvent avoir une forme large, allongée ou lobée, comme les feuilles de chêne ou d'artichaut. Les feuilles ont des bords lisses ou frangées tendres colorées de vert, parfois rouge. Son texture varie de croustillant à doux. La laitue en feuilles peut peser jusqu'à 0,5 kg lorsque toutes les feuilles sont récoltées (Péron, 2006 ; Mou, 2008 ; Québec Amérique international Collectif, 2013).

- **La laitue beurre**

Elle est légèrement pommée, produit une tête plus petite et moins compacte à feuilles larges, froissé, relativement mince, facilement séparable, tendre avec une texture douce et grasse. Les feuilles ont une couleur légère à l'extérieur et une couleur jaunâtre à l'intérieur (Munro et Small, 1998 ; Mou, 2008 ; Québec Amérique international Collectif, 2013).

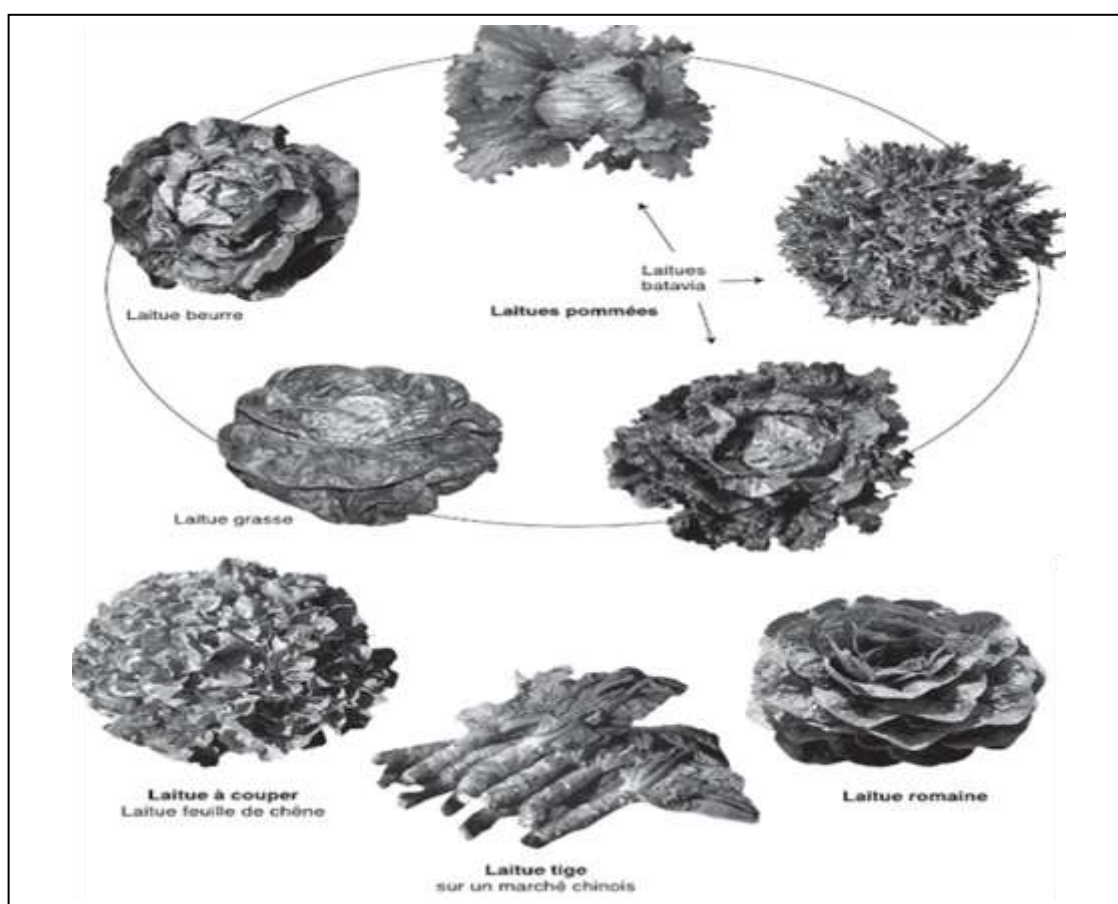


Figure 3 : Différent types de la laitue (Pitrat et Foury, 2015).

#### 4. Composition des feuilles de la laitue

La laitue est un légume largement consommé dans le monde est une bonne source de micronutriments antioxydants tels que les composés phénoliques appartenant principalement aux groupes d'acides phénoliques y compris l'acide caféique, l'acide gallique et les flavonoïdes tel que la lutéoline (Janice et al., 2005 ; Lee et al., 2009 ; Ribas-Agustí et al., 2010) outre, les caroténoïdes

dont les principaux étant : la lactuca xanthine, la lutéine, â-carotène, violaxanthine et néoxanthine (Kimura et Rodriguez-Amaya, 2003).

Les feuilles de la laitue contiennent une quantité importante des fibres alimentaires (Tab. 1) (Pitrat et Foury, 2003). L'eau représente la quasi-totalité du poids de la laitue, environ 95%, elle contient également une grande quantité des vitamines E, C (Tab. 2 et 3), et des minéraux comme le calcium (Nicolle et al., 2004).

**Tableau 1 :** Composition de 100g de la laitue crue (Holland et al., 1991, Aprifel, 2018)

Eau (g)	Fibre (g)	Azote (g)	Protéine (g)	Lipides (g)	Carbohydrates (g)	Energie par	
						Kcal	KJ
95.1	1.2	0.13	0.8	0.5	1.7	14	59

**Tableau 2:** Teneurs en vitamines par 100 g de laitue crue (Holland et al., 1991)

Vitamine C (mg)	Vitamine E (mg)	Vitamine B <sub>6</sub> (mg)	Riboflavine (mg)	Carotène (µg)
5	0.57	0.04	0.02	355

**Tableau 3:** Teneurs en minéraux par 100 g de laitue crue (Holland et al., 1991)

K (mg)	Ca (mg)	P (mg)	Na (mg)	Mg (mg)	Fe (mg)	Cu (mg)	Zn (mg)	Mn (mg)
220	28	28	3	6	0.7	0.01	0.2	0.3

## 5. Les bienfaits de la laitue (valeur nutritionnel et santé)

La laitue peut fournir des effets bénéfiques sur la santé humaine par les diverses molécules antioxydants qu'elle renferme telles que les polyphénols, les vitamines (C, E..), les caroténoïdes ...etc. (Nicolle et al., 2004).

- ✓ **Cancer :** Quelques études montre une corrélation entre la consommation de la laitue et la réduction du risque d'être atteint de différents type de cancers (cancer de l'estomac, sein, colorectal et poumon) (Brennan et al., 2000 ; Huang et al.,2004). Dans l'une de ces études Brennan et al., (2000) ont été montré que la consommation de la laitue plusieurs fois par semaine a un effet protecteur contre le cancer du poumon.
- ✓ **Maladies neurodégénératives :** Selon une étude in vitro, des composés contenus dans la laitue, plus particulièrement dans la laitue romaine (les composés phénolique), ont des effets neuroprotecteurs et peuvent inhiber l'apparition de certaines maladies neurodégénératives, comme la maladie d'Alzheimer (Im et al., 2010).

- ✓ **Lipides sanguins** : une étude effectuée sur les rats a montré qu'un régime contenant de la laitue permet de diminuer leur cholestérol sanguin (Nicolle et al., 2004). De même, une autre étude chez la souris a démontré qu'un régime riche en gras et en cholestérol à laquelle il a été ajouté de la laitue à feuilles rouges a diminué la concentration sanguine en cholestérol (Lee et al., 2009). Donc les composés antioxydants de laitue sont utiles pour améliorer le statut lipidique et prévenir à la peroxydation des lipides dans les tissus (Nicolle et al., 2004).
- ✓ **Maladies cardiovasculaires** : Plusieurs études ont démontré que la consommation régulière de la laitue devrait contribuer à améliorer la protection contre les maladies cardiovasculaires chez les rats et les humains (Nicolle et al., 2004 ; Lee et al., 2009 ; Im et al., 2010).

## 6. La culture de la laitue

### 6.1. Sol

La laitue nécessite un sol riche en matières organiques, néanmoins elle peut être cultivée sur n'importe quel type de sol tels que : sols sableux-limoneux, l'humus et terres boueuses...etc. La capacité de rétention de l'eau dans le sol joue un rôle important parce que la laitue a un système racinaire un peu petit ce qui la rend vulnérable à la sécheresse. Le pH du sol doit être compris entre [6,0 et 8,0] car la laitue n'accepte pas les sols acides ( $\text{pH} < 5.5$ ) (Munro et Small, 1998 ; Grubben, 2004).

Sur la même parcelle, des rotations culturales préférentiellement par d'autre plante telles que la tomate, le maïs...etc. est recommandées pour éviter la contamination par des agents pathogènes pour la laitue (Munro et Small, 1998 ; Mappa, 2010).

### 6.2. Climat

La laitue est un légume d'été frais, les fortes températures et les luminosités extrêmes provoquent le durcissement des tissus et l'atteint rapide du stade de floraison. En bonne condition, la germination de la laitue est normale entre 4 et 26 °C dans un intervalle de temps de 1-4 jours et la croissance optimale se fait entre 15 et 18°C (le minimum étant de 7°C et le maximum, de 24°C). Lorsque la température dépasse 18°C, la plante passe du stade de pommaison vers le stade de floraison (Munro et Small, 1998 ; Grubben, 2004 ; Mappa, 2010).

La laitue préfère des températures douces et des climats humides, ce qui aide à donner des pommes de bonne qualité (Munro et Small, 1998 ; Mappa, 2010).

### 6.3. Multiplication et la culture

La multiplication de la laitue se fait par semis en graines, généralement en motte mais les plantes peuvent être repiquées à racine nues (2,5 g de graines/ m<sup>2</sup> donnent 500 plantes). Dans les conditions idéales (température variant entre 15 et 28°C , pour des semis du 1<sup>er</sup> mai au 1<sup>er</sup> juillet), du semis à la plantation au jardin reste 35 jours et 40 jours de la plantation à la récolte . En cas des plantations plus précoces ou plus tardives, ces périodes pourront être doublées (Messiaen et Messiaen-Pagotto, 2009 ; Mappa, 2010).

La laitue nécessite une protection contre un certain nombre de ravageurs et contre les affections bactériennes et virales (Munro et Small, 1998).

### 6.4. Récolte

La récolte manuelle est la plus répandue mais des essais de récolte mécanique sont auparavant réalisés lorsque les pommes sont développées (60-80 jours après la plantation), les plantes sont tranchées à la base et les feuilles externes vieilles sont coupées puis la laitue est emballée à des conditions précises. Plus la laitue est jeune plus la laitue est fraîche (Munro et Small, 1998 ; Grubben, 2004).

## 1. Présentation de la zone d'étude

### 1.1. Situation géographique

La wilaya de Jijel située à 360 km à l'Est d'Alger elle s'étend sur une superficie de 2398.69 km<sup>2</sup> avec une façade maritime de 120 km. Elle est limitée au Nord par la mer Méditerranée, au Sud par la wilaya de Mila, au Sud-Ouest par la wilaya de Sétif ; la wilaya de Skikda délimite la partie Est, tandis que celle de Bejaia borde la partie Ouest.

#### ➤ L'agriculture dans la wilaya de Jijel

Elle est caractérisée par deux types :

- Une agriculture de montagne essentiellement de type extensif et de subsistance, liée à l'oléiculture et à l'élevage bovin local.
- Une agriculture de plaine dominée par le système de type semi-intensif marquée par une polyvalence à dominance maraichage et plasticulture- cultures industrielles- agrumiculture- élevage bovin intensif (selon la direction de l'agriculture de la wilaya de Jijel).

### 1.2. Climatologie

La région de Jijel est considérée parmi les régions les plus pluvieuses d'Algérie. Elle est caractérisée par un climat méditerranéen, pluvieux et froid en hiver, chaud et humide en été. La saison de pluie peut durer environ 6 mois. (ANDI, 2013).

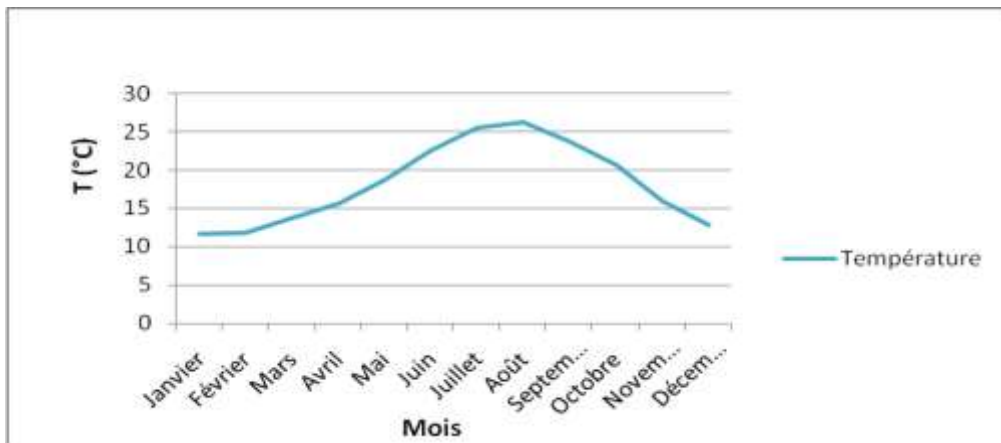
#### 1.2.1. La température

Ce qui est important de connaître ce sont les valeurs de températures extrêmes les plus basses et les plus élevées et leurs répartitions dans le temps.

**Tableau 4 :** Moyennes mensuelles des températures (1988-2017) (ONM, 2018).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
T(°C)	11,7	11,8	13,7	15,6	18,8	22,5	25,4	26,2	23,7	20,6	15,9	12,8

T : moyenne mensuelles des températures en °C.



**Figure 4:** Variations des températures moyennes mensuelles de la période 1988-2017(ONM, 2018).

D’après la figure (4), la moyenne maximale correspond au mois d’aout avec 26 °C et la moyenne minimale au mois de janvier avec 11 °C.

