

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 سعيدة مولاي الطاهر
Université Saïda MOULAY Tahar



كلية العلوم

Faculté des Sciences

قسم البيولوجيا

Département de Biologie

N° d'Ordre

Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master

En biotechnologie végétale

Spécialité : biotechnologie végétale

Thème

***Variation physiologiques et biochimique chez l'orge vis-à-vis
d'une contrainte saline et métallique (cadmium et plomb)***

Présenté par :

- M^{elle} : BELHAOUA Aicha
- M^{elle} : BRAHIM Sara

Soutenu le : 29/06/2022

Devant le jury composé de :

Président	M ^{me} . FARES Sourya	MCB Université de SAIDA
Examineur	M ^{me} . CHEIKHI Amira	MCB Université de SAIDA
Encadreur	M ^{me} . HAMMOU Bakhta	MCB Université de SAIDA

Année universitaire 2021/2022

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 مولاي الطاهر، سعيدة

Université MOULAY Tahar, Saida



N° d'Ordre

كلية العلوم

Faculté des Sciences

قسم البيولوجيا

Département de Biologie

Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master

En biotechnologie végétale

Spécialité : biotechnologie végétale

Thème

***Variation physiologiques et biochimique chez l'orge vis-à-vis
d'une contrainte saline et métallique (cadmium et plomb)***

Présenté par :

- M^{elle} : BELHAOUA Aicha
- M^{elle} : BRAHIM Sara

Soutenu le : 29/06/2022

Devant le jury composé de :

Président

M^{me}. FARES Soria

MCB Université de SAIDA

Examineur

M^{lle}. CHIKHI Amira

MCB Université de SAIDA

Encadreur

M^{me}. HAMMOU Bakhta

MCB Université de SAIDA

Année universitaire 2021/2022



Dédicaces

J'ai toujours pensé à faire quelque chose à qui m'a donné l'amour et la tendresse, à qui a sacrifié pour moi "mes chers parents" en signe de reconnaissance pour tout ce qu'ils ont consenti comme efforts, rien que me voir réussir, et voilà, l'occasion est venue.

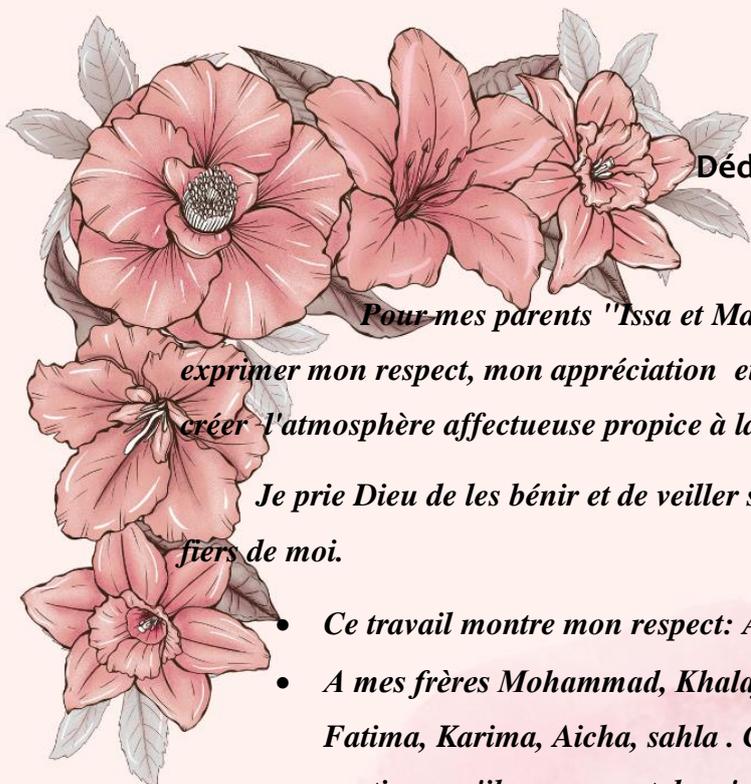
A ceux qui sont la source de mon inspiration et de mon courage, à qui je dois de l'amour et de la connaissance.

- *A mes chers parents."Kadda, KH."*
- *A mes très chères sœurs: Alia, Malika, Mokhtaria, Rabia, Salima, touha et sans oublier mon frère unique "Walid"*
- *A mes neveux "Tarek, Jchraç, Haroun, Abdou, Yacine"*
- *A mon oncle unique et sa femme.*
- *A mes grands-parents.*
- *A mes amies "Chaimaa", "Sihame" et "Zineb"*
- *A mes collègues manel, roza ,mounira*

A mon binôme "Sara".

AJCHA





Dédicaces

Pour mes parents "Issa et Mariem", il n'y a aucun dévouement à exprimer mon respect, mon appréciation et mes sentiments les plus profonds. Ils ont su créer l'atmosphère affectueuse propice à la poursuite de mes études.

Je prie Dieu de les bénir et de veiller sur eux, en espérant qu'ils seront toujours fiers de moi.

- *Ce travail montre mon respect: A Wejden et Mayan*
- *A mes frères Mohammad, Khalaf Allah, Amer, Youssef. A mes sœurs: Fatima, Karima, Aicha, sahla . Grâce à leurs formidables encouragements et soutiens qu'ils ne cessent de m'apporter*
- *A mes amis : Manel B, Mounira B et Razika T pour son aide, ses conseils et le temps qu'il m'a consacré ainsi qu'à ma compagne Aicha B.*
- *A mes neveux, Buchra, Badr El Dine, Abdel Jalil Amer, Siraj, Mohammad et Aicha. '*
- *A ma cousine Wiam B.*

Pour ma grande famille du plus jeune au plus vieux

à mes collègues

Et enfin, à tous ceux qui m'aiment

SARA



Remerciements

En premier lieu et avant tout nous remercions dieu le tout puissant qui nous a donné le courage, la patience et la force de terminer ce modeste travail.

Nous remercions nos parents qui nous ont accompagnées durant toute la vie.

A travers ce modeste travail nous tenons à remercier vivement notre encadreur " Madame HAMMOU B" qui était toujours disponible malgré ses nombreuses occupations, et dont les encouragements et les conseils judicieux nous furent d'une très grande utilité.

Nous remercions également les membres du jury. M^{me} "Cheikhi Amira." et M^{me} "Fares Sourya" d'avoir consacré leur temps à la lecture de ce manuscrit, et d'accepter de juger et d'évaluer ce travail et enfin nous tenons à exprimer mes profonds remerciements à tous ceux qui nous en soutenu de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.

Liste des abréviations

AL: Aluminium

Br : bore

CEC : capacité d'échange cationique

C: Calcium

Cl : les chlorures

Cu: Cuivre

Cd:cadmium

Cl: clore

CaCO₃: carbonates

Eh : potentiel d'oxydo-réduction.

ETM : éléments traces métalliques

Fe: Fer

FAO : Food and Agriculture Organization of the United Nations

Hg: le mercure

HCO₃⁻: bicarbonates

INRA : institut national de la recherche agronomique

K: potassium

Mn: le Manganèse

Mo : le Molybdène

Mg:magnésium

Mn: Manganèse

MS: matière sèche

NaCl: chlorure de sodium

Na: soduim

NO₃⁻ :Nitrate

Ni : nickel

O : Oxygène

P : Phosphore

Pb: plomb

Ppm: parties par million (mg/kg)

Si : Silicium

SO₄²⁻ : les sulfates

Ti : Titane

Zn : zinc

Liste des tableaux

Tableau 1 : Sources industrielles et agricoles des métaux présents dans l'environnement (**Brignon et al.,2005**)..... 16

Tableau 2 : l'orge cultivée appartient à la classification botanique suivante: Selon, **Reddy et al. (2004), Soderstrom (1987) et (Renvoize et Clayton, 1986)**.....28

Tableau 3: Variétés d'orge cultivées en Algérie (**Boufenar et Zaghouane, 2006**)..... 40

Liste des figures

Figure 1 : le plomb (httpsfr.wikipedia.org/wiki/Plomb).....	25
Figure 2 : Caryopse d'orge (Leonard et Martin 1973)	30
Figure 3 : description de l'orge https://www.memoireonline.com/05/10/3508/m_Etudes-bibliographique-de-la-genetique-de-resistance--drechslera-tereso.html)	31
Figure 4 : la phase semis levée (Moule, 1971).	33
Figure 5 : la phase levée –début tallage (Moule, 1971).	34
Figure 6 : la phase début tallage –début montée (Moule, 1971).....	35
Figure 7 : Cycle de développement d'orge (Soltner, 1998)	37
Figure 8 : Stades de développement des céréales : échelles de Feekes et Zadoks comparées à celle de Jonard (Bourriche.2020).	38
Figure 9 : les graine de l'orge	44
Figure 10 : déplacement des graines d'orge dans les boîtes pétri	45
Figure 11 : la lecture longue et nombre des Feuilles et des racines.....	46
Figure 12 : Détermination des concentrations des pigments photosynthétique	47
Figure 13 : Détermination des concentrations des sucres soluble totaux.....	48
Figure 14 : Dosages des protéines	50
Figure 15 : Variation des taux de germination final en fonction des traitements.....	53
Figure 16 : Effet combiné de stress salin et métallique (NaCl, Cd et Plomb) sur l'élongation de la partie racinaire	54
Figure 17 : Effet combiné de stress salin et métallique (NaCl, Cd et Plomb) sur l'élongation de la partie aérienne	55
Figure 18 : Variations des teneurs en chlorophylles a, b et totales (mg/g) dans les feuilles	56

Figure 19: Evolution desteneurs en sucres solubles totaux des tissus de la partie racinaire57

Figure 20: Impact d'un traitement au cadmium et plomb associé à un stress salin sur la synthèse des protéines totaux chez l'orge 59

Résumé

Dans cette expérience, nous avons appliqué différentes concentrations de c de NaCl/Pb ,NaCl/Cd sur des graines d'orge, et nous avons étudié leur effet sur la croissance de l'orge par rapport aux graines témoins.

Les résultats obtenus montrent que le stress salin et métallique peut créer des perturbations physiologiques et biochimiques traduite par une augmentation ou une diminution des teneurs en paramètres étudiées. Mais malgré ces variations les plantes d'orge donnent une bonne tolérance vis-vis ces contraintes.

La pollution des sols par les métaux lourds demande une évaluation du risque des effets toxiques chez les espèces végétales les plus consommées, notamment l'orge (*Hordeum vulgare* L. ssp. vulgare). Cette étude a pour objectif d'évaluer en terrou l'effet toxique de Plomb, cadmium (Cd) et salin sur la croissance de la variété d'orge Rihane.

Les résultats obtenus montrent que l'espèce d'orge est modérément résistants au NaCl. Par contre, elle est sensible au stress métallique avec un ordre de sensibilité : Pb <Cd. En revanche, l'interaction de Pb et Cd au NaCl a révélé un effet positif de la salinité sur la sensibilité de Rihane aux métaux lourds. Il s'avère que cette espèce est affecté par les stress abiotiques appliqués avec l'ordre : interaction métaux lourds-salinité <salinité.< métaux lourds

Mots clés : Stress salin ; Stress métallique ; Orge ; Sucre soluble ; protéine ; chlorophylle

Abstract

In this experiment, we applied different concentrations of NaCl/Pb, NaCl/Cd to barley seeds, and we studied their effect on barley growth compared to control seeds.

The results obtained show that salt and metal stress can create physiological and biochemical disturbances translated by an increase or a decrease in the contents of the parameters studied. But despite these variations, barley plants are very tolerant of these constraints.

Soil pollution by heavy metals requires an assessment of the risk of toxic effects in the most consumed plant species, in particular barley (*Hordeum vulgare* L. ssp. *vulgare*). This study aims to evaluate in soil the toxic effect of lead, cadmium (Cd) and saline on the growth of the barley variety Rihane.

The results obtained show that the barley species is moderately resistant to NaCl. On the other hand, it is sensitive to metallic stress with an order of sensitivity: Pb < Cd. In contrast, the interaction of Pb and Cd with NaCl revealed a positive effect of salinity on Rihane's sensitivity to heavy metals. It turns out that this species is affected by abiotic stresses applied with the order: heavy metals-salinity interaction < salinity < heavy metals

Keywords: Salt stress; Metallic stress; Barley ; Soluble sugar; protein;

ملخص

في هذه التجربة ، قمنا بتطبيق تركيزات مختلفة من على بذور الشعير ، ودرسنا NaCl / Cd ، NaCl / Pb تأثيرها على نمو الشعير مقارنة بالبذور الشاهدة.

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن الإجهاد الملح والمعدني يمكن أن يؤدي إلى اضطرابات فيزيولوجية وكيميائية حيوية تترجم بزيادة أو نقص محتوى المعلمات المدروسة. ولكن على الرغم من هذه الاختلافات ، فإن نباتات الشعير شديدة التسامح مع هذه القيود.

يتطلب تلوث التربة بالمعادن الثقيلة تقييماً لمخاطر التأثيرات السامة في أكثر أنواع النباتات استهلاكاً ، (تهدف هذه الدراسة إلى تقييم التأثير السام للرصاص *Hordeum vulgare L. ssp. vulgare* ولا سيما الشعير) والكاديوم والملح في التربة على نمو صنف الشعير الريحان.

. من ناحية أخرى ، فهي حساسة للإجهاد NaCl أظهرت النتائج أن أنواع الشعير مقاومة بشكل معتدل لـ . بالمقابل ، أظهر تفاعل الرصاص والكاديوم مع كلوريد الصوديوم تأثيراً $Pb < Cd$ المعدني بترتيب من الحساسية: إيجابياً للملوحة على حساسية الريحان للمعادن الثقيلة. اتضح أن هذا النوع يتأثر بالضغط اللاأحيائية المطبقة بالترتيب: تفاعل المعادن الثقيلة مع الملوحة >الملوحة >المعادن الثقيلة

الكلمات المفتاحية: إجهاد الملح ؛ الإجهاد المعدني شعير ؛ سكر قابل للذوبان بروتين؛ الكلوروفيل

Table des matières

I.	INTRODUCTION	
II.	PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE	
II.1.	Généralité sur le stress.....	5
II.1.1.	Stress:	5
II.1.1.1.	Définition:.....	5
II.1.1.2.	Types de stress:.....	5
II.1.1.2.1.	Stress biotique:	5
II.1.1.2.2.	Stress abiotique:.....	5
II.1.2.	Stress salin:.....	6
II.1.3.	Définition de la salinité:.....	6
II.1.3.1.	Types de la salinité: (Causes de la salinisation des sols)	7
II.1.3.1.1.	Salinité primaire ou Naturelle:	7
II.1.3.1.2.	Salinité secondaire, d'origine anthropique:	7
II.1.4.	Salinité et la plante:.....	7
II.1.4.1.	Composantes de la salinité :	8
II.1.4.1.1.	Le stress osmotique :.....	8
II.1.4.1.2.	Stress ionique:.....	8
II.1.4.1.3.	Stress nutritionnel :.....	9
II.1.4.1.4.	Stress oxydatif :	9
II.1.5.	Impact de la salinité sur les plantes :.....	9
II.1.5.1.	Effets phénologiques et morphologiques:	10
II.1.5.1.1.	Effets de salinité sur la germination:	10
II.1.5.1.2.	Effet sur les feuilles :	10
II.1.5.1.3.	Effets de salinité sur les racines:	11
II.1.5.1.4.	Effet sur la tige :	11
II.1.5.2.	Effet de la salinité sur le rendement agronomique:	12
II.1.5.3.	Effet toxique:.....	12
II.1.6.	Réponse et la stratégie adaptative de la plante aux stress salin:.....	12
II.1.6.1.	Exclusion:.....	13
II.1.6.2.	Inclusion (Compartimentation):.....	13

II.2. les métaux lourds	14
II.2.1. Définition des métaux lourds:	14
II.2.2. Classification des métaux lourds :	14
II.2.2.1. Les métaux essentiels : (oligoéléments)	14
II.2.2.2. Les métaux toxiques :	14
II.2.3. Les sources des métaux lourds:.....	15
II.2.3.1. Les sources naturelles :	15
II.2.3.2. Les sources anthropiques :.....	15
II.2.4. Répartition et devenir des métaux lourds dans l'environnement:	17
II.2.4.1. Contamination des sols:	17
II.2.4.1.1. processus de transfert:	17
II.2.4.2. Contamination de l'air:.....	18
II.2.4.3. Contamination de l'eau:.....	19
II.2.5. Facteurs modifiant la mobilité des éléments métalliques :	20
II.2.5.1. Le PH:.....	20
II.2.5.2. L'apport de matière organique:	21
II.2.5.3. L'activité biologique:.....	21
II.2.5.4. La température:	21
II.2.5.5. Les carbonates (CaCO ₃):.....	21
II.2.6. Accumulation dans les différents organes des plantes:.....	22
II.2.7. Le cadmium :.....	22
II.2.7.1. Définition :	22
II.2.7.2. Les sources du cadmium :	22
II.2.7.2.1. Origine naturelle:	23
II.2.7.2.2. Origine anthropique:	23
II.2.7.3. Les effets du cadmium :	23
II.2.7.3.1. Effets de cadmium sur la santé humaine :	23
II.2.7.3.2. Effets du cadmium sur les végétaux:	24
II.2.8. le plomb:.....	24
II.2.8.1. Définition:.....	24
II.2.8.2. les Sources du plomb:.....	25
II.2.8.2.1. les Sources d'origine naturelle :.....	25

II.2.8.2.2. Sources anthropiques:	25
II.2.8.3. Effets du plomb sur la plante :	26
II.2.8.4. Effets du plomb sur la santé:	26
II.3. Généralités sur l'orge:	28
II.3.1. Origine géographique:	28
II.3.2. Caractères taxonomiques et morphologiques:	28
II.3.2.1. Caractères taxonomiques:.....	28
II.3.2.2. Caractères morphologiques:.....	29
II.3.2.2.1. Description botanique:	30
II.3.3. Cycle de développement:	32
II.3.3.1. Période végétative:	32
II.3.3.1.1. La phase semis-levée(Germination – levée):.....	32
II.3.3.1.2. La phase levée-début tallage:	33
II.3.3.1.3. La phase début tallage-début montée:	34
II.3.3.2. Période reproductrice ou la « montée »:.....	35
II.3.3.2.1. Phase de la montaison- gonflement:	35
II.3.3.2.2. Phase de l'épiaison:	35
II.3.3.2.3. Phase floraison:	36
II.3.3.3. Période de maturation:.....	36
II.3.4. L'orge en Algérie:	38
II.3.4.1. Production de l'orge en Algérie:	38
II.3.4.2. Les aires de production:.....	39
II.3.4.3. Principales variétés d'orge cultivées en Algéri:	39
II.3.5. L'importanceet utilisation de l'orge:	41
III.1. Matériel et méthode :	44
III.1.1. Conduite de l'essai et traitements :	44
III.1.2. Récoltes des plantes :	44
III.2. paramètres étudiés :	45
III.2.1. Paramètres morphologiques	45
III.2.1.1. Pourcentage de germination :	45
III.2.1.1.1. Mesure des paramètres de croissance :	46
III.2.2. Paramètres biochimiques:	46

