

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة مولاي الطاهر، سعيدة
Université MOULAY Tahar, Saida



كلية العلوم
Faculté des Sciences
قسم البيولوجيا
Département de Biologie
Mémoire en vue de l'obtention du Diplôme de Master en
Biotechnologie végétale
Spécialité: Biotechnologie et génomique végétale
Thème :

***Effet du prétraitement de l'acide salicylique (AS) sur la toxicité du plomb
chez l'orge (Hordeum vulgare L.)***

Thèse dirigée par M^{elle} CHIKHI Amira

Présentée par :

- ❖ M^{elle}. ABIDI Yamina
- ❖ M^{elle}. BELHADJI Asma

Soutenu le: 22/06/2022 devant le jury :

- * M^{me} FARES Soriya
- * M^{me} HAMMOU Bakhta
- * M^{elle} CHIKHI Amira

MCB Université de Saida
MCB Université de Saida
MCB Université de Saida

Président
Examinateur.
Encadreur.

Année universitaire : 2021- 2022

Dédicace

Je dédier ce travail :

A Mon père et ma mère Que je leur dédie le fruit de leur éducation et sacrifices, et que le dieu les prête une longue vie et santé pour qu'ils puissent partager avec moi les bons moments.

A Mes sœurs Assia ,Salma ,Soumia ,Imane

A qui je souhaite une vie pleine de bonheur, de santé et de réussite ;

A Ma binôme Amina et sa famille ABIDI

Exceptionnellement à mon grand-père

et ma grand-mère qui sont chère pour moi

A LA famille HALIMI et BAHRI

A mes chères amies : Chaima ,Akila , Khedidja

A

tous les autres que je n'ai pas

cités mais à qui je pense aussi.

A toute ma famille

Asma



Dédicace

*Avant tout je remercie mon Dieu le tout puissant qui m'a donné la force
et la ténacité pour achever ce travail.*

Je dédie ce travail à :

*Mes parents (Laradj et djemaa) à qui je dois tout ce que
je suis aujourd'hui Pour leur patience et leurs
encouragements, leur soutien moral et matériel, car ils ont toujours cru
en moi*

et surtout Pour me donner tout leur amour.

A mon fiancé Mourad

*Mes chères sœurs : Nariman , Ikram , Nour Al-Houda , fadila
, Massouda.*

Mes frères : Ali, Kada et Oncle Mohammed

Mon binôme Asma et ma chères amie Akila

A toute ma familles et la famille BELHADJI et BAHRI

Tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin

Je dis juste

Merci du fond du coeur

Yamina





Remerciements

*Nous profonds remerciements à Dieu "ALLAH",
de nous avoir donné la force et la patience
d'élaborer ce modeste mémoire.*

Nous tenons à remercier notre encadreur :

*M^{elle} **CHIKHI AMIRA** pour sa patience, sa
disponibilité et surtout ses judicieux conseils, et son
aide durant Toute la période de travail.*

*Nous voudrions ensuite remercier les membres
de jury qui ont accepté d'examiner et de juger
notre travail.*

*Nous tenons également à remercier : M^{elle} AMEL
SIDI KHLEF pour leur aide dans la réalisation
de ce mémoire. Elle a partagé ses connaissances et
expériences dans ce milieu.*

*Ce travail n'aurait pas pu être réalisé sans l'aide de
nos familles, nos amis, et tous ceux
qui ont contribué à la réalisation de ce travail de près
ou de loin.*

*A tous ceux qui de près ou de loin ont apporté leur
contribution à la réalisation de ce travail, je vous prie
de trouver l'expression de ma profonde reconnaissance*

Liste des Abréviations

- ✓ **AS** : L'acide salicylique
- ✓ **ATP** : Adénosine triphosphate.
- ✓ **ATPase** : Adénosine triphosphatase
- ✓ **BBC**: Bleu brillant de coomassie
- ✓ **BSA**: Albumine Sérum de Bœuf
- ✓ **CaCO₃**: Carbonate de calcium
- ✓ **E.D**: Eau distillée
- ✓ **ETM**: Élément traces métallique
- ✓ **GR**: Globules rouges
- ✓ **H₂O₂**: peroxyde d'hydrogène
- ✓ **H₂SO₄**: une solution d'acide sulfurique
- ✓ **Mg**: Magnésium
- ✓ **O₂**: l'anion superoxyde
- ✓ **Pb**: le plomb
- ✓ **Pb (CH₃CO-O)**: l'acétate de plomb
- ✓ **ROS** : Espèces réactives oxygénées

Liste des tableaux

Tableau 01 : Propriétés physico-chimiques du plomb.....	06
Tableau 02 : Les principaux composés phénoliques présents chez l'orge	24
Tableau 03 : Structure d'acide salicylique (Pastre J,2005)	27
Tableau 04 : les caractéristiques agronomiques de la variété de Tichedrette.....	35
Tableau 05 : Composition de la solution nutritive utilisée dans la culture hydroponique des céréales (Hoagland,1938).....	37

Liste des figures

Figure 01 : acétate de plomb utilisé.....	05
Figure 02 : Dynamique du plomb dans le système sol-plante (Gobat <i>et al.</i> , 1998).....	08
Figure 03 : Taxonomie des céréales (Belitz H.D. <i>et al.</i> , 2009).....	14
Figure 04 : Carte géographique sur Origine géographique d'orge (Usubaliev <i>et al.</i> , 2013).....	16
Figure 05 : Epillet d'orge à deux rangs à gauche et d'orge à six rangs à droite (Soltner, 2005).....	17
Figure 06 : Epi d'orge à deux rangs (gauche) et à six rangs (droite) (Leonard et Martin, 1973).....	18
Figure 07 : Cycle de développement d'orge (Soltner, 1998).....	21
Figure 08 : Production d'orge (tonnes) en Algérie (Bazile <i>et al.</i> , 2016).....	25
Figure 09 : model de biosynthèse de l'acide salicylique (Khan <i>et al.</i> , al 2015).....	28
Figure 10 : Model descriptive de la fonction de l'acide salicylique dans la croissance des plantes (Rivas-San Vicente et Plasencia, 2011).....	29
Figure 11 : Schémas simplifiés représentant les mécanismes potentiels qui régissent la tolérance des plantes au stress abiotique médiée par le SA (Khan <i>et al.</i> , al 2015).....	31
Figure 12 : Schématisation du rôle protecteur exercé par SA dans les plantes stressées par HM. HM : Métaux lourds ; ROS : espèces réactives de l'oxygène; SA : acide salicylique (Sharma <i>et al.</i> , 2020).....	32
Figure 13 : Différentes étapes de germination et transplantation.....	36
Figure 14 : récolte de la partie aérienne et racinaire.....	37
Figure 15 : préparé le dosage des pigments photosynthétique.....	39
Figure 16 : Dosage des sucres dans les feuilles et racines.....	40
Figure 17 : : Dosage des protéines.....	42
Figure 18 : La courbe d'étalonnage utilisée (BSA 1mg/ml) pour le dosage des protéines.....	42
Figure 19 : Influence de plomb et d'acide salicylique sur le taux de germination des graines d'orges.....	45

Figure 20 : Effet de plomb et d'acide salicylique sur la vitesse de germination des graines d'orges.....	46
Figure 21 : Influence de plomb et d'acide salicylique sur l'évolution de longueur des racines.....	47
Figure 22 : Influence de plomb et d'acide salicylique sur l'évolution de longueur des feuilles.....	47
Figure 23 : Effet de prétraitement de l'acide salicylique sur la toxicité du plomb sur la teneur en chlorophylle (a).....	48
Figure 24 : Effet de prétraitement de l'acide salicylique sur la toxicité du plomb sur la teneur en chlorophylle (b).....	49
Figure 25 : Effet de prétraitement de l'acide salicylique sur la toxicité du plomb sur la teneur en chlorophylle (a+b).....	50
Figure 26 : Effet de prétraitement de l'acide salicylique sur la teneur en protéines au niveau des feuilles.....	50
Figure 27 : Effet de prétraitement de l'acide salicylique sur la teneur en protéines au niveau des racines.....	51
Figure 28 : Effet de prétraitement de l'acide salicylique sur la teneur en sucres au niveau des feuilles.....	52
Figure 29 : Effet de prétraitement de l'acide salicylique sur la teneur en sucres au niveau des racines.....	53

Résumé:

Le plomb (Pb), étant un polluant métallique toxique des sols, il inhibe la croissance des plantes, affecte l'absorption des nutriments et l'homéostasie. Il est fréquemment accumulé par les cultures agricoles importantes et entre ensuite dans la chaîne alimentaire avec un potentiel important de nuire la santé des animaux et des humains. L'efficacité du prétraitement des graines varie selon la plante et les métaux lourds utilisés. L'objectif principal de cette étude est d'examiner si un prétraitement à l'acide salicylique (AS) exogène peut réduire les effets indésirables du stress au Plomb chez les graines d'orge. Pour cette expérience, des graines d'orge ont été soumises à un stress du acétate de Pb (500 μ M et 1000 μ M) avec ou sans prétraitement à l'acide salicylique (AS). Le prétraitement des graines avec de l'acide salicylique (AS) (500 μ M) pendant 20 h sur l'action ultérieure de Pb a permis d'atténuer les effets délétères du Pb sur la croissance des plantes, comme en témoigne une augmentation de la teneur en chlorophylle, protéines totales et sucres totaux. De plus, le prétraitement à l'acide salicylique (AS) a contribué au maintien des caractéristiques de croissance des plantules de l'orge (taux de germination, la hauteur des plantules, la longueur des racines) à un niveau proche du témoin dans des conditions de stress et à l'accélération de reprise de la croissance pendant la période post-stress.

Mots clés: plomb (Pb), l'acide salicylique (AS), prétraitement, orge, croissance.