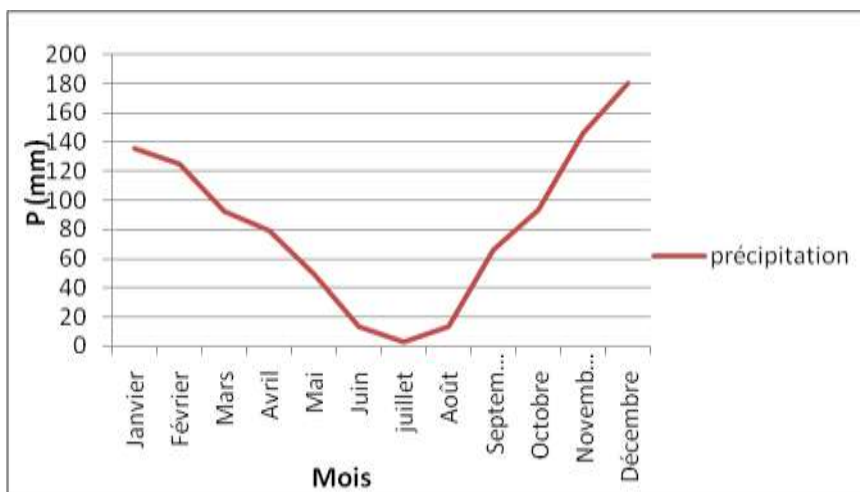
**1.2.2. Les précipitations**

La pluie est un facteur climatique très important qui conditionne l’écoulement saisonnier.

**Tableau 5 :** moyennes mensuelles des précipitations (1985-2017) (ONM, 2018).

Mois	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
<b>P(mm)</b>	135,0	124,8	92,8	79,6	49,6	13,4	03,3	13,8	66,2	93,8	145,8	180,0

**P :** moyenne mensuelles des précipitations en mm.



**Figure 5:** Variations de la précipitation moyenne mensuelle de la période 1988-2017(ONM, 2018).



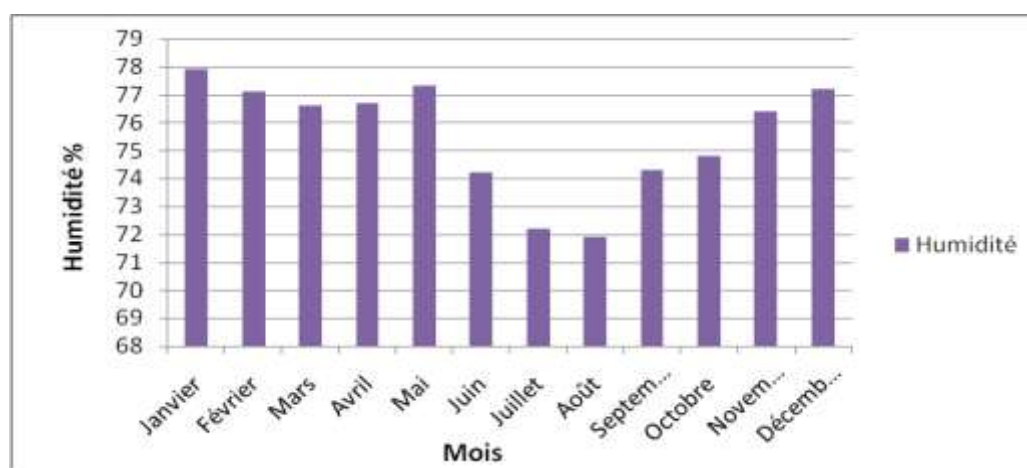
Selon la figure (5), les précipitations les plus abondantes sont enregistrées pendant le mois de décembre avec la valeur 180mm et les plus faibles sont enregistrées pendant le mois de juillet avec 3.3 mm.

### 1.2.3. L'humidité

Ce paramètre est un élément atmosphérique très important à mesurer, car il intervient dans le maintien du pouvoir de l'évaporation de l'air en cas de forte température comme il intervient dans le déficit hydrique.

**Tableau 6** : moyennes mensuelles de l'humidité dans la wilaya de Jijel (1986-2017) (ONM, 2018).

Mois	Jan	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
H%	77,9	77,1	76,6	76,7	77,3	74,2	72,2	71,9	74,3	74,8	76,4	77,2



**Figure 6** : Variations des moyennes mensuelles de l'humidité dans la wilaya de Jijel (1986-2017) (ONM, 2018).

Selon la figure (6), l'humidité est élevée presque toute l'année, sauf au mois d'aout qui enregistre une diminution.

## 2. Enquête

Nous avons fait une enquête en contactant les agriculteurs, les distributeurs et vendeurs de produits de l'agriculture (pesticides, fertilisants ...) pour mieux réussir la culture de la plante choisie et connaître les fertilisants et les pesticides les plus communément utilisés dans la région de Jijel. Notre questionnaire a porté sur les points suivants :

- l'entretien de la plante.
- La liste des pesticides et fertilisants utilisés lors de la culture.

- La fréquence de pulvérisation et les doses appliqués concernant les pesticides et surtout les fertilisants utilisés pour notre plante.
- La fréquence de l'irrigation
- Le temps de la récolte

### 3. Échantillonnage

#### 3.1. Provenance du sol

La prise des échantillons du sol a été faite à partir d'une exploitation située au niveau de la commune de Sidi Abdelaziz.

Le prélèvement du sol a été effectué dans les 20 (vingt) premiers centimètres supérieurs du sol récupéré au moyen d'une tarière manuelle. Le poids de sol récupéré dans chaque horizon est de 3 kg, le sol est divisé en deux parties : L'une (2.5 kg) est utilisée pour le semis dans les pots, l'autre partie (0.5 kg) est conservée pour l'analyse chimique.

#### 3.2. Le matériel végétal

Nous avons choisis deux variétés de la laitue qui sont différentes en forme :

- **La laitue Sana**

Laitue d'automne, de printemps et d'hiver donne des têtes lourdes uniformes et homogènes d'une couleur verte (fig. 7), la tête pesant de 700 à 800 g (Golden Field Algeria, 2017).



**Figure 7:** la laitue variété Sana (Golden Field Algeria, 2017)

- **La laitue Blonde de Paris**

Batavia à feuille finement gaufrée, peu sensible à la chaleur, produisant des salades volumineuses et bien croquantes (fig. 8). Semis : février à juillet. Récolte : juin à octobre.

Elle est assez résistante à la montée à graine. ([www.plantes-shopping.fr](http://www.plantes-shopping.fr), 2018).



**Figure 8:** la laitue variété Blonde de paris (www.plantes-shopping.fr, 2018)

### 3.2.1. La culture de la laitue

La semence de la laitue a été effectuée le 10/02/2018 dans une pépinière pour les deux variétés.

Le repiquage (transplantation) est réalisé le 20/03/2018 (c'est-à-dire 40 jours après le semis à cause de la diminution de la température de l'hiver), lorsque les plantules auront une hauteur de 5 cm comme le montre la figure (9).



**Figure 9 :** Les variétés cultivées de la laitue après le repiquage.

#### 3.2.1.1. Besoins hydriques et nutritionnels

##### - Fertilisation

Nous avons utilisé un engrais nommé : **Jospamix P**, Formulation en poudre d'oligo-éléments chélatés sous forme minérale (Bore 0,7%, Cuivre 0,3%, Fer 7%, Manganèse 3,3%, Molybdène

0,1%, Zinc 0,6%), il est facilement absorbé par les feuilles et les racines pour corriger les carences des oligo-éléments.

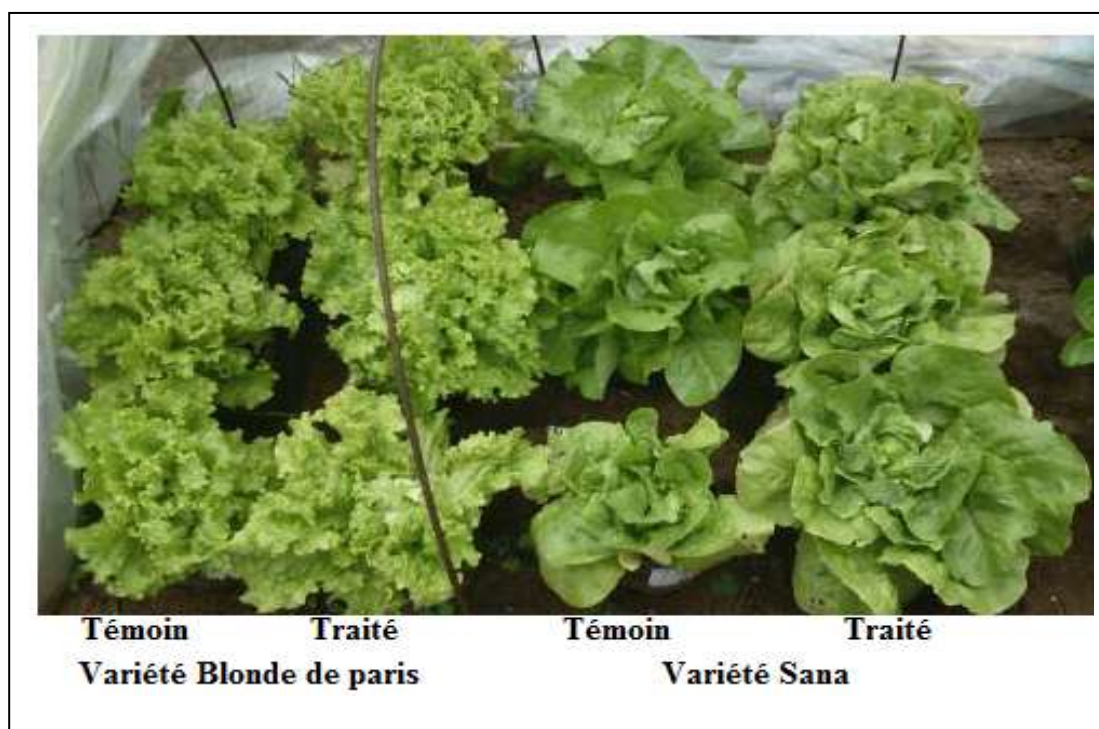
A partir du premier Avril (01/04/2018). Chaque semaine et pendant un mois, les plantules de la laitue reçoivent 55 ml de l'engrais Jospamix P avec une dose de 6g/L.

#### **- Irrigation**

Elle s'effectue manuellement trois fois par semaine, le nombre d'arrosage est augmenté dès qu'il y'a un dessèchement de la surface.

#### **- Récolte**

La cueillette des feuilles de la laitue est effectuée dès la cinquième semaine (après un mois de la fertilisation). La cueillette est réalisée premièrement pour faire le dosage de la chlorophylle et après la plante complète pour l'analyse des métaux lourds (fig.10).



**Figure 10** : Les variétés de la laitue pendant la récolte

### **3.3. Analyse au laboratoire**

L'analyse a été effectuée au laboratoire d'Ecotoxicologie de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Mohamed Seddik Ben Yahia, Jijel. Les analyses sont portées sur les métaux lourds (sol et végétation) et également sur certains paramètres à savoir la chlorophylle pour le végétal et quelques paramètres physico-chimiques du sol comme le pH, la conductivité électrique et la matière organique.

Pour le sol : Tous les échantillons du sol prélevés c'est-à-dire avant la culture de la laitue et après la récolte sont séchés à l'air libre, tamisés à 2 mm et 0.2 mm selon les protocoles et conservés dans des sachets hermétiquement fermés jusqu'à l'analyse (Mathieu et Pieltain, 2003).

Six échantillons du sol avant la culture de la laitue considérée comme témoin et 6 échantillons après le traitement (utilisation de l'engrais), soit 12 échantillons.

### **3.3.1. Analyse des échantillons du végétal**

#### **3.3.1.1. Dosage de la chlorophylle**

La méthode utilisée pour l'extraction de la chlorophylle est la méthode traditionnelle établie par HOLDEN(1975) qui consiste en une macération du végétal dans de l'acétone 80%. Les feuilles sont broyées dans de l'acétone. Après filtration pour éliminer les débris cellulaires, on obtient une solution brute de pigments. Le dosage se fait au spectrophotomètre, et la lecture se fait à deux longueurs d'onde 645 et 663 nm, après étalonnage de l'appareil avec la solution témoin d'acétone à 80%.

La formule relative au solvant nous permet de calculer les valeurs de la chlorophylle

$$\text{Ch a} = 12.7 \times \text{Do } 663 - 2.69 \times \text{Do } 645$$

$$\text{Ch b} = 22.9 \times \text{Do } 645 - 4.68 \times \text{Do } 663$$

#### **3.3.1.2. Analyse des éléments traces métalliques**

##### **➤ Préparation des extraits des plantes**

Les plantes ont été lavées premièrement par l'eau de robinet et par l'eau distillée, puis séchées, broyées et enfin conservée dans des sachets hermétiquement fermés.

La détermination des teneurs totales en éléments traces dans la plante a été faite selon Hoening et al, (1979). Elle consiste en une digestion par les acides.

##### **➤ Le dosage des éléments traces métalliques**

Les échantillons ainsi mis en solution ont été dosés par spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme de marque SHIMADZU AA6200.

##### **➤ Justification du choix des métaux**

Nous avons choisis le Zinc et le Cuivre comme éléments étudiés parce que ces métaux sont entrées dans la composition de fertilisant d'une part et d'autre part ceux sont des métaux essentiels (oligo-éléments) pour le fonctionnement normal des plantes : la laitue ; et avec certaines concentrations devient toxiques pour la plante.

### 3.3.2. Analyse des échantillons du sol

#### 3.3.2.1. Analyse des éléments traces métalliques

##### ➤ Préparation des extraits de sol

Le procédé d'extraction est décrit par Hoening et al., (1979). L'extraction est faite avec l'eau régale dont le grand pouvoir de dissolution est dû à l'effet combiné d'un acide oxydant HNO<sub>3</sub> et des ions Cl<sup>-</sup> complexant (provenant de l'acide chlorhydrique).

##### ➤ Le dosage des éléments traces métalliques

Les échantillons ainsi mis en solution ont été dosés par spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme de marque SHIMADZU AA6200.

#### 3.3.2.2. Analyse physique du sol

##### 3.3.2.2.1. Le pH

Le pH se mesure à l'aide d'un pH-mètre de type HANNA. On constitue une suspension de sol dans l'eau (rapport sec/eau :2/5) dans laquelle on mesure le pH c'est-à-dire la concentration en ions H<sup>+</sup> à l'état dissocié dans le liquide surnageant (Mathieu et Pieltain, 2003).

##### 3.3.2.2.2. La conductivité électrique

Le principe est basé sur l'extraction des sels d'un échantillon soluble dans l'eau, suivant d'un rapport sol sec/eau (1/5), puis la mesure de la conductivité à l'aide d'un conductimètre électronique de type HANNA (HI 2315) sur la solution du sol (Mathieu et Pieltain, 2003).

##### 3.3.2.2.3. Dosage de la matière organique (méthode de Walkley et Black modifié)

La méthode Walkley et Black modifiée est utilisée dans ce travail pour déterminer la matière organique dans les sols par dosage du carbone organique présent (Mathieu et Pieltain, 2003).