III.2.2.1. Détermination des concentrations des pigments photosynthétique : .	46
III.2.2.2. Détermination des concentrations des sucres solubles totaux :	47
III.2.2.3. Dosage des protéines:	48
III.2.2.3.1. Préparation de l'échantillon:.....	48
III.2.2.3.2. Préparation de réactif de Bradford:	49
III.2.2.3.3. Préparation de la solution mère :	49
IV.1. Résultats et discussion :	53
IV.1.1. Effet du Cd, Pb et NaCl sur les paramètres morphologiques :.....	53
IV.1.1.1. Taux de germination :.....	53
IV.1.2. Effet combiné de stress salin et métallique (NaCl, Cd et Plomb) sur l'élongation de la partie racinaire :.....	54
IV.1.3. Effet combiné de stress salin et métallique (NaCl, Cd et Plomb) sur l'élongation de la partie aérienne :.....	55
IV.1.4. Paramètres biochimique :.....	56
IV.1.4.1. Impact d'un traitement au cadmium et plomb associé à un stress salin sur la synthèse chlorophyllienne chez l'orge :.....	56
IV.1.4.2. Impact d'un traitement au cadmium et plomb associé à un stress salin sur la synthèse des sucres solubles chez l'orge :.....	57
IV.1.4.3. Impact d'un traitement au cadmium et plomb associé à un stress salin sur la synthèse des protéines totaux chez l'orge :.....	59

PARTIE I. INTRODUCTION

Introduction

Les métaux lourds font partie des principaux polluants inorganiques du sol. Ils sont continuellement rajoutés dans les sols par diverses activités. Par exemple, en agriculture par les boues d'épuration, en industrie par les activités métallurgiques,... Si certains éléments métalliques (oligo-éléments), présents à l'état de traces, tels que le zinc (Zn), le cuivre (Cu), le fer (Fe), le Manganèse (Mn)..., sont essentiels pour l'organisme, l'accroissement de leur concentration les rend toxiques et dangereux pour les êtres vivants. D'autres éléments ne sont pas nécessaires et ne peuvent avoir que des effets toxiques. A cette catégorie appartiennent différents éléments, tels que le plomb (Pb), le mercure (Hg), le cadmium(Cd) (**Vamerali et al., 2010**) . les métaux lourds persistent dans l'environnement pendant de longues périodes. Les plantes sont directement exposées à ces éléments dont le potentiel toxique est indéniable et passe à l'homme à travers la chaîne alimentaire (**Sharma et Dietz, 2009**)

A ce contaminant, s'ajoute le facteur salinité, une contrainte écologique pour les sols dans le monde entier, particulièrement le bassin méditerranéen. En Afrique du nord, ce phénomène est considéré comme un facteur abiotique le plus important qui limite la croissance et la productivité des plantes (**Khan et Panda, 2008**). Cette salinité résulte de forte évaporation d'eau à partir du sol (**Munns et al., 2006**) et d'une irrégulière et insuffisante pluviométrie (**Mezni et al., 2002**). Ce facteur provient aussi de l'irrigation le plus souvent mal contrôlée (**Bennaceuret al., 2001**). L'Algérie se situe parmi les pays touchés, presque 3,2 millions d'hectares de la surface sont salins (**Hamdy, 1999**).

L'effet négatif de la forte salinité entraîne la mort de la plante et / ou la diminution de la productivité. Beaucoup de plantes développent des mécanismes soit pour exclure le sel de leurs cellules ou pour tolérer sa présence dans les cellules. (**Parida et Das, 2005**).

L'orge est l'une des céréales les plus anciennement cultivées et occupe la quatrième place après le blé, le riz et le maïs (**Rosemary et al., 2008**). L'insuffisance et les fluctuations des rendements de cette culture incite le gouvernement Algérien à importer chaque année des quantités non négligeables d'orge destinée à l'alimentation humaine et animale. La variabilité des réponses d'un cultivar à la variation environnementale est la résultante des variations enregistrées au niveau des composantes de rendement. Ainsi la durée des phases de développement joue un rôle important sur la capacité d'adaptation et la réalisation des rendements élevés (**Federico et al., 2014**).

Le mémoire est structuré en 3 parties: la première partie est consacrée à une synthèse bibliographique qui concerne la salinité, les métaux lourds et la présentation de l'espèce végétale étudiée en l'occurrence l'orge. La deuxième partie est réservée à la présentation de la méthodologie de travail, le matériel utilisé ainsi que les méthodes d'analyse. Enfin, la troisième partie comporte les résultats obtenus et leurs interprétations. Le mémoire est achevé par des conclusions et les références bibliographiques.

PARTIE II. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

II.1. Généralité sur le stress

II.1.1. Stress:

II.1.1.1. Définition:

Selon (**Dutuit et al ,1994**), le stress est le dysfonctionnement (rupture d'un équilibre fonctionnel) produit dans un organisme ou dans un système vivant, par exemple par une carence. Le stress est l'ensemble des conditions qui provoquent des changements des processus physiologiques résultant éventuellement en dégâts, dommages, blessures, inhibition de la croissance ou de développement. Le stress est l'ensemble des perturbations physiologiques provoqués dans l'organisme par des agents biotiques (parasite, pathogène) ou abiotiques (salinité, sécheresse, température, pollution métallique ...etc.) (**Marouf et Raynaud, 2007**). Naturellement, les plantes doivent donc s'adapter pour faire face à des agressions biotiques et abiotiques (**Ishida et al.,2008**).

II.1.1.2. Types de stress:

On peut distinguer deux types du stress dans la nature :

II.1.1.2.1. Stress biotique:

Imposé par d'autre organisme (insectes, herbivores...), ils sont nombreux et ont pour origine les virus, les organismes phytophages et les pathogènes. Afin d'y faire trace, la plante met en place un système de défense qui intervenir une chaine de réaction. Les protéines végétales défensives produites font office de rempart contre les agents nuisibles (**Shilpi et Narendra, 2005**).

II.1.1.2.2. Stress abiotique:

Le terme « stress abiotiques » est un terme général qui comprend de multiples contraintes telles que la chaleur, le froid, la sécheresse, l'excès de lumière, le rayonnement UV-B (rayonnement Ultra-violet de longueur d'onde moyenne entre 315et 280 nm), l'excès d'eau, la salinité, les blessures occasionnées par les ravageurs et les pratiques culturales, l'exposition à

l'ozone, et le choc osmotique ; on estime que 90% des terres arables sont soumises aux stress abiotiques. Certaines de ces contraintes, telles que la sécheresse, les températures extrêmes et la haute salinité élimineraient fortement la productivité des cultures (**Dita et al, 2006**).

II.1.2. Stress salin:

Le stress salin est défini comme une concentration excessive en sel. Le terme stress salin s'applique surtout à un excès des ions, en particulier Na^+ et Cl^- (**Hopkins, 2003**). Le stress salin est une brusque augmentation de la concentration en sels qui conduit d'une part, à un afflux plus élevé d'ions dans la cellule suite à la chute de la concentration du milieu externe, d'autre part, à une perte d'eau par voie osmotique (**Nultsh, 1998**). (**Leclerc, 1999**) montra qu'une abondance de sels dissous s'observe bien sûr en milieux marins mais aussi dans beaucoup de milieux terrestres plus particulièrement dans les zones semi désertiques. Les plantes qui croissent sur des sols très salins sont nommées halophytes.

II.1.3. Définition de la salinité:

La salinité est la quantité globale des sels soluble contenus dans l'eau d'irrigation ou dans la solution du sol (**Slama, 2004**). Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium (Ca^{2+}), de magnésium (Mg^{2+}), de sodium (Na^+), les chlorures (Cl^-), les sulfates (SO_4^{2-}) et les bicarbonates (HCO_3^-). Une valeur élevée de la salinité signifie une grande quantité d'ions en solution, ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par la plante. Une salinité trop élevée peut causer des brûlures racinaires (**Couture, 2004**). Ce type de stress est essentiellement dû au NaCl en conditions naturelles (**Sun et Zheng, 1994**). Il caractérise les zones arides et semi arides, surtout là où l'irrigation est pratiquée (**Ashraf, 1994**).

II.1.3.1. Types de la salinité:(Causes de la salinisation des sols)

II.1.3.1.1. Salinité primaire ou Naturelle:

La salinisation primaire résulte du processus d'altération des roches et la migration, et le dépôt des sels dissous dans l'eau dépendent des caractéristiques du milieu naturel et des précipitations. Dans les régions arides ou semi arides, le lessivage et le transport en profondeur des sels dissous n'existent plus et l'évapotranspiration importante favorise la concentration des sels dans le sol. Dans les régions côtières l'intrusion d'eaux salées et la submersion des terres basses par l'eau de mer provoquent la salinisation de l'eau souterraine et celle des sols (**Lallemand-Barrés,1980**), 80% des terres salinisées ont une origine naturelle, due aux sels se formant lorsde l'altération des roches ou des apports naturels externes (**IPTRID, FAO, CISEAU, 2006**).

II.1.3.1.2. Salinité secondaire, d'origine anthropique:

La salinisation secondaire est le résultat des activités humaines qui modifient l'équilibre hydrologique du sol entre l'eau appliquée (irrigation ou de pluie) et de l'eau utilisée par les cultures (transpiration)(**Boukourt, 2017**) . 20% des terres salinisées, soit près de15 Mha sur le continent Africain, ont une origine anthropique, induite par l'activitéhumaine, liée aux pratiques agricoles en particulier à l'irrigation (**IPTRID, FAO,CISEAU, 2006**).

II.1.4. Salinité et la plante:

Les plantes sont classées en glycophytes et halophytes selon leurs réponses à la salinité (**Greenway et Munns, 1980**). A la différence des halophytes, qui croissent, prélèvent et stockent le sel dans les parties aériennes, les glycophytes se développent, généralement, mal sous ces conditions (**Ashraf et al., 2012**). Certaines espèces, appartenant à cette classe de plantes, arrivent, cependant, à s'adapter plus ou moins bien à la présence des sels. Elles mettent en œuvre des mécanismes de tolérance qui leur permettent de, non seulement, survivre mais de produire en présence de la salinité (**Tester et Davenport 2003 ; Munnsetal., 2006 ; Ashraf et al., 2012**). En effet, en fonction du degré de salinité du milieu, ces espèces modifient leurs

comportements morphologique, physiologique, biochimique et minéral pour survivre sous salinité (Munns et al., 2006 ; Ashraf .,et al., 2012).

II.1.4.1. Composantes de la salinité :

II.1.4.1.1. Le stress osmotique :

Selon Song et al (2005), plus la solution du sol est salée, plus la pression osmotique est élevée et plus il est difficile pour les racines d'extraire l'eau de la réserve du sol. Il en résulte ainsi un ralentissement de leur croissance.

D'après Chinnusamy et al.,(2004), la concentration en sels dépend de la teneur en eau du sol et augmente avec le dessèchement; c'est pourquoi l'excès de sels qui affecte les plantes est atteint beaucoup plus rapidement dans un sol sableux que dans un sol argileux qui piège les ions Na^+ via les charges négatives de l'argile. L'augmentation de la pression osmotique résultante de l'excès de sel entraîne une élévation d'énergie que la plante fournit au sol, ce qui conduit à une intensification de la respiration et réduction de la croissance des plantes (Sankaky, 1986).

II.1.4.1.2. Stress ionique:

L'absorption des hautes concentrations de NaCl engendre une compétition avec l'absorption d'autres ions, spécialement le K^+ , ce qui conduit à une déficience en K^+ . Le traitement accru de NaCl induit une augmentation dans le taux du Na^+ et Cl^- et une diminution dans le taux du Ca^{2+} , K^+ et le Mg^{2+} chez de nombreuses plantes (Khan,2001 in Haouala et al., 2007).des concentrations excessives de (Cl^-) d'ions dans la solution du sol peuvent causer peuvent provoquer une brûlure des extrémités des feuilles et un jaunissement prématuré de celles-ci. Cependant, les symptômes de toxicités typiques aux ions sodium Na^{2+} sont des brûlures de feuilles, le dessèchement et la mort des tissus sur les bords externes des feuilles, contrairement aux symptômes causés par des ions Cl^- qui apparaissent normalement à l'extrême pointe des feuilles (Maillard,2001).Selon Chinnusamy et al.,(2004). l'accumulation des ions toxiques Na^+ et Cl^- au niveau du mésophile des feuilles, affecte la croissance et le métabolisme de la

plante où le sel endommage les structures lipidiques et protéiques des membranes plasmiques. Ainsi la présence de ces ions perturbent l'activité enzymatique cellulaire principalement dans les tissus photosynthétiques (Hasegawa et al., 2000).

II.1.4.1.3. Stress nutritionnel :

Certains sels peuvent affecter la balance nutritionnelle chez les plantes s'ils sont présents en concentration excessive ou en proportion anormale. La présence excessive d'ions sodique, chlorique et borique peut provoquer une augmentation du pH du sol, ce qui a un effet indirect sur l'impossibilité d'absorption des ions ferreux, phosphate, zinc et manganèse indispensable pour la croissance des plantes (Maillard, 2001). Selon Tester et Davenport (2003) et Jabnourne (2008), les effets osmotiques du stress salin peuvent également limiter la croissance des racines, ce qui limite les possibilités d'absorption des éléments nutritifs du sol.

II.1.4.1.4. Stress oxydatif :

Selon Parent et al. (2008), une conséquence des stress environnementaux, comprenant le stress salin, est l'apparition du stress oxydatif, c'est-à-dire l'accumulation d'espèces réactives d'oxygène (ROS) à des concentrations élevées, qui endommagent les structures cellulaires. Ces derniers sont à l'origine du dysfonctionnement de l'appareil photosynthétique et les autres troubles métaboliques. La plupart d'entre eux sont des peroxydes d'hydrogène, des radicaux hydroxyles et des anions super oxyde (Rahnama et Ebrahimzadeh, 2005). Des antioxydants nécessaires pour faire face au ROS et de maintenir leur concentration à faible niveau dans les cellules lors du stress (Reddy et al., 2004).

II.1.5. Impact de la salinité sur les plantes:

Les fortes concentrations en sel altèrent la structure des sols; comme la diminution de la porosité, l'aération et la conductance hydrique des sols peuvent être affectées; des concentrations salines élevées génèrent de bas potentiel hydrique du sol, une forme de sécheresse physiologique créant une

acquisition d'eau et de nutriments par les plantes, très difficile (**Singh et Chatrath, 2001; Hopkins, 2003**).

II.1.5.1. Effets phénologiques et morphologiques:

II.1.5.1.1. Effets de salinité sur la germination:

La germination est considérée comme une étape critique dans le cycle de développement de la plante. En effet, elle conditionne l'installation de la plantule, son branchement sur le milieu, et probablement sa productivité ultérieure. La salinité il diminue la vitesse de germination et réduit le pouvoir germinatif .Cet effet dépend de la nature de l'espèce, de l'intensité du stress salin. La réduction du pouvoir germinatif est due à l'augmentation de la pression osmotique de la solution du sol, qui ralentit l'imbibition et limite l'absorption de l'eau nécessaire au déclenchement des processus métaboliques impliqués dans la germination (**Hajlaoui et al, 2007**). Cependant, cet effet varie en fonction de l'intensité du stress et de la variété des plantes et cela; soit en en diminuant la quantité d'eau et la vitesse de son absorption par la graine, soit par l'accroissement de la pression osmotique de l'eau d'imbibition qui est trop élevé pour permettre la germination (**Katembeet al.,1998**), ou en augmentant la pénétration d'ions qui peuvent s'accumuler dans la graine a des doses qui deviennent toxiques (**Debezetal., 2001**).Selon **Maillard(2001), et Abdelly (2006)**,la plupart des plantes sont plus sensibles à la salinité durant leurs phases de germination et de levée dont l'effet nocif est de nature osmotique ou bien toxique.

II.1.5.1.2. Effet sur les feuilles :

La salinité provoque de nombreux changements anatomiques de la feuille chez un certain nombre de plantes. Les feuilles de le haricot, le coton et l'*Atriplex* discernent une augmentation de l'épaisseur épidermique, l'épaisseur mésophyllienne, la longueur de cellules palissadiques, les diamètres du palissade et des cellules spongieuses suite a l'augmentation de la salinité (**Longstreth et Nobel, 1979**). En revanche, l'épaisseur épidermique

et mésophyllienne et les espaces intercellulaires ont diminué sensiblement dans les feuilles de *Brugueira parviflora* traitées par NaCl (**Parida et al., 2004**).

Le stress salin cause :

(1) Le développement de la vacuolisation et un gonflement partiel du réticulum endoplasmique,

(2) Le gonflement de la mitochondrie,

(3) La vésiculation et la fragmentation du tonoplaste et ;

(4) La dégradation du cytoplasme par le mélange de la matrice cytoplasmique et vacuolaire des feuilles de la patate douce (*Ipomoea batatas*) (**Mitsuya et al, 2000 in Parida et Das, 2005**).

II.1.5.1.3. Effets de salinité sur les racines:

Kafkai, (1991), suggère que sous contrainte saline, la plante dépense plus d'énergie photosynthétique pour maintenir un statut hydrique élevé et pour la production de racines en vue de la recherche d'eau et/ou la réduction de la perte d'eau. Dans ces conditions, il semble que l'arrêt de la croissance foliaire soit déclenché par des signaux hormonaux (**Munns, 2002**) et qu'une part importante des photosynthétats soit alors réallouée à la croissance racinaire. C'est l'une des réponses anatomiques clés aux stress osmotiques chez de nombreuses espèces, dont le caractère adaptatif apparaît évident puisqu'une augmentation (**Boukott, 2017**).

II.1.5.1.4. Effet sur la tige:

D'après **Munns et Rawson (1999)**, **Maas et Poss (1989)**, l'effet de la salinité se traduit généralement par une réduction de la croissance de la tige (réduction de la hauteur) qui est en fonction de la division et l'élongation cellulaire. Elle retarde la croissance des pousses qui sont plus sensibles aux sels que les racines mais elle pousse prématurément la plante vers la maturité.

II.1.5.2. Effet de la salinité sur le rendement agronomique:

Munns et Rawson (1999) ont montré que tous les paramètres de rendement subissent une réduction sous l'action de la salinité et que, plus la salinité est élevée plus le rendement est réduit. Lorsque l'orge est soumis à un stress salin au cours de l'épiaison ou la différenciation de l'épi, le nombre d'épillets par épi est réduit ainsi que le nombre des grains .ainsi ils ont montré que la salinité a un effet néfaste sur la remobilisation des réserves au cours de la phase de remplissage des grains.

La salinité diminue le rendement plus souvent en réduisant le nombre de pointes portant les épillets, le poids de l'épi et le poids de 1000 graines (**Munns et Rawson, 1999**).

II.1.5.3. Effet toxique:

D'après **Hayward (1956)** Na^+ Cl^- sont les principaux ions responsables de la toxicité, ceci nous conduit à dire que la résistance aux sels d'une espèce ou d'une variété spécifique est liée à sa possibilité de régulation, d'absorption des ions Na^+ ou Cl^- et sa capacité de supporter des concentrations élevées en chlorides dans les feuilles avant leur endommagement (**Boukourt, 2017**). .