Abstract

Lead (Pb), being a toxic metal pollutant in soils, inhibits plant growth, affects nutrient absorption and homeostasis. It is frequently accumulated by important agricultural crops and then enters the food chain with significant potential to harm animal and human health. The effectiveness of seed pretreatment varies with the plant and the heavy metals used. The main objective of this study is to examine whether exogenous salicylic acid (SA) pretreatment can reduce the adverse effects of Lead stress in barley seeds. For this experiment, barley seeds were stressed with Pb acetate (500 μ M and 1000 μ M) with or without salicylic acid (SA) pretreatment. Pretreatment of seeds with salicylic acid (SA) (500 μ M) for 20 h on subsequent Pb action mitigated the deleterious effects of Pb on plant growth, as evidenced by an increase in chlorophyll, total protein, and total sugar content. In addition, salicylic acid (SA) pretreatment contributed to the maintenance of barley seedling growth characteristics (germination rate, seedling height, root length) close to the control under stress conditions and to the acceleration of growth recovery during the post-stress period.

Keywords: lead (Pb), salicylic acid (SA), pretreatment, barley, growth.

الملخص

الرصاص (Pb) ، باعتباره ملوثًا معدنيًا سامًا للتربة ، يمنع نمو النبات ، ويؤثر على امتصاص العناصر الغذائية والتوازن. غالبًا ما تتراكم بواسطة المحاصيل الزراعية المهمة ثم تدخل السلسلة الغذائية مع احتمال كبير للإضرار بصحة الحيوان والإنسان. تختلف فعالية المعالجة المسبقة للبذور باختلاف النبات والمعادن الثقيلة المستخدمة. الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو التحقق مما إذا كانت المعالجة المسبقة بحمض الساليسيليك الخارجي (SA) يمكن أن تقلل من الآثار الضارة لإجهاد الرصاص في بذور الشعير. في هذه التجربة ، تم التأكيد على بذور الشعير باستخدام أسيتات الرصاص (500 ميكرومتر و 1000 ميكرومتر) مع أو بدون المعالجة المسبقة بحمض الساليسيليك (SA).

أدت المعالجة المسبقة للبذور بحمض الساليسيليك AS (500 ميكرومتر) لمدة 20 ساعة على التأثير اللاحق للرصاص إلى تخفيف الآثار الضارة للرصاص على نمو النبات ، كما يتضح من زيادة محتوى الرصاص في الكلوروفيل والبروتين الكلي والسكريات الكلية في بالإضافة إلى ذلك ، ساعدت المعالجة المسبقة بحمض الساليسيليك (SA) في الحفاظ على خصائص نمو شتلات الشعير (معدل الإنبات ، ارتفاع الشتلة ، طول الجذر) بالقرب من مستوى التحكم في ظل ظروف الإجهاد وتسريع استئناف النمو خلال فترة ما بعد الإجهاد.

الكلمات المفتاحية: الرصاص (الرصاص) ، حمض الساليسيليك (SA) ، المعالجة المسبقة ، الشعير ، النمو.

SOMMAIRE

Remerciement	
Dédicace	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Résumé	
Abstract	
الملخص	
Introduction générale	01

Chapitre I: le plomb

I. Généralité sur plomb	05
I.1. Définition du plomb.	05
I.2. Les sources du plomb.....	05
I.3. Propriétés physico-chimiques du plomb.....	06
I.4. Bioaccumulation du plomb dans les végétaux.....	06
I.5. Mobilité du plomb dans le sol.....	07
I.6. Absorption du plomb par la plante.....	08
I.6.1. Absorption foliaire.....	08
I.6.2. Absorption racinaire.....	09
I.6.3. Translocations du plomb des racines vers les parties aériennes	09
I.7. Impact des métaux lourds sur l'environnement.....	09
I.8. Toxicité sur la croissance des plantes.....	10
I.9. Utilisation du plomb.....	11

Chapitre II : L'ORGE

I. Introduction	13
I.1. Définition Les céréales.....	13

I.2. Historique des céréales.....	13
I.3. Taxonomie de céréales.....	14
II. Généralités sur l'orge.....	15
II.1. Origine	15
II.2. Origine géographique.....	16
II.3. Taxonomie de l'orge.....	16
II.4. Classification.....	17
II.5. Description botanique de la plante.....	17
II.6. Appareil végétatif	18
II.7. Le cycle de développement.....	19
II.7.1. La période végétative.....	19
II.7.2. La période reproductive.....	19
II.7.3. La période de maturation.....	20
II.8. Structure du grain d'orge.....	21
II.9. Morphologie du grain d'orge.....	21
II.10. Composition chimique des grains d'orge.....	22
II.11. les composés phénoliques	23
II.12. Importance et production nationale de l'orge en Algérie	25

Chapitre III: L'acide salicylique(AS)

I. L'acide salicylique	27
I.1. Définition d'acide salicylique:.....	27
I.2. Structure et dénomination	27
I.3. Biosynthèse de l'acide salicylique	27
I.4. rôle de l'Acide salicylique	28
I.4.1. Rôle de l'acide salicylique dans la croissance des plantes.....	28
I.4.2. Rôle de l'acide salicylique dans la défense	29
I.5. Effet de L'AS contre la toxicité des métaux lourds.....	31
I.5.1. Régulation de la signalisation cellulaire par le SA en cas de stress aux métaux lourds.....	33

Chapitre IV : Matériel et Méthodes

I. Matériel et méthodes.....	35
-------------------------------------	-----------

I.1. Objectif de l'étude	35
I.2. Matériel végétal.....	35
I.3. Condition de l'essai.....	35
I.3.1. Récolte et préparations des plantes.....	37
I.4. Paramètres étudiés.....	38
I.4.1. Paramètres morphologiques.....	38
I.4.1.1. Taux moyen de germination.....	38
I.4.1.2. Vitesse de germination.....	38
I.4.1.3. Mesure des paramètres de croissance.....	38
○ Longueur moyen des feuilles.....	38
○ Longueur moyenne des racines.....	38
I.4.2. Paramètres biochimiques.....	38
I.4.2.1. Détermination des concentrations des pigments photosynthétiques.....	38
I.4.2.2. Détermination de la concentration des sucres solubles totaux.....	39
I.4.2.3. Dosage des protéines.....	41
○ Préparation de l'échantillon.....	41
○ Préparation de réactif de Bradford.....	41
○ Préparation de la solution mère.....	41
Analyse statistique.....	43

Chapitre V: Résultats et discussion

I. Effet du plomb sur les paramètres morphologiques.....	45
I.1. Effet du plomb sur le taux germination.....	45
I.2. Effet du plomb sur la vitesse de germination.....	45
I.3. Effet du plomb sur la croissance.....	46
I.3.1. Effet du plomb sur la longueur de racines	46
I.3.2. Effet du plomb sur la longueur de feuilles.....	47
II. Effet du plomb sur les paramètres biochimiques.....	48
II.1. Influence du plomb sur la synthèse de pigments photosynthétique.....	48
II.2. Influence du plomb sur la teneur en protéine	50
II.3. Influence du plomb sur la teneur en sucres	51
Discussion.....	55
conclusion	59
Références bibliographiques.....	61
Annexe	

Introduction générale

Introduction générale

L'orge (*Hordeum vulgare* L.) est la culture la plus répandue dans le monde. L'utilisation agricole d'engrais et de pesticides et comporte un risque sérieux d'excès en métaux lourds dans les sols, en particulier de plomb. Le plomb (Pb) est métal lourd qui pénètre dans l'environnement du sol à partir de sources naturelles et anthropiques. Il est reconnu comme un polluant extrêmement important en raison de sa forte toxicité et de sa grande solubilité dans l'eau. Le plomb est facilement absorbé par les cellules de différentes espèces végétales et induit de nombreux changements morphologiques, physiologiques, biochimiques et structurels chez les plantes, tels que le déséquilibre hydrique, l'inhibition de la germination des graines, l'inhibition de la photosynthèse, la réduction de la croissance.

Différentes espèces et variétés de plantes présentent une large gamme de plasticité dans la tolérance au Pb, allant du haut degré de sensibilité au phénotype hyperaccumulateur de certaines plantes tolérantes. Pour éviter la toxicité du Pb, les plantes adoptent diverses stratégies de défense, y compris la phytochélation et la séquestration ainsi que l'induction de la machinerie antioxydante et protéines de stress (Cobbett et Oldsbrough, 2002 ; Vazquez et al., 2006). D'autres mécanismes de détoxification que les plantes ont développés pour faire face aux dommages causés par le Pb sont liés à certaines molécules de signalisation du stress, comme l'acide salicylique et l'oxyde nitrique. L'acide salicylique (SA) est considéré comme une substance hormonale qui joue un rôle important dans la régulation d'un certain nombre de processus physiologiques. L'AS est impliqué dans la régulation de la croissance des plantes, la germination des graines, le rendement des fruits (Moravcová et al., 2017). De nombreuses études ces dernières années ont montré que l'acide salicylique (SA) agit également comme une substance signal dans l'induction de la réponse spécifique de la plante aux stress biotiques et abiotiques (la résistance systémique acquise contre certaines infections pathogènes et la mort cellulaire hypersensible) (Belkhadi et al., 2010). L'AS peut augmenter la tolérance du blé à la sécheresse (Moussa, 2004), à la salinité (Deef, 2007), aux agents pathogènes, au stress thermique et aux métaux lourds (Rivas-San Vicente et Plasencia, 2011). L'application exogène d'AS a augmenté le rendement. De plus, SA a retardé la synthèse d'éthylène, a stimulé la photosynthèse, la synthèse des protéines et augmenté la teneur en chlorophylle (Khan et al. 2003, Shakirova et al. 2003). L'acide salicylique intervient dans certaines réponses d'acclimatation aux stress abiotiques, tels que les herbicides, les basses températures (Moussa, 2010).