##### ➤ Principe de dosage

Le principe du dosage repose sur l'oxydation du carbone de la matière organique par le bichromate de potassium (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) en excès, en milieu acide sulfurique.



Le taux en carbone organique permet d'estimer le taux de matière organique (MO) en multipliant le résultat obtenu par 1,724. (Delaune et al., 1991).

### ➤ Mode opératoire

- Peser 1g de terre fine passée au tamis de 0.2mm, introduire la prise dans un buchner de 300 - 500ml.
- Ajouter 10 ml de dichromate de potassium 1 N, agiter légèrement pour disperser le sol dans la solution.
- Ajouter 20 ml d'acide sulfurique concentré, agiter vigoureusement pendant 1 minute et laisser reposer pendant 30 minutes.
- Transvaser dans une fiole jaugée de 250ml et laver le bécher avec 150ml d'eau distillé, compléter au volume.
- Prélever 100ml à la pipette, introduire dans un erlenmeyer de 250ml, diluer à 150ml, ajouter 4ml de d'acide orthophosphorique concentré et 12 gouttes de la solution indicatrice de diphénylamine.
- Titrer, en agitant, avec la solution de sel de Mohr 0.25N, la couleur passe du bleu foncé au bleu vert. Soit n le nombre de ml versés.

Procéder à un témoin (en trois répétitions) en remplaçant la terre par de sable calciné. Soit n' le nombre de ml de sel de Mohr versés. (Delaune et al., 1991).

- La teneur en carbone organique pour 100gde sol est :

$$C\%=(n'-n) \times 0.9975 \times 0.1$$

- Le taux de matière organique est :

$$MO\% = C\% \times 1,724$$

#### 4. Le Facteur de bioconcentration et le Facteur de translocation

Le facteur de bioconcentration (FBC) est défini comme étant le rapport entre la concentration des ETMs dans le matériel végétal récolté (exprimé en mg kg<sup>-1</sup> Matière Sèche) et sa concentration dans le sol/l'eau (exprimé en mg.L<sup>-1</sup>) (Nadia Ait Alia et al., 2004).

$$FBC = \frac{[ETM] \text{ racines ou parties aériennes de plante}}{[ETM] \text{ substrat de culture}}$$

Le Facteur de transfert traduit la capacité d'une espèce végétale à transférer un polluant de ses racines vers ses parties aériennes (tige, feuilles, fleurs)

Le facteur de transfert (FT) est exprimé par les rapports suivants :

$$F_t = [\text{ETM}] \text{ parties aériennes} / [\text{ETM}] \text{ racines}$$

## 5. Analyse statistique

Pour une meilleure exploitation des résultats nous avons procédé au calcul des moyennes et d'écart type. L'analyse statistique proprement dite est effectuée en faisant appel au test de Student pour comparer entre les différents paramètres avant et après le traitement. Tous les calculs ont été effectués en utilisant le logiciel Excel et Excel Stat.

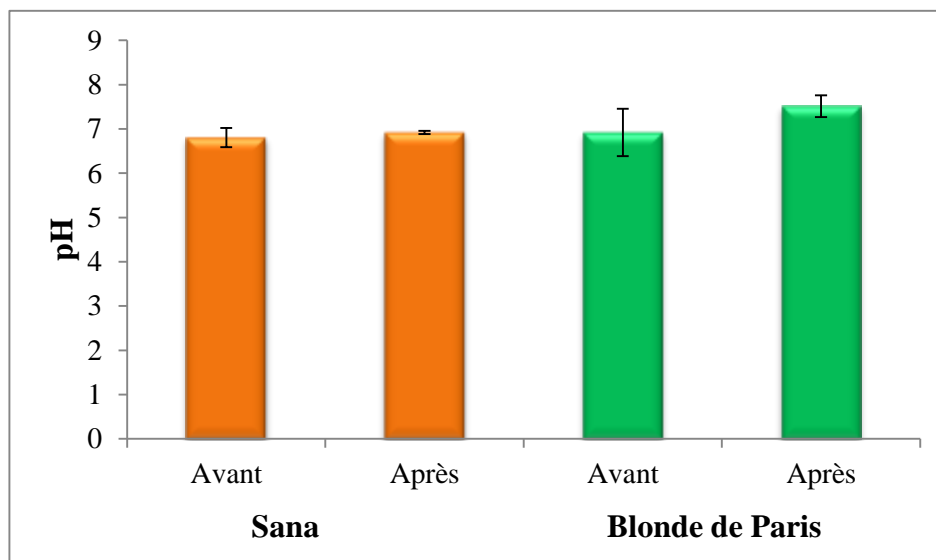


## 4.1. Résultats et interprétation

### 1. Les caractéristiques physiques du sol

#### 1.1. Le pH

Les résultats du pH sont exprimés à la température de 25 °C et sont lus directement dans le cadran du pH-mètre à 0.01 unité. Nous avons mesuré le pH avant et après le traitement par l'engrais Jospamix P. Les valeurs moyennes sont représentées dans la figure (11).



**Figure 11** : Variations du pH avant et après le traitement du sol pour les deux variétés.

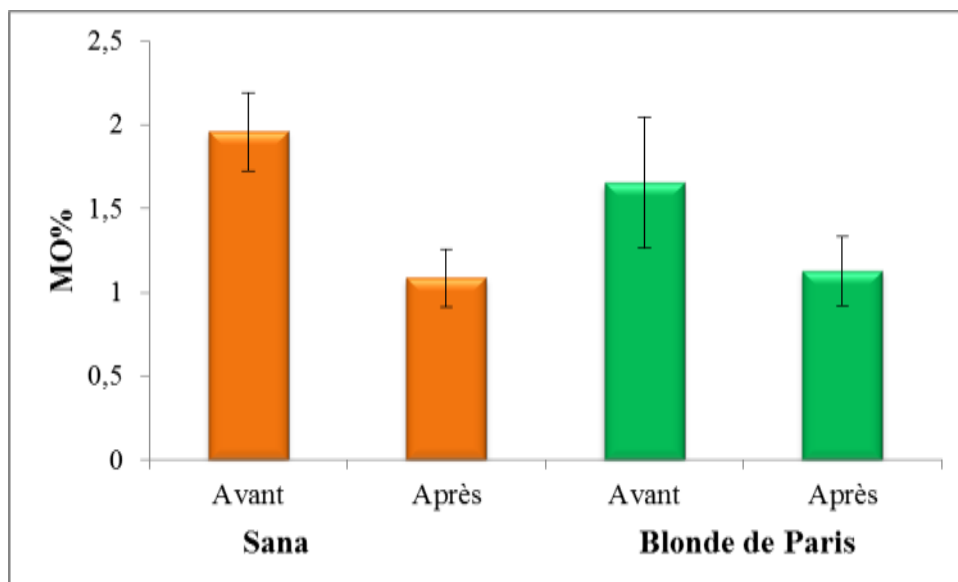
Avant le traitement, les valeurs moyennes du pH était de 6.80 pour la variété Sana et de 6.92 pour la variété Blonde de paris.

Après le traitement, ces valeurs deviennent 7.33 pour la variété Sana et 7.51 pour la variété Blonde de paris. Cette augmentation est de 9% pour le sol cultivé par la variété Sana et de 14% pour le sol cultivé par la variété Blonde de Paris est peut être du a l'utilisation du fertilisant (Jospamix P). Le test de Student ne montre aucune différence significative entre les valeurs du pH avant et après le traitement pour les deux variétés : Sana ( $t, p = 0.078$ ) et Blonde de Paris ( $t, p = 0.29$ ) respectivement.

En comparant ces résultats aux normes citées par Clech, (2000) (Tableau 1, Annexe I) nous remarquons que le sol de la variété Sana est neutre. Cependant, pour la variété Blonde de Paris, nous remarquons que le sol est neutre avant le traitement mais devenue faiblement alcalin après le traitement.

## 1.2. Matière organique

Les teneurs moyennes de la matière organique du sol avant et après le traitement par Jospamix P sont représentées graphiquement par la figure (12).



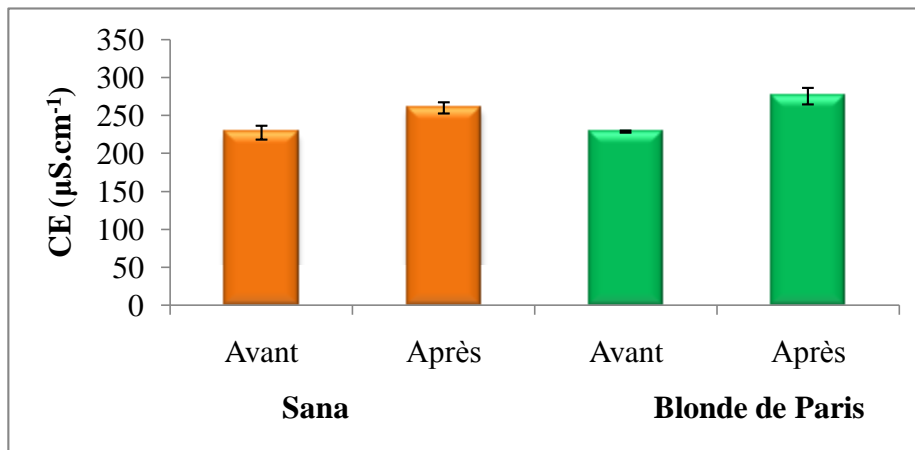
**Figure 12:** Variations de la matière organique avant et après le traitement du sol pour les deux variétés.

Une diminution de la matière organique du sol a été enregistrée, cependant les valeurs moyennes de la M.O. du sol chez la variété Sana sont de 1.95% avant le traitement et 1.08% après le traitement. Aucune différence significative n'a été enregistré entre la teneur du sol en matière organique avant et après le traitement ( $t, p = 0.051$ ) Tandis que dans le sol cultivé par la variété Blonde de paris, les valeurs moyennes sont de 1.65% avant le traitement et 1.13% après le traitement. Le test de Student ne montre aucune différence entre la teneur du sol en matière organique avant et après le traitement ( $t, p = 0.237$ ). D'une manière générale le sol des deux variétés est pauvre en matière organique.

## 1.3. Conductivité électrique

La conductivité a été mesurée à la température de 20°C, les valeurs moyennes de la conductivité électrique enregistrée au niveau du sol cultivé par la laitue sont représentées par la figure (13). La C.E. augmente de 227.5  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  avant le traitement à 260  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  après le traitement pour la variété Sana. Aucune différence significative n'a été enregistrée entre les valeurs de la conductivité électrique de sol ( $t, p = 0.058$ ).

Pour la variété Blonde de Paris, la C.E. est de  $229 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  avant le traitement et de  $275.5 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  après le traitement par le fertilisant. Il existe une différence significative entre les valeurs de la C.E. avant et après l'utilisation de l'engrais ( $t, p = 0.025$ ).



**Figure 13:** Variations de la conductivité avant et après le traitement du sol pour les deux variétés.

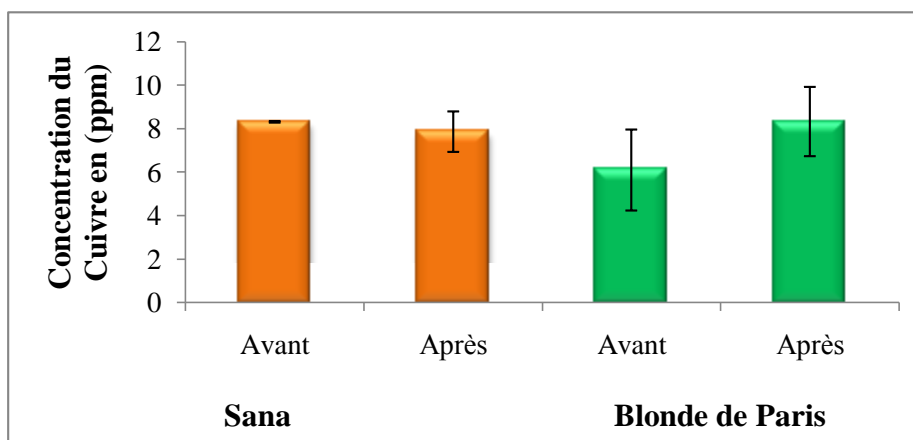
D'après l'échelle de la salinité des sols proposés par Gros, (1979) récapitulé dans le (Tableau 3, Annexe I), nous constatons que le sol cultivé par les deux variétés est classé salé.

## 2. Les métaux étudiés

### 2.1. Cuivre (Cu)

#### 2.1.1. Le sol

Les valeurs moyennes des concentrations du cuivre au niveau du sol cultivé par les deux variétés avant et après le traitement sont illustrées dans la figure (14).



**Figure 14 :** Concentrations du cuivre au niveau du sol des deux variétés avant et après le traitement.

Le graphique montre une légère diminution après le traitement pour la variété Sana et une légère augmentation pour la variété Blonde de Paris. Ces fluctuations ne sont pas significatives pour les deux variétés : Sana ( $t, p = 0.55$ ) et Blonde de Paris ( $t, p = 0.32$ ).

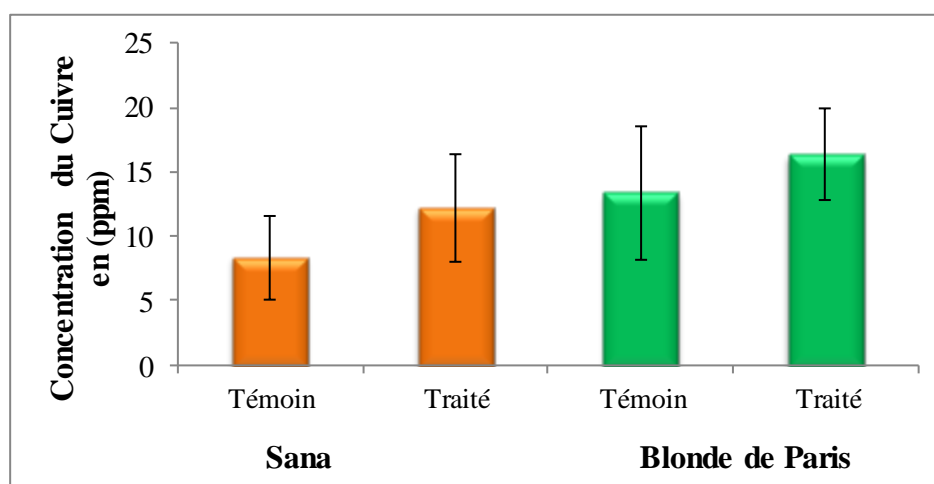
Ces résultats montrent également que les concentrations moyennes du Cu dans le sol des deux variétés que ce soit avant ou après le traitement sont inférieures à la norme qui est de 100 ppm (Tableau 1, Annexe II).