II.1.6. Réponse et la stratégie adaptative de la plante aux stress salin:

La caractérisation physiologique de la tolérance des végétaux à la salinité résulte de processus qui permettent au végétal d'absorber l'eau et les sels minéraux à partir de substrats à faibles potentiels hydriques, mais aussi de vivre en acceptant la présence importante du sodium dans ses tissus; les halophytes, qui accumulent le plus de sodium (**Elzam et Epstein 1969, Ruse et Epstein, 1981; et in Guerrier, 1984**), se distinguent ainsi par une forte capacité d'élaboration de Composés organiques(**Mercado, 1973, Briens et Larhe, 1982; in Guerrier, 1984**), ces deux facteurs permettant le maintien d'une haute pression osmotique interne qui favorise les échanges d'eau entre les compartiments externe et cellulaire (**Guerrier, 1984**).

II.1.6.1. Exclusion:

La plante empêche le sel de remonter jusqu'aux feuilles ; une première barrière existe au niveau de l'endoderme (couche interne de cellules de la racine). Cependant, cette barrière peut être interrompue, en particulier de l'émergence des ramifications de la racine. D'autres mécanismes limitent le passage de sel des racines vers les feuilles mais les gènes qui les gouvernent sont encore largement inconnus (**El Madidi, 2003**).

II.1.6.2. Inclusion (Compartimentation):

Un organisme peut difficilement exclure totalement le Na⁺ de ses tissus. Chez les plantes, une des stratégies de tolérance à la salinité les plus connues est la compartimentation des ions (Na⁺, Cl⁻) en excès dans les tissus. Cette redistribution contrôlée se fait essentiellement dans les vacuoles (**Niu et al .1995**) et éventuellement à l'échelle de la plante entière, dans les organes les plus vieux ou les moins sensibles (**Cheeman, 1988 Munns, 1993**).

Pour être contrôlé, le déplacement des ions au travers des membranes implique un transport actif, consommateur d'énergie, qui utilise différents transporteurs (en densité variable) à la surface des membranes cellulaires (**Orcutt et Nelen, 2000 ; Tyrman et al, Skerret, 1999**). Une fois vacuolisé, le Na⁺ en excès contribue à l'ajustement osmotique sans altérer les processus métabolique (**Levitt, 1980 ; Yeo, 1983, 1998**).

La plante capte le sel, qui parvient aux feuilles, au même titre que l'eau, par le mouvement ascendant de la sève dans les vaisseaux. A l'intérieur des cellules, le sel est alors stocké dans les vacuoles grâce à des systèmes de "pompes" moléculaires. Les vacuoles sont des compartiments fermés au sein de la cellule. Le sel est ainsi isolé des constituants cellulaires vitaux (**El Madidi, 2003**).

II.2. les métaux lourds

II.2.1. Définition des métaux lourds:

On appelle métaux lourds les éléments métalliques naturels dont la masse volumique dépasse 5 g/cm³. Ceux-ci sont présents le plus souvent dans l'environnement sous forme de traces : mercure, plomb, cadmium, cuivre, arsenic, nickel, zinc, cobalt, manganèse etc (**Arris, 2008**). D'un point de vue chimique, les éléments de la classification périodique formant des cations en solution sont des métaux (**Adriano, 2001**). D'un point de vue physique, le terme « métaux lourds » désigne les éléments métalliques naturels, métaux ou dans certains cas métalloïdes (environ 65 éléments), caractérisés par une forte masse volumique supérieure à 5 g.cm³ (**Adriano D.C., 2001**). Tout métal ayant un numéro atomique élevé, en général supérieur à celui du Sodium (Z=11), tout métal pouvant être toxique pour les systèmes biologiques. (**B.V. Rotter damseweg ,Water Treatment et Purification,1999**) .

II.2.2. Classification des métaux lourds :

D'un point de vue biologique, on distingue deux types en fonction de leurs effets physiologique et toxique : métaux toxiques et métaux essentiels (**Huynh, 2009**).

II.2.2.1. Les métaux essentiels : (oligoéléments)

Sont des éléments indispensables à l'état de traces pour de nombreux processus cellulaires et qui se trouvent en proportion très faible dans les tissus biologiques (**Loué, 1993**). Certains peuvent devenir toxiques lorsque la concentration dépasse un certain seuil. C'est le cas du cuivre, nickel, zinc, et du Fer (**Kabata et Pendias, 2001**).

II.2.2.2. Les métaux toxiques :

Tout élément est toxique quand il est absorbé en excès par rapport à la capacité d'assimilation de l'organisme (**Baath, 1992**). Les métaux non essentiels ont un caractère polluant. Ils n'ont aucun effet bénéfique connu pour la cellule. Ils exercent des effets toxiques sur les organismes vivants

même à faible concentration.. C'est le cas du plomb (Pb), du mercure (Hg), du cadmium (Cd), ... (**Baker and Walker, 1990; Behanzin et al., 2015**).

II.2.3. Les sources des métaux lourds:

Les métaux lourds sont redistribués naturellement dans l'environnement par les processus géologiques et les cycles biologiques. Les activités industrielles et technologiques diminuent cependant le temps de résidence des métaux dans les roches, ils forment de nouveaux composés métalliques, introduisent les métaux dans l'atmosphère par la combustion de produits fossilifères. Il faut différencier la part qui résulte de la contamination d'origine humaine (anthropogène) et la part naturelle (géogène) (**Krupka, 1999**).

II.2.3.1. Les sources naturelles :

Les métaux lourds sont présents naturellement dans les roches, ils sont libérés lors de l'altération de celles-ci pour constituer le fond géochimique (**BOURRELIER et BERTHELIN, 1998**). Parmi les importantes sources naturelles, citons l'activité volcanique, l'altération des continents et les incendies de forêts. La contribution des volcans peut se présenter sous forme d'émissions volumineuses dues à une activité explosive, ou d'émissions continues de faible volume, résultant notamment de l'activité géothermique et du dégazage du magma (**Afnor, 1988**).

II.2.3.2. Les sources anthropiques :

Les métaux provenant d'apports anthropiques sont présents sous des formes chimiques assez réactives et entraînent de ce fait des risques très supérieurs aux métaux d'origine naturelle qui sont le plus souvent immobilisés sous des formes relativement inertes. (**Weiss, D. et al1999**). Les principaux types de pollutions anthropiques responsables de l'augmentation des flux de métaux, sont la pollution atmosphérique (rejets urbains et industriels), la pollution liée aux activités agricoles et la pollution industrielle. La pollution atmosphérique résulte des activités industrielles (rejets d'usine) et urbaines

(gaz d'échappement, etc....). Il faut distinguer les apports diffus aériens d'origine lointaine des apports massifs localisés d'origine proche. Dans les apports diffus sont classés les poussières et aérosols provenant des chauffages ainsi que des moteurs d'automobiles. Les apports massifs localisés résultent d'apports anthropiques accidentels liés aux activités industrielles sans protection efficace contre la dispersion dans l'environnement (**Baize, 1997**).

Tableau 1: Sources industrielles et agricoles des métaux présents dans l'environnement (**Brignon et al.,2005**).

Utilisations	Métaux
Batteries et autres appareil sélectriques	Cd, Hg, Pb, Zn, Mn, Ni
Pigments et peintures	Ti, Cd, Hg, Pb, Zn, Mn, Sn, Cr, Al, As, Cu, Fe
Alliages et soudures	Cd, As, Pb, Zn, Mn, Sn, Ni, Cu
Biocides (pesticides, herbicides)	As, Hg, Pb, Cu, Sn, Zn, Mn
Agents de catalyse	Ni, Hg, Pb, Cu, Sn
Verre	As, Sn, Mn
Engrais	Cd, Hg, Pb, Al, As, Cr, Cu, Mn, Ni, Zn
Matières plastiques	Cd, Sn, Pb
Produits dentaires et cosmétiques	Sn, Hg
Textiles	Cr, Fe, Al
Raffineries	Ni, V, Pb, Fe, Mn, Zn
Carburants	Ni, Hg, Cu, Fe, Mn, Pb, Cd

II.2.4. Répartition et devenir des métaux lourds dans l'environnement:

II.2.4.1. Contamination des sols:

Le sol est un support de nombreuses activités humaines (industrialisation, urbanisation, agriculture), son rôle clef en matière d'environnement a été reconnu récemment : il intervient comme réacteur, récepteur, accumulateur et filtre des pollutions (**Robert et Juste,1999**) . Deux principaux types de pollutions anthropiques sont responsables de l'augmentation des flux de métaux : la pollution atmosphérique (rejets urbains et industriels) et la pollution liée aux activités agricoles (**Hammadache et al , 2015**). Les conditions physico-chimiques de la majorité des sols cultivés (milieu oxydant, Ph élevé, richesse en argile) sont propices à la fixation des métaux lourds dans les Parties supérieures du sol liés à la fraction fine. Il y a donc un risque important d'entraînement, par ruissellement, particulièrement en cas d'orage sur un sol nu et pentu. En général, les sols argilo- limoneux fixent les métaux par adsorption ce qui n'est pas le cas pour les sols sablonneux (**Kabata-Pendias et Pendias, 1992**) .

II.2.4.1.1. processus de transfert:

Les précipitations et l'irrigation sont les principales sources d'eau des sols. Une partie est évacuée par évaporation ou ruissellement de surface. Une partie pénètre dans le sol et se dirige alors soit vers les racines des plantes, soit, par gravité, vers les horizons profonds et les nappes phréatiques. Au cours de ces transports, l'eau se charge en éléments en traces dissous (**Marcos, 2001**).

II.4.1.2 Répartition des métaux lourds dans les sols (Citeau, 2004):

La variable déterminante de cette répartition est le degré de solubilité du métal.

- si le métal est soluble, il va passer dans les nappes ou dans la plante.
- s'il est insoluble, il va rester dans le sol.

La solubilité va dépendre de plusieurs facteurs, le plus important est l'acidité du sol.

- Un sol acide facilite la mobilisation. Les métaux lourds ne s'accumulent pas. Ils sont transférés vers les nappes phréatiques et les fleuves ou absorbés par les plantes et présentent alors un risque pour la santé.
- Un sol calcaire contribue à l'immobilisation de certains métaux (certains éléments

réagissent différemment, notamment l'arsenic, plus mobile dans un sol calcaire).

Il n'y a donc pas de risque immédiat pour la santé. Mais le sol est contaminé durablement et la concentration en métaux lourds augmente avec les années. Ces derniers sont susceptibles d'être relargués quand l'environnement est modifié.

Au niveau des sols, les risques sont divers (transfert vers les nappes phréatiques, biodisponibilité, écotoxicité), et dépendent principalement de la spéciation (degré d'oxydation, mode de complexation avec les macromolécules organiques et les constituants minéraux du sol) (**Arris, 2008**).

II.2.4.2. Contamination de l'air:

D'après **Veeresh (2003)**, les métaux lourds se dispersent dans les hautes couches de l'atmosphère et retombent ailleurs, après un transport sur de très longues distances. On estime qu'une particule de mercure dans l'atmosphère reste un an dans celui-ci, avant de retomber. D'après (**Derakaoui et al , 2018**) Les métaux lourds dans l'air peuvent se trouver principalement sous deux formes :

- Soit sous forme gazeuse pour certains composés métalliques volatiles ou dont la pression de vapeur saturante est élevée ;

- Soit sous forme de composés métalliques solides, déposés sur les très fines particules ou poussières formées lors des phénomènes de combustion.

Les principales sources de métaux dans l'air sont des sources fixes. Les métaux lourds sont transportés par des particules atmosphériques provenant de combustions à haute température, de fusions métallurgiques, véhicules.

Les effets biologiques, physiques et chimiques de ces particules sont fonction de la taille des particules, de leur concentration et de leur composition, le paramètre le plus effectif sur l'environnement étant la taille de ces particules.

Dans l'air ambiant, on trouve de nombreux éléments, comme le plomb, le cadmium, le zinc, le cuivre, etc., dont la concentration est d'autant plus élevée que les particules sont fines.

II.2.4.3. Contamination de l'eau:

Les métaux lourds subissent de nombreuses transformations: réduction par processus biochimique, méthylation, déméthylation et oxydation d'espèces de métaux isolées.

Des réactions redox peuvent aussi faciliter certaines transformations. Les processus biochimiques sont effectués par des micro-organismes et par des algues.

Les principales sources de contamination de l'eau sont les suivantes :

- Eaux usées domestiques et industrielles ;
- Production agricole ;
- Polluants atmosphériques ;
- Anciennes décharges (**Derakaoui et al , 2018**).

II.2.5. Facteurs modifiant la mobilité des éléments métalliques :

La biodisponibilité représente la capacité d'un élément trace métallique à passer d'un compartiment du sol quel qu'il soit vers une bactérie, un animal ou un végétal vivant dans ce dernier

- La mobilité d'un élément trace métallique constitue l'aptitude d'un élément à passer dans des compartiments du sol où il est de moins en moins énergétiquement retenu, avec comme compartiment ultime la phase liquide ou, dans certains cas, l'atmosphère du sol (**Juste, 1988**).
- Il existe de multiples paramètres influençant la mobilité des métaux dans les sols dont les plus importants sont (**Colin et, 2003**).

II.2.5.1. Le PH:

Le pH constitue un facteur dont le rôle est crucial pour la mobilité des ions métalliques, car il influence le nombre de charges négatives pouvant être mises en solution (**Mclaughlin et al, 2000**). Les protons proviennent majoritairement de la respiration végétale et microbienne, ainsi que de l'oxydation des sulfures. À l'inverse, ils sont consommés par l'hydrolyse des minéraux altérables.

D'une façon générale, lorsque le pH augmente, les cations sont moins solubles et les anions sont plus solubles (**Blanchard, 2000**). De plus, l'augmentation de pH induit souvent la formation d'espèces précipitées qui peuvent limiter la solubilité et la biodisponibilité de toutes les espèces ioniques (**Deneux-Mustin et al., 2003**). Cependant, elle entraîne également la dissolution de matières organiques et la formation consécutive de complexes organo-métalliques plus solubles (**Chaignon, 2001**). Les variations de pH ont donc des conséquences complexes et parfois contraires sur la mobilité des métaux lourds, en particulier en présence de ligands organiques et inorganiques (**Hammadache et al., 2015**).

II.2.5.2. L'apport de matière organique:

La matière organique dissoute joue un rôle important dans la détermination de la spéciation et de la biodisponibilité des métaux. Les métaux peuvent être complexés par les substances composant la MO et plus particulièrement par les sites carboxyliques (groupements contribuant à la majorité des sites de complexation), azotés et sulfurés qui s'y trouvent (**Le Goff et Bonnomet, 2004**).

II.2.5.3. L'activité biologique:

La compréhension globale des phénomènes biologiques jouant sur la solubilité des métaux lourds dans les sols est rendue difficile par la multiplicité des actions et interactions à tous les niveaux. Les végétaux supérieurs étant au centre de notre étude, et les microorganismes ayant une influence sur l'ensemble du milieu aux échelles de temps et d'espace considérées, nous nous attacherons à développer principalement l'action des microorganismes et des plantes (**Hammadache et al., 2015**). Les principaux phénomènes d'action sur la mobilité des polluants métalliques sont la solubilisation, l'insolubilisations et la volatilisation (**Esteban, 2006**).

II.2.5.4. La température:

La température a un impact direct sur la mobilité des éléments métalliques en déplaçant les équilibres des réactions de dissolution - précipitation et co-précipitation, et un impact indirect, en modifiant la teneur en eau du sol, le pH ou l'Eh (**Remon, 2006**).

II.2.5.5. Les carbonates (CaCO₃):

La forme prédominante des carbonates ($R^{2+} CO_3^{2-}$; R= Ca, Mg, Fe mais aussi beaucoup de métaux divalents présents dans les sols pollués tels que Pb, Zn, Cu, etc.) dans la plupart des sols est la calcite (CaCO₃). Assez soluble, cette espèce a une influence majeure sur le pH des sols et par conséquent sur les phénomènes d'absorption des métaux. En outre, les réactions de dissolution / précipitation des carbonates favorisent le piégeage des ions métalliques au sein des cristaux formés (**Blanchard, 2000**).

II.2.6. Accumulation dans les différents organes des plantes:

Généralement, les racines ont tendance à accumuler les ETM, les parties reproductrices (fleurs, fruits, graines) à les exclure et les parties végétatives (tiges et feuilles) sont considérées comme étant intermédiaires; les teneurs en ETM dans les plantes sont réparties selon le gradient d'accumulation : racines > tiges > feuilles > graines et fruits. Lors de leur prélèvement par la plante, les métaux se fixent largement sur les parois cellulaires, ce qui explique pourquoi une grande partie des métaux prélevés peuvent se retrouver dans les racines comme cela a été décrit pour le plomb, le cadmium ou le zinc (**Morel, 1997 ; Lasat et al., 2000**).

II.2.7. Le cadmium:

II.2.7.1. Définition:

Le cadmium est un métal blanc argenté appartenant à la famille des métaux de transition, avec un numéro atomique de 48 et une masse atomique de 112,4 g/mol. Il n'est pas essentiel au développement des organismes animaux ou végétaux. En revanche, ses propriétés physiques et chimiques, proches de celles du zinc et du calcium, lui permettent de traverser les barrières biologiques et de s'accumuler dans les tissus (**Zorrig, 2011**). Le cadmium se trouve souvent associé dans les roches aux éléments du même groupe, comme le zinc et le mercure. La valence Cd^{2+} est la valence la plus souvent rencontrée dans l'environnement et est vraisemblablement la seule valence du cadmium dans les systèmes aqueux (**McLaughlin et Singh, 1999**).

II.2.7.2. Les sources du cadmium:

Le Cd est un métal lourd d'origine naturelle présent à des concentrations plus élevées en association avec les sols riches en Cd, y compris les schistes, les sédiments lacustres et les phosphorites. Cependant, plus de 90% du Cd dans l'environnement de surface est le résultat de l'industrie et de l'agriculture. Il est considéré comme un des éléments les plus toxiques dans l'environnement, avec un large éventail de toxicité d'organe et une longue demi-vie d'élimination (**Lane et al., 2015**).

II.2.7.2.1. Origine naturelle:

Naturellement, le cadmium n'est pas très abondant dans la croûte terrestre. Dans les sols non pollués, le contenu en cadmium est généralement entre 0,1 et 2 ppm et la plupart du temps il est inférieur à 1 ppm (**Kabata-Pendias et al., 2001**).

II.2.7.2.2. Origine anthropique:

a- Rejets d'origine industrielle:

Le cadmium se retrouve dans les déchets industriels stockés sur des anciennes friches industrielles ainsi que dans les produits en fin de vie comme les batteries et les piles à Cd/Ni et les effluents liquides issus des usines. Les retombées atmosphériques provenant de l'activité industrielle et du trafic urbain favorisent également la pollution des sols et des eaux de surface et souterrains par le cadmium. Ces facteurs représentent la source principale de contamination dans les zones urbaines (**Mehallah et Moralent, 2019**).

b- Pratiques agricoles:

Les produits chimiques utilisés en agriculture, tel que les fongicides, les insecticides, les herbicides peuvent contenir plusieurs métaux toxiques comme Cu, Cd, Zn et Pb et peuvent donc contribuer à la contamination des terres agricoles. D'autre part, l'utilisation répétée d'eaux usées peut aussi contribuer à l'accumulation de ce métal dans les sols ; en effet, ces eaux contiennent du cadmium à des concentrations plus élevées que les eaux normales (**Bounab and Sahli, 2014**).