Le prétraitement à l'acide salicylique atténue la toxicité du Cd dans l'orge (**Metwally et al., 2003**) et les plants de maïs (**Krantev et al. 2008**). Il a été découvert que le traitement à l'AS provoquait à la fois une accumulation d'ABA et de proline dans le blé et une résistance accrue à la salinité (**Shakirova et al. 2003**).

Des études menées dans le monde entier ont confirmé une augmentation de la tolérance des plantes aux métaux lourds en raison de l'application exogène de SA. Cependant, la plupart des études ont été menées dans des conditions hydroponiques où le SA a été appliqué intraracinaire avec une solution nutritive. Relativement peu de ces études ont porté sur le blé et l'orge, où les graines ont été trempées dans une solution de SA puis semées dans un sol à forte teneur en éléments traces métalliques (ETM).

Sur la base des études ci-dessus, nos recherches visaient à explorer l'interaction du stress Pb et SA en utilisant un seul événement d'amorçage induit par l'acide salicylique par pré-trempe des graines.

Le but de ce travail est de révéler si les plantes d'orge prétraitées avec de faibles concentrations de SA pouvaient tolérer la toxicité de Plomb par l'étude de quelques paramètres physiologiques et biochimiques.

Ce manuscrit comprend cinq chapitres, conclusions et perspectives du travail et des annexes, dont le détail est donné ci-dessous: Chapitre I: le plomb: Ce premier chapitre est une étude bibliographique consacrée à une présentation générale de la toxicité du plomb ainsi que de leurs bioaccumulations dans le sol et effets délétères sur la croissance des plantes.

Chapitre II : les céréales : Une description générale des céréales est présentée et l'influence des métaux lourds sur la culture céréalière essentiellement l'orge est également étudiée.

Chapitre III : l'acide salicylique (AS): Rôle dans la croissance et le développement des plantes et dans la défense contre le stress abiotique et biotique.

Chapitre IV : Matériels et méthodes: les différents outils méthodes analytiques et protocoles expérimentaux seront présentés dans le quatrième chapitre.

Chapitre V. Présentations des résultats et discussion : les différents paramètres physiologiques et biochimiques sont analysés et interprétés.

Conclusions et perspectives

Cette partie permet de tirer les différents résultats obtenus durant ce travail. Des perspectives sont proposées pour la continuité du sujet abordé.

Chapitre. I
Le plomb(Pb)

I. Généralités sur le plomb

I.1. Définition du plomb

Le plomb, du latin "plombum" est un métal mou, gris, habituellement trouvé en petite quantité dans la croûte terrestre à une concentration d'environ 15 mg/kg. Il n'a ni goût ni odeur caractéristique. Il appartient au group IV b de la classification périodique des éléments (**Huynh, 2009**). En tant que métal lourd non essentiel, est un contaminant environnemental persistant, causant une toxicité grave pour tous les organismes vivants (**Thapa, 2012**). C'est le plus dense des métaux usuels, mais c'est aussi le moins dur (**Jean, 2000**)

Le plomb est un produit naturel de la désintégration de l'uranium, il est de symbole Pb et de numéro atomique 82. Le Pb natif est rare, et dû à son caractère calciphile il est associé au gisement de sulfures; on l'extrait de sa source minérale principale, la galène (PbS) qui en contient 86.6% en poids, mais aussi des minerais associés aux Zn (la sphalérite), à l'argent et le plus abondamment au cuivre (**Salvarredy, 2008**)



Figure.01: Acétate de plomb utilisé (**Jopony et Yopoung,1994**).

I.2. Les sources du plomb

Le Plomb est présent dans la croûte terrestre et dans tous les compartiments de la biosphère. Il se trouve principalement dans les gisements primaires dans les roches éruptives et métamorphiques ou il est présent essentiellement sous forme de sulfure (galène) (**Baker et Walker, 1981**). Dans l'air, les émissions de Plomb provenant de poussières volcaniques véhiculées par le vent sont reconnues d'une importance mineure. Les rejets atmosphériques sont principalement anthropiques, ils proviennent d'abord des industries de première et

deuxième fusion du plomb, et au niveau urbain ou routier, des rejets des véhicules à moteur (KIM et al ,2003).

I.3. Propriétés physico-chimiques du plomb

Le plomb, de masse atomique 207,2 g/mol, possède une densité élevée de 11,35 g.cm⁻³. Il possède un point de fusion de 327°C et sa température d'ébullition est d'environ 1740°C. (Miquel, 2001) Le plomb existe sous les états d'oxydation (0), (+2) et (+3) mais dans l'environnement, il est principalement sous l'état (+2). Le degré (+3) n'existe que dans des conditions oxydantes sévères. Le degré (+ 2) est stable dans pratiquement toutes les conditions environnementales (Ferrand et al, 2006).

Tab.01: propriétés chimiques de plomb. (Cecchi, 2008)

Symbole	Pb
Numéro atomique	82
Masse atomique	207,2 g.mol ⁻¹
Point de fusion	327 °C
Point d'ébullition	1740 °C
Densité	11,35
Configuration électronique	[Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ²
Valence	0, +2, +4
Rayons ioniques:	
Pb ²⁺	0,94 à 1,49 Å
Pb ⁴⁺	0,78 à 0,94 Å

I.4. Bioaccumulation du plomb dans les végétaux

Le plomb est absorbé passivement par les racines et est rapidement immobilisé dans les vacuoles des cellules racinaires ou retenu par les parois des cellules de l'endoderme. Son accumulation depuis le sol est assez limitée (Alloway, 1995).

Le phénomène de translocation vers les parties aériennes des plantes est faible (**Kabata-Pendias et Pendias, 1992**).

La voie aérienne est également une voie d'exposition du plomb par les plantes. Mais les avis concernant l'absorption par pénétration foliaire divergent dans la littérature. Néanmoins, certaines études auraient montré qu'une grande partie du plomb déposé par voie atmosphérique sur les plantes peut être éliminé par lavage puisqu'il a peu pénétré dans la plante, à cause d'une forte rétention par les membranes cuticulaires fonctionnant comme une barrière efficace) (**Juste et al., 1995; Kabata-Pendias et Pendias, 1992**). La quantité de la matière organique présente dans le sol et le pH du sol ont une certaine influence sur l'absorption du plomb par les plantes. Bien qu'il ait été démontré que l'addition de matière organique au sol diminue la disponibilité du plomb pour les plantes, la décomposition éventuelle des composés organiques peut entraîner le relargage du plomb dans la solution du sol et donc favoriser l'accumulation du plomb par les racines.

En plus de l'impact de la matière organique, il a été démontré que la modification du pH du sol par épandage de chaux ou d'engrais phosphaté diminue la quantité de plomb absorbée par les plantes (**Adriano, 1986**). Le potentiel redox du sol aurait également un effet sur le prélèvement du plomb par les racines.

I.5. Mobilité du plomb dans le sol:

La mobilité du plomb dans le sol est très faible, il a ainsi tendance à s'accumuler dans les horizons de surface (et plus précisément dans les horizons riches en matière organique).

La formation de sulfure de plomb, forme très insoluble, explique également l'accumulation du plomb en surface des sols. L'affinité du plomb pour l'argile est également importante, il peut également être adsorbé par des oxydes de manganèse du sol (**Adriano, 1986**). Les facteurs affectant la mobilité et la biodisponibilité du plomb dans les sols sont donc le pH, la texture du sol (surtout la teneur en argile) et la teneur en matière organique.

La mobilité des sols est principalement contrôlée par sa forme chimique en phase aqueuse et par son processus d'adsorption/désorption ainsi que de dissolution/précipitation. Et par le rôle de certains paramètres tels que le pH, le potentiel redox, la composition minéralogique (matière organique, argile, oxydes...) du sol ou du sédiment (**Sterckeman, 2000**).

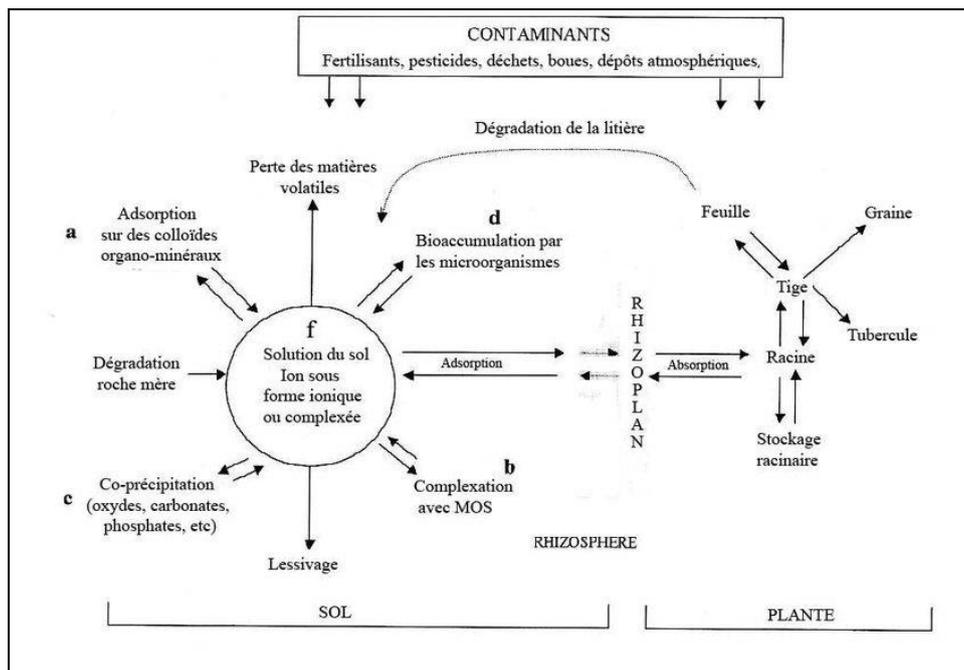


Figure 02: Dynamique du plomb dans le système sol-plante (Gobat *et al.*, 1998)

I.6. Absorption du plomb par la plante:

Les plantes peuvent absorber du plomb à partir des racines, mais également à partir des organes aériens, ou par l'intermédiaire des deux (Patra *et al.*, 2004)

I.6.1. Absorption foliaire:

Les éléments-traces sous forme de poussière ou de gaz peuvent entrer directement par les stomates des feuilles, par des retombées atmosphériques, également dans les champs par des apports en engrais et pesticides (plomb sous forme d'impuretés). La majorité de ce plomb est lessivée, mais une partie va s'adsorber aux lipides épicuticulaires et être absorbée par les feuilles (Prasad et Hagemeyer, 1999; Hovmanet et al., 2009).