### 2.1.2. La partie racinaire

Les concentrations moyennes du cuivre enregistrés dans la partie racinaire témoin et traité de la laitue dans les deux variétés sont illustrées dans la figure (15).

D'une manière générale nous avons constaté une augmentation des concentrations du cuivre dans les racines des plantes traitées par rapport aux témoins. Cette augmentation est de 37.5%, soit de 8.35 ppm au 12.21 ppm pour la variété Sana et de 25% soit de 13.37 ppm au 16.35 ppm pour la variété Blonde de Paris.

D'après le test de Student, cette augmentation n'est pas significative pour les deux variétés ; Sana ( $t, p = 0.7$ ) et Blonde de Paris ( $t, p = 0.45$ ). Une différence non significative est enregistrée entre les concentrations du Cuivre dans la partie racinaire de deux variétés ( $t, p = 0.26$ ).



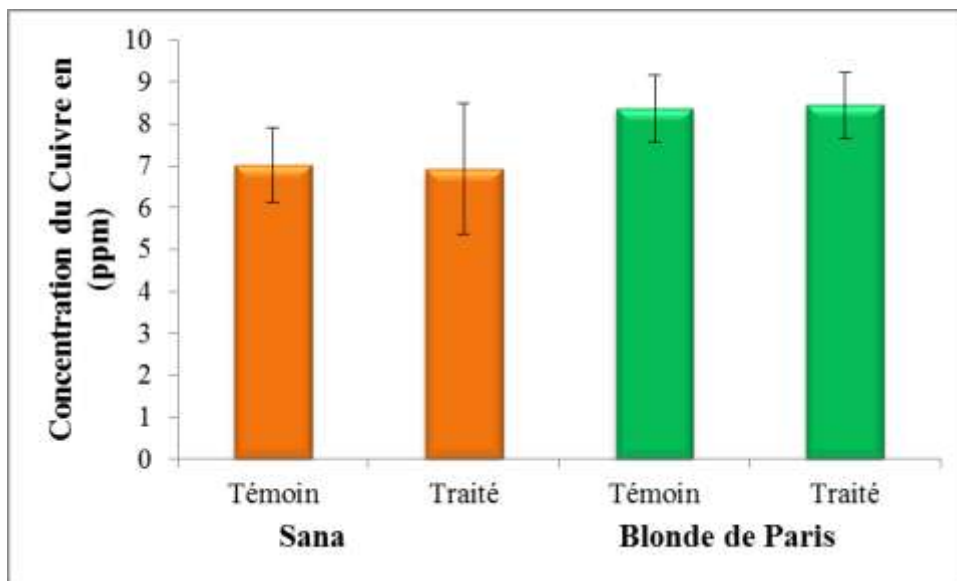
**Figure 15 :** Variations des concentrations moyennes du cuivre au niveau de la partie racinaire des plantes témoins et traités des deux variétés.

### 2.1.3. La partie aérienne

Les concentrations moyennes du cuivre enregistrés dans la partie aérienne du témoin et du traité de la laitue dans les deux variétés sont illustrées dans la figure (16).

Aucune différence significative de concentration du cuivre entre les témoins et les traités n'a été montré par le test de Student dans la partie aérienne (tige + feuilles) des deux variétés ; ( $t, p = 0.93$ ) pour la variété Sana et ( $t, p = 0.91$ ) pour la variété Blonde de Paris.

Mais nous avons remarqués une petite différence inter-variétale et les teneurs les plus importantes sont enregistrés chez la variété Blonde de Paris.



**Figure 16 :** Variations des concentrations moyennes du cuivre au niveau de la partie aérienne des plantes témoins et traités des deux variétés.

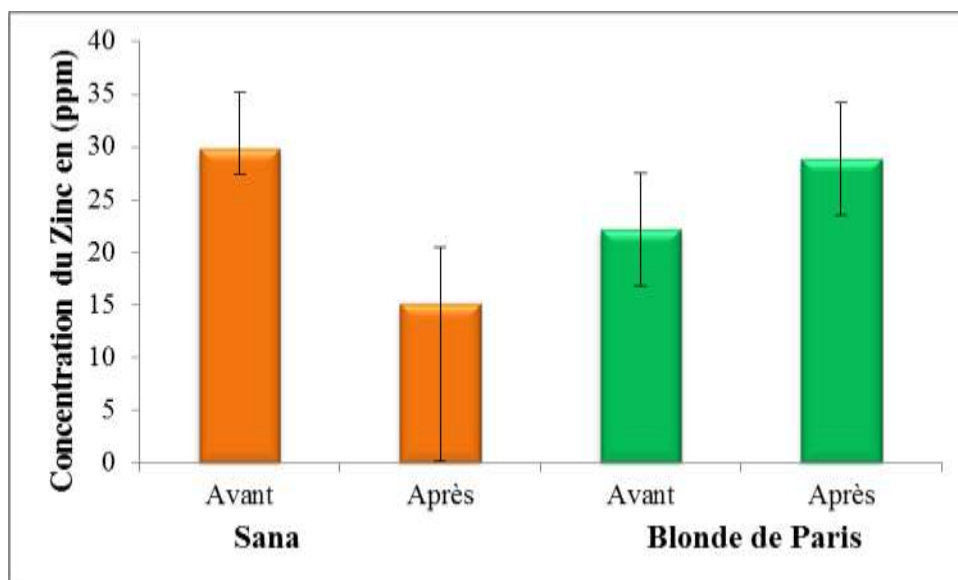
D'après Tremel-Schaub et Feix, (2005), la teneur du cuivre dans la laitue elle est de 5 à 10  $\text{mg.kg}^{-1}$  de matière sèche. Les concentrations en Cu mesurées dans la partie aérienne (tige+ feuilles) des deux variétés répondent aux normes.

## 2.2. Zinc (Zn)

### 2.2.1. Le sol

La figure (17) présente les concentrations moyennes du zinc dans le sol avant et après l'utilisation de l'engrais Jospamix P.

La valeur moyenne du zinc dans le sol cultivé par la variété Sana diminue est de 29.79 ppm avant l'utilisation de l'engrais à 15.06 ppm après l'utilisation soit une diminution d'environ 50%, cette diminution n'est pas significative ( $t, p = 0.30$ ). Par contre, chez la variété Blonde de Paris, une augmentation non significative ( $t, p = 0.33$ ) de 23% soit de 22.14 ppm avant le traitement à 28.89 ppm après le traitement a été enregistrée. Néanmoins toutes les teneurs répondent aux normes (Fageria et al., 2002) (Tableau 1, Annexe II).



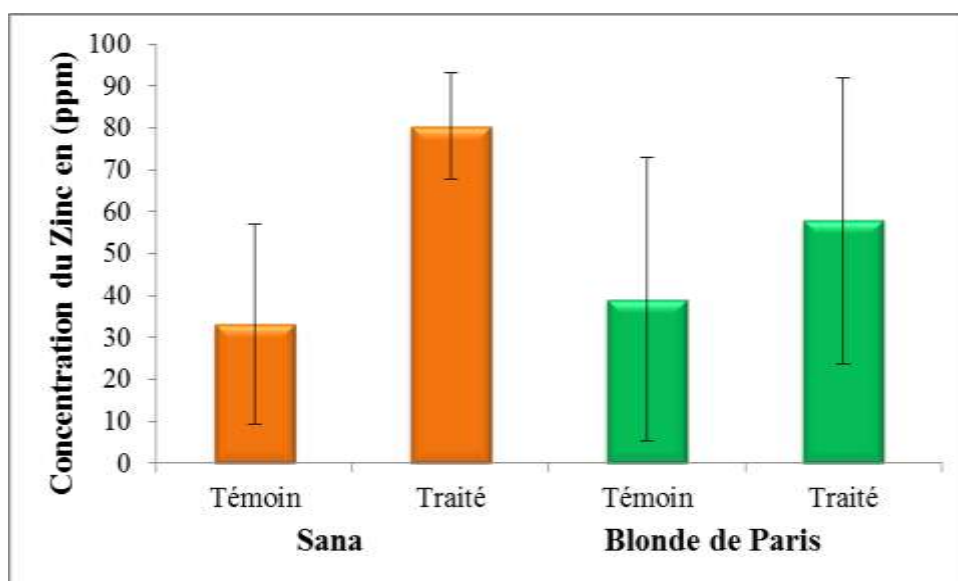
**Figure 17 :** Concentrations moyennes du zinc au niveau du sol des deux variétés avant et après le traitement.

### 2.2.2. La partie racinaire

Les concentrations moyennes du zinc dans la partie racinaire ont connaites une augmentation chez les plantes traitées par rapport aux témoins pour les deux variétés (figure 18).

Cette augmentation est de 58% soit de 33.27 ppm à 80.4 ppm chez la variété Sana elle est significative ( $t, p = 0.039$ ). Et de 32% soit de 39,12 ppm à 57,84 ppm chez la variété Blonde de paris, cette différence est non significative ( $t, p = 0.53$ ).

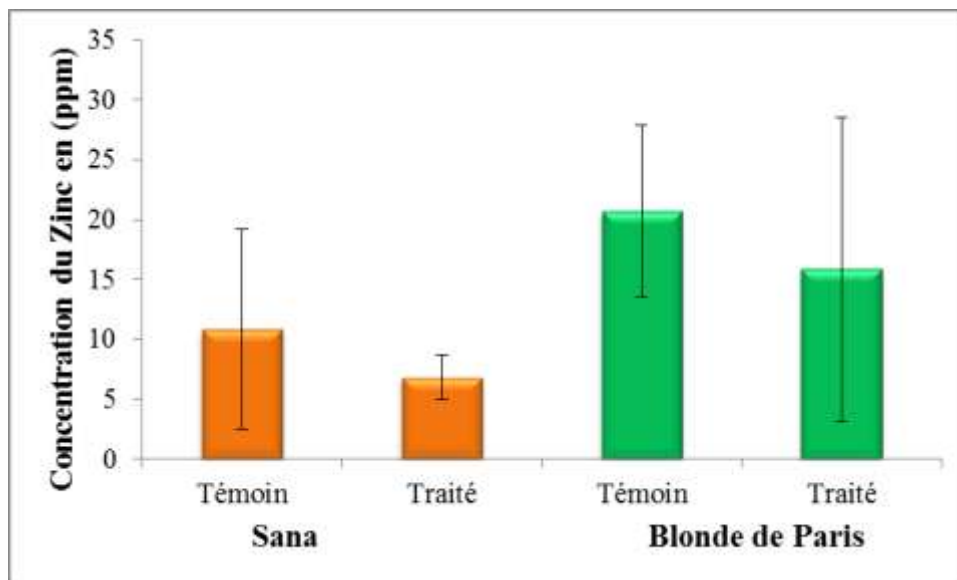
Le test de Student ne montre aucun effet significatif entre la concentration du Zn dans la partie racinaire pour les deux variétés ( $t, p = 0.30$ ).



**Figure 18:** Concentrations moyennes du Zinc au niveau des racines du témoin et du traité des deux variétés.

### 2.2.3. La partie aérienne

Les concentrations moyennes du zinc enregistré dans la partie aérienne du témoin et du traité de la laitue dans les deux variétés sont illustrées dans la figure (19). Ces concentrations ont diminuées après l'utilisation de l'engrais et les concentrations les plus importantes sont remarquées chez les témoins pour les deux variétés. Cette diminution non significative est de 36% chez la variété Sana ( $t, p = 0.46$ ) et 23% chez la variété Blonde de Paris ( $t, p = 0.59$ ).



**Figure 19:** Concentrations moyennes du zinc au niveau de la partie aérienne du témoin et du traité des deux variétés.

Les teneurs en Zn répondent à la norme établie par Tremel-Schaub et Feix., (2005) pour la laitue qui est de  $22 \text{ mg.kg}^{-1}$  de matière sèche. La variété Blonde de Paris contient la concentration la plus élevée du zinc par rapport à celle de la variété Sana.

### 3. Facteur de Bioconcentration et le facteur de Translocation

**Tableau 7 :** variation des moyennes des facteurs de bioconcentration et de translocation pour Cu.

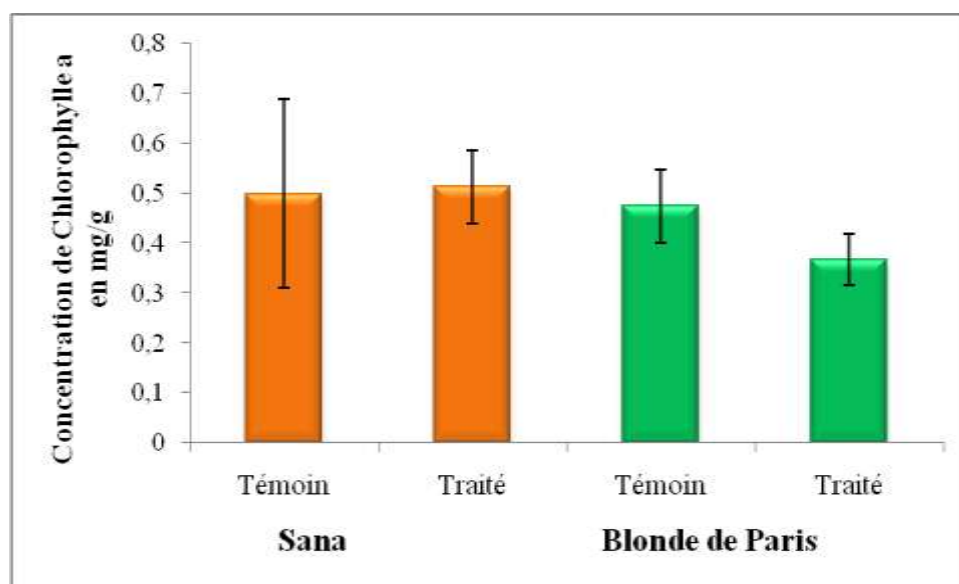
	FBC		Ft	
	Témoin	Traité	Témoin	Traité
Variété Sana	1.23	1.55	0.90	0.56
Variété Blonde de Paris	1.88	1.96	0.71	0.51

**Tableau 8 :** variation des moyennes des facteurs de bioconcentration et de translocation pour Zn.

	FBC	Ft	
	Traité	Témoin	Traité
Variété Sana	5.33	0.35	0.04
Variété Blonde de Paris	2	0.84	0.27

#### 4. La chlorophylle

Pour estimer s'il y'a un effet du fertilisant et de la toxicité des métaux étudiés sur la composition des feuilles de la laitue, nous avons dosé l'un des composés les plus essentielles : la chlorophylle a et b. Les résultats moyens de la chlorophylle sont représentés par la figure (20) et (21).