II.2.7.3. Les effets du cadmium:

II.2.7.3.1. Effets de cadmium sur la santé humaine:

Le cadmium affecte sévèrement le système respiratoire. Il provoque des troubles respiratoires et des oedèmes pulmonaires ainsi qu'une destruction des muqueuses (**Seidal et al., 1993**). L'exposition des femmes enceintes au cadmium est associée à un poids de naissance faible et à une augmentation de l'avortement spontané (**Frery et al., 1993**). Il existe plusieurs

preuves de la cancérogénicité du cadmium, notamment en ce qui concerne le cancer rénal chez l'Homme (Kolonel, 1976; Il'yasova, 2005).

II.2.7.3.2. Effets du cadmium sur les végétaux:

Chez les plantes, le cadmium n'a aucune fonction biologique connue (Pokorny et al., 2004), et il est toxique à de faibles concentrations (De la Rosa et al., 2004). Les symptômes que présente une plante cultivée en présence de cadmium sont l'inhibition de la croissance, la diminution de sa biomasse, la chlorose, la nécrose, la perturbation des flux d'eau, la déficience en phosphore et en azote, l'accélération de la sénescence l'apparition du retard dans le développement des jeunes pousses et des perturbations de la photosynthèse (Cosio, 2005; Clemens, 2006). Le statut hydrique des plantes est très affecté en présence de cadmium: le cadmium affecte l'absorption de l'eau, son transport ainsi que la transpiration (Barcelo et al., 1986 ; Costa et al., 1994 ; Vassilev et al., 1997). Ces perturbations hydriques se manifestent par une diminution de la teneur relative en eau (TRE ou RWC : Relative Water Content), du potentiel hydrique (ψ) et du potentiel de turgescence foliaire (Vassilev et Yordanov, 1997). Le cadmium affecte sérieusement l'appareil photosynthétique (Clemens, 2006). La diminution de la capacité photosynthétique par le cadmium peut être due essentiellement à une désorganisation structurale des chloroplastes (Ouzounidou et al., 1997; Djebali et al., 2005).

II.2.8. le plomb:

II.2.8.1. Définition:

Le plomb est un élément chimique de la famille des cristallogènes, de symbole Pb et de [numéro atomique](#) 82. Le mot et le symbole viennent du latin *plumbum*. Le plomb est un [métal](#) gris bleuâtre, blanchissant lentement en s'oxydant, malléable. C'est un élément toxique, mutagène et reprotoxique, sans valeur connue d'oligoélément. (<https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Plomb.html>)



Figure 1: le plomb(<httpsfr.wikipedia.org/wiki/Plomb>)

II.2.8.2. les Sources du plomb:

II.2.8.2.1. les Sources d'origine naturelle :

Le plomb est naturellement présent en moyenne à 0,002% dans la croûte terrestre (36^e élément de la croûte terrestre), généralement sous forme peu soluble. Des dérivés inorganiques sont présents dans les eaux, les sédiments, les sols, l'atmosphère et éventuellement en microtraces chez les organismes vivants. Les sols non contaminés contiendraient de 10 à 30 mg.kg⁻¹ (**Baize, 1997**).Le plomb peut se substituer à de nombreux éléments (potassium, sodium, calcium, strontium ou barium) et rentre dans la composition de 240 minéraux naturels identifiés. Les principaux minéraux porteurs de plomb sont présentés dans le Tableau 3 ci-dessous. Ce sont les sulfates, les carbonates, les oxydes et hydroxydes, les sulfures ou les phosphates. Pour des conditions physicochimiques fixées, la solubilité du plomb dépendra fortement de la nature du composé dans lequel le plomb est engagé (**Benhamou et Bakir ,2016**).

II.2.8.2.2. Sources anthropiques:

Les principales sources d'émission de plomb dans l'environnement ont été ou sont encore, l'utilisation des carburants d'origine fossile complétés en plomb, l'exploitation des mines, les anciennes peintures à base de plomb, la plomberie, les munitions, les boucliers de rayons X, le brasage, les

conteneurs pour les liquides corrosifs. Les émissions de plomb dans le sol et l'eau peuvent également se produire suite à l'épandage des boues d'épuration ou lors du rejet d'effluents agricoles traités. Selon l'USGS, la production en 2009 de plomb extrait des mines en Chine, Australie et États-Unis, était respectivement de 1690, 516 et 400 millions de tonnes (**Benhamou et Bakir , 2016**) . Les principales sources de pollution par le plomb sont les effluents industriels, les engrais, les pesticides, les émissions gazeuses des véhicules et les boues d'épuration municipales (**Ansari et al., 2016**).Le plomb peut également provenir d'autres matériaux présents dans les réseaux intérieurs de distribution d'eau (**InVS 2006**).

II.2.8.3. Effets du plomb sur la plante :

Les plantes cultivées dans un milieu contaminé par le Pb présentent un ralentissement de leur développement et une inhibition de la croissance des racines et des parties aériennes. Leurs feuilles ont généralement une surface inférieure à celle des témoins et des chloroses peuvent apparaître. Dans certains cas la présence de Pb peut mener à une mort des cellules (**Ernst, 1998; Seregin et Ivaniov, 2001**). La présence de plombs dans des plantes induit également la production d'espèces réactives de l'oxygène qui perturbent le statut redox des cellules, causant un stress oxydant (**Pourrut. 2008**).

II.2.8.4. Effets du plomb sur la santé:

A fortes doses, le plomb peut conduire à des encéphalopathies, des neuropathies et au décès chez l'adulte et chez l'enfant. Il provoque également des effets digestifs: colique saturnine, douleurs abdominales...).Le plomb présente également des effets sur la pression artérielle, sur la fonction rénale chez l'adulte ainsi que sur la reproduction et le développement de l'enfant et sur le système nerveux central (diminution de points de quotient intellectuel, troubles de l'attention) chez l'enfant, même à des faibles doses .La plombémie ou taux de plomb dans le sang est l'indicateur de référence pour dépister une contamination. Une fois dans l'organisme, le plomb se stocke,

notamment dans les os, d'où il peut être libéré dans le sang, des années ou même des dizaines d'années plus tard notamment lors d'une grossesse ou en cas d'ostéoporose. L'élimination du plomb dans l'organisme est lente après l'arrêt de l'exposition : sa demi-vie est de 15 à 20 ans. La toxicité du plomb, en particulier pour des plombémies inférieures à 100 µg/L, a fait l'objet de nombreuses études qui ont été inventoriées notamment par l'Anses (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) puis par le Haut conseil de santé publique (<https://www.sante.fr/effets-du-plomb-sur-la-sante>).

II.3. Généralités sur l'orge:

II.3.1. Origine géographique:

L'orge est parmi les céréales les plus anciennement cultivées, ces traces ont été localisés de prime abord au Proche-Orient (**Botineau, 2010**) dans la région nommée croissant fertile (l'Irak et l'Iran d'aujourd'hui) (**Brink et Belay, 2006**), sur l'ouest de la Jordanie, le Liban, la Syrie, la Turquie, l'Irak et les montagnes Zagros dans l'ouest de l'Iran (**Bothmeret al., 2003**). Des études récentes relatent qu'elle serait plutôt originaire des régions montagneuses d'Ethiopie et d'Asie du sud-est (**Paquereau, 2013**), trouvant sa trace au Proche-Orient au moins 7 000 ans et en Éthiopie il y a près de 10 000 ans (**Botineau, 2010**). Au Sahara elle était cultivée dans les oasis 100-300 av J. -C (**Brink et Belay, 2006**). La plupart des céréales appartiennent à la famille des Graminées (ou Poacées). Ce sont: le blé, l'orge, l'avoine, le seigle, le maïs, le riz, le millet, le sorgho (**Moule, 1971**).

II.3.2. Caractères taxonomiques et morphologiques:

II.3.2.1. Caractères taxonomiques:

Tableau 2: l'orge cultivée appartient à la classification botanique suivante: Selon, **Reddy et al. (2004)**, **Soderstrom (1987)** et (**Renvoize et Clayton, 1986**)

Règne	Plantae
Division	Magnoliophyta
Classe	Liliopsida
Sous Classe	Commelinidae
Order	Poale
Famille	Poaceae
Sous famille	Hordeoideae

Tribu	Hordeae
Sous Tribu	Hordeinae
Genre	Hordeum
Espèce	<i>Hordeum vulgare</i> L

L'orge appartient à l'un des groupes des végétaux les plus importants du monde, le Triticeae, qui est une tribu dans la famille des Poaceae (**Ullrich, 2010**). Le genre *Hordeum* comporte 34 espèces (une seule d'entre elles est cultivée pour son grain), les variétés restantes sont généralement diploïdes à $2n = 14$ chromosomes, mais il existe des espèces sauvages tétra ou hexaploïdes. La section *Vulgare* comprend les trois espèces *H. vulgare*, *H. bulbosum* et *H. murinum*. L'*Hordeum vulgare* se divise en 2 sous espèces : *H. vulgare* subsp. *vulgare*, qui rassemble toutes les orges cultivées et *H. vulgare* subsp. *Spontaneum* (**Doré et Varoquaux, 2006**). Le parent sauvage de l'orge est *Hordeum spontaneum* ($2n = 14$). Il pousse à l'état spontanée dans la région de la Méditerranée orientale, Turkménie et Afghanistan (**Srivastava et Gopal, 2008**).

II.3.2.2. Caractères morphologiques:

Selon **Thielens (1862)**, l'orge est une plante annuelle à tiges cylindriques, dressées, creuses, glabres, comprend cinq ou six inter-noeuds qui sont séparés par des structures denses appelées noeuds d'où naissent les feuilles.

L'orge est une plante annuelle au cycle végétatif court, plantée en hiver ou au printemps et récoltée avant l'été. Le grain est de forme elliptique et de couleur noir ou pourpre. D'un point de vue morphologique le grain d'orge est un caryopse à glumelles adhérentes chez les variétés cultivées. Les glumelles ou enveloppes ne se séparent pas du grain lors du battage (**Andrew et al., 2017**).

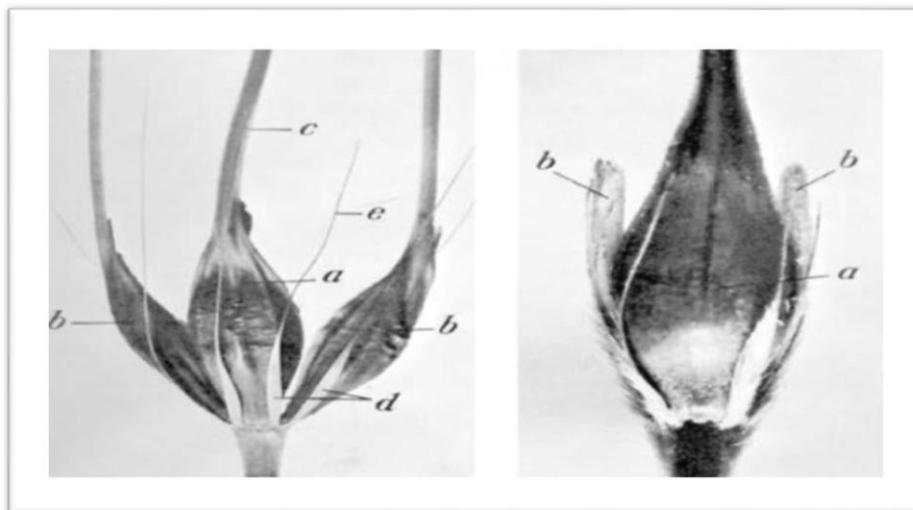


Figure 2 :Caryopse d'orge (Leonard et Martin 1973)

a. Caryopse central ; b. Caryopses latéraux ; c. Pointe ; d. Glumes ; e. Pointe de la glume.

II.3.2.2.1. Description botanique:

Les feuilles surviennent à partir de noeuds portés alternativement sur les côtés opposés. Les feuilles sont glabres, Laisse rugueuse lancéolée vert clair plus large avec de petites ligules, Les oreillettes sont remarquables, , la Gaine en serrant le Inter-noeud en dessous (**Mukund, 2015**).

L'inflorescence est toujours en épi cylindrique de 5-10 cm de long, composée degroupes de 3 épillets disposés de façon alterne (**Brink et Belay, 2006**).Il est pointu ou porté à la tête du haut de la tige, avec des épillets attachés à des zigzag rachis de, chaque épillet a deux glumes et un fleuron, mais les spikelets sont en groupe de trois l'épillets sont fertiles dans l'orge à six rangs, tandis que l'épillet central est fertile dans l'orge à deux rang, chaque épillet à deux glumes se terminant par une arête(**Mukund, 2015**).

L'appareil reproducteur formé de fleurs groupées en inflorescences, constitue un ensemble d'unités appelées épillets. Chez l'orge, l'épi est constitué d'un axe (rachis) sur lequel sont fixés les épillets (**Gomez-Macpherson, 2001**).

La fécondation est autogame. Le fruit est un caryopse aplati et cannelé d'un côté, détaille variable selon le cultivar, poilu à l'extrémité (**Brink et Belay, 2006**).

Le grain est un caryopse à glumelles adhérentes chez les variétés cultivées. Une coupe transversale du grain, montre les mêmes assises de cellules que chez le blé, cependant l'assise à aleurone comporte trois couches de cellules au lieu d'une seule (**Clément et Prats, 1971**).



Figure 3 : description de l'orge

https://www.memoireonline.com/05/10/3508/m_Etudes-bibliographique-de-la-genetique-de-resistance--drechslera-tereso.html)

Le système racinaire se forme de huit racines, pratiquement équivalentes sous l'axehypocotylé et libres dans la cavité commune de la coléorhize. Les nombreuses racines séminales (jusqu'à 8) sont fines, se ramifient en un abondant chevelu et pénètrent profondément dans le sol, tandis que les racines gulmaires sont relativement peu nombreuses, assez épaisses et non ramifiées (**Félix, 1962**).

Selon **Moule (1971)**, toute céréale dispose, au cours de son développement, de deux systèmes radiculaires successifs.

- **Le système de racines primaires ou séminales :**

- fonctionnel de la levée au début du tallage. Ce système est constitué d'une racine principale et de deux paires de racines latérales, soit 5 racines; éventuellement se développe une sixième racine à partir de l'épi blaste.

- **Le système de racines secondaires ou de tallage :**

apparaissant au moment où la plante émet ses talles, ce système se substitue alors progressivement au précédent (**Silem, 2017**).

II.3.3. Cycle de développement:

Le cycle de développement d'une céréale comprend trois grandes périodes:

- La période végétative qui va de la germination aux premières manifestations de l'allongement de la tige principale, c'est-à-dire au début de la montée ;
- La période reproductrice allant du début de la montée à la fécondation ;
- La période de maturation allant de la fécondation à la maturité complète du grain (**Moule, 1971**).

II.3.3.1. Période végétative:

II.3.3.1.1. La phase semis-levée (Germination – levée):

La germination se traduit par la sortie des racines séminales de la coléorhize et, à l'opposé, par la croissance d'une préfeuille, la coléoptile. Celui-ci sert de manchon protecteur et perforateur du sol pour la première feuille qui sera fonctionnelle et percera le sommet de la coléoptile peu après l'apparition de ce dernier au niveau du sol (**Moule, 1971**). Les principaux facteurs édaphiques qui interviennent dans la réalisation de cette phase sont, la chaleur, l'aération et l'humidité (**Eliard, 1979**).

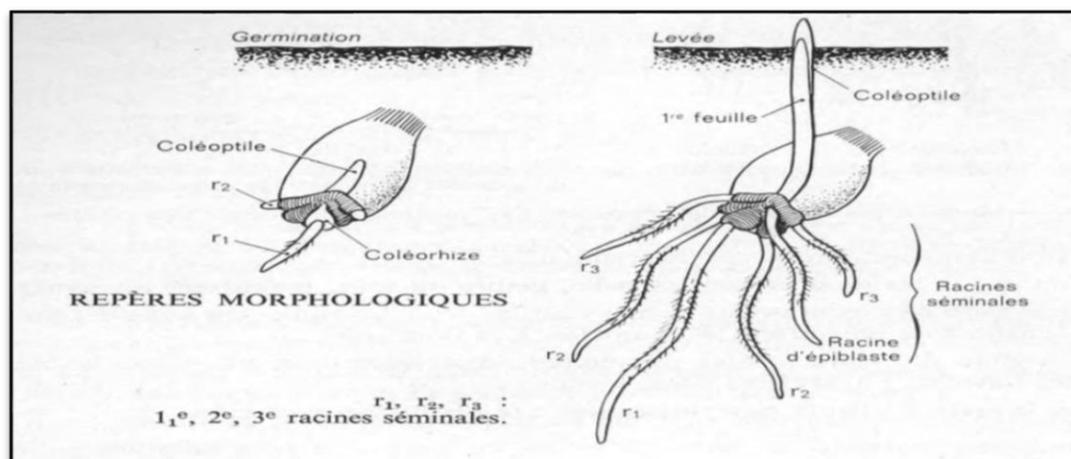


Figure 4 : la phase semis levée (Moule, 1971).

La germination de ces semences désigne l'ensemble des processus qui vont du début de la réhydratation de la graine à la sortie de la radicule (Soltner, 2007).

II.3.3.1.2. La phase levée-début tallage:

La levée fait suite à la germination, avec la croissance de la radicule, de l'axe hypocotylé (Dicotylédones) ou du coléoptile (Monocotylédones) et de la gemmule, ou de la première feuille (Soltner, 2007). Dès que la première feuille a percé l'extrémité de la coléoptile, celui-ci s'arrête de croître et peu à peu se dessèche (Moule, 1971). La première feuille fonctionnelle s'allonge, puis la deuxième, jusqu'à la quatrième toutes en position alterne. Celles-ci, imbriquées les unes dans les autres, partant toutes d'une zone située au proche de la surface du sol appelée plateau de tallage, constituée par l'empilement d'un certain nombre d'entre-noeuds et reliées à la semence par le rhizome (Clément, 1981). Pendant toute cette phase, la vitesse de croissance des feuilles dépend essentiellement de la température. D'autre part, sur le plan nutritif, la plantule dépend uniquement de son système primaire de racines et de ses réserves (Moule, 1971).