La capacité des plantes à absorber le plomb disponible via leurs feuilles dépend à la fois de l'âge de celles-ci, mais également de leurs morphologies (Dalenberg et Van Driel, 1990).

Elle fonctionne comme un faible échangeur de cations. Un gradient de la plus basse à la plus forte densité de charge se met en place à partir de la surface externe vers les parois des cellules, la pénétration des ions à travers la cuticule s'en trouvant favorisée le long de ce gradient (Prasad et Hagemeyer, 1999).

I.6.2. Absorption racinaire :

En dehors de certaines zones où la teneur atmosphérique en plomb est importante, ce dernier pénètre majoritairement dans la plante via les racines.

Au départ, le Pb^{2+} présent dans la solution du sol se lie aux groupements carboxyle de l'acide uronique composant le mucilage autour des racines (**Sharma et Dubey, 2005**). Ce mucilage permet donc de restreindre le passage du plomb à l'intérieur des cellules racinaires, et constitue ainsi une protection du système racinaire.

Avant d'être absorbés par le végétal, les éléments traces métalliques doivent être transférés à proximité de la racine, dans la rhizosphère. Ce mouvement peut être réalisé par simple diffusion selon un gradient de concentration dans la solution du sol, ou par flux de masse du fait de l'absorption de quantités d'eau importantes par les racines pour compenser les quantités perdues par évapotranspiration au niveau des parties aériennes. (**Claire,2007**)

I.6.3. Translocations du plomb des racines vers les parties aériennes

Après l'absorption par les racines, la translocation correspond au transfert des éléments traces métalliques vers les parties aériennes. Elle peut varier considérablement en fonction du métal, mais également de l'espèce végétale. Pour être conduits vers les parties aériennes, les éléments prélevés dans le sol par les racines doivent être transportés dans le cortex puis déversés dans les vaisseaux du xylème (par circulation de la sève brute). Ce flux d'ions métalliques dans le xylème nécessite leur chélation à des acides organiques (tels que le citrate) ou à des acides aminés. Pour la plupart des espèces, la majorité du plomb absorbé par les plantes réside dans les racines, et seulement une faible proportion est transloquée vers les parties aériennes. Ce transport limité des racines vers les feuilles peut être expliqué par la barrière formée par l'endoderme des racines. Les bandes de Caspary peuvent en effet être un facteur majeur limitant le franchissement de l'endoderme jusqu'au cylindre central. (**Briat et Lebrun, 1999**).

I.7. Impact des métaux lourds sur l'environnement

Les métaux lourds sont dangereux pour l'environnement car, ils ne sont pas dégradables. Ils s'accumulent au cours de processus minéraux et biologiques. Les métaux lourds peuvent également être absorbés directement par le biais de la chaîne alimentaire entraînant alors des effets chroniques ou aigus. (**Hammadache et Guerrache,2016**)

Le premier effet des métaux lourds observable chez les végétaux est une inhibition de la croissance. Celle-ci s'accompagne très souvent de nombreux autres indices de dysfonctionnement : chlorose foliaire, importantes lésions nécrotiques, jaunissement progressif, repliement ou dessèchement du feuillage... A l'heure actuelle, les bases moléculaires de ces perturbations sont encore mal connues, mais on admet généralement qu'elles résultent d'un stress oxydatif, dû à la production d'espèces réactives de l'oxygène ou « Réactive Oxygen Species » (ROS) (**Devi and Prasad, 1999 ; Dietz et al., 1999; Cheng, 2003**).

I.8. Toxicité sur la croissance des plantes :

Le plomb (Pb), en tant que métal lourd non essentiel, est un contaminant environnemental persistant, causant une toxicité grave pour tous les organismes vivants. Le Pb est également un métal lourd soluble dans l'eau, qui peut être rapidement absorbé par les racines des plantes et transporté vers les parties aériennes où son accumulation entrave de manière significative les processus cellulaires vitaux, entraînant généralement une chlorose, une nécrose, une épীনastie, un retard de croissance, une mort cellulaire, une perturbation de l'homéostasie minérale et une biomasse réduite. Au niveau subcellulaire, un excès de Pb peut inactiver les biomolécules en bloquant les groupes fonctionnels essentiels ou en déplaçant les ions métalliques essentiels. (**Araujo, 2013**)

Le plomb affecte la photosynthèse en inhibant l'activité des enzymes de carboxylation (**Stiborova et al., 1987**), induit un stress oxydatif en augmentant la production d'oxygène réactif (ROS) dans les plantes (**Srivastava et al., 2015; Alves et al., 2016**) et altère la perméabilité des membranes et perturbe la nutrition minérale des cellules (**Sharma et Dubey, 2005**).

Par conséquent, les réductions de ces teneurs (dus à l'effet du plomb) entraînent une grave inhibition de la photosynthèse et, par conséquent, affectent négativement la croissance des pousses et des racines des plantes (**Cenkci al., 2010**). Cela pourrait être justifié de divers points de vue ; les plantes stressées pourraient devoir dépenser plus d'énergie pour leur survie, leur croissance et leur développement dans des conditions environnementales indésirables, énergie qui serait autrement disponible pour leurs autres processus de croissance (**Gill, 2014**).

I.9. Utilisation du plomb

Le plomb est un élément naturel mais rarement sous forme libre. Il existe majoritairement sous forme inorganique, par opposition à sa forme organique.

Donc l'utilisation du plomb est très nombreuse :

- ✓ Activités métallurgiques : La métallurgie de première fusion lors de laquelle le minerai de plomb subit différents traitements afin d'extraire le plomb et les autres métaux. Il existe aussi la métallurgie de 2^{ème} fusion ou recyclage qui consiste à obtenir le métal par la récupération des déchets qui contenant du plomb (**Pichard, 2002**).
- ✓ Production d'essence au plomb : Le tétra éthyle de plomb ($\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$) était le principal constituant des agents antidétonants ajoutés à l'essence, pour augmenter le taux d'actanes. Cette utilisation est interdite depuis le 1^{er} janvier 1996. Avant son interdiction, le plomb utilisé dans l'essence représentait la majeure partie du plomb disséminé, à cause des émissions de fumées (**Singh et Agrawal, 2010**).
- ✓ Munitions (cartouches et grenailles de plomb) et lest de pêche. Des études (Baron, 2001) ont montré que cette utilisation était responsable du saturnisme des oiseaux. De plus, cela entraîne la dispersion d'environ $8000\text{t}\cdot\text{an}^{-1}$, dont les $\frac{3}{4}$ sont dus à la chasse (**Brgm, 2004**).



Chapitre II : **L'orge**



I.Introduction

Les céréales, socle historique de la diète méditerranéenne, occupent encore aujourd'hui une place prépondérante à la fois dans la production agricole et agroalimentaire de l'Algérie et dans la consommation alimentaire des ménages. La consommation de céréales en Algérie représente 25% des dépenses alimentaires et 230 kg/an d'équivalent-grains, avec une prépondérance de la semoule de blé dur. Les céréales constituent la base de l'alimentation humaine en tant que sources protéiques et énergétiques. Le taux de couverture en blés par les importations s'établit à 74% sur la période 2005-2009, pour des besoins nationaux de 7,6 millions de tonne. Le déficit concerne beaucoup plus le blé tendre que le blé dur. Pour l'orge, les besoins en importation sont beaucoup plus faibles, de l'ordre de 15%. Par contre, la quasitotalité des disponibilités intérieures en maïs provient de l'importation (**Rastoin et Benabderrazik, 2014**).

I.1. Définition Les céréales

Les céréales sont des espèces généralement cultivées pour *leur grain*, dont l'albumen *mylacé*, réduit en farine, est consommable par l'homme ou par les animaux domestiques. 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. Les unes appartiennent à la sous-famille des *Festucoïdées* : blé, orge, avoine, seigle; les autres à la sous-famille des *Panicoïdées* : maïs, riz, sorgho, millet. Enfin, une céréale, le sarrasin appartient à une autre famille, celle des *Polygonacées* (**Moule, 1971**) .

le mot céréale provient du latin (créa-lis) les Romains nommaient ainsi les cultures d'orge et de blé dont les grains moulus produisaient la farine du pain (**Pierre et Gendron ,1982 ; Rahal,2015**)

I.2.Historique des céréales

Les produits céréaliers sont des aliments dont la matière première est constituée par les céréales.

En botanique, les céréales regroupent un certain nombre de plantes appartenant à la famille des graminées dont les grains sont utilisés en alimentation humaine et animale. Il existe treize (13) types de céréales. Parmi ces derniers on trouve le blé et le maïs. (**Fredot,2005**)

On trouve des traces de blé, de seigle, d'avoine, d'orge à 6 rangs dès le Néolithique. Le riz, le millet, le sorgho, le blé étaient cultivés 2 700 ans avant notre ère en Chine; les Égyptiens de l'ancienne Égypte connaissaient le blé et le sorgho. Les céréales ont d'autre part joué un rôle capital dans le développement de l'humanité: la plupart des civilisations se sont développées autour d'une céréale: les civilisations asiatiques, autour de la culture du riz; les civilisations pré-colombiennes, autour du maïs; les civilisations babyloniennes et égyptiennes, autour du blé (Moule, 1971).