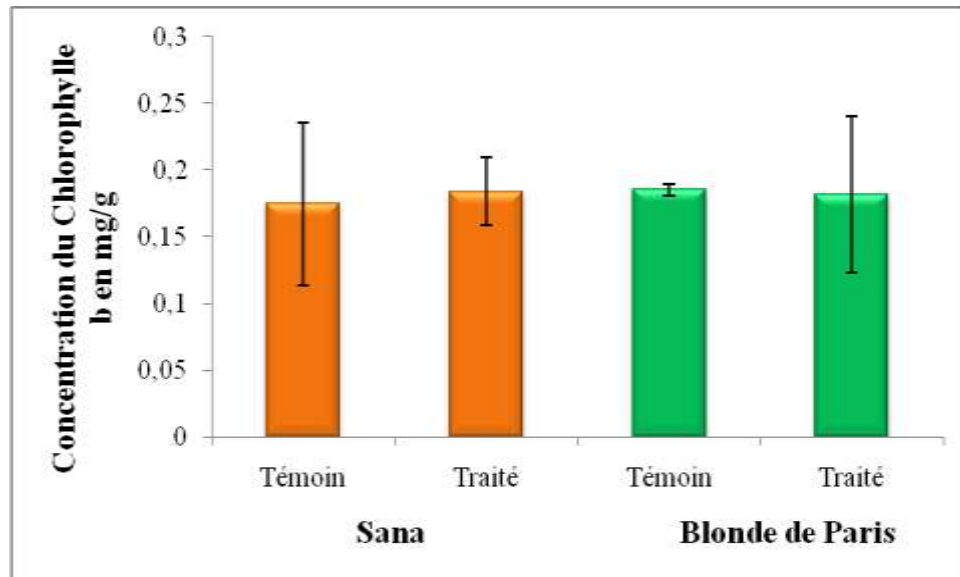


**Figure 20:** Variation de la concentration moyenne de la chlorophylle (a) des plantes témoins et traités des deux variétés.

Les concentrations en chlorophylle a sont semblables pour la variété Sana et connaissent une légère diminution chez la variété blonde de Paris (fig. 20).

Aucune différence significative n'a été enregistré pour les deux variétés : Sana ( $t, p = 0.91$ ) et Blonde de Paris ( $t, p = 0.1$ ).





**Figure 21:** Variation de la concentration moyenne de la chlorophylle (b) des plantes témoins et traités des deux variétés.

Aucun effet du fertilisant sur les concentrations moyennes de la chlorophylle b n'a été enregistré pour les deux variétés (fig. 21).

Pour les plantes traitées, les concentrations moyennes de la chlorophylle b sont de 0.51 mg/g pour la variété Sana et 0.36 mg/g pour la variété Blonde de paris.

Le test de Student ne montre aucune différence significative entre la concentration de la chlorophylle b des témoins et des traités pour les deux variétés, pour Sana: ( $t, p = 0.82$ ), Blonde de Paris ( $t, p = 0.93$ ).

## 4.2. Discussion

### 1. Les caractéristiques physiques du sol

#### 1.1. Le pH

Le pH est considéré comme le facteur le plus important dans le contrôle de l'absorption, la mobilité et la biodisponibilité des métaux lourds dans la solution de sol (Ben Achiba et al., 2009). De même Richards et al., (2000) ont montré que la variation du pH est le facteur le plus déterminant dans la mobilité des métaux lourds. C'est ce qu'il a confirmé par Singh, (1994) que le pH du sol présente une corrélation significative négative avec les teneurs de la plupart des oligo-éléments dans les plantes.

Tremel-Schaub et Feix, (2005) ont indiqué qu'un pH bas augmente la phytodisponibilité des éléments traces, car l'ion  $H^+$  a une plus grande affinité pour les charges négatives sur les colloïdes, et rentre alors en compétition avec les ions métalliques vis-à-vis de ces sites, ce qui induit un relâchage de éléments-traces dans l'eau des pores du sol.

le travail de Richards et al., (2000) démontre que la majorité des éléments métalliques sont plus mobile en conditions acides qu'en conditions alcalines et ceux de Hodgson, (1963) qui a été observé une diminution de l'absorption de Cu et Zn lorsque le pH du sol a augmenté de pH 5 à 8.

Les ions :  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$  augmentent les valeurs du pH. Lorsque l'ensemble du complexe est saturé par ces ions, le milieu devient neutre ou même légèrement alcalin. La dilution des ions  $H^+$  des solutions en période pluvieuse a tendance d'élever les valeurs du pH (Ducchaufour, 1997). Ces ions peuvent être apportés au sol par l'eau ou les fertilisants qui en contiennent, les résultats de cette étude concordent avec les résultats de notre étude, d'une façon générale, notre sol est caractérisé par un pH neutre avant le traitement qui augmente légèrement à faiblement alcalin dans le sol cultivé par la variété Blonde de paris et cela après l'utilisation du fertilisant Jospamix P qui est dissout dans l'eau de l'irrigation.

#### 1.2. La matière organique

Les débris végétaux de toute nature, constituent la source essentielle de la matière organique, mais aussi l'utilisation des engrais peut augmenter leur taux dans le sol. Elle s'est décomposée par l'activité biologique donnant naissance d'une part à des éléments solubles ou gazeux et d'autre part à des complexes humiques (Mathieu et Pielain, 2003).

D'après Hodgson, (1963) la présence de matière organique peut stimuler la disponibilité de certains éléments, vraisemblablement en fournissant les complexants solubles qui interfèrent avec leur fixation.

La MO joue un rôle important dans la mobilité des métaux lourds dans le sol. Elle est considérée comme un support préférentiel des éléments traces (Singh et al., 1997).

Ben Achiba et al., (2009), ont également montré que la richesse du sol en matière organique favorise la fixation des métaux lourds par la formation des complexes organométalliques insolubles. La matière organique soluble souvent augmente l'absorption de métaux lourds par les plantes (Hodgson, 1963), le cuivre a montré une forte affinité pour la matière organique dissoute (yin, 2002).

D'après Singh, (1994) la matière organique dans les sols immobilise fortement les métaux lourds en conditions acides et mobilise les métaux en conditions faiblement acides à alcalins en formant des complexes soluble et insoluble. Contrairement à nos résultats qui ne montrent aucun effet de l'engrais utilisé sur le taux de la M.O.

### **1.3. La conductivité électrique (CE)**

La mesure de la conductivité permet d'obtenir rapidement une estimation de la teneur globale en sels dissous telles que les chlorures, les sulfates, les carbonates et les bicarbonates alcalins et alcalino-terreux et accidentellement des nitrates et des phosphates (Mathieu et Pieltain, 2003).

L'augmentation légère de la conductivité dans le sol des deux variétés cultivées peut être expliqué par l'effet du fertilisant utilisé (Jospamix P) mais cette augmentation n'a aucun effet sur le type de sol qui reste salé même après le traitement.

## **2. Les métaux étudiés**

### **2.1. Le Cuivre (Cu)**

Le cuivre est l'un des micronutriments essentiels pour la nutrition des plantes (Adriano, 2001) et pour les êtres vivants (Tremel-Schaub et Feix, 2005).

D'après Tremel-Schaub et Feix., (2005), la matière organique contribue généralement à l'immobilité du cuivre, car le Cu a une très grande affinité pour les matières organiques et a tendance à former avec elles des complexes solubles ce qui augmenter la solubilité du Cu ou

la formation des complexes insolubles. A pH acide, la solubilité du Cu est augmentée lorsque ce métal est présent sous forme  $\text{Cu}^{2+}$ .

Après le traitement par l'engrais, nous avons enregistré une légère diminution du cuivre dans le sol cultivé par la variété Sana, cela peut être expliqué par l'absorption du cuivre par la laitue. Le contraire a été enregistré dans le sol cultivé par la variété Blonde de paris, ce qui peut être dû à l'effet de l'engrais.

La distribution du cuivre dans la partie racinaire et aérienne des différentes plantes présente une hétérogénéité dans l'accumulation et le stockage. Selon nos résultats, on n'a pas enregistré des valeurs supérieures au seuil limite estimé naturel proposé par Kabata-Pendias et Pendias, (1986) (5-30ppm).

Selon Tremel-Schaub et Feix., (2005), le cuivre est préférentiellement s'accumule dans les racines, cela se concorde avec nos résultats, où on a remarqué une accumulation du cuivre au niveau des racines des deux variétés par rapport à la partie aérienne.

Les concentrations moyennes du cuivre obtenus dans les feuilles de la laitue des deux variétés étudiés (Sana et Blonde de paris) ressemblent aux résultats de Dan-Badjo et al., (2013), où ils ont trouvés des concentrations moyennes varient de 2,64 à 8,19 mg/g et la concentration la plus élevée en Cu est observée dans la laitue et cela lors de l'évaluation des niveaux de contamination en métaux lourds de la laitue et de chou cultivés.

### ➤ **Dynamique du Cuivre**

#### ✓ **Variété Sana**

##### • **Le facteur de translocation (Ft)**

Les Ft supérieurs à 1 exhibent une capacité à transporter le métal de la racine vers la feuille, et donc les systèmes de transport de métaux de la plante sont efficaces par contre si le Ft inférieure à 1 c'est-à-dire une translocation vers les parties aériennes limitée (Zu et al., 2005).

- Pour les plantes témoins,  $Ft$  (partie aérienne/racines) =  $0.90 < 1$ , ces résultats montrent une faible translocation du Cu des racines des plantes témoins vers la partie supérieure (tige +feuilles). Ce qui exprime une immobilisation de ce métal dans les racines.

- Pour celui des laitues traitées, le Ft égale à 0.56, donc  $Ft < 1$ , la translocation du cuivre des racines vers les feuilles de la laitue est limitée. Le facteur de translocation des laitues témoins est supérieur à celui des traités, ce qui montre l'effet du fertilisant sur la dynamique du Cu.

Nos résultats concordent avec ceux de Kabata- Pendias et Pendias, (1992) qui ont montré que la plus grande partie du cuivre présent dans les racines n'a pas été transféré vers les parties aériennes.

- **Le facteur de bioconcentration (FBC)**

Le FBC est le facteur qui permet de mesurer la capacité de la plante à absorber et à accumuler le polluant dans leurs racines.

Si le FBC est supérieur à 1, cela signifie que la plante est bioaccumulatrice.

- Pour les témoins de la variété Sana, le  $FBC = 1.23$ , ce facteur est la conséquence de l'absorption et du stockage du Cu dans les racines.
- Pour les plantes traitées, le  $FBC = 1.55$ . Nous avons enregistré une absorption du Cu par les racines de la laitue. Le FBC des laitues témoins est inférieure à celui des laitues traitées ce qui montre l'effet de l'engrais sur l'absorption racinaire du Cu.

Ces résultats concordent avec ceux obtenus par l'étude d'Alexander et al., (2006) qui ont rapporté que en plus du cadmium, les laitues sont accumulatrices du plomb, du zinc et du cuivre plus que les haricots.

- ✓ **Pour la variété Blonde de Paris**

- **Le facteur de translocation (Ft)**

- Chez les témoins la translocation du cuivre des racines vers la partie aérienne de la laitue (tige +feuilles) est faible. Cela est exprimé par le facteur de transfert ( $Ft = 0.71$ ). Pour plantes traitées le facteur de translocation est également plus faible est égale à 0.51 donc inférieure à 1, cela signifie que la translocation du cuivre des racines vers la partie aérienne de la laitue (tige +feuilles) est limitée.

Nous constatons la même dynamique du cuivre chez les deux variétés entre le témoin et traité.

- **Calcul du FBC**

- Chez les laitues témoins le  $FBC (\text{Racines}) = 1,88$ . Du ce fait nous avons enregistré une importante absorption du Cu par les racines des plantes témoins.
- Pour celui des laitues traitées, le FBC égale à 1.96 donc supérieure à 1. Cela signifie une importante absorption du Cu par les racines de la laitue. Les valeurs de FBC chez les plantes traitées ou chez les témoins sont semblables, ce qui montre l'absence de l'effet du fertilisant sur l'absorption racinaire du Cu.

Nous constatons également une forte accumulation du cuivre dans les racines au niveau de la variété Blonde de paris comme celle de la variété Sana.

## 2.2. Le Zinc

Le zinc est l'élément le moins toxique et le plus essentiel de l'alimentation humaine. Une carence en zinc dans l'alimentation peut être très nuisible à la santé humaine par rapport à l'excès de zinc dans l'alimentation. L'apport nutritionnel recommandé pour le zinc est de 15 mg / jour pour les hommes et de 12 mg / jour pour les femmes (Adut et al., 2012).

Le zinc est un élément essentiel pour la nutrition des plantes et sa phytotoxicité se manifeste par une chlorose semblable à celle de chlorose par le Fe (Adriano., 2001).

Les teneurs en zinc du sol cultivé par la variété Sana diminuent après l'utilisation de l'engrais Jospamix P, cela peut être dû à une assimilation par la plante, contrairement au sol cultivé par la variété Blonde de paris où nous avons enregistré une légère augmentation de la concentration du Zn qui peut être due à l'effet de l'engrais et à la faible absorption du Zn par les racines de cette espèce. Néanmoins le Zn a une tendance à s'accumuler dans les racines des deux variétés étudiées mais il reste dans les limites des normes (Fageria et al., 2002) (Tableau 2, Annexe II).

D'après Tremel-Schaub et Feix., (2005), le Zn est fortement phytodisponible, et se trouve en quantités plus élevées dans les racines que dans les parties aériennes. Ce constat se concorde avec nos résultats pour les deux variétés.

Toutefois, le zinc se concentre préférentiellement dans les feuilles matures de la plante dans les écosystèmes où le zinc est un polluant atmosphérique (Kabata-Pendias et Pendias, 1992).

Des travaux de Meers et al., (2006) cités par Kabata-Pendias, (2011) indiquent que le pH est le facteur clé pour déterminer la solubilité du Zinc et par conséquent, sa concentration dans la solution de sol et donc dans la plante.

### ➤ Dynamique du zinc

#### ✓ Pour la variété Sana

##### • Le facteur de translocation (Ft)

Nos résultats montrent une faible translocation du Zn des racines des témoins vers la partie supérieure (tige +feuilles). Ce constat est jugé par le facteur de translocation ( $Ft = 0,35$ ) qui est inférieure à 1. Idem pour les plantes traitées où nous avons enregistré un facteur de

translocation très faible de 0,04 et qui reste largement inférieur à celui des plantes témoins ce qui montre l'effet du fertilisant sur le transfert du Zn vers la partie aérienne.