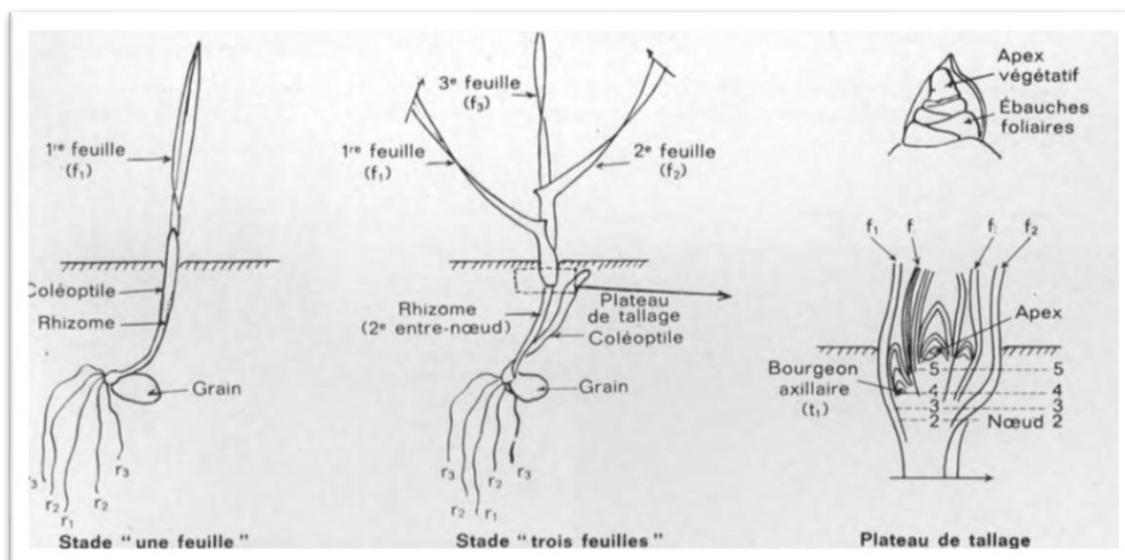


Figure 5 : la phase levée –début tallage (Moule, 1971).

II.3.3.1.3. La phase début tallage-début montée:

Le tallage est caractérisé par l'entrée en croissance de bourgeons différenciés à l'aisselle de chacune des premières feuilles : il s'agit donc d'un simple processus d'érigmentation. La première talle (t_1) apparaît généralement à l'aisselle de la première feuille lorsque la plante est au stade « 4 feuilles » (Moule, 1971). Le nombre de talles émises par plante est fonction de l'espèce (l'orge talle beaucoup plus que le blé tendre), de la variété, du climat, de l'alimentation de la plante en azote, de la profondeur de semis (Soltner, 1990). Le facteur nutritionnel peut modifier la vitesse du tallage herbacé, la durée du tallage et le nombre de talles (Austin et Jones, 1975). La fin du tallage représente la fin de la période végétative, elle marque le début de la phase reproductive, conditionnée par la photopériode et la vernalisation qui autorisent l'élongation des entre-nœuds (Gate, 1995).

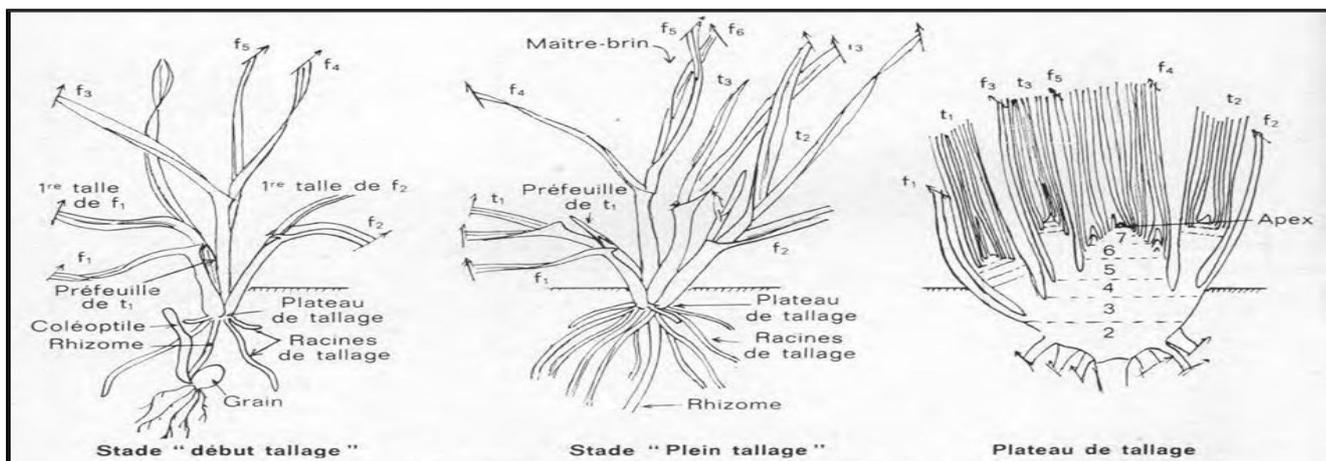


Figure 6 : la phase début tallage –début montée (Moule, 1971).

II.3.3.2. Période reproductrice ou la « montée »:

II.3.3.2.1. Phase de la montaison- gonflement:

Un certain nombre de talles herbacées vont évoluer vers des tiges couronnées d'épis, tandis que d'autres commencent à régresser. La croissance entaille et en matière sèche est alors active. Cette phase se termine au moment de la différenciation des stigmates. La durée de cette phase est de 29 à 30 jours (Clément et Prat, 1970). Ce stade est repérable une fois l'ébauche de l'épi du brin maître, atteint 1cm de hauteur. Cette phase s'achève une fois l'épi prend sa forme définitive à l'intérieur de la gaine de la feuille étendard qui gonfle (stade gonflement) (Giban et al, 2003 in Zibouche et Grimes, 2016).

II.3.3.2.2. Phase de l'épiaison:

Est la période allant de l'apparition des premiers épis jusqu'à la sortie complète de tous les épis hors de la gaine de la dernière feuille (Giban et al, 2003 in Zibouche et Grimes, 2016). En effet la différenciation de l'apex en ébauche d'épi débute en même temps que la tige s'allonge quelques jours après la fin de la montaison. Le nombre d'ovules par épi est fixé depuis ce moment (Chiara et Maria, 2014).

II.3.3.2.3. Phase floraison:

La floraison correspond à la sortie des anthères. Le nombre d'épillets dépend essentiellement de la variété, des paramètres climatiques et éléments nutritifs, le nombre de grain définitif peut être observé une quinzaine de jours après la floraison (**Antonio et al., 2014**).est la sortie des premières étamines hors des épillets au milieu de l'épi sur 50% des épis la formation du grain se fait quand les grains du tiers moyen de l'épi parviennent à la moitié de leur développement. Ils se développent en deux stades:

- Le stade laiteux où le grain vert clair, d'un contenu laiteux atteint cette dimension définitive; (le grain contient encore 50% d'humidité et le stockage des protéines touche à sa fin).
- Le stade pâteux où le grain, d'un vert jaune, s'écrase facilement; (le grain a perdu son humidité et l'amidon a été constitué)(**Silem Fet Tioub I, 2017**).

II.3.3.3. Période de maturation:

Lorsque le grain commence à grossir, la croissance des talles s'arrête et les réserves synthétisées dans les feuilles migrent vers le grain. La maturation correspond à l'accumulation des réserves (amidon et matière protéique) dans les grains et à la perte de leur humidité (**Flaten et al., 2015**).

La tige en plus des feuilles et des enveloppes de l'épi concoure au remplissage temporaire du grain pour corriger le déséquilibre qui peut apparaître lorsque la phase rapide de remplissage du grain n'a pas encore débuté alors que la croissance végétative continue pendant ce laps de temps (**Savin et al., 2015**). L'orge est prête à être récoltée lorsque le taux d'humidité du grain atteint 35-40%, la récolte se fait à la main à l'aide d'une faucille, ou à la moissonneuse batteuse (**Brink et Belay, 2006**).

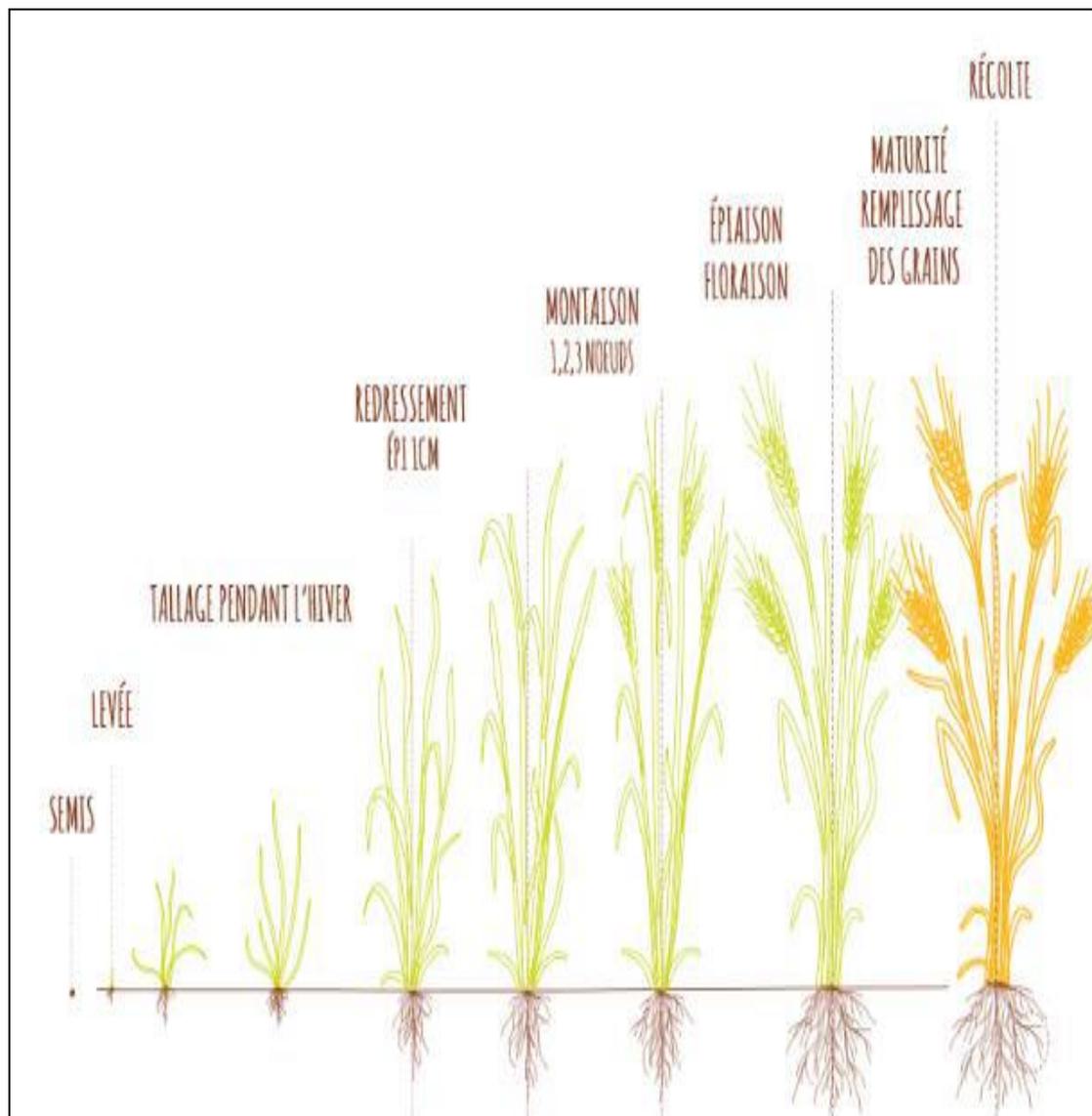


Figure 7 : Cycle de développement d'orge (Soltner, 1998)

	STADE	JONARD	FEEKES	ZADOKS	CARACTÉRISTIQUES (brin maître)
Levée	Levée			7	Sortie du coléoptile 1ère feuille traversant le coléoptile 1ère feuille étalée 2ème feuille étalée 3ème feuille étalée
	1 feuille		1	10	
	2 feuilles			11	
	3 feuilles			12	
Tallage	Début tallage	A	2	21	Formation de la 1ère talle
	Plein tallage		3	22	2 à 3 talles
	Fin tallage		4	23	
Montaison	Fin tallage			24	
	Début Montaison Épi à 1 cm	B	5	30	Sommet de l'épi distant à 1 cm du plateau de tallage
	1 nœud	C 1	6	31	1 nœud
	2 nœuds	C 2	7	32	2 nœuds
	Gonflement L'épi gonfle la gaine de la dernière feuille.		8	37	élongation de la tige
		D	9	39	Apparition de la dernière feuille
			10	45	Ligule juste visible (méiose mâle) Gaine de la dernière feuille sortie
	Épiaison	E	10-1 10-2 10-3 10-4 10-5	49-51 53 55 57 59	Gaine éclatée 1/4 épiaison 1/2 épiaison 3/4 épiaison Tous les épis sortis
	Floraison	F	10-5-1 10-5-2 10-5-3	61 65 69	Début floraison Demi-floraison Floraison complète
Maturation	Formation du grain	Mo	10-5-4	71	Grain formé
			11-1	75	Grain laiteux
			11-2	85	Grain pâteux
			11-3	91	Grain jaune
		M	11-4	92	Grain mûr

Figure 8 : Stades de développement des céréales : échelles de Feekes et Zadoks comparées à celle de Jonard (Bourriche.2020).

II.3.4. L'orge en Algérie:

II.3.4.1. Production de l'orge en Algérie:

L'orge est la seconde céréale cultivée en Algérie après le blé dur. Elle fait aussi partie des grandes cultures. C'est une espèce rustique, moins exigeante

en matière de sol et de pluviométrie que le blé (<https://agrichem.dz/culture/6/orge/>). En Algérie, 35% de la superficie céréalière est consacrée à la culture de l'orge qui est concentrée entre les isohyètes 250 et 450 mm (**Menad et al., 2011**). Confrontée à des contraintes d'ordre climatiques et techniques, la production algérienne d'orge est faible et surtout variable dans l'espace et le temps (**Bouzerzour et Benmahammed, 1993**).

II.3.4.2. Les aires de production:

Les principales wilayas de production d'orge en 2016 sont : O. E. Bouaghi, Tébessa, Batna, Djelfa, Tiaret et Sidi bel abbés (<https://agrichem.dz/culture/6/orge/>).

Selon **Boulal et al., (2007)**, les principales zones de production sont :

- **la zone semi-aride des plaines telliennes** où la pluviométrie est comprise entre 350 et 500mm avec une distribution des précipitations irrégulière (Constantine, Bouira, Tlemcen, Mila, Souk Ahras, Ain Defla, Chlef, Ain Témouchent, Sidi-Bel-Abbès).
- **la zone sub-aride des Hauts plateaux** caractérisée par une faible pluviométrie (200- 350mm), à prédominance agro-pastorale à des altitudes supérieures à 1000m

(Tissemsilt, Tiaret, Sétif, Saida, Bourdj Bou Arreridj).

- **la zone humide et subhumide** des régions littorales et sub-littorales

Centre- Est du pays (Tipaza, Skikda, Guelma, Bejaïa, Annaba).

II.3.4.3. Principales variétés d'orge cultivées en Algéri:

Selon **Boufenar et Zaghouan (2006)**, les variétés Saïda, Rihane 183 et Tichedrette sont largement distribuées en Algérie. Le recours aux autres variétés est lié à leur zone de prédilection. Certaines variétés existent mais sont peu demandées comme celles de Jaidor (Dahbia), Barberousse (Hamra), Ascad 176, (Nailia), El-Fouara. Le choix de la variété à utiliser dépend de ses

caractéristiques agronomiques et de la zone de culture. Les principales variétés cultivées en Algérie sont regroupées dans le (**tableau 03**).

Tableau 3: Variétés d'orge cultivées en Algérie (**Boufenar et Zaghouane, 2006**).

Variétés	Caractéristiques
Jaidor (dahbia)	A paille courte, fort tallage, bonne productivité, tolérante aux maladies et à la verse, sensible au gel
Rihane 03	A paille courte, précoce, fort tallage, bonne productivité, à double exploitation.
Ascad68 (Remada)	Précoce, à fort tallage et bonne productivité, tolérante aux rouilles et à la verse, adaptée aux zones des plaines intérieures.
Barberousse (Hamra)	A paille moyenne, précoce, tallage moyen, bonne productivité, tolérante à la verse, à la sécheresse et au froid.
Ascad 60 (Bahria)	A paille courte et creuse, précoce, fort tallage, bonne productivité, sensible à la jaunisse nanisante et résistante à la verse.
Ascad 176 (Nailia)	Variété précoce, résistante à la verse et tolérante à la sécheresse, sensible aux maladies (rouille brune, oïdium helminthosporiose, rhyncosporiose).
Saida 183	Variété locale, semi-tardive, à paille moyenne et creuse, tallage moyen, bonne productivité, sensible aux maladies.
Tichedrette	Variété locale, à paille moyenne, précoce, tallage moyen, bonne productivité et rustique.
El-Fouara	A paille courte ou moyenne, fort tallage, bonne productivité, tolérante au froid, à la sécheresse et à la verse, adaptée aux Hauts-plateaux.

II.3.5. L'importance et utilisation de l'orge:

Dans la plupart des pays, la majeure partie de l'orge est nourrie aux animaux, en particulier les bovins et les porcs (**Guopingzhang, 2009**), il représente toutefois une importante ressource énergétique en alimentation animale (orge de monture) mais pauvre en protéines, qui demande à être complétée par des molécules azotées (**François et Gaudry, 2016**). Elle a été de tout temps la base de l'alimentation des chevaux dans les pays du Moyen-Orient et d'Afrique du Nord, la vigueur du cheval arabe n'a pas été démentie pour autant (**Wolter, 1999**).

L'orge occupe une place importante parmi les espèces fourragères. Par sa production en vert, en foin (en association avec d'autres espèces), en ensilage et par son grain et sa paille, l'orge est l'élément clé de toute la production fourragère en Algérie (**INRAA, 2006**). De manière générale, la production des céréales, en Algérie, est en deçà de la demande. Ceci exige une amélioration des rendements aussi bien en milieux favorables qu'en milieux contraignants (**Meziani et al., 2011 ; Adjabet al., 2014**). L'orge (*Hordeum vulgare* L.), dont les superficies approchent celles du blé dur (*Triticum durum* Desf.), trouve une multitude d'utilisations en alimentation humaine et animale. La demande est élevée en production animale, où cette espèce est utilisée sous forme de grain, de paille et même les chaumes et résidus laissés sur champs sont pâturés (**Abbas et Abdelguerfi, 2008**).

PARTIE III. MATERIEL ET METHODES

III.1. Matériel et méthode :

III.1.1. Conduite de l'essai et traitements :

Les essais ont été menés au niveau du laboratoire de biologie végétale de l'université de Saida. Les graines (Fig. 09) ont été sélectionnées et désinfectées à l'hypochlorite de sodium à 1% pendant 5 minutes, pour éliminer toute contamination fongique. Puis rincées rigoureusement et abondamment à l'eau distillée 3 à 4 fois pendant 5 min. elles sont ensuite, mises à germer dans des boîtes de pétri sur papier filtre. Quatre jours après, les plantules ont été transplantées dans des pots en plastique remplis de tourbe. Les graines et les plantules sont traitées par les métaux lourds d'acétate de plomb (Pb) (2mM) et Cadmium (Cd) (1mM) sans ou accompagnées de NaCl à raison de deux concentrations différentes (102,7mM et 137,2 mM) contre un lot témoin.



Figure 9: les grains de l'orge

III.1.2. Récoltes des plantes :

À la fin de l'expérimentation (2 semaines de culture), les plantes sont débarrassées de leur substrat, les racines sont rincées par l'eau distillée, puis séchées sur du papier filtre.