I.3.Taxonomie de céréales

Les céréales sont un groupe de plantes cultivées appartenent à la famille des **Poacées** appelées <graminées>. Il existe trois grands groupes de céréales (Guignard et Dupont.,2004):

- Un premier grand groupe formé par le blé, l'orge, le seigle et l'avoine
- Un deuxième grand groupe formé par le maïs.
- Un troisième grand groupe ordonné autour du riz (Alais et al.,2003) :

la figure ci-dessous représente la phylogénie de la famille des graminées :

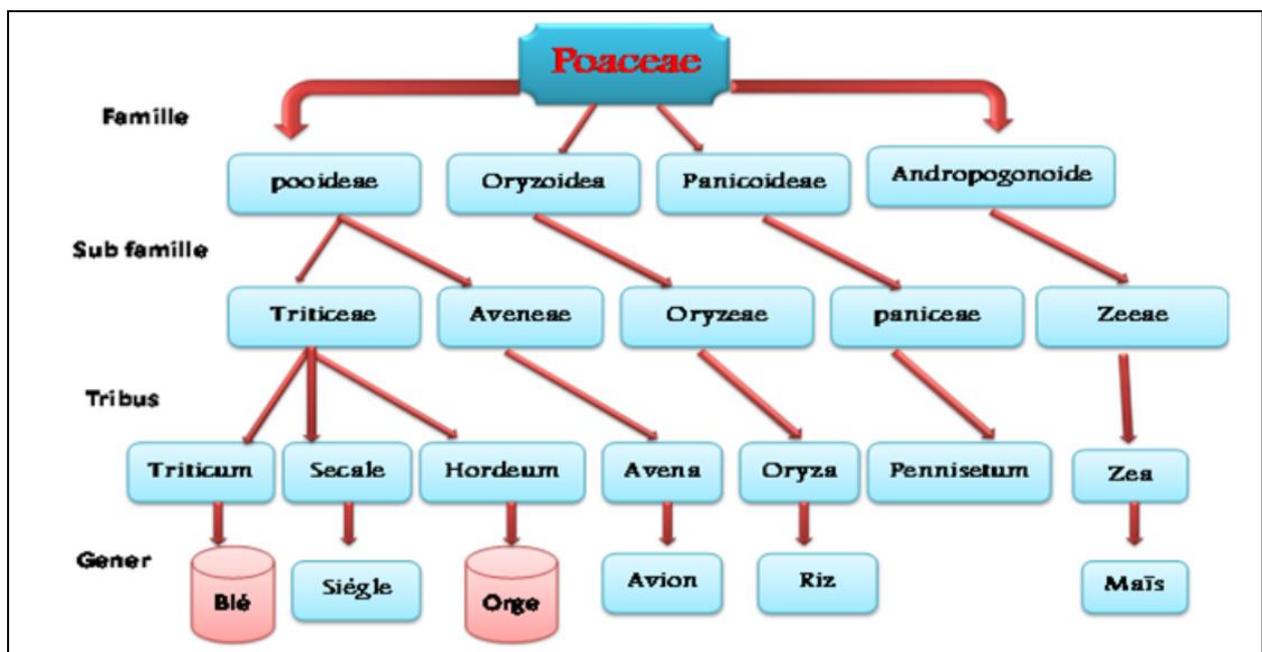


figure.03: Taxonomie des céréales (Belitz H.D.et al.,2009)

II.Généralités sur l'orge

L'orge est principalement utilisée commercialement sous forme d'alimentation animale (70%) ou pour le maltfabrication (16 %). Seuls 14 sont utilisés à des fins alimentaires (Tricase et al. 2018).

Au fil du temps, on constate que la proportion de l'orge totale utilisée pour la consommation alimentaire a diminué à environ 6% seulement, et une grande partie se déplace également vers l'utilisation de céréales pourbiocarburants (**Griffey et al., 2010; Tricase et al., 2018**).

L'orge considérant les découvertes archéologiques dans les premiers villages du Croissant Fertile, l'orge (*Hordeum vulgare* L.) est la première céréale à être domestiquée dans cette région. Les fouilles archéologiques effectuées depuis le début du siècle en Syrie et en Iraq ont dévoilé la présence de caryopses d'orge provenant d'épis modifiés par le processus de domestication. Ces épis datent d'environ 10000 ans (**Sorgho, 2001**).

II.1.Origine

L'orge est une des premières céréales cultivées par les hommes 8000 ans avant J-C. L'orge servait à fabriquer des galettes et autres bouillies. En Egypte, la légende raconte que suite à l'inondation d'une récolte d'orge, les graines germées ont fermenté pour donner naissance à la découverte de la bière. (**Zairi, 2015**)

L'orge (*Hordeum vulgare* L.) est une plante céréalière qui appartient à la famille des Poacées, sous-famille Pooideae et tribu Triticeae. Les premiers signes de domestication de l'orge ont été enregistrés il y a plus de 10 000 ans au Moyen-Orient dans une région connue sous le nom de « Croissant fertile ». (**Bonjean A,2001**).

L'orge (*Hordeum vulgare* L.) est l'une des céréales les plus importantes du monde. Elle a été utilisée pendant des siècles pour l'alimentation humaine. Aujourd'hui, l'orge occupe le quatrième rang dans la production céréalière mondiale. Elle est utilisée pour l'alimentation animale, les malts de brassage et l'alimentation humaine. L'orge est aussi une culture qui s'adapte bien à des environnements différents, elle est cultivée à partir de 330 m en dessous du niveau de la mer à proximité de la Mer Morte et à 4200 m sur les Andes Boliviennes . L'orge est également une plante modèle bien connue et utilisée pour développer

des méthodologies de sélection végétale, génétique, cytogénétique (liliana, 2014 ; Comadran et al., 2012).

II.2. 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 (Bothmer et al., 2003). Des études récentes relatent qu'elle serait plutôt originaire des régions montagneuses d'Éthiopie 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).



Figure. 04: Carte géographique sur Origine géographique d'orge (Usubaliev et al.,2013)

II.3. Taxonomie de l'orge

L'orge comprend 31 espèces, mais seule vulgare est couramment cultivée, *Hordeum vulgare* est une espèce diploïde ($2n=14$). Elle a été l'une des premières cultures domestiquées, il y a 10 000 ans dans le croissant fertile du moyen-orient (Baik et Ulrich, 2010).

II.4.Classification :D’après Chadefaud et Emberger (1960), et Feillet (2000),

l’orge cultivée appartient à la classification suivante :

Règne : Plantae (Règne végétale)

Embranchement : Magnoliophyta (Angiosperme)

Classe : Liliopsida (Monocotylédones)

Sous-classe : Commelinidae

Ordre : Poales (Cyperales)

Famille : Poaceae (Graminées)

Genre : Hordeum

Espèce : Hordeum vulgare L .

II.5.Description botanique de la plante

L'orge (*Hordeum vulgare* L.) est une plante annuelle, autofécondée très semblable dans la morphologie de ses organes végétatifs et floraux . où l'on retrouve plusieurs niveaux de ploïdie, l'orge spontanée et l'orge cultivée sont des espèces diploïdes possédant le même nombre chromosomique ($2n=14$). Cette espèce, bien qu'appartenant à la même tribu (Triticeae) que le blé, est placée dans la sous-tribu Hordeinae du fait de différences au niveau de la structure de ses épis. l'épis d'orge comportent deux épillets par nœud. Chaque épillet d'orge produit une seule fleur fertile (**Leonard et Martin ,1963**) .

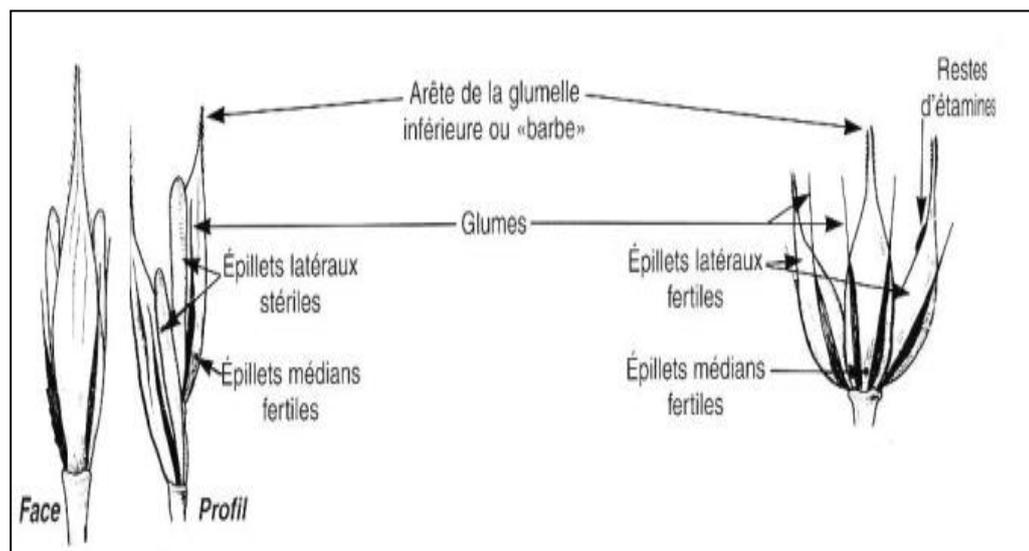


Figure.05 : Epillet d’orge à deux rangs à gauche et d’orge à six rangs à droite (**Soltner, 2005**)

Les variétés d'orge sont regroupées d'après les caractéristiques de leurs épis, en orges à six rangs et en orges à deux rangs. Les orges à six rangs comportent des épillets fertiles regroupés par trois sur chaque plan de l'axe vertical de l'épi. Les deux épillets latéraux des orges à deux rangs sont stériles et ne produisent qu'un seul caryopse par groupes de trois épillets (Fig.1). Dans ce dernier cas, l'épi apparaît comme un épi distique quand on l'observe sur le plan transversal. Autrement, les caractéristiques végétatives et florales de l'orge sont similaires à celles du blé.