- **Calcul du FBC**

FBC (Racines) = 5.33. Nous avons enregistré une forte accumulation du Zinc par les racines de la variété traité traduit par un facteur de bioconcentration élevé (5.33). Ce qui explique la tendance du Zn à s'accumuler dans les racines et l'effet du fertilisant à amplifier l'absorption, l'accumulation et le stockage de ce dernier au niveau des racines de cette variété.

- ✓ **Pour la variété Blonde de Paris**

- **Calcul du Ft**

D'après les résultats obtenus, la translocation du Zn des racines des témoins vers la partie aérienne de la laitue est faible ( $F_t = 0,84$ ). Même résultat pour les laitues traités de cette variété ( $F_t=0,27$ ). Nous avons constaté que le facteur de transfert de la variété Blonde de Paris est supérieur à celle de la variété Sana (que ce soit pour les témoins ou traités)

- **Calcul du FBC**

FBC (Racines)=2. Nous avons constaté une importante absorption du Zn par les racines de la variété blonde de Paris où cette absorption est exprimée par un facteur de bioconcentration important (2).

Nous remarquons que la variété Sana est capable d'accumuler des teneurs ou des concentrations du Zinc plus que la variété Blonde de paris.

Nos résultats se concordent avec ceux de Uwah1 et al ., (2012), lors de la détermination de la concentration de quatre métaux lourds, Zn, Mn, Fe et Cu dans les racines et les feuilles de laitue (*Lactuca sativa*) et d'épinard (*Amaranthus caudatus*) cultivées à Potiskum, dans l'État de Yobe, au Nigeria. Les résultats montrent que les teneurs en métaux lourds étaient plus élevées dans les racines que dans les feuilles des deux légumes.

### **3. La chlorophylle**

Selon Gross, (1994) les chlorophylles sont les plus largement distribué et le plus important. Les chlorophylles sont les pigments verts des végétaux capables de faire la photosynthèse, le processus de vie fondamental qui convertit l'énergie lumineuse en énergie chimique.

La chlorophylle (a) se trouve chez tous les végétaux, la chlorophylle (b) se trouve chez les végétaux supérieurs les deux sont présentés dans les chloroplastes des cellules de tous les végétaux de couleur verte (Gross, 1994 ; Leray, 2010)

Des études détaillées indiquent que les métaux lourds ont des effets sur la teneur en chlorophylle des plantes. Les métaux lourds sont connus pour interférer avec la synthèse de la chlorophylle soit par inhibition directe d'une enzyme ou en induisant une déficience d'un nutriment essentiel (van Assche et Clíjsters, 1990). La quantité de chlorophylle a été réduite chez *Triticum aestivum* CV. Vergina cultivé sur un sol enrichi en Cu (Lanaras et al., 1993), et chez *Brassica oleracea* var. Botrytis cv. Maghi exposé à  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$  et  $\text{Cr}^{2+}$  (Chatterjee et Chatterjee, 2000).

Les résultats de Fikriye Kirbag et Munzuroglu, 2005) ont montré que le plomb, le cuivre, le cadmium et la toxicité du mercure ont diminué la chlorophylle totale contenu des feuilles de semis de haricot dans des conditions de stress par les des métaux lourds. Cela concorde avec nos résultats pour la chlorophylle a chez la variété Blonde de paris.

Siomos et al., (2001) ont montré que des plantes de laitues cultivés dans un substrat avec ajout de fertilisant ont une teneur plus faible en chlorophylle *a* et *b* que d'autres cultivés dans un substrat plus pauvre, cela concorde avec nos résultats concernant la variété Blonde de paris pour la chlorophylle a.

On a enregistré des faibles teneurs de la chlorophylle a et b cela peut être due à l'âge des plantes, cela concorde avec une étude menée par Mitchell et al., (1991a) qui montreent que le vieillissement des plantes de laitues conduit à une diminution de la teneur en chlorophylle.

Selon une étude faite par Czuba et Ormrod, (1993), la chlorophylle a diminué de 1.10 mg/g jusqu'à 0.78mg/g après pulvérisation de la laitue par 100 ppm du zinc et diminue à 0.93mg/g après traitement de la racine par 100 ppm du zinc. Même remarque avec la chlorophylle b, où ils ont enregistré une diminution de 0.25 mg/g à 0.13 après pulvérisation de la laitue par 100 ppm du zinc et à 0.27 après traitement de la racine. Cela concorde avec nos résultats concernant la variété Blonde de paris.



---

## Conclusion

La wilaya de Jijel a connue depuis quelques années une évolution appréciable en matière de production agricole. Cette évolution est particulièrement marquée dans les filières maraîchage, arboriculture, oléiculture et les productions animales.

D'un point de vue économique, le maraîchage demeure la filière la plus importante dans la région (direction de l'agriculture) principalement avec de la plasticulture comme par exemple la culture de la tomate, le piment, le haricot, le fraisier, la pastèque, l'oignon et la laitue.

Un développement observable chaque année sur la culture de ce dernier dans la wilaya. Lors de la saison 2010-2011, la superficie cultivée est de 148.68 hectares avec une production de 7917 Quintaux à 253.35 hectares avec 21320 quintaux durant la saison 2016-2017. Chaque année cette culture se fait en quatre étape : saisonnière, pré-saisonnière, d'arrière-saison et la culture sous serre.

Le présent travail est une contribution à l'étude de l'accumulation métallique de deux métaux lourds : le Zinc et le Cuivre, dans la laitue (*Lactuca sativa* L) cultivé en pots et la détermination de la présence ou l'absence d'un effet variétal entre deux variétés (Sana et Blonde de Paris) après traitement du sol par un l'engrais Jospamix P.

Pour réaliser ce travail nous avons procédé à des analyses physiques du sol, des analyses de métaux lourds en utilisant la SAA dans des plantes témoins et traités de la laitue sur les deux parties racinaires et aériennes et dosage de la chlorophylle.

Les résultats obtenus ont montrés :

- Que le sol étudié se caractérise par un pH neutre pour la variété Sana et neutre à faiblement alcalin dans le sol de la variété Blonde de Paris après le traitement par l'engrais utilisé. cette variation n'est pas significative pour les deux variétés.
- Un sol pauvre en matière organique pour les deux variétés avec l'enregistrement d'une diminution non significative après l'utilisation de l'engrais pour les deux variétés.
- Le sol cultivé par les deux variétés est considéré salé, avec constatation d'une augmentation non significative de la conductivité électrique après le traitement pour la variété Sana et significative pour l'autre variété.
- La contamination du sol par les métaux lourds (Zn, Cu) reste dans les normes après l'utilisation de l'engrais Jospamix P.
- Nous avons constaté une augmentation non significative des concentrations du Cu et du Zn dans la partie racinaire après le traitement, pour la variété Blonde de Paris, cette augmentation est significative pour le Zn chez la variété Sana

- Ce qui concerne la partie aérienne, une augmentation non significative des concentrations du Cu pour les deux variétés dans les plantes traitées, par contre une diminution non significative des concentrations du Zn.
- Pour la chlorophylle a et b et aucune différence significative n'a été enregistrée entre la concentration des témoins et des traités pour les deux variétés.
- Aucun effet variétal n'est observé au cours de notre étude pour l'accumulation des métaux lourds.
- Malgré que les résultats obtenus montrent que la laitue est un légume bioaccumulateur des métaux au niveau de leurs racines et probablement peut les transférer vers la partie comestible, les concentrations de ces métaux étudiés restent dans le cadre des normes. Donc, leur consommation ne constitue pas un risque pour la santé humaine.

➤ **Perspectives et recommandations :**

- Sensibiliser les agriculteurs sur l'utilisation excessive des engrais et produits phytosanitaires et leur impact sur la santé publique.
- Il est recommandé d'optimiser l'utilisation de ces produits.
- Respecter les concentrations et les conditions d'utilisations prescrites sur l'étiquette de ces produits chimiques.
- Encourager la culture biologique.
- Mise en place un réseau de contrôle de la qualité des légumes.
- Elargir la gamme des polluants étudiés.
- Elargir l'étude de la contamination métallique de la laitue sur les régions productrices de ce légume à Jijel (Kaous, Al-Encer, El-kennar...etc).

## Références

**Adriano D.C., 1986.** *Trace Elements in the Terrestrial Environment*. Springer-Verlag, New York. P 533. ISBN 978-1-4757-1909-3. DOI 10.1007/978-1-4757-1907-9.

**Adriano D.C., 2001.** *Trace Elements in Terrestrial Environments Biogeochemistry, Bioavailability, and Risks of Metals*-2<sup>nd</sup> edition, Springer-Verlag, New York. P 867.

**Adu A.A., Aderinola O.J., and Kusemiju V., 2012.** Heavy metals concentration in garden lettuce (*lactuca sativa l.*) grown along badagry expressway, Lagos, Nigeria. *Transnational Journal of Science and Technology* vol. 2, No.7 115-130.

**Alloway B.J., 2013.** *Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability*, third edition. Blackie academic and professional. Glasgow, London. P 613.

**ANDI., 2013.** « Agence National de Développement de l'Investissement ». Wilaya de Jijel. Investi in Algeria.

**Aprifel., 2018.** Fiche nutritionnelle Laitue [en ligne]. Disponible sur < <http://www.aprifel.com/fiche-nutri-produit-laitue,37.html> >. 1/06/2018. 14:58 h.

**ATSDR., 1994.** Agency for Toxic Substances and Disease Registry; toxicological profile for zinc; U.S. department of health and human services - public health service. Georgia, Atlanta.

**Baize D. et Mench M., 2004.** Contamination des sols et de nos aliments d'origine végétale par les éléments en traces : mesures pour réduire l'exposition, *Journal de Courrier de l'environnement de l'INRA*. N°52. P 31-56.

**Baize D., Duval O. et Richard G.** Les sols et leurs structures: Observations à différentes échelles [en ligne]. Editions Quæ, Paris. P 131-134. 25/04/2018. 12 :42h. ISBN 978-2-7592-2038-0.

**Baize D., 2000.** Teneurs Totales En « Métaux Lourds » Dans Les Sols Français Résultats Généraux Du Programme ASPITET. *Journal de Courrier de l'environnement de l'INRA*. N°39.

**Bañuelos G. S. and Ajwa H. A., 1999.** Trace elements in soils and plants: An overview. *Journal of Environmental Science and Health A34* (4), 951- 974.

**Ben Achiba W., Gabteni N., Lakhdar A., Du Laing G., Verloo M., Jedidi N., and Gallali T., 2009.** Effects of 5-year application of municipal solid waste compost on the distribution

and mobility of heavy metals in a Tunisian calcareous soil. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 130 156–163.

**Benahmed M., Dellal A. et Hellal B., 2016.** Mobilité du plomb et du zinc issus de retombées atmosphériques dans le sol : cas de la zone industrielle de Tiaret, Algérie. *European Scientific Journal*, vol (12), N°18. ISSN 1857- 7431.

**Besson A. et Cousin I., 2013.** Applications de méthodes électriques pour l'identification sur le terrain des états structuraux : principe, exemples et limites. In : *Biology and Pathology, Academie Des Sciences, Elsevier, Paris, 322: 43-54.*

**Blancard D., Lot H. et Maisonneuve B., 2003.** *Maladies des salades: identifier, connaître, maîtriser* [en ligne]. INRA, Paris. 28/04/2018 14:57 h. P 9. ISBN 2-7380-1057-1.

**Blum W., Brandstetter A. and Wenzel W. W., 1997.** Trace element distribution in soils as affected by land use. In *Biogeochemistry of Trace Metals, Science reviews*. P 432.

**Brennan P., Fortes C, Butler J., Agudo A., Benhamou S., Darby S., Gerken M., Jockel K-H., Kreuzer M., Mallone S., Nyberg F., Pohlmann H., Ferro G. and Boffetta P., 2000.** A multicenter case-control study of diet and lung cancer among non-smokers. *Cancer causes and control* 11:49-58.

**Briat J.F. and Lebrun M., 1999.** Plant responses to metal toxicity. *Académie des Sciences, Elsevier, Paris, 322: 43-54.*

**Calvet R., 2003.** *Le Sol: Propriétés Et Fonctions Volume 2* [En ligne]. Edition France Agricole, Paris. P 104. 25/04/2018 13 :16 h. ISBN : 2-85557-084-0.

**Chaney R.L., 1993.** Zinc Phytotoxicity. In: Robson A.D. *Zinc in Soils and Plants* [en ligne]. Kluwer Academic. P 135-150. 17/06/2018. 22:20h.

**Chatterjee and Chatterjee., 2000.** Phototoxicity of cobalt, chromium and copper in cauliflower. *Environmental Pollution* 109: 69–74.

**Christophe D. et Eric L., 2017.** *Les cartes et les données pédologiques : des outils au service des territoires* [en ligne]. Educagri, France. P 175. 13/05/2018. 18:50 h. ISBN 979-10-275-0099-4.

**Clech B., 2000.** *Agronomie « des bases aux nouvelles orientations »*, Synthèse Agricole, Bordeaux. P 260.

**Czusa M. and Ormrod D. P., 1974.** Effects of cadmium and zinc on ozone-induced phytotoxicity in cress and lettuce. Department of Horticultural Science, University of Guelph, Ontario Can. *J. Bot* 52: 645-649.

**Dan-Badjo A.T., Guéro Y., Dan Lamso N., Baragé M., Abdourahamane Balla A.R., Sterckeman T., Ech Evarria G. et Feidt C., 2013.** Évaluation des niveaux de contamination en éléments traces métalliques de laitue et de chou cultivés dans la vallée de Gounti Yena à Niamey, Niger. *Journal of Applied Biosciences* 67:5326 – 5335.

**Delaune M., Reiffsteck M. et Feller Ch., 1991.** L'analyse granulométrique de sols et sédiments. Deposits and Persistence of Forest Herbicide Residues in Sugar Maple (*Acer saccharum*) Foliage dans *Canadian Journal of Forestry Research*, vol(24), P 2260-2262.

**Doré C. et Varoquaux F., 2006.** *Histoire Et Amélioration De Cinquante Plantes Cultivées*. Inra, Paris. P 812. ISBN 2-7380-1215-9.

**Duchaufour., P.h. et Blum W., 2001.** *Introduction à la science du sol (sol, végétation, environnement)*. 6<sup>ème</sup> édition de l'Abrégé de pédologie, Dunod, Paris. P 10-42.