Figure 10: déplacement des grains d'orge dans les boîtes pétri

III.2. paramètres étudiés :

Les mesures effectuées sur les paramètres morpho-physiologiques des plantes (pourcentage de germination, hauteurs de parties aériennes et racinaires) ont été réalisées chaque jour de l'exposition au plomb, Cd et NaCl. Par ailleurs l'étude des paramètres biochimiques a été réalisée à la fin de l'expérimentation.

Une observation visuelle (décoloration, jaunissement, dépigmentations, flétrissement...) a été signalée.

III.2.1. Paramètres morphologiques

III.2.1.1. Pourcentage de germination :

C'est le pourcentage maximal de grains germés sur le nombre total de grains mis à germer, elle s'exprime en pourcentage (%) selon la formule suivante. Rappelons que la germination des grains est considérée positive quant les radicules atteignent 5mm de longueur (**Kauret Duffus; 1989**).

$$\text{Taux de germination \%} = \frac{NG}{NGG} \times 100$$

NG: nombre de graines germées.

NGG: nombre de graines mises à germer.

III.2.1.1.1. Mesure des paramètres de croissance :

- **Longueur moyenne des racines et feuilles :**

Les plantules sont délicatement retirées des pots, L'élongation des parties aériennes et racinaires a été mesurée après la récolte, à l'aide d'un ruban gradué en centimètre (cm).



Figure 11: la lecture longue et nombre des Feuilles et des racines

III.2.2. Paramètres biochimiques:

III.2.2.1. Détermination des concentrations des pigments photosynthétique :

Les concentrations des chlorophylles sa, bon été valuées en adoptant la méthode donnée par **Arnon (1949)**. Les mesures optique sont été mesurées à des longueurs d'onde de 663 et 645nm.

- 0,5 g des feuilles coupés dans un mortier maintenu à la glace + une pincée de sable stérilisé et une pincée de carbonate de calcium (CaCO_3) pour neutralisée l'acidité du milieu
- L'ensemble est broyé avec 4ml d'acétone à 95 %
- Le broyat est centrifugé à 2500 t /5min
- 1ml de surnageant est prélevé + 4ml d'acétone à 95 % (En agitant bien le mélange).
- La densitéoptique (D_o) des extraits pigmentaires est lue respectivement à 645 et 663 nm



A

B

C

D

Figure 12 :Détermination des concentrations des pigments photosynthétique

Les concentrations en mg/l de solutés des chlorophylles sont données par les formules suivantes (Taffouo et al, 2008)

Ch a = $12,7 - 2,69 x$ Où :

Ch b = $22,99 x - 4,68 y$ x : est l'absorbance de chlorophylle à 645 nm.

Ch (a+b) = $20,21 x + 8,02 y$ y : est l'absorbance de chlorophylle à 663 nm.

III.2.2.2. Détermination des concentrations des sucres solubles totaux :

Les sucres solubles sont dosés selon Dubois et al, 1956.

- 100 mg de racines ou feuilles mise dans des tubes à essai.
- L'extraction des sucres solubles se fait après macération du végétal dans de l'éthanol à 80 % (2ml) pendant 48 heures à l'obscurité.
- Au moment du dosage, les tubes sont placés dans l'étuve à 80°C pour faire évaporer l'alcool.
- Dans chaque tube, on ajoute 20 ml d'E.D à l'extrait (C'est la solution à analyser).
- Dans des tubes à essai propres, on introduit 1ml de phénol à 5%.

- Les tubes sont soigneusement agités.
- Ajouter à l'aide d'une pipette 5ml d'acide sulfurique concentré 96%.
- Vortex, les tubes sont maintenus à 100°C pendant 5 min.
- Refroidir les tubes dans un bain glacé.
- Placer les tubes à l'obscurité pendant 30 min.



Figure 13: Détermination des concentrations des sucres soluble totaux

Les mesures d'absorbance sont effectuées à une longueur d'onde de 492 nm ou 480 nm.

La courbe d'étalonnage est réalisée selon l'équation suivant : $Y=39,94 X$

III.2.2.3. Dosage des protéines:

Les protéines sont dosées selon la méthode de **Bradford(1976)**, qui utilise le bleu brillant de Coomassie G250 comme réactif et le sérum d'albumine bovine (BSA) comme standard.

Le dosage s'effectue en 3 étapes:

III.2.2.3.1. Préparation de l'échantillon:

(0.1g) de l'échantillon de chaque concentration est broyé dans un mortier avec 5ml d'eau distillée, puis filtré et versé dans des tubes avec 5 autres contenant de l'eau distillée.

III.2.2.3.2. Préparation de réactif de Bradford:

Pour préparer ce réactif, il faut prendre 0.1g de BBC (Bleu brillant de Coomassie), lui ajouter 50ml d'éthanol à 95% puis le placer sur un agitateur pendant 2 heures. Rajouter ensuite 100ml d'acide orthophosphorique à 85% et compléter à l'eau distillée jusqu'à 1 litre.

III.2.2.3.3. Préparation de la solution mère :

Solution mère de BSA (Albumine Sérum de Bœuf) à 1mg / ml dans de l'eau distillée.

- BSA = 1mg
- Eau distillée = 1 ml

Réalisation de la gamme d'étalonnage :

Tube à essai	1	2	3	4	5	6
BSA (µl)	0	20	40	60	80	100
H ₂ O distillée (µl)	100	80	60	40	20	0
BBC (ml)	4	4	4	4	4	4
BSA (µg)	0	20	40	60	80	100

- Agiter les tubes par vortex.
- Lecture des absorbances à une longueur d'onde de 595 nm
 ⇒ Coloration bleue.

Dosage des échantillons :

- 100 μ l du surnageant + 4 ml de BBC.
- Agiter les tubes par vortex.
- Lecture des absorbance à 595 nm
- Contre un blanc avec 100 μ l d'eau + 4 ml de BBC



Figure 14: Dosages des protéines

PARTIE IV. RESULTATS ET DISCUSSION

IV.1. Résultats et discussion :

IV.1.1. Effet du Cd, Pb et Nacl sur les paramètre morphologiques :

IV.1.1.1. Taux de germination :

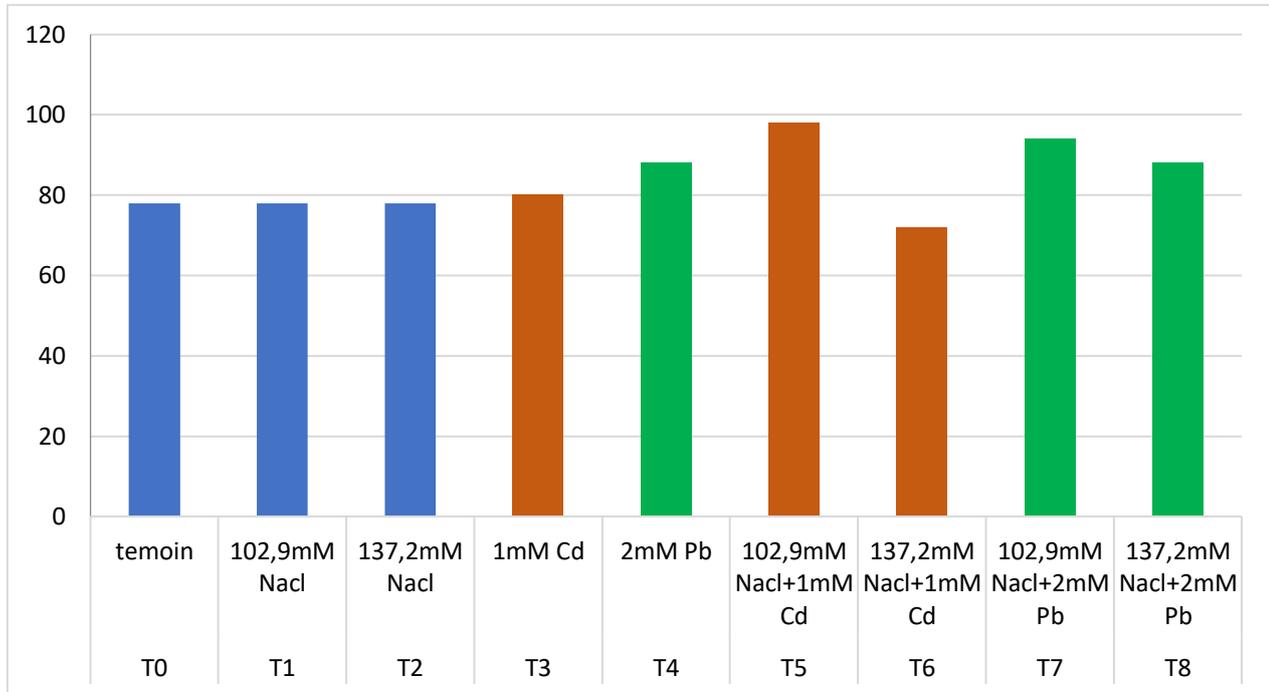


Figure 15: Variation des taux de germination final en fonction des traitements

Le taux de germination final des graines testés est un caractère qui dépend directement de la nature des traitements qu'ils subissent. En effet, la germination des graines a augmenté de manière significative chez les graines traitées par la combinaison Sel-Cadmium (Cd+102,9 NaCl), Sel-Pb ou Sel, Cd et Pb seul. La diminution de taux de germination s'avère non significative au niveau des graines traitées par la combinaison Sel-Cd (Cd+137,2mM NaCl) (Figure 15).

Certaines études ont montré que l'augmentation de la concentration des sels retarde la germination (Askri et al.,2007), et réduit le pourcentage final de germination(Othman et al., 2006 ; Askri et al., 2007 ; Bouda etHaddioui, 2011 ; Yousofinia et al., 2012 ; Mranilaoui et al., 2013 ; El Goumi, 2014 ; Ndiaye et al., 2014). Cette diminution est due selon Othman et al.

(2006), à la réduction de l'utilisation des réserves des grains. **Norlyn(1980)**, **in Zid et Grignon (1991)** ; **Shannon et al. (1993)**, considèrent qu'il n'y a pas de corrélation entre le rendement au stade adulte et la résistance au stress salin en phase de germination. Cependant, **Khan et Rizvi (1994)**, signalent que la germination est un facteur déterminant pour la réussite de la croissance des plantes en milieu. Les observations morphologiques sont également en accord avec les travaux de **Rechachi M,Z et al (2020)** qui confirment la tolérance de l'orge aux contraintes salines.

IV.1.2. Effet combiné de stress salin et métallique (NaCl, Cd et Plomb) sur l'élongation de la partie racinaire :

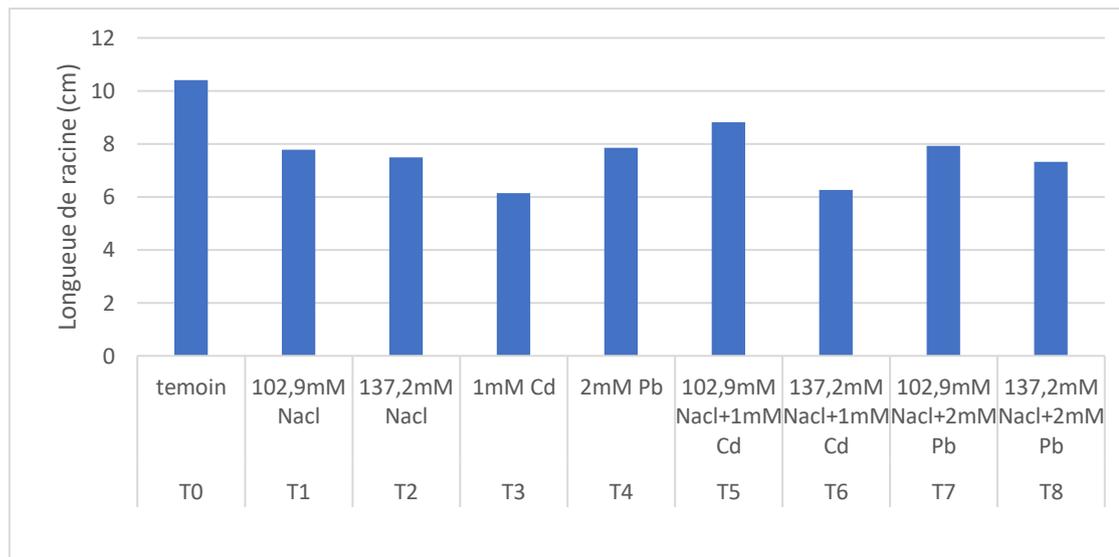


Figure 16: Effet combiné de stress salin et métallique (NaCl, Cd et Plomb) sur l'élongation de la partie racinaire

La (figure 16) qui représente, la variation de la croissance racinaire des plantules cultivées sur un sol contaminé ou non par du Cd et Pb en présence de doses croissantes de NaCl (0, 3 et 6 g/l), montre que les traitements enregistrent une diminution inversement proportionnelle avec l'accroissement des doses, comparativement aux plantes témoins. On

remarque que plus la concentration de NaCl augmente, plus la longueur des racines diminue. Ces résultats coïncident avec ceux obtenus par **Ben Naceur et al. (2001)** et **Benderradji et al.(2011)** sur des variétés d'orges et de blé.

Le Pb provoque une nette diminution de l'élongation de la partie racinaire chez la dose de 2mM suivie par une démontions à la dose 1mM de Cd comparativement au témoin. Cette diminution est inversement proportionnelle aux doses de Pb combinées avec 102,9mM de NaCl. L'élongation la plus élevée de la partie racinaire est enregistrée à la dose de 1mM de Cd combinée avec 102,9mM de Na Cl (41 cm), et la plus faible élongation de la partie racinaire est enregistrée à la dose de 1mM de Cd (6 cm).

IV.1.3. Effet combiné de stress salin et métallique (NaCl, Cd et Plomb) sur l'élongation de la partie aérienne :

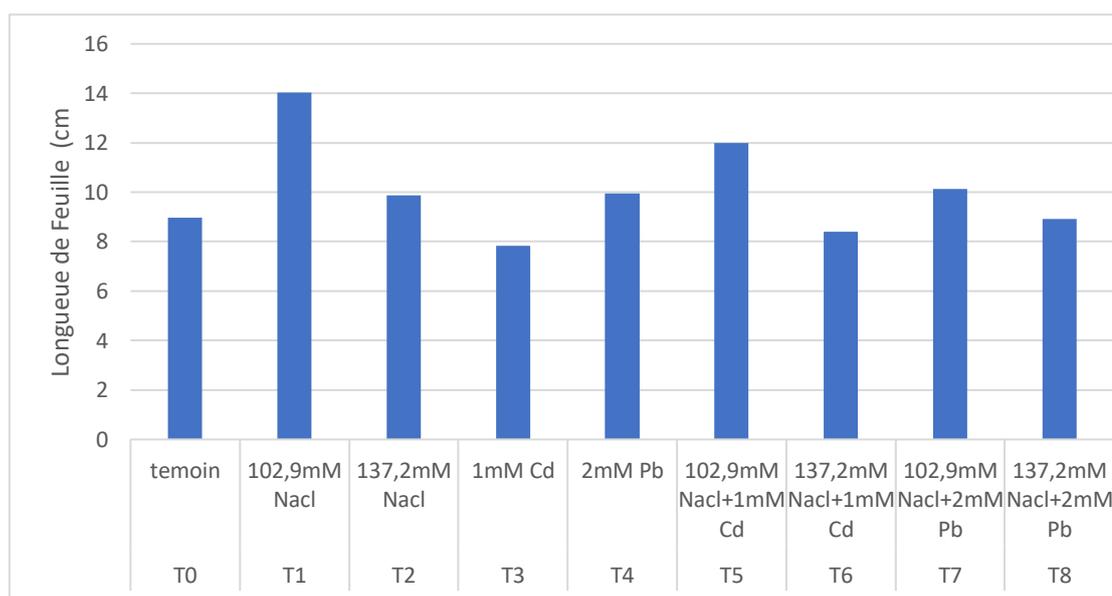


Figure 17: Effet combiné de stress salin et métallique (NaCl, Cd et Plomb) sur l'élongation de la partie aérienne

D'après ces résultats, on remarque que l'effet du stress salin sur la longueur des feuilles est net ; plus la concentration du NaCl augmente, plus la taille des feuilles augmente. Cette augmentation est inversement proportionnelle aux doses de Pb, Cd combinées avec de NaCl.

IV.1.4. Paramètres biochimique :

IV.1.4.1. Impact d'un traitement au cadmium et plomb associé à un stress salin sur la synthèse chlorophyllienne chez l'orge :

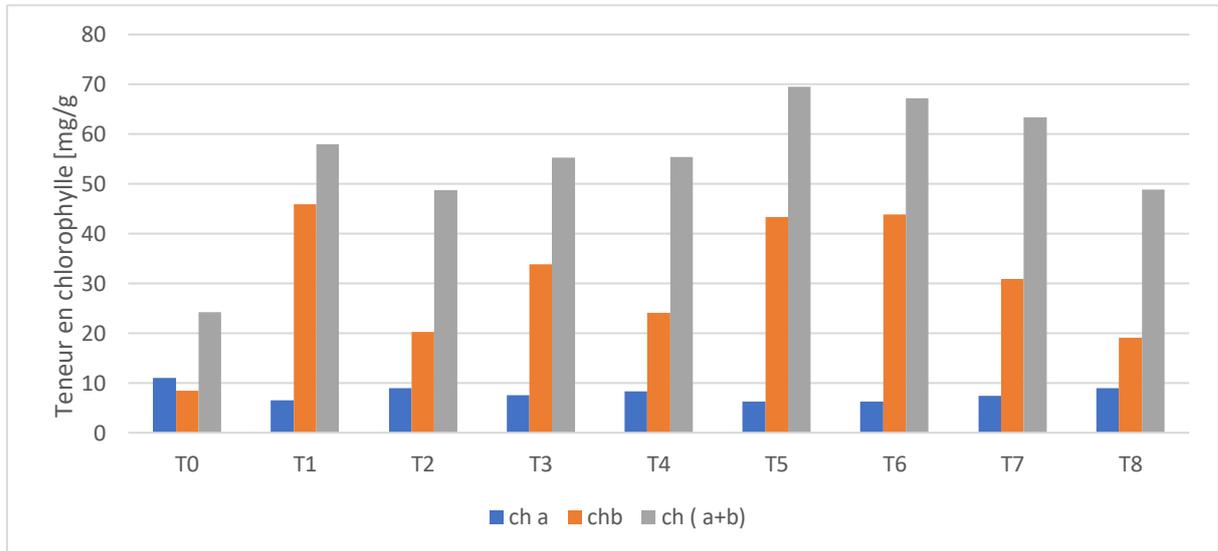


Figure 18: Variations des teneurs en chlorophylles a, b et totales (mg/g) dans les feuilles

La (figure 18) montre que le traitement salin seul perturbe la teneur en chlorophylles totales qui augmente par rapport au témoin. Cette augmentation peut atteindre 50mg/g à la concentration (3 g/l) de NaCl. Elle est essentiellement liée à une réduction de la teneur en chlorophylle a. Les valeurs de la teneur en chlorophylle b varient peu, quelle que soit la concentration en NaCl. Par contre, en présence de Cd, la plante semble être protégée, les teneurs en chlorophylles sont moins affectées et cela est particulièrement visible en présence de la concentration de 3 g/l en NaCl.