Figure. 06 : Epi d'orge à deux rangs (gauche) et à six rangs (droite) (Leonard et Martin, 1973).

II.6.Appareil végétatif

- **Le système aérien** est formé d'une tige cylindrique et creuse, entrecoupée de nœuds là où se forment les feuilles sa hauteur varie de 30 à 120 cm selon la variété et les conditions de culture.
- **Le système racinaire** est composé de deux systèmes racinaires successifs. Le système séminal ou racines primaires, seul fonctionnel de la levée au début du tallage. Ces racines sont d'origines embryonnaires. Ce système est constitué d'une racine principale et de deux paires de racines latérales, soit cinq racines ; éventuellement une sixième racine qui peut se développer ; Les racines de ce système sont au nombre de six, rarement sept (Benlaribi et al., 1990 ; Hazmoune, 2006)

Le système adventif (racines secondaires), est un système de racines coronaires ou système de racines de tallage. Il se forme dès le tallage et se substitue parallèlement au système séminal. Il est de type fasciculé (**Soltner, 2005**)

II.7. Le 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.7.1. La période végétative

✓ **La germination:** 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**)

✓ **La levée:** 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**).

✓ **Le tallage:** Dès que la première feuille a percé l'extrémité du coléoptile, celui-ci s'arrête de croître et peu à peu se dessèche. Cette première feuille fonctionnelle s'allonge, puis apparaît une deuxième, puis une troisième, puis une quatrième feuille. Chacune d'elles est imbriquée dans la précédente, partant toutes d'une zone proche de la surface du sol et constituée de l'empilement d'un certain nombre d'entre-nœuds: le plateau de tallage (**Moule, 1971**)

II.7.2. La période reproductive:

✓ **La montaison:** 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 ; Zibouche et Grimes, 2016**).

✓ **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 ;Zibouche et Grimes, 2016**).

✓ **La floraison:** 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)

II.7.3. La période de maturation

a. Formation des grains – 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**).

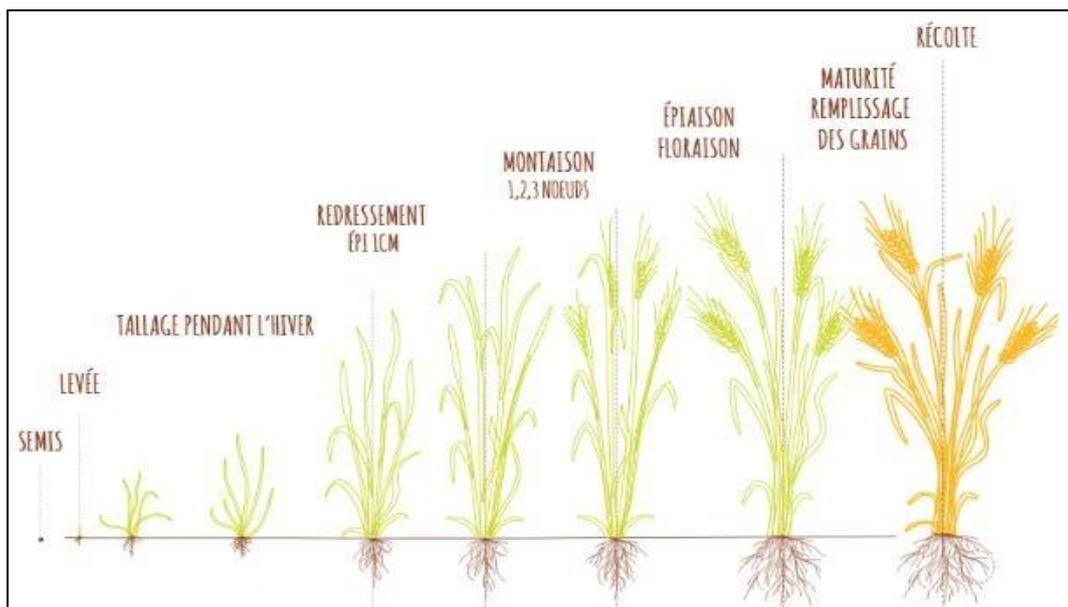


Figure 07: Cycle de développement d'orge (Soltner, 1998)

II.8. Structure du grain d'orge

Les principales parties constituant un grain d'orge sont, de l'intérieur vers l'extérieur (Guiga, 2006) :

- L'embryon (plantule complète) ;
- L'endosperme (réserve de matières nutritive) ;
- La couche à aleurone, périphérique (réservoir enzymatique) ;
- Le péricarpe-testa (membrane semi-perméable) ;
- Et la paroi externe.

II.9. Morphologie du grain d'orge

Le grain d'orge présente une nervure médiane et deux nervures latérales dorsales. Il est prolongé par une barbe. Alors, que la glumelle supérieure correspond à la face ventrale du grain. Celui-ci présente une dépression ou sillon à la base duquel est insérée une baguette. Il comporte plusieurs parties distinctes:

- L'embryon : siège des activités vitales de la graine ;
- L'albumen amylicé : tissu de réserve de l'orge contenant des granules d'amidon et des

protéines de réserve ;

- Les assises successives limitant l'embryon et l'albumen : le péricarpe et la testa soudés et des enveloppes appelées glumelles (**Jeantet et al., 2007**) .

II.10. Composition chimique des grains d'orge

a) Les glucides

Dans le grain d'orge, les glucides se présentent sous forme de :

- □ Sucres simples comme le glucose et le fructose qui se trouvent en faibles quantités (<0.2%)
- □ Saccharose et de raffinose au niveau de l'embryon (**Hariri, 2003**)
- □ Polysaccharides dont l'amidon et les fibres alimentaires.

b) Les lipides

Les lipides représentent une faible proportion du grain, généralement 2 à 3%. Ces lipides se répartissent en:

- Les lipides apolaires (lipides de réserve du grain) : mono, di et triglycérides, et des acides gras libres essentiellement localisés en petites quantités au niveau de l'embryon de l'endosperme, de la couche à aleurone et du péricarpe (**Hariri, 2003 ; Saulnier, 2012**).
- Les lipides polaires (lipides de structure du grain) : phospholipides et glycolipides essentiellement (**Saulnier, 2012**). Certains sont libres, mais la majorité est associée aux protéines et à l'amylose (**Koehler et Wieser, 2013**). Les granules d'amidon contenant des quantités plus petites de lipides polaires seront plus faciles à dégrader par les enzymes (**Hariri, 2003**)

c) les protéines

La teneur en protéines des grains d'orge est de l'ordre de 10 à 17% (**Czuchajowska et al., 1998 ; Izydorczyk, et al., 2000**), avec des variations assez importantes en fonction des particularités génétiques, des variétés et des conditions de culture. La répartition des protéines dans le grain de céréales n'est pas uniforme : la couche à aleurones comporte 30 à 35 % de protéines, le germe γ 5 à 40 % mais le péricarpe et l'albumen amylicé contiennent respectivement 6 à 7 % et 6 à 9 % (**Popineau, 1985**). Globalement et compte tenu de l'importance pondérale relative des différentes parties du grain, 87% des protéines se trouvent

dans l'albumen et la couche à aleurone.

Selon Courvoisier (1984) les protéines solubles sont essentiellement synthétisées et accumulées au niveau de la couche à aleurone pauvre en protéines insolubles et en grain d'amidon. Les protéines de réserve sont accumulées à l'intérieur des membranes endoplasmiques granuleux dès leur synthèse (**Berger,1984**).

d) Les enzymes

Ce sont aussi des substances complexes présentes en quantité négligeable mais dont le rôle est très important. Ils sont responsables des transformations que subissent les autres substances (hydrolyse de l'amidon et des protéines, destruction des sucres simples et des acides aminés). (**Zairi,2015**)

Dans le grain d'orge, les enzymes se localisent dans le germe et la couche à aleurone ou elles sont synthétisées pour la plus part au cours de la germination du grain. Selon leur rôle on y trouve : Les enzymes dégradant l'amidon Ce sont les enzymes dites amylolytiques. On y distingue dans l'orge quatre ensembles : l' α -amylase, la β -amylase, la dextrine limite et l' α -glucosidase. L' α -amylase est une endoenzyme synthétisée dans la couche à aleurone au cours de la germination. Elle libère du glucose et des oligosides de 2 à 7 unités de glucose.

La β -amylase est une exoenzyme synthétisée au cours de la croissance et la maturation du grain.

Elle hydrolyse les chaînes d'amidon (liaisons α (1-4)). L'action des α et β amylases permet la conversion de l'amidon en glucose, maltose et dextrines contenant les liaisons α (1-6) qui sont hydrolysées par la dextrine limite.

D'autres enzymes sont à citer comme les pentosonases, les hemicellulase, les β -glucanase qui dégradent les β -glucanes des parois cellulaires de l'endosperme, les polyphénoloxydase qui catalysent l'oxydation des polyphénols et qui sont concentrées dans les parties périphériques du grain. (**Zairi,2015**)

II.11.les composés phénoliques :

L'orge est très riche en composés phénoliques, le tableau ci-dessous représente la composition des principaux composés phénoliques dans les grains et feuilles d'orge.