**DuPont MS., Mondin Z., Williamson G. and Price K.R., 2000.** Effect of variety, processing, and storage on the flavonoid glycoside content and composition of lettuce and endive. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48: 3957-3964.

**Epstein E., 1972.** Les plantes et nutriments inorganiques. In: Hopkins W.G, 2003. *Physiologie végétale* [en ligne]. Boeck, Bruxelles. P 73-75. 17/06/2018. 22:11h. ISBN 2-7445-0089-5.

**Fageria N.K., Baligar V.C. and Clark R.B., 2002.** Micronutrients in crop production. *Elsevier Science*, USA. P 191-194.

**Fytianos K., Katsianis G., Triantafyllou P. and Zachariadis G., 2001.** Accumulation of heavy metals in vegetables grown in an industrial area in relation to soil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 67:423–430. DOI: 10.1007/s00128-001-0141-8.

**Gros A., 1979.** *Engrais guide pratique de la fertilisation*, Maison rustique, 7<sup>ème</sup> Edition. P 533.

**Gross J., 1991.** *Pigments in vegetables: chlorophylls and carotenoids*. An Avi Book, New York. P 3-4. ISBN 978-1-4613-5842-8.

**Grubben G. J. H., 2004.** *Ressources végétales de l'Afrique tropicale 2 : Légumes* [en ligne]. Fondation PROTA, Wageningen, Pays-Bas. 11/05/2018. 20:05 h. P 737. ISBN 90-5782-149-4.

**Hodgson J. F., 1963.** *Chemistry of the micronutrient elements in soils*. Department of agriculture. Ithaca. New York.

**Hoening M., Dupire S. et Wollast R., 1979.** Atomisation électrothermique en spectrométrie d'absorption atomique et son application dans les études de l'environnement. Tec et doc, Paris.

**Holland B., Unwin I.D., and Buss D.H., 1991.** *Vegetables, Herbs and Spices*. The Royal Society of Chemistry and Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, UK. P 135. ISBN 0-851 86-376-0.

**Huang X-E., Hirose K., Wakai K., Matsuo K., Hidemi I., Xiang J., Takezaki T. and Kazuo T., 2004.** Comparison of lifestyle risk factors by family history for gastric, breast, lung and colorectal cancer. *Asian pacific journal of cancer prevention* vol 5 419-427.

**Im S-E., Hyungeun Y., Nam T-G., Heo H.J., Chang Y.L. and Kim D-O., 2010.** Antineurodegenerative effect of phenolic extracts and caffeic acid derivatives in romaine lettuce on neuron-like pc-12 cells. *Journal of Medicinal Food* 13(4)779–784. DOI: 10.1089/jmf.2009.1204.

**Janice E.Y., Zhao X., Edward E.C., Welti R., Shie-Shien Y. and Weiqun W., 2005.** Phytochemical phenolics in organically grown vegetables. *Mol. Nutr. Food Res* 49 1136 – 1142. DOI 10.1002/mnfr.200500080.

**Jean-Noël., 1986.** Evolution et situation variétale actuelle chez la laitue. In : *la diversité des plantes légumières : hier, aujourd'hui et demain*. BRG/JATBA, Paris. P 29-31.

**Kabata- Pendias A. and Pendias H., 2001.** *Trace elements in soils and plants*. 3<sup>nd</sup> Edition. CRC Press, USA. P 331. ISBN 0-8493-1575-1.

**Kabata-Pendias A. and Pendias H., 1986.** *Trace elements in soils and plants*. 6<sup>nd</sup> Ed, CRC Press, inc, USA 1-315.

**Kabata-Pendias A. and Pendias H., 1992.** *Trace elements in soils* 2<sup>nd</sup> edition. CRC Press. Boca Raton, FL.

**Kabata-Pendias A., 2011.** *Trace elements in soils and plants*. 4<sup>nd</sup> Edition. CRC Press, USA. P 505. ISBN 978-1-4200-9368-1.

**Khelifi R. and Hamza-Chaffai A., 2010.** Head and neck cancer due to heavy metal exposure via tobacco smoking and professional exposure: A review. *Toxicology and Applied Pharmacology* 248 71–88.

**Kimura M. and Rodriguez-Amaya D.B., 2003.** Carotenoid composition of hydroponic leafy vegetables. *Agricultural and Food Chemistry* 51 2603-2607.

**Kopsell D.E., and Kopsell D.A., 2007.** Copper. In: Barker A.V and Pilbeam D.J. *Handbook of Plant Nutrition*. CRC Press -Taylor & Francis Group, New York. P 613.

**Lanaras., Moustakasm., Symeonl'DI'Sl., Diomantoglous., and Karatagll'Ss., 1993.** Plant metal content, growth responses and some photosynthetic measurements of field-cultivated wheat growing on ore bodies enriched in Cu. *Physiologia plantarum* 88 307–314.

**Lee J.H., Penelope F., Yang Y.H., Kim M.Y., Kwon O.Y., Sok D-E., Kim H.C. and Kim M.R., 2009.** Effects of dietary supplementation with red-pigmented leafy lettuce (*Lactuca sativa*) on lipid profiles and antioxidant status in C57BL/6J mice fed a high-fat high-cholesterol diet. *British Journal of Nutrition* 101:1246–1254. DOI: 10.1017/S0007114508073650.

**Leray C., 2010.** *Les lipides dans le monde vivant : introduction a la lipidomique*. [en ligne]. Lavoisier, Paris. 5/07/2018 11.47 h. P 133. ISBN 978-2-7430-1231-1.

**Lukowski A. and Dec D., 2018.** Influence of Zn, Cd, and Cu Fractions on Enzymatic Activity of Arable Soils. *Environ Monit Assess* 190:278. Disponible sur <<https://doi.org/10.1007/s10661-018-6651-1>>.

**Madejón P., Pérez-de-Mora A., Burgos P., Cabrera F., Lepp N.W. and Madejón E., 2010.** Do amended, polluted soils require re-treatment for sustainable risk reduction? — Evidence from field experiments. *Geoderma* 159 174–181.

**Mappa D., 2010.** *Les productions légumières: cahier d'activités*[en ligne]. Educagri Edition, Dijon. 06/05/2018 15 :06 h. P 22-23. ISBN 978-2-84444-793-7.

**Mathieu C. et Pieltain F., 2003.** *Analyse chimique des sols*. Editions TEC and DOC .11 Rue Lavoisier 75008 Paris. P 204. ISBN 2-7430-0620-X.

**Ménard F., 2010.** Histoire : La Laitue (*Lactuca*). Val-Morin, Québec, Canada.12 /04/ 2018. 11 :32 h.

**Messiaen C.M., et Messiaen-Pagotto F., 2009.** *Le potager familial méditerranéen* [en ligne]. Quæ, France. 23/05/2018 12 :45 h. P 115. ISBN 978-2-7592-0391-8 .

**Mitchell C.A., Leakakos T. and Ford T.L., 1991.** Modification of yield and chlorophyll modification of yield and chlorophyll content in leaf lettuce by HPS radiation and nitrogen treatments. *HortScience* vol 26(11) 1371-1374.

**Moquin-Tandon A., 1866.** *Eléments De Botanique Médicale*. Libraires de l'Académie Impériale de Médecine, Paris. P 42.

**Mou B., 2008.** Lettuce. IN: Prohens J and Nuez F. *Handbook of plant breeding: vegetables I: Asteraceae, Brassicaceae, Chenopodiaceae, and Cucurbitaceae* [en ligne]. Springer science+Business Media, LLC; USA. P 75 – 82. 12/04/2018. 13:00h. ISBN 978-0-387-72291-7.

**Munro D.B., et Small E., 1998.** *Les légumes du Canada*. Presses scientifiques du CNRC, Ottawa (Ontario) Canada. P 243-248. ISBN 0-660-95418-4.

**Nadia Ait Alia N., Pilar Bernalb M. and Ater M., 2004.** Tolerance and bioaccumulation of cadmium by *Phragmites australis* grown in the presence of elevated concentrations of cadmium, copper, and zinc. *Aquatic Botany* 80 163–176.

**Nicolle C., Cardinault N., Gueux E., Jaffrelo L., Rock E., Mazur A., Amouroux P. and Rémésy C., 2004.** Health effect of vegetable-based diet: lettuce consumption improves cholesterol metabolism and antioxidant status in the rat. *Clinical Nutrition* 23 605–614.

**ONM, 2018.** «Office National de Météorologique». Station d'Achout. Wilaya de Jijel.

**Péron J-Y., 2006.** *Références productions légumières*. 2<sup>ème</sup> édition. Lavoisier, Paris. P 613. ISBN 10:2-910340-48-1.

**Pitrat M. et Foury C., 2003.** *Histoires de légumes : des origines à l'orée du XXI<sup>e</sup> siècle* [en ligne]. INRA, Paris. 09/05/2018. 00:02 h. P 213-220. ISBN 2-7380-1066-6.

**Pitrat M. et Foury C., 2015.** *Histoires de légumes : des origines à l'orée du XXI<sup>e</sup> siècle* [en ligne]. Quae, Paris. 05/06/2018. 23:02 h. P 214. ISBN 978-2-7592-2355-8.

**Prasad M.N.V. and Hagemeyer J., 1999.** *Heavy metal stress in plants*. From molecules to ecosystems. Springer-Verlag. P 401.

**Québec Amérique international Collectif., 2013.** Tout sur les légumes : L'Encyclopédie Visuelle des aliments Tome 1 [en ligne]. INC, Canada. 28/04/2018. 14.58 h. P 106-108. ISBN 978-2-7644-2635-7.



**Québec Amérique International., 1999.** Le Guide des aliments [en ligne]. Québec Amérique inc, canada. 28/04/2018 15 :05 h. P 28. ISBN 978-2-7644-1069-1

**Ramade F., 2000.** *Dictionnaire encyclopédique des pollutions.* Ediscience international, Paris, P 690.

**Ramade F., 2002.** Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. 2<sup>ème</sup> édition. Dunod, Paris. P 933. ISBN 2100066706.

**Ribas-Agustí A., Gratacós-Cubarsí M., Sárraga C., García-Regueiro J-A. and Castellari M., 2010.** Analysis of Eleven Phenolic Compounds Including Novel p-Coumaroyl Derivatives in Lettuce (*Lactuca sativa L.*) by Ultra-high-performance Liquid Chromatography with Photodiode Array and Mass Spectrometry Detection. *Phytochemical Analysis* 22 555–563. DOI 10.1002/pca.1318.

**Richards B.K., Steenhuis T.S., Peverly J.H., and McBride M.B., 2000.** Effect of sludge-processing mode, soil texture and soil pH on metal mobility in undisturbed soil columns under accelerated loading, *Environmental Pollution* 109 327-346.

**Robert M et Juste C., 1999.** Dynamique des éléments traces de l'écosystème sol. In Club CRIN Environnement et Ministère de l'environnement. Spéciation des métaux dans le sol. Paris: CRIN.

**Rouessac F., Rouessac A. et Cruché D., 2004.** Analyse chimique : méthodes et techniques instrumentales modernes. 6<sup>ème</sup> édition. Dunod, Paris. P 462. ISBN 2 10 048425 7.

**Savary P., 2010.** *Guide des analyses de la qualité de l'eau.* Territorial éditions, Paris. P 263. ISBN978-2-35295-945-8.

**Schafer R., 1975.** La matière organique du sol, 1er séminaire sur la croissance des sols du Maghreb, Institut National Agronomique El Harrach, Alger.

**Semlali R.M., Denaix. et Van Oort F., 2002.** Estimation des stocks et des flux dans un andosol jeune. In : Baize D, Tercé M et Coord. *Les éléments traces métalliques dans les sols approches fonctionnelles et spatiales.* INRA, Paris. P 17. ISBN 2-7380-0993-X.

**Senesi G.S., Baldassarre G., Senesi N. and Radina B., 1999.** Trace element inputs into soils by anthropogenic activities and implications for human health. *Chemosphere* vol 39 N°2, P 343-377.

**Singh B.R., Aval R.R. and Almas A., 1997.** Residual effect of organic matter on cadmium uptake by plants and its distribution in soil. Paris-France, P 21.

**Singh, B.R., 1994.** Trace element availability to plants in agricultural soils with, special emphasis on fertilizer inputs. - *Environ. Rev* 2(2) 133-146.

**Siomos A.S., Beis G., Papadopoulou P.P. and Barbayiannis N., 2001.** Quality and composition of lettuce (cv. "Plenty") grown in soil and soilless culture. *Acta Hort* 548 445-449.

**Stančić Z., Vujević D., Gomaz A., Bogdan S. and Vincek D., 2016.** Detection of heavy metals in common vegetables at Varaždin City Market, Croatia. *Arh Hig Rada Toksikol*; 67:340-350.

**Stengel P., et Gelin S., 1998.** Sol: interface fragile[en ligne]. INRA, Paris. P 165. ISBN 2-7380-0786-4.18/06/2018. 15:23h.

**Storey J. B., 2007.** Zinc. In: Barker A.V and Pilbeam D.J. Handbook of Plant Nutrition. CRC Press -Taylor & Francis Group, New York. P 613.

**Sylvie D-M., Sylvie R-D., Mustin C., Henner P., Colette M-L., Colle C., Berthlin J., Jacqueline G-L. and Leyval C., 2003.** Mobilité Et Transfert Racinaire Des Eléments En Traces : Influence Des Micro-Organismes Du Sol. Tec et Doc, Paris. P 282. ISBN : 2-7430-05939.

**Tremel-Schaub A. et Feix I., 2005.** *Contamination des sols- Transferts des sols vers les plantes.* EDP Sciences/ADEME. P 413. ISBN: 2-86883-793-X.

**Uwah E. I., Gimba M. S. B. and Gwaski P. A., 2012.** Determination of Zn, Mn, Fe and Cu in spinach and lettuce cultivated in Potiskum, Yobe State, Nigeria. *Journal of Agricultural Economics and Development* vol 1(4) P 69-74. ISSN 2327-3151.

**Van Assche and Clijsters H., 1990.** Effect of metals on enzyme activity in plants. *Plant cell environment* 13 195–206.

**Van Oort F., Gaultier J. P., Hardy R. et Bourennane H., 2002.** Distributions spatiales de métaux et stratégies d'échantillonnage dans les sols du périmètre agricole d'une friche industrielle. In : *Les Eléments métalliques dans les sols-Approches fonctionnelles et spatiales.* INRA-Editions. P 281-297.