La diminution de la quantité des chlorophylles est un symptôme de toxicité chez les plantes. Une telle diminution provoquée par le stress cadmique a été observée chez les plantes halophytes *Tamarix smyrnensis* (Kadukova et al., 2008) et *Mesembryanthemum crystallinum* (Ghnaya et al., 2005). Durant notre expérimentation, l'augmentation du taux de chlorophylle

est observée au présence de NaCl, alors que la présence de Cd et du mélange Cd/NaCl améliorent ce même taux. Ceci confirme une fois de plus le rôle positif des faibles concentrations de Cd sur la plante *Atriplex nummularia*. Ce qui est à relier avec les observations faites précédemment sur la croissance de la plante. *Sesuviumportula castrum* est une autre plante halophyte qui semble être également tolérante au Cd (Ghnaya et al., 2005, Mariem et al., 2014).

En présence de 0,4 g/l d'acétate du plomb, la teneur en chlorophylle totale des feuilles des plantes de la variété d'orge Rihane est légèrement supérieure à celle enregistré chez les plantes témoins soit 30% d'augmentation (différence significative).

IV.1.4.2. Impact d'un traitement au cadmium et plomb associé à un stress salin sur la synthèse des sucres solubles chez l'orge :

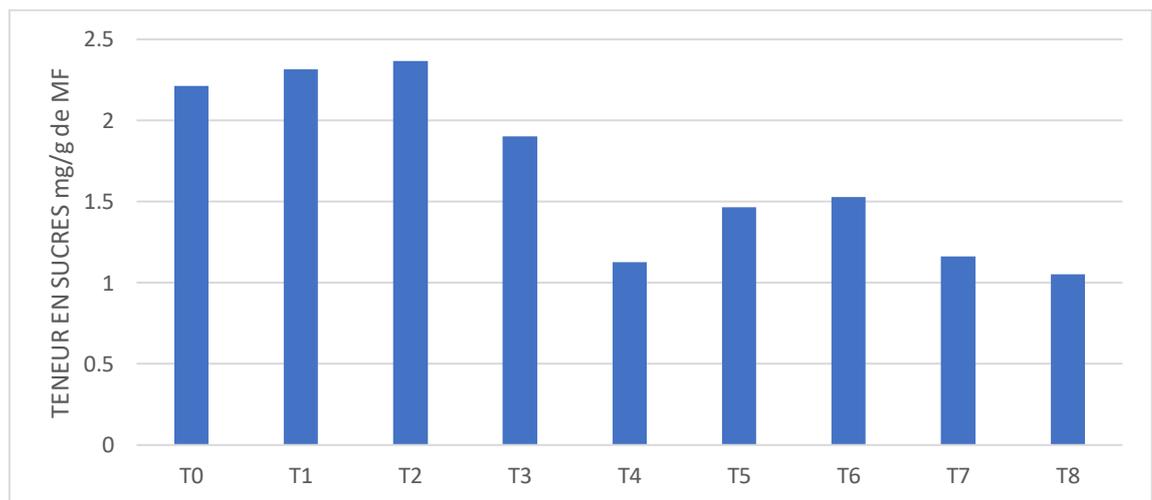


Figure 19: Evolution des teneurs en sucres solubles totaux des tissus de la partie racinaire

Les sucres sont les éléments carbonés primaires synthétisés et distribués dans toute la plante lors de la photosynthèse ; ils peuvent aussi agir en tant qu'osmo-régulateurs lors d'un stress.

La (figure 19) représente la variation de la teneur en sucre soluble des parties racinaires suite aux différents traitements. L'addition d'une forte concentration de NaCl au milieu de culture et en présence de Cd et Pb produit

une forte variation de la teneur en sucre, avec une augmentation de plus de 2mg/g par rapport au témoin.

L'accumulation des sucres solubles dans a été largement rapportée comme une réponse au stress salin et /ou métallique. En effet, chez plusieurs espèces halophytes, comme *Suaedaphysophora* (Song et al., 2006b) et *Kochiaprostrata* (Karimi et al., 2005), ces études ont montré que l'ajout du sel dans le milieu de culture entraîne une augmentation de ces solutés au niveau de la plante. Les sucres solubles participeraient au phénomène d'ajustement osmotique (Arbona et al., 2005). Les sucres accumulés viennent essentiellement de l'hydrolyse des réserves d'amidon ou du blocage de la glycolyse (Hare et al., 1998). Dubey et Singh (1999) ont observé une dégradation de l'amidon accompagnée d'une augmentation des teneurs en sucres solubles qui peut être attribuée à une augmentation de l'activité de l'amidon phosphorylase, à celle du glucose phosphatase synthétase et à une diminution de l'activité de l'invertase. Pareillement, l'accumulation des sucres solubles peut être aussi due à la présence des métaux lourds dans le milieu de culture, à l'exemple de ce qui a été rapporté, pour l'arsenic, par Jha et Dubey (2004), résultat d'une altération des activités enzymatiques notamment l'invertase acide, le saccharose synthase et l'amidon phosphorylase. Costa et Spitz (1997) observent également une perturbation de la teneur en glucides solubles sous l'effet du Cd qui résulterait de l'action des radicaux libres produits. Les résultats obtenus montrent que l'orge accumule les sucres solubles dans les parties racinaire sous l'action de Pb. Ces résultats sont en conformité avec plusieurs recherches montrant une augmentation des sucres solubles chez *Tetradeniariparia* sous l'effet de Zn (Bibbiani, 2017), chez *Brassicajuncea* traitée par le Cd (Michel, 2008), chez *Atriplex halimus* sous l'action de Pb et Cr (Belarbi, 2018), chez *Phaseolus vulgaris* (Aldoobie et Beltagi, 2013) et chez *Beta vulgaris* (Naderi et al., 2013) sous l'action de Pb. Des recherches récentes ont montré que l'augmentation des sucres solubles concorde avec l'augmentation de la tolérance des plantes aux stress abiotiques (Rosa et al., 2009).

IV.1.4.3. Impact d'un traitement au cadmium et plomb associé à un stress salin sur la synthèse des protéines totaux chez l'orge :

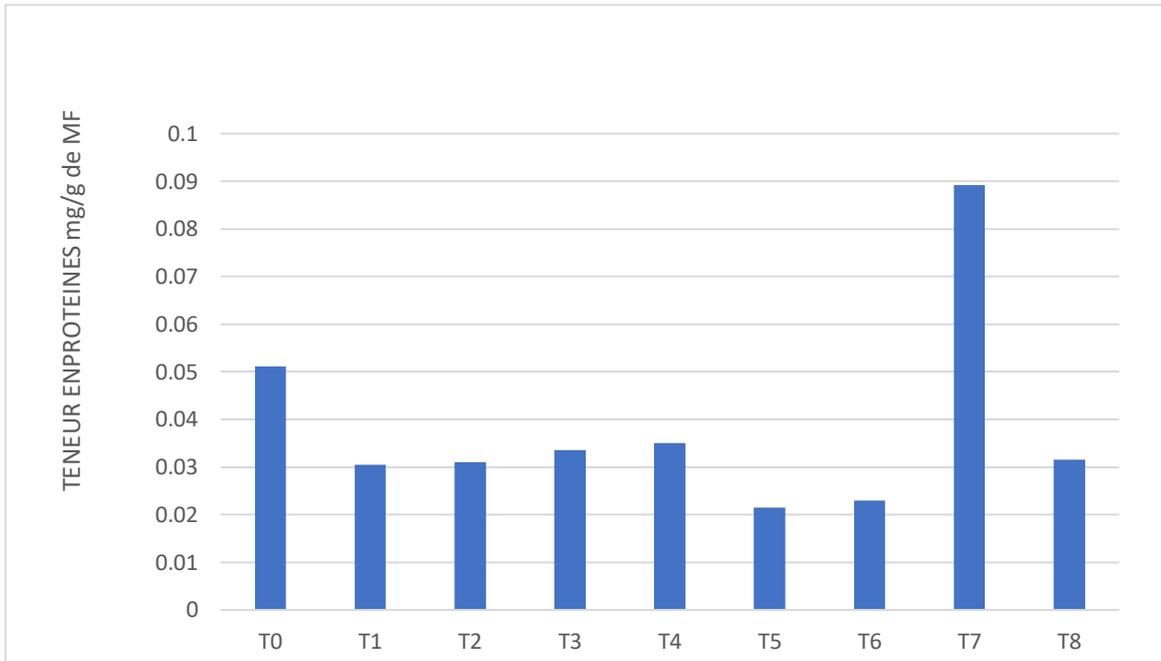


Figure 20: Impact d'un traitement au cadmium et plomb associé à un stress salin sur la synthèse des protéines totaux chez l'orge

La teneur en protéines de la plante traitée par le NaCl, pb et Cd diminue en fonction des doses salines et métalliques par rapport au témoin., cette teneur diminue inversement proportionnelle avec les doses appliquées de Cd-NaCl et Pb-NaCl, hormis une augmentation à la dose métallique de 0.4g/l de Pb et combinée avec 3g/l de NaCl (Fig.20).

Les résultats illustrés par (la figure 20) montrent que l'acétate de plomb a un effet marqué sur la teneur en protéine au niveau des feuilles qui augmente substantiellement avec les concentrations appliquées. Dans les feuilles des plantes témoins de la variété d'orge Raihane, une teneur en protéine de 0,05 mg/g de MF est enregistrée. Cette quantité diminue

progressivement et de manière significative pour atteindre 0,02 mg/g MF chez les plantes traités avec la [0,1 g/l] de Cd.

La réduction des protéines à cause des métaux lourds peut être expliqué par des réactions de protéolyse et libération d'acides aminées (**Berlett et Stadtman, 1997 ; Siedlecka et Krupa, 2002 ; Hsu et Kao, 2003 ; Pena et al., 2006 ; Sharma et Dietz, 2006**). D'autres auteurs comme (**Shraddha Singh et al., 2004**) ont trouvé une accumulation nette des protéines dans les racines et les feuilles de tomate, proportionnelle à la concentration du métal étudié. En revanche et d'une manière générale, (**Stalt et al., 2003**) ont indiqué que l'exposition des plantes à différentes concentrations de cadmium a tendance à stimuler la synthèse des protéines particulièrement, les phytochélatines dont le rôle est la détoxification

PARTIE V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Conclusion

Cette étude expérimentale a été entreprise dans le but d'étudier la tolérance de la variété algériennes d'orge (Rihane) à la salinité et aux métaux lourds, et d'identifier d'éventuels critères agro-physiologiques pour l'évaluation du degré de tolérance. Les résultats obtenus nous permettent de tirer les conclusions suivantes:

La salinité provoque une augmentation de tous les paramètres relatifs à la croissance de plante, et provoque une augmentation des osmorégulateurs et indicateurs de stress dans les deux parties aérienne et racinaire.

Raihane n'est pas affecté fortement par les métaux lourds au point que le stress provoque des modifications remarquables au niveau des paramètres étudiés de la plante, cette espèce présente un ordre de sensibilité vis-à-vis les métaux lourds : Pb < Cd.

L'interaction salinité-métaux lourds montre que la salinité favorise la tolérance de Raihane contre les métaux lourds Pb et Cd, par l'augmentation de la teneur en chlorophylle, sucre soluble de cette plante

Il est important aussi de noter que les teneurs en Pb et Cd enregistrées sont plus importantes au niveau des parties aérienne et racinaire lorsque ces métaux sont combinés avec le NaCl par rapport à l'application des métaux.

Nos résultats suggérant d'une manière générale que la solution saline additionnée au plomb et cadmium a administrés par l'orge (*RIHANE*.) induit une tolérance de cette espèce au stress abiotique appliquée. tandis que le cadmium est le métal le plus toxique par rapport au plomb.

PARTIE VI. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- Abbas, K., Madani, T., Bouzina, M. H., Laouar, M., Abdelguerfi, A., & Tedjari, N. (2008).** Evaluation of a regenerated natural meadow in a semi-arid area of Algeria. *Option méditerranéennes A*, 79, 179-185.
- Adriano, D. C. (2001).** *Trace elements in terrestrial environments: biogeochemistry, bioavailability, and risks of metals* (Vol. 860). New York: Springer.
- AFNOR ,(1988).** Prélèvement et dosage du plomb dans les aérosols. Paris-La Défense, sept 1988.
- AGRI-VISION 2003-2004, 8p.
- Aldoobie, NF., Beltagi, MS. (2013).** Physiological, biochemical and molecular responses of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants to heavy metals stress. *Afr J Biotechnol* 12, 4614-4622
- ANDREW C., KAREN P. S., IRENE A. G., ALEXANDER A. C., CATHY H., JOHN W. et PETER M., (2017).** The agronomic performance and nutritional content of oat and barley varieties grown in a northern maritime environment depends on variety and growing conditions. *Journal of Cereal Science*. Volume 74. P: 1-10.
- Ansari, A.A., Gill, S.S., Gill, R., Lanza, G.R. and Newman, L. (2016).** *Phytoremediation: Management of Environmental Contaminants*. Springer International Publishing.
- ANTONIO ,J. ROXANA ,S. et GUSTAVO, A.(2014).** Is time to flowering in wheat and barley influenced by nitrogen. A critical appraisal of recent published reports. *European Journal of Agronomy*. Volume 54. March 2014. P: 40-46
- application des modèles AMMI et la régression conjointe. *Nature et Technologie*, 5:
- Arbona V., Marco A.J., Iglesias D.J., Lopez-Climent M.F., Talon M., GomezCadenas A. (2005)** Carbohydrate depletion in roots and leaves of salt-stressed potted *Citrusclementina*L. *Plant Growth Regul.* 46: 153-160.
- ARRIS, S.(2008)** « Etude expérimentale de l'élimination des polluants organiques et inorganiques par adsorption sous produits de céréale » Thèse de doctorat de l'université de Constantine- Algérie).

-
- Ashraf, M.(1994).** Salt tolerance of pigeon pea (*Cajanuscajan*(L.) Millsp.) at three growth stages. *Ann. Appl. Biol.*, 124: 153-164.
- Ashraf, M.A., M. Ashraf, M. Shahbaz.(2012).** Growth stage-based modulation in antioxidant defense system and proline accumulation in two hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars differing in salinity tolerance. *Flora*, 207: 388–397.
- B.V. Rotterdamseweg** ,*Water Treatment & Purification*,1999, The Netherlands.
- Baath ,E.(1992):** Measurement of heavy metal tolerance of soil bacteria using thymidine incorporation into bacteria extracted after homogenization-centrifugation, *J. Soil Biology and Biochemistry*. 24 1167-1172.
- Baize ,D.(1997).** Teneurs en éléments traces métalliques dans les sols (France), *INRA Editions, Paris,- ISSN : 1250-5218 – ISBN : 2-7380-0747-3*, pages 408.
- Baker, A. J. M., Walker, P. L. (1990).** "Ecophysiology of metal uptake by tolerant plants." *Heavy metal tolerance in plants: evolutionary aspects.* , A. J. Shaw, ed., CRC press, Boca Raton, Florida, pp155-177
- Barcelo, J., Poschenrieder, C., Andreu, I., & Gunse, B. (1986).** Cadmium-induced decrease of water stress resistance in bush bean plants (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Contender) I. Effects of Cd on water potential, relative water content, and cell wall elasticity. *Journal of plant physiology*, 125(1-2), 17-25.
- Belarbi, A. (2018).** **Physiological** and phytochemical study of tolerance to heavy metals Pb, Cr (III) and Cr (II) by *Atriplex halimus* L. PhD thesis, Mostaganem University, Algeria
- Benaceur, M., Rahmoun ,C., Sdiri H., Medahi ,M. et Selmi ,M.(2001) :** Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production des grains de blé. *Sécheresse*, 12 (3): 167-174.
- Benhamou, A .,Bakir ,A.(2016):**Effet du plomb sur quelques paramètres biométriques de la fève (*Vicia faba* L.).Mémoire master. Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem .
- Bibbiani, S. (2017).** **Zn** stress in *Tetradenia riparia*. Analysis of physiological responses, interaction with water stress and VOCs emission. These du doctoratL’université de Florence, Italie

- Blanchard, C.(2000).**Caractérisation de la mobilisation potentielle des polluants inorganiques dans les sols pollués. Thèse Chimie, spécialité Sciences et Techniques du Déchet. L .France : INSA de Lyon, p301.
- Bothmer ,R., Belay ,T., Knupffer H., Sato K.(2003).** Diversity in barley (*Hordeum vulgare*), Ed. Elsevier, Amsterdam. P: 4-10-13-179-190.
- Botineau ,M.(2010).** Botanique systématique et appliquée des plantes à fleurs, Ed. TEC. Paris. P : 224-227.
- Boufenar, Z., Zaghouane ,O., Zaghouane F.,(2006).** Guide des principales variétésde céréales à paille en Algérie. Ed. ITGC, ICARDA., Alger, 154 p.
- Boukortt,Y.(2017);** Effets de la salinité sur les caractéristiques physico-chimiques d'un sol du périmètre du Bas Cheliff et surle comportement écophysologique de la courgette (*Cucurbitapepo*) . Mémoire master . Université Abdelhamid Ibn Badis- Mostaganem.
- Boulal H., Zaghouane O., El Mourid M., et Rezgui L.(2007).** Guide pratique de la conduit des céréales d'automne (blés et orges) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). Ed. TIGC, INRA, ICARDA, Algérie, 176 p.
- Bounab ,S., Sahli Imen N.R .(2014).** Etude de l'activité de la peroxydase (POD) et de la catalase (CAT) chez *Lens culinaris* contaminée par le cadmium. Mémoire de Master. Université Constantine 1.
- Bouzerzour ,H., Benmahammed ,A.(1993).** Environmental factors limiting barley yield in the high plateau of Eastern Algeria. *Rachis*, **12** (1) :14 – 19.
- Brignon, J. M., Malherbe, L., & Soleille, S. (2005).** Les substances dangereuses prioritaires de la directive cadre sur l'eau-Fiches de données technico-économiques. *Rapport final No. INERIS DRC_MECO_2004_59520*). INERIS, Verneuil en Halatte.
- Brink ,M., Belay G.(2006).** Ressources végétales de l'Afrique tropicale vol. : 1. Céréales et légumes secs. Ed. PROTA. Pays-Bas. P : 92-93-94-95-96.
- Chaignon ,V.(2001).** Biodisponibilité du cuivre dans la rhizosphère de différentes plantes cultivées. Cas de sols viticoles contaminés par des fongicides. Thèse : Ecole doctorale, Sciences de l'Environnement : Système Terre, Université d'Aix-Marseille.

- Cheeman, (1988), Munns, (1993):** Physiological processes limiting plant growth in saline soils: some dogmas and hypotheses. *Plant, Cell and Environment* pp15-24.
- Chinnusamy, V., Schumaker, K., & Zhu, J. K. (2004).** Molecular genetic perspectives on cross-talk and specificity in abiotic stress signalling in plants. *Journal of experimental botany*, 55(395), 225-236.
- Citeau, L. (2004).** Etude des colloïdes naturels présents dans les eaux gravitaires de sols contaminés: relation entre nature des colloïdes et réactivité vis-à-vis des métaux (Zn, Cd, Pb, Cu) (Doctoral dissertation, Paris, Institut national d'agronomie de Paris Grignon).
- Clément, G., et Prats J.(1971).** Les céréales. Ed. Baillière et Co., Paris, 51 p.
- Clément, G.(1981).** Dictionnaire Larousse Agricole, Ed. Librairie Larousse, paris, 1207 p.
- Clément, G., et Prat.(1970).** Les céréales. Collection d'enseignement agricole. 2ème
- Colinet, G. (2003).**Eléments traces métalliques dans les sols: Contribution à la connaissance des déterminants de leur distribution spatiale en région limoneuse belge, These de Gembloux.
- Costa G., Spitz E. (1997) Influence of cadmium on** soluble carbohydrate, free amino acids, protein content of in vitro cultured *Lupinus albus*. *Plant Sci.* 128: 131-140.
- Couture, I.(2004).** Analyse d'eau pour fin d'irrigation, MAPAQ Montérégie-Est,
- de la Rosa, G., Peralta-Videa, J. R., Montes, M., Parsons, J. G., Cano-Aguilera, I., & Gardea-Torresdey, J. L. (2004).** Cadmium uptake and translocation in tumbleweed (*Salsola kali*), a potential Cd-hyperaccumulator desert plant species: ICP/OES and XAS studies. *Chemosphere*, 55(9), 1159-1168.
- Debez et al.(2001):** Leaf H⁺-ATPase activity and photosynthetic capacity of *Cakile maritima* under increasing salinity. *Environ Exp Bot* 57:285–295.
- Deneux-Mustin S., Roussel-debet S., Mustin C., Henner P., Munier-Lamy C., Colle C., Berthelin J., Garnier-Laplace J., leyval C., (2003).** Mobilité et transfert racinaire des éléments en traces : influence des micro-organismes du sol. Lavoisier. Londre-Paris- New York. 281 p.
- Derakaoui,M., koucem,E ., Benouaddane, A .(2018) ;** Effet combiné de stress salin-métallique (cuivre, zinc) sur les paramètres morpho-physiologiques et biochimiques

chez la fève (*Vicia faba* L.) . Mémoire master . Université Abdelhamid Ibn Badis-
Mostaganem .

description des genres, Ed., I. R. A. T., paris, 3 p.

Devi, S. R., & Prasad, M. N. V. (1999). Membrane lipid alterations in heavy metal exposed plants. In Heavy metal stress in plants (pp. 99-116). Springer, Berlin, Heidelberg.

Dietz, K. J., Baier, M., & Krämer, U. (1999). Free radicals and reactive oxygen species as mediators of heavy metal toxicity in plants. In: Prasad, M.N.V. & Hagemayer, J. (Eds.). Heavy metal stress in plants: From molecules to ecosystems. Springer-Verlag, Berlin, pp. 73-97.

Dita, M. A., Rispaïl, N., Prats, E., Rubiales, D., & Singh, K. B. (2006). Biotechnology approaches to overcome biotic and abiotic stress constraints in legumes. *Euphytica*, 147(1), 1-24.

Doré, C., Varoquaux, F.(2006). Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées. Ed. INRA. P: 497.

Dubey R.S., Singh A.K. (1999) Salinity induces accumulation of soluble sugars and alters the activity of sugar metabolising enzymes in rice plants. *Biol. Plant.* 42(2): 233- 239

Dutuit, P., Pourrat, Y ., Dutuit, J .M.(1994).La notion de stress de la cellule à l'écosystème. *Sécheresse*, **Vol. 5**, N°. 1: 23- 31.

édition, Ed. Baillièrre et Co., Paris, 351-360 p.

Eliard, J. L. (1979). Manuel d'agriculture générale, Ed. J. B. Baillièrre, Paris, 344 p.

Esteban, R.(2006) .Tolerance et accumulation des metaux lourds par la vegetation spontan_ee des friches m_etallurgiques : vers de nouvelles methodes de bio-depollution *Vegetal Biology*.Universit_e Jean Monnet - Saint-Etienne, 2006. French

Federico ,M., Amedeo, R., Massimo, B., (2014). Enhancing grain yield and quality of winter barley through agronomic strategies to prolong canopy greenness. *Field Crops Research*. P: 170.

Félix ,H .J.(1962). les graminées d'Afrique tropicale vol.1: généralités, classification

- Flaten ,O., Bakken ,K.,Randby ,T.(2015).** The profitability of harvesting grass silages at early maturity stages: An analysis of dairy farming systems in Norway. *Agricultural Systems*. Volume 136. P: 85-95.
- François, J., Gaudry ,M.(2016).** Les végétaux, un nouveau pétrole ?, Ed. Quae, paris, 129 p.
- Frery ,N., Nessmann C., Girard ,F., Lafond, J., Moreau, T., Blot, P., Lellouch, J., Huel ,G (1993) .** Environmental exposure to cadmium and human birthweight. *Toxicology* **79**:109-118.
- Gate P., (1995).** Ecophysiologie du blé, Ed. I. T. C. F. Technique et Documentation,
- Géological. U.S,(1984):** Represents analyses from soils and other surficial materials from throughout the continental United States (regoliths including desert sands, sand dunes, loess deposits, and beach and alluvial deposits containing little or no organic matter.
- Greenway, H., R. Munns.(1980).** Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. *Annu. Rev. Plant. Physiol.*, 31: 49-90.
- Guerrier.(1984) :** Relations entre la tolérance ou la sensibilité à la salinité lors de la germination des semences et les composantes de la nutrition en sodium. *Biologia Plantarum (PRAHA)* Vol. 26, n°1, pp. 22-28.
- Guoping,Z.(2009).** genetic and improvement of barley malt quality, Ed. Springer,
- Hajlaoui ,H., Denden ,M ., Bouslama, M.(2007).** Etude de la variabilité
- Hammadache, Z., Guerrache, S., Saib S.(2015).**Evaluation du transfert des métaux lourds dans le système sol-plante (*Phragmites australis*) dans le bassin versant d'oued NIL la région de Jijel. Mémoire master . universite m'hamed bougara boumerdes.
- Hasegawa, P. M., Bressan, R. A., Zhu, J. K., & Bohnert, H. J. (2000).** Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual review of plant biology*, 51(1), 463-499.
- Hopkins, G W.(2003).** Physiologie végétale, Traduction de la 2e édition américaine par Serge Rambour, Révision scientifique de Charles-Marie Evard, De Boeck, Bruxelles, 514p.
- Huynh, T. M. D. (2009).** Impact des métaux lourds sur les interactions plante/ver de terre/microflore tellurique (Doctoral dissertation, Paris Est). p169.

Ilyasova ,D., Schwartz ,GG (2005) Cadmium and renal cancer. *Toxicol Appl Pharmacol* **207**: 179-186

intraspécifique de tolérance au stress salin du pois chiche (*Cicer arietinum* L.) au

InVS. (2006). Guide d'investigation environnementale des cas de saturnisme de l'enfant. Institut de Veille Sanitaire.

Ishida, H., Yoshimoto, K., Izumi, M., Reisen, D., Yano, Y., Makino, A., Ohsumi, Y., Hanson, MR., Mae, T. (2008). Mobilization of Rubisco and Stroma-Localized fluorescent Proteins of Chloroplasts to the Vacuole by an ATG Gene-Dependent Autophagic Process. *Plant Physiol.* p148.

Juste, C.(1988). Appreciation de la mobilité et de la biodisponibilité des éléments en traces.

Kabata- Pendias A., Pendias H.(2001). Trace éléments in soils and plants, *Third Edition* CRC press, Boca Raton, USA. science, NY, USA, 366 p

Kabata-Pendias A., Pendias H.(1992). Trace elements in soils and plants. London (UK) CRC Press, 2nd Ed.

Kafkai ,(1991): Root growth under stress. *Plant roots: the hidden half.* New York, USA: Marcel Dekker, pp375-391

Katembe, W. J., Ungar, I. A., & Mitchell, J. P. (1998). Effect of salinity on germination and seedling growth of two *Atriplex* species (Chenopodiaceae). *Annals of Botany*, 82(2), 167-175.

Khan, (2001) in Haouala et al,(2007) : Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na^+ , K^+ et Ca^{2+}) et du chlore (Cl^-) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent, p. 235-244. Disponible sur : <http://www.pressesagro.be/base/text/v11n3/235.pdf>

Khan, M.H and Panda ,S.K.(2008): Alterations in root lipid peroxidation and antioxidative responses in two rice cultivars under NaCl- Salinity stress, *Acta physiol plant*, 30, 90- 89.

Kolonel, L. N. (1976). Association of cadmium with renal cancer. *Cancer*, 37(4), 1782-1787.

- Krupka, K.M.(1999).** Understanding variation in partition coefficient, kd, Values. Environmental protection Agency.
- l'interaction génotype x milieux du rendement de l'orge (*Hordeum vulgare* L.):
- Lallemand-Barrés ,A. (1980).** Aménagement des sols salés irrigation avec des eaux salées étude documentaire. Bureau de recherches géologiques et minières service géologique national, 34p .
- Lane, E.A., Canty, M.J., More ,S.J . (2014).** Cadmium exposure and consequence for the health and productivity of farmed ruminants. Research in Veterinary Science 101, 132-139. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rvsc.2015.06.004>.
- Lavoisier, Paris, 419 p.
- Le Goff ,F., Bonnomet, V.(2004).** Devenir et comportement des métaux dans l'eau : biodisponibilité et model BLM. Rapport technique, ministère de l'écologie et du développement durable direction de l'eau, paris
- Leclerc, J. C. (1999).** Écophysiologie végétale–Publication de l'Université de Saint-Étienne. Saint Étienne, 67-84.
- Levitt, 1980 in Haouala et al, (2007) :** Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na⁺,K⁺ et Ca²⁺) et du chlore (Cl⁻) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent, p. 235-244. Disponible sur : <http://www.pressesagro.be/base/text/v11n3/235.pdf>
- Longstreth, D. J., & Nobel, P. S. (1979).** Salinity effects on leaf anatomy: consequences for photosynthesis. Plant Physiology, 63(4), 700-703.
- Loué, A. (1993).** Oligo-éléments en agriculture. Ed. Nathan, p45-177.
- Ipitrid., FAO., CISEAU.,(2006).** Conférence électronique sur la salinisation:Extension de la salinisation et Stratégies de prévention et réhabilitation, 12p.
- Maillard, J. (2001).** Le point sur l'irrigation et la salinité des sols en zone aride: Risques et Recommandations. Handicap International. 34 p.
- Marouf, A., Reynaud, J. (2007).** La botanique de A à Z 1662 définition. Ed. Dunod. p286
- McLaughlin ,M.J., Singh ,BR (1999)** Cadmium in soils and plants, eds. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, pp 273

- Mclaughlin, M.J.,Zarcinas, B.A., Stevens D.P.,Cook ,N. (2000).** Soil testing for heavy metals. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 31 (11-14), 1661-1700.
- Mehallah ,H et Moralent, R .(2019) :** Les réponses écophysiologicals de la tomate (*Solanum lycopersicum* L.) au stress induit par le cadmium et Decis 25 EC.Mémoire master . Université Abdelhamid Ibn Badis- Mostaganem .
- Menad, A., Meziani,N., Bouzerzour, H.et Benmahammed ,A.(2011).** Analyse de
- Mercado, (1973), Briens et Larhe,(1982); in Guerrier, (1984) :** Relations entre la tolérance ou la sensibilité à la salinité lors de la germination des semences et les composantes de la nutrition en sodium. *Biologia Plantarum (PRAHA)* Vol. 26, n°1, pp. 22-28..
- Meziani, N., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Menad, A., & Benbelkacem, A. (2011).** Performance and adaptation of barley genotypes (*Hordeum vulgare* L.) to diverse locations. *Advances in Environmental Biology*, 1465-1473.
- Mezni ,M., Albouchi ,A., Bizid, E. et Hamza ,E.(2002) :** Effet de la salinité des eaux d’irrigation sur la nutrition minérale chez trois variétés de luzerne pérenne (*Medicago sativa*).*Agro.* 22,283–291
- Michel, A. (2008).** **Action** du cadmium sur les plants de moutarde indienne [*Brassicajuncea* (L.) Czern] néoformés à partir de couches cellulaires minces et issus de semis. Analyses physiologiques et rôle des polyamines. Thèse de doctorat, Université de Bretagne Occidentale
- Moule ,C. (1971).** *Phytotechnie spéciale Tome 2 : Céréales*, Ed. la maison rustique, paris, 14-15-16-17-18 p.
- Mukund, J.(2015).** *Textbook of field Crops*, Ed. PHI Learning pvt. LTD, Dehli, 2-69-278 p.
- Munns et Rawson (1999), Maas et Poss (1989), 1986 in Parida A.K., Das A.B., (2005):** Salt tolerance and salinity effect on plants: review. *Ecotoxycology and Environmental Safety*. Vol.60, 349 p.
- Munns, R. (2002).** Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, cell &environment*, 25(2), 239-250.

- Munns, R. (2008):** Sodium excluding genes from durum wheat and sea barley grass improves sodium exclusion of bread wheat. 2nd International Salinity Forum Salinity, water and society global issues, local action
- Munns, R., James, R. A., & Läuchli, A. (2006).** Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of experimental botany*, 57(5), 1025-1043.
- Niu, X., Bressan, R. A., Hasegawa, P. M., & Pardo, J. M. (1995).** Ion homeostasis in NaCl stress environments. *Plant physiology*, 109(3), 735.
- Nultsch, W. (1998)** .Botanique générale. Thiem Verlage
- Orcutt, D. M., & Nilsen, E. T. (2000).** Physiology of plants under stress: Soil and biotic factors (Vol. 2). John Wiley & Sons.
- Ouzounidou, G., Moustakas, M., Eleftheriou, EP. (1997)** Physiological and ultrastructural effects of cadmium on wheat (*Triticum aestivum* L.) leaves. *Arch Environ Contam Toxicol* **32**: 154-160
- Parida, A. K., & Das, A. B. (2005).** Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and environmental safety*, 60(3), 324-349.
- Parida, A. K., Das, A. B., & Mitra, B. (2004).** Effects of salt on growth, ion accumulation, photosynthesis and leaf anatomy of the mangrove, *Bruguiera parviflora*. *Trees*, 18(2), 167-174.
- Pokorny, B., Al Sayegh-Petkovsek, S., Ribaric- Lasnik, C., Vrtacnik, J., Doganoc, DZ., Adamic, M. (2004)** Fungi ingestion as an important factor influencing heavy metal intake in roe deer: evidence from faeces. *Sci Total Environ* **324**: 223-234
- Pourrut, B. (2008).** Implication du stress oxydatif dans la toxicité du plomb sur une plante modèle, *Vicia faba*. Thèse de doctorat de l'université de Toulouse.
- Remon, E. (2006).** Tolerance et accumulation des métaux lourds par la végétation spontanée des friches métallurgiques : vers de nouvelles méthodes de bio-dépollution Végétal Biology. Université Jean Monnet - Saint-Etienne. French
- Robert, N., Juste, C. (1999)** Enjeux environnementaux et industriels- Dynamiques des éléments traces dans l'écosystème sol. In : spéciation des métaux dans le sol, les cahiers du club Crin, Paris, p 15-37.

- Sankaky, 1986** : Loi sur les agences de travail intérimaire (*Rôdôsha hakengyô hô*)
- Savin, R., Slafer, G., Cossani, M., Abeledo, G., et Sadras, V. (2015)**. Chapter 7 - Cereal yield in Mediterranean-type environments: challenging the paradigms on terminal drought. The adaptability of barley vs wheat and the role of nitrogen fertilization In Crop Physiology (Second Edition). Academic Press. San Diego. P: 141-158.
- Seidal, K., Jorgensen, N., Elinder, CG., Sjogren B., Vahter, M. (1993)** Fatal cadmium-induced pneumonitis. Scand J Work Environ Health **19**: 429-431
- Sharma, S.S., Dietz, K.-J. (2009)**: The relationship between metal toxicity and cellular redox imbalance. Trends Plant Sci. 14, 43–50.
- Shilpi, M., et Narendr, A. (2005)**. - Cold, Salinity and Drought Stresses An Overview,” Archives of Biochemistry and Biophysics, Vol. 444, No. 2, , pp. 139-158.
- Silem, F., Tioub, I. (2017)**: Etude du comportement de quelques variétés d’orge (*Hordeum vulgare* L.) vis-à-vis du stress salin. Mémoire master . universite mohamed boudiaf - m’sila .
- Singh et Chatrath, (2001)**: Salinity Tolerance. Crop Improvement Division, Central Soil Salinity Research Institute, Karnal, 132 001 (Haryana), India.
- Soltner, D. (1988)**. Les grandes productions végétales, 16ème éditions, Ed. Les collections sciences et techniques agricoles, 464 p.
- Song, J. I. E., Feng, G. U., Tian, C., & Zhang, F. (2005)**. Strategies for adaptation of Suaeda physophora, Haloxylon ammodendron and Haloxylon persicum to a saline environment during seed-germination stage. Annals of Botany, 96(3), 399-405.
- Srivastava, V. et Gopal, L. (2008)**. History of Agriculture in India, Up to C. 1200 A. D., Ed. concept publishing company. New Delhi. P: 2-120.
- stade germination. Tropicultura. PP: 168-173.
- Sun, N.Z. (1994)**. Inverse problems in groundwater modeling, Theory and applications of transport in porous media v. 6, Dordrecht, Boston: Kluwer Academic, 337 p.
- Tester, N., R. Davenport, (2003)**. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. Annals of Botany, 91: 1-25.
- Ullrich, S. (2010)**. Barley: Production, Improvement and Uses, Ed. willey-blackwell, U. S. A. P: 2-3-12-15-17-253-411.
- Vassilev A, Yordanov I, Tsonev T (1997)** Effects of

Cd²⁺ on the physiological state and photosynthetic activity of young barley plants.

Photosynthetica **34**: 293-302

Vamerali, T., Bandiera, M., Mosca, G. (2010): Field crops for phytoremediation of metal-contaminated land. A review. Environ. Chem. Lett. 8, 1–17.

Vassilev, A., Yordanov, I (1997) Reductive analysis of factors limiting growth of cadmium-treated plants: a review. Bulg J Plant Physiol **23**: 114-133

Veeresh, H, 2003: Sorption and distribution of adsorbed metals in the soils of India applied

Verlag Berlin Heidelberg, 1-63 p.

WEISS, D., SHOTYK, W., KEMPF, O.(1999). Archives of Atmospheric Lead Pollution. Naturwissenschaften. Mémoire de magister de l'université de Tlemcen-Algérie

Wolter, R.(1999). Alimentation du cheval, Ed. France agricole, France, 243 p.

Zorrig, W.(2011). Recherche et caractérisation de déterminants contrôlant l'accumulation de cadmium chez la laitue "*Lactuca sativa*". Thèse de doctorat. Université Montpellier II /SupAgro (France) et Université Tunis El Manar (Tunisie).

(Assouplissement des interdictions concernant cette forme d'emploi)

99 - 106.

<https://agrichem.dz/culture/6/orge/>.

<https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Plomb.html>

<https://www.sante.fr/effets-du-plomb-sur-la-sante>

<httpsfr.wikipedia.org/wiki/Plomb>