Tableau 02 : Les principaux composés phénoliques présents chez l'orge

	Composées phénolique	Référence
Grain d'orge	Acides phénoliques	
	p-Hydroxybenzoïques	Suba et al,2002
	Protocatéchique	Mattila et al,2005
	Salicylique	Kim et al,2006
	Vanillique	Zhou et al 2004
	Férulique	Andreasen et al,2000
	Caféïque	Suba et al,2002
	Syringique	McDonough et al,2000
	o-coumarique	Mazza et Gao,2005
	m-coumarique	Mazza et Gao,2005
	p-coumarique	Kim et al,2006
	Sinapique	Zhou et al 2004
	Flavonoïdes	
	Cyanidine	Mazza et Gao,2005
	Cyanidine-3-galactoside	Abdel-Aal & Hul,203
	Delphinidine	Mazza & Gao,2005
	Pelargonidine	Awika et al,2004
	Peonidine-3-glucoside	Mazza & Gao,2005
	Catéchine	
	Leucocyanidine	
	Leucodelphenidine	
Chrysoeriol		
Procyanidine B-3	Holtekjolen et al ,2006	
Feuille d'orge	Apigénine	Peterson,2001
	Lutéoline	
	Lutonarine	
	Saponarine	
	Kaempférol	
	Quercétine	

II.12. Importance et production nationale de l'orge en Algérie

En Algérie, la culture d'orge était très importante car l'orge était destinée à l'autoconsommation humaine et servait de complément fourrager pour les troupeaux dans les régions steppiques (**Hakimi, 1993**). Actuellement, l'orge est utilisée dans l'alimentation humaine selon les régions sous formes de galette, de couscous et de soupe (Rahal-Bouziane et (**Abdelguerfi, 2007**)). C'est une espèce fourragère importante par sa production en vert, en foin (en association avec d'autres espèces), en ensilage et par son grain et sa paille (**Belaid, 1986**). Dans toutes les régions, du nord au sud, elle reste l'une des plus importantes sinon la plus importante ressource fourragère (**Boulal et al., 2007**).

En Algérie, la production enregistrée au titre de la campagne 2014/2015 est de 37,6 millions de quintaux dont : 20,2 millions de q de blé dur, 6,4 millions de q de blé tendre, 10,3 millions de q d'orge et 0,7 millions de q d'avoine (**Anonyme, 2016**)

De la période (1961-2014), soit 55 ans de campagne agricole la production moyenne annuelle a été estimée à quelque 746 432,89 tonnes. Soit une augmentation substantielle de 1961 à 2014 qui s'élève à 343 %. 2009 a été la campagne la plus productive (2 203 359 tonnes), en revanche la campagne 1966 accuse la plus faible production (129 770 tonnes) (**Bazile et al., 2016**).

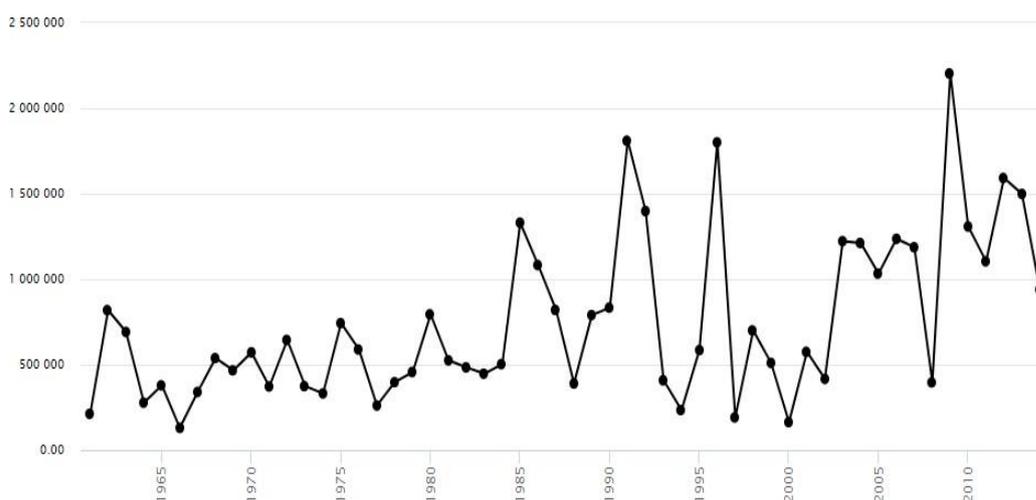


Figure.08: Production d'orge (tonnes) en Algérie (**Bazile et al., 2016**)

Chapitre .III

L'acide salicylique (AS)

I. L'acide salicylique

I.1. Définition d'acide salicylique

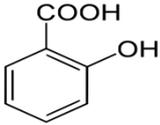
L'acide salicylique (SA), un phénol végétal, est maintenant considéré comme un régulateur endogène de type hormonal et son rôle dans les mécanismes de défense contre le stress biotique et abiotique a été bien documenté (**Hanan E. Deef, 2007**)

L'acide salicylique, libre ou conjugué, présent en abondance dans l'écorce et les feuilles de Saule (*Salix alba*), dont les propriétés analgésiques sont connues depuis l'Antiquité. Isolé en 1838 à partir de son conjugué (salicine) et synthétisé au laboratoire en 1874. C'est un constituant de l'aspirine (acide acétylsalicylique) (**Heller et al., 2000**).

I.2. Structure et dénomination

L'acide salicylique (acide o-hydroxybenzoïque, $C_7H_6O_3$) a un système cyclique central, de nature aromatique ou hétéro-aromatique. Il possède un groupement acide et un groupement hydroxyle (en position ortho) directement fixé sur la partie aromatique.

Tableau 03: Structure d'acide salicylique (**Pastre J, 2005**)

Structure	Formule brute	Synonymes
	$C_7H_6O_3$ C_6H_4 (COOH)	Acide orthohydroxybenzoïque

I.3- Biosynthèse de l'acide salicylique

L'acide salicylique résulte de la β -oxydation et de l'hydroxylation de l'acide transcinnamique, un dérivé de la phénylalanine. Le passage de la phénylalanine à l'acide trans-cinnamique est une désamination catalysée par la phénylalanine-ammoniac lyase (PAL) (Fig.09). Deux autres réactions: hydroxylation par une mono oxygénase à cytochrome P450, β -oxydation, interviennent ensuite, sous deux modalités différentes selon les matériels, pour donner l'acide salicylique (**Heller et al., 2000**).

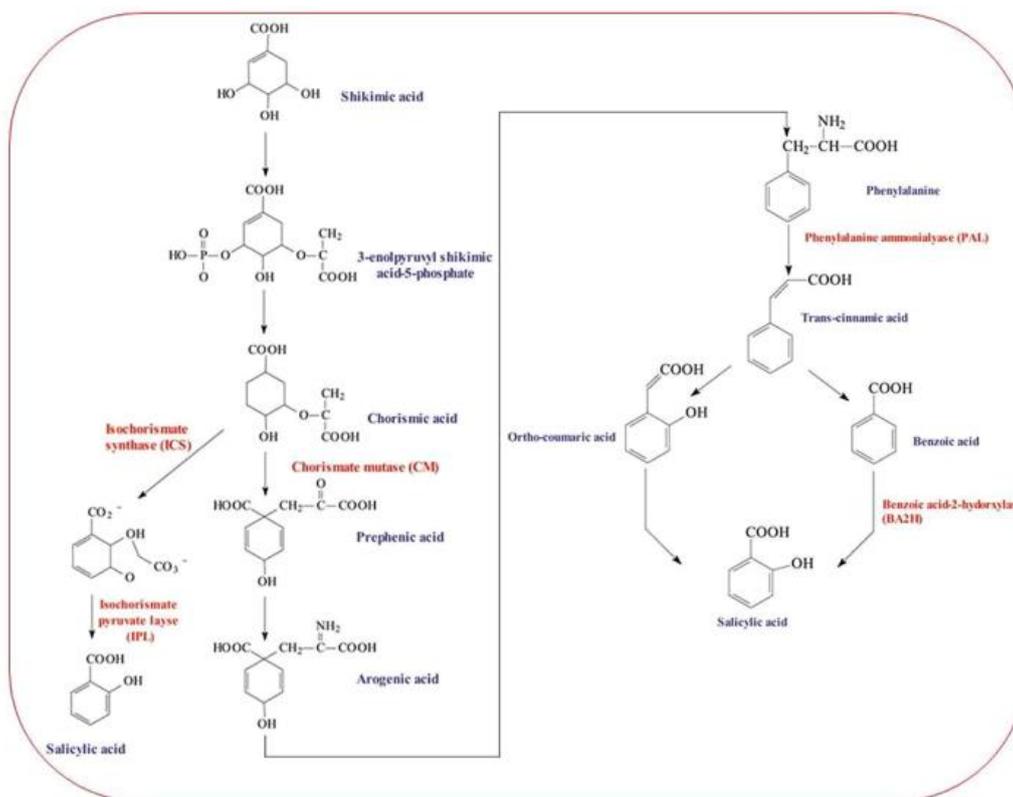


Figure 09: Le modèle de biosynthèse de l'acide salicylique (Khan et al., al 2015)

I.4. Rôle de l'acide salicylique :

I.4.1. Rôles physiologiques de SA dans la croissance des plantes

En ce qui concerne le rôle physiologique chez les plantes, la SA est connue pour jouer un rôle central dans la régulation de la morphologie, du développement, de la floraison et de la fermeture des stomates. L'AS affecte également la germination des semis, la croissance cellulaire et la nodulation chez les légumineuses. De plus, une amélioration la croissance, du nombre de feuilles, de la biomasse sèche et du diamètre de la tige chez les plantes de blé lorsque les feuilles ont été pulvérisées avec du SA. Le taux de transpiration et l'indice stomatique des plantes ont augmenté en réponse à la supplémentation en SA. La concentration de pigment dans les graines de blé s'est considérablement améliorée lors de l'exposition à une faible concentration (10⁻⁵ M) de SA. Cependant, l'application foliaire de SA a réduit le taux de transpiration chez les plantes d'essai, *Phaseolus vulgaris* et *Commelina communis*, ce qui pourrait être dû à la fermeture stomatique évoquée par SA. De plus, il a été rapporté que le SA augmente la durée de conservation des fleurs coupées de rose et retarde la sénescence en contrôlant le niveau d'eau dans les rosiers (Sharma et al., 2020).

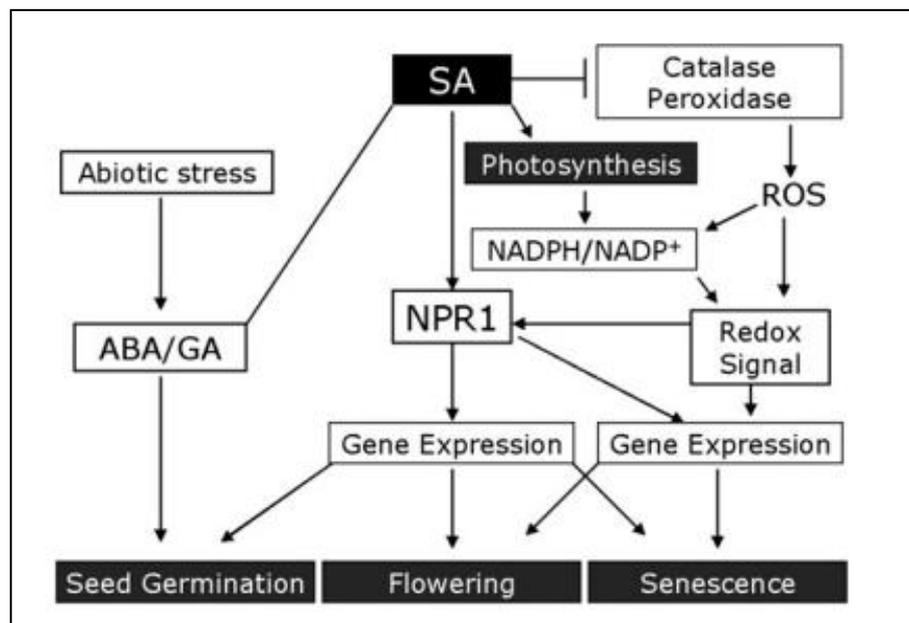


Figure.10 : Model descriptive de la fonction de l'acide salicylique dans la croissance des plantes (**Rivas-San Vicente et Plasencia,2011**)

L'application exogènes de l'acide salicylique a un effet sur une large gamme de processus physiologique en condition défavorable externe, il a été prouvé dans plusieurs recherches que l'acide salicylique ou bien certains de ces dérivés tels que l'acide sulfosalicylique (ASS) ou l'acétyle acide salicylique (AAS) participent à la régulation de plusieurs voies métaboliques et physiologiques, mais son mécanisme d'action n'est pas encore bien clair et est toujours en cours d'études (**Shakirova et al., 2003**).

I.4.2. Rôle de l'acide salicylique dans la défense

L'acide salicylique est connu principalement pour ces fonctions analgésiques. Cette molécule agirait comme un signal chimique permettant à la plante de résister aux bactéries, virus ou champignons microscopiques qui l'attaquent ; cette fonction de l'acide salicylique a été mise en évidence chez la plante Voodoo (*Arum lilies*) (**Raskin et al.,1987**).

Des preuves détaillées ont montré que l'acide salicylique (SA) agit également comme une substance signal dans l'induction de la réponse spécifique de la plante aux stress biotiques et abiotiques. Le SA peut augmenter la tolérance du blé à la sécheresse, à la salinité, aux pathogènes, au stress thermique, et aux métaux lourds (**Popova et al., 2009 ; Hara et al. al., 2012 ; Miura et Tada, 2014 ; Han et al., 2015 ; Semida et al., 2015**).

En plus, la corrélation entre la concentration d'acide salicylique dans les feuilles, l'accumulation de protéines du stress et la taille des lésions associées à une infection par le virus de la mosaïque chez le tabac a été démontrée (**Yalpani et al., 1993**).

La corrélation observée entre la concentration d'acide salicylique et la résistance de la plante laisse supposer aux auteurs que l'acide salicylique joue un rôle de molécule de signalisation pour les réactions défensives de la plante. L'acide salicylique est une molécule de signal commune à la plante, et responsable d'inciter sa tolérance à un certain nombre de stress biotique et abiotique (**Nicole et al., 1998**).

L'acide salicylique stimule le système immunitaire inné de la plante face aux différents stress abiotique et biotique et déclenche la réponse.

Facilite la résistance aux pathogènes ;

Signal de thermogénèse (utilisation de la chaleur par les plantes) (ex : arums/insectes) ;

Inhibe production d'éthylène donc prolonge durée de vie des fleurs et fruits ;

Inhibe aussi l'acide abscissique (ABA).

En ce qui concerne le rôle de l'acide salicylique sur les variations des sels minéraux, il semble qu'il y a un antagonisme entre l'effet du sel et celui de cet acide, il paraît qu'il diminue certains éléments et augmente d'autres. L'addition de différentes doses d'acide sulfosalicylique à la solution saline, provoque soit une inhibition du taux de Na^{+2} avec en parallèle une augmentation très nette des taux de K^{+} et du Ca^{++} au niveau des feuilles surtout en comparaison avec les taux trouvés chez les plantes stressées et non traitées par l'acide salicylique. Ces données corrélerent avec ceux mentionnée chez le maïs (**Gunes, 2006**) et l'orge (**Eltayeb, 2005**) qui ont utilisés ce composé comme traitement chez ces plantes vis-à-vis le stress salin (Fig.00).

Il a été prouvé que l'acide salicylique est impliqué dans la tolérance au froid chez le blé et le maïs (**Nemeth, 2002**) et le poivron (**Korkmaz, 2007**), la tolérance au gel chez le maïs (**Janda et al., 2005**). La tolérance à la salinité chez *Arabidopsis thaliana* (**Borsani, 2001**), l'orge (**El-Tayeb, 2005**) et le blé (**Arfan, 2006**), et la tolérance à la sécheresse chez la tomate et la fève (**Senaratna et al., 2000**) et le melon (**Korkmaz et al., 2007**).

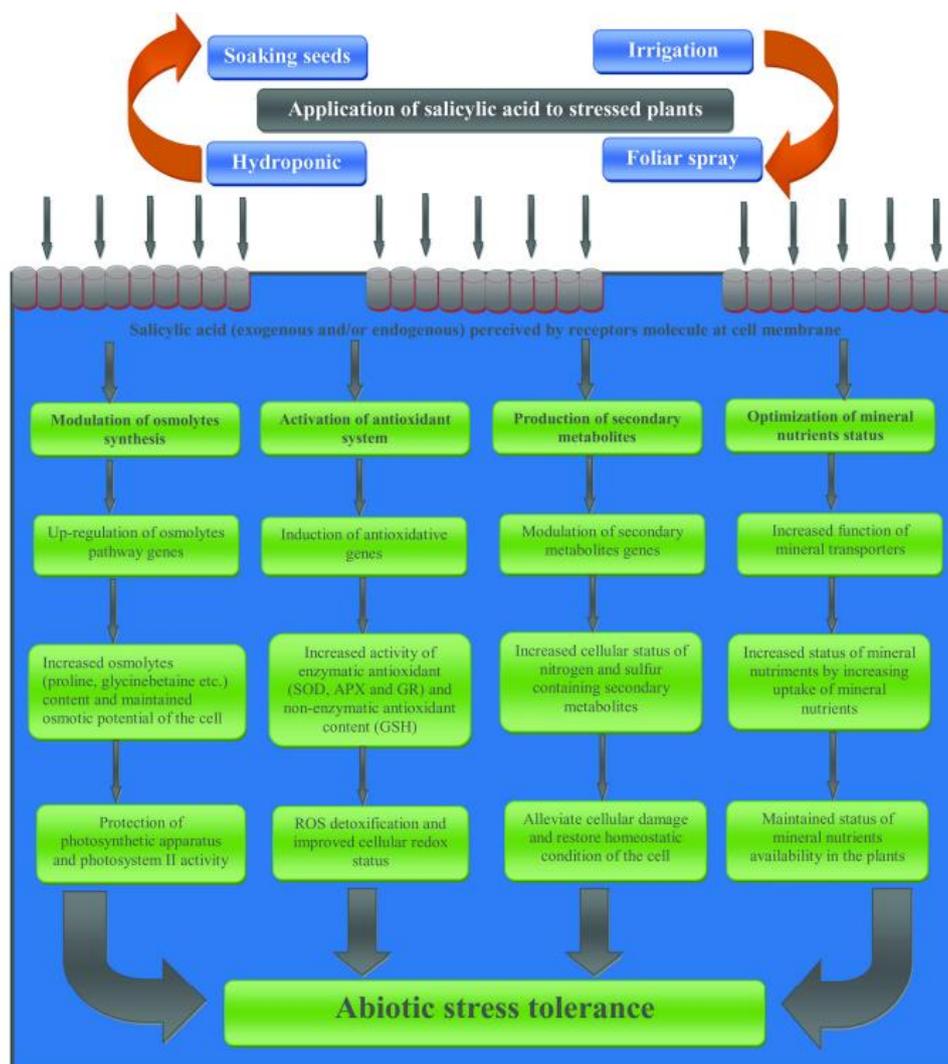


Figure.11: Schémas simplifiés représentant les mécanismes potentiels qui régissent la tolérance des plantes au stress abiotique médiée par le SA (Khan et al., al 2015).

I.5. Effet de L'AS contre la toxicité des métaux lourds

Les régulateurs de croissance