**Wojcik M., Burzynska-Pedziwiatr I. and Wozniak LA., 2010.** A review of natural and synthetic antioxidants important for health and longevity. *Curr Med Chem*; 17(28) 3262-88.

**Yin Y., Impellitteri C.A., You S-J. and Allen H.E., 2002.** The importance of organic matter distribution and extract soil: solution ratio on the desorption of heavy metals from soils. *The Science of the Total Environment* 287 107-119.

**Zeng F., Shafaqat A., Zhang H., Ouyang Y., Boyin Q., Feibo W. and Zhang G., 2011.** The influence of pH and organic matter content in paddy soil on heavy metal availability and their uptake by rice plants. *Environmental Pollution* 159, 84-91.

**Zengin F.k. and Munzuroglu O., 2005.** Effects of some heavy metals on content of chlorophyll, proline and some antioxidant chemicals in bean (*Phaseolus Vulgaris L.*) Seedlings. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica* 47/2 157–164.

**Zu Y.Q., Li Y., Chen J.J., Chen H.Y., Qin, L., Schwartz C., 2005.** Hyperaccumulation of Pb, Zn and Cd in herbaceous grown on lead-zinc mining area in yunnan. China. *Environmental International* 31 755–762.

**Uwah E. I., Gimba M. S. B. and Gwaski P. A., 2012.** Determination of Zn, Mn, Fe and Cu in spinach and lettuce cultivated in Potiskum, Yobe State, Nigeria. *Journal of Agricultural Economics and Development* vol 1(4) 69-74.

#### **Sites Internet**

Golden Field Algeria, 2017

[www.plantes-shopping.fr](http://www.plantes-shopping.fr), 2018

**Annexe I** : les normes d'interprétation des analyses physiques du sol.

**Tableau 1** : les normes d'interprétation du pH du sol (Clech, 2000).

Classe de réaction du sol	pH eau
Extrêmement acide	< 4,5
Très fortement acide	4,5 – 5,0
Fortement acide	5,1 – 5,5
Moyennement acide	5,6 – 6,0
Faiblement acide	6,1 – 6,5
Neutre	6,6 – 7,3
Faiblement alcalin	7,4 – 7,8
Moyennement alcalin	7,9 – 8,4
Fortement alcalin	8,5 – 9,0
Très fortement alcalin	> 9,0

**Tableau 2** : classification des sols en fonction du taux de la matière organique (Schaefer, 1975).

Taux de la matière organique	Terre
<1	Très pauvre
1-2	Pauvre
2-4	Moyenne
>4	riche

**Tableau 3** : Classe de la salinité en fonction de la CE (Gros, 1979)

CE $\mu\text{s.cm}^{-1}$	60	100	200	400	>400
CE $\text{ds.cm}^{-1}$	0.6	1	2	4	
CE	Non salé	Légèrement salé	salé	Très salé	Extrêmement salé

**Annexe II :** Normes d'interprétation des teneurs en métaux lourds dans la plante.**Tableau 1 :** Teneurs maximales en métaux lourds dans le sol (Fageria et al., 2002).

Eléments	Teneur Maximale dans le sol
Zn (ppm)	10 - 300
Cu (ppm)	5 - 100

**Tableau 2 :** Teneur critiques en métaux lourds dans la plante (Fageria et al., 2002).

Eléments	Toxicité
Zn	100 - 400
Cu	20 - 100

**Annexe III:** Résultats de l'analyse statistique <<test-t>> : Comparaison des teneurs en ETM et les paramètres physicochimiques dans le sol et la plante.**Tableau 1:** Test d'égalité des espérances pour le pH : deux observations de variances égales.

Sol		Effectif N	t	p
Sana	Avant	2	0.078	0.05
	Après	2		
Blonde de Paris	Avant	2	0.291	0.05
	Après	2		

**Tableau 2:** Test d'égalité des espérances pour la MO: deux observations de variances égales.

Sol		Effectif N	t	p
Sana	Avant	2	0.051	0.05
	Après	2		
Blonde de Paris	Avant	2	0.237	0.05
	Après	2		

**Tableau 3:** Test d'égalité des espérances pour la CE : deux observations de variances égales.

Sol		Effectif N	t	p
Sana	Avant	2	0.058	0.05
	Après	2		
Blonde de Paris	Avant	2	0.025	0.05
	Après	2		

**Tableau 4:** Test d'égalité des espérances pour le Cu dans le sol : deux observations de variances égales.

Sol		Effectif N	t	p
Sana	Avant	2	0.55	0.05
	Après	2		
Blonde de Paris	Avant	2	0.32	0.05
	Après	2		

**Tableau 5:** Test d'égalité des espérances pour le Zn dans le sol : deux observations de variances égales.

Sol		Effectifs N	t	p
Sana	Avant	2	0.30	0.05
	Après	2		
Blonde de Paris	Avant	2	0.33	0.05
	Après	2		

**Tableau 6:** Test d'égalité des espérances pour le Cu dans la variété Sana : deux observations de variances égales.

Plante		Effectifs N	t	p
Partie aérienne	Témoin	3	0.93	0.05
	Traité	3		
Partie racinaire	Témoin	3	0.25	0.05
	Traité	3		

**Tableau 7:** Test d'égalité des espérances pour le Cu dans la variété Blonde de Paris : deux observations de variances égales.

Plante		Effectifs N	t	p
Partie aérienne	Témoin	3	0.91	0.05
	Traité	3		
Partie racinaire	Témoin	3	0.45	0.05
	Traité	3		

**Tableau 8:** Test d'égalité des espérances pour le Cu dans la plante : deux observations de variances égales.

Plante		Effectifs N	t	p
Partie racinaire	Sana	3	0.26	0.05
	Blonde de Paris	3		

**Tableau 9:** Test d'égalité des espérances pour le Zn dans la variété Sana: deux observations de variances égales.

Plante		Effectifs N	t	p
Partie aérienne	Témoin	3	0.46	0.05
	Traité	3		
Partie racinaire	Témoin	3	0.039	0.05
	Traité	3		

**Tableau 10:** Test d'égalité des espérances pour le Zn dans la variété Blonde de Paris: deux observations de variances égales.

Plante		Effectifs N	t	p
Partie aérienne	Témoin	3	0.59	0.05
	Traité	3		
Partie racinaire	Témoin	3	0.53	0.05
	Traité	3		

**Tableau 11:** Test d'égalité des espérances pour le Zn dans la plante : deux observations de variances égales.

Plante		Effectifs N	t	p
Partie racinaire	Sana	3	0.30	0.05
	Blonde de Paris	3		

**Tableau 12:** Test d'égalité des espérances pour la chlorophylle des feuilles de la variété Sana : deux observations de variances égales.

Sana		Effectifs N	t	p
Chlorophylle a	Témoin	3	0.91	0.05
	Traité	3		
Chlorophylle b	Témoin	3	0.82	0.05
	Traité	3		

**Tableau 13:** Test d'égalité des espérances pour la chlorophylle des feuilles de la variété Blonde de Paris : deux observations de variances égales.

Blonde de Paris		Effectifs N	t	p
Chlorophylle a	Témoin	3	0.1	0.05
	Traité	3		
Chlorophylle b	Témoin	3	0.93	0.05
	Traité	3		



## Annexe IV : Les courbes d'étalonnage

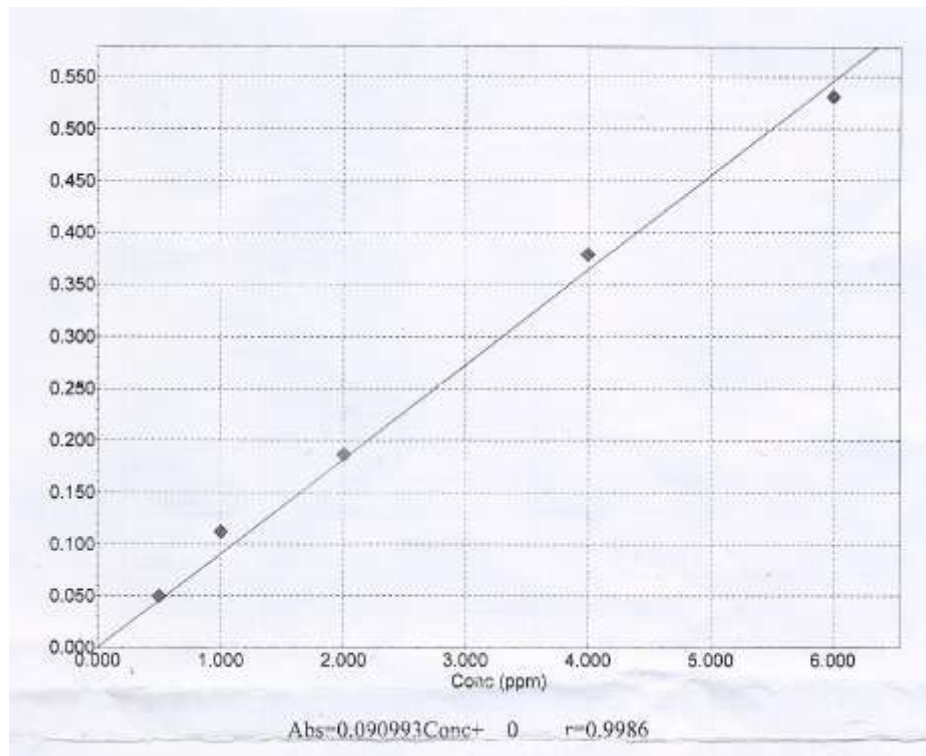


Figure 22 : courbe d'étalonnage du Cu

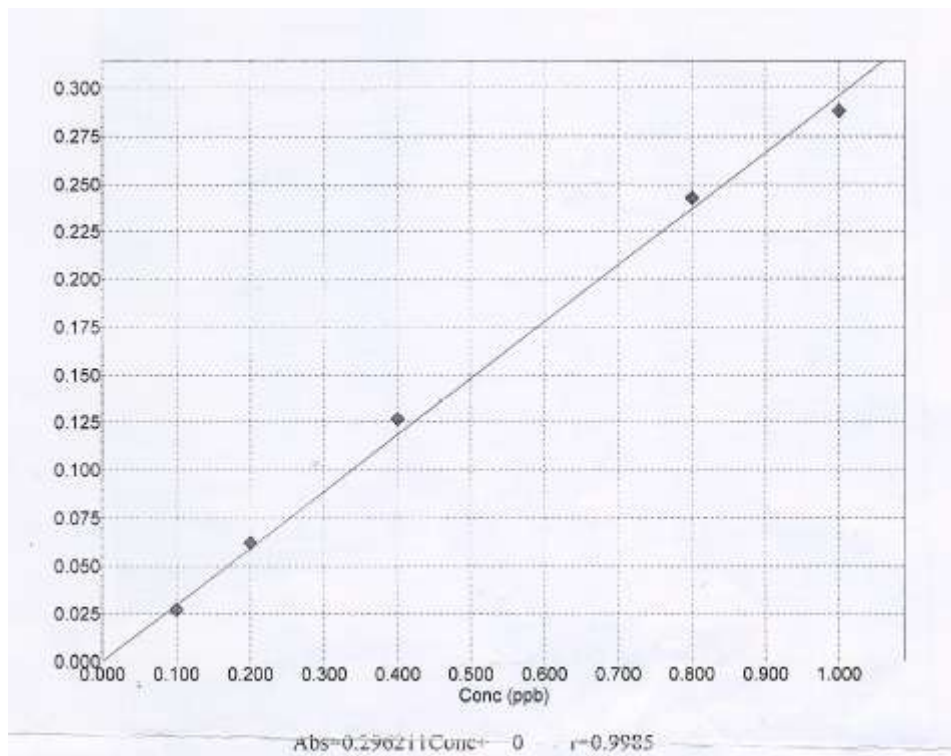


Figure 23 : courbe d'étalonnage du Zn



Présenté par : Cherra Sara Djeddou Aziza	Encadreur : Pr. Mayache B
	Date de soutenance : 12 /07/2018

**Thème : Evaluation de la contamination de la laitue cultivée par certains métaux lourds**

### Résumé

L'effet variétal de la laitue sur l'accumulation du Cu et du Zn ainsi que leur dynamique du sol vers la plante a été étudié. Deux variétés de la laitue ; Sana et Blonde de paris ont été cultivées. L'amendement du sol est effectué en utilisant l'engrais Jospamix P.

La contamination par les métaux lourds de la laitue et des sols cultivés a été évaluée en utilisant la spectrophotométrie d'absorption atomique. Les caractéristiques physico-chimiques du sol à savoir, le pH, la M.O. et la C.E ont été également étudiées.

Les résultats obtenus montrent que les concentrations du Cu et du Zn du sol et des deux variétés étudiées ; Sana et Blonde de Paris répondent aux normes.

Le sol étudié se caractérise par un pH neutre à faiblement alcalin, pauvre en matière organique et salé.

**Mots clés : métaux lourds, effet variétal, sol, laitue, Cu, Zn, Sana et Blonde de paris.**

### الملخص

تمت دراسة تأثير نوع الخس على تراكم النحاس والزنك و آلية انتقالهما من التربة إلى النبات، حيث تم زرع نوعين من الخس؛ (Sana و Blonde de paris)، وتعديل التربة باستخدام سماد Jospamix P.

تقييم تلوث الخس والتربة المزروعة بالمعادن الثقيلة كان باستخدام جهاز مطيافية الامتصاص الذري، وكذلك دراسة الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة المتمثلة في درجة الحموضة، المواد العضوية والناقلية الكهربائية.

أظهرت النتائج المتحصل عليها أن تراكيز النحاس والزنك المتواجدة في التربة و النوعين من الخس (Sana و Blonde de paris) تتوافق مع المعايير، وقد تميزت التربة المدروسة بدرجة محايدة إلى درجة حموضة قلووية ضعيفة، كما انها فقيرة من المواد العضوية ومالحة.

الكلمات المفتاحية: المعادن الثقيلة، تأثير النوع، التربة، الخس، النحاس، الزنك، Sana و Blonde de paris.

### Abstract

The varietal effect of lettuce on the accumulation of Cu and Zn and their dynamics from the soil to the plant was studied.

Two varieties of lettuce; Sana and Blonde from Paris were grown. The soil amendment is made using Jospamix P fertilizer.

Heavy metal contamination of lettuce and cultivated soils was assessed using atomic absorption spectrophotometry. The physicochemical characteristics of the soil, namely pH, M.O. and C.E were also studied. The soil studied is characterized by a neutral to slightly alkaline pH, low in organic matter and salt.

**Key words: heavy metals, varietal effect, soil, lettuce, Cu, Zn, Sana and Blonde de Paris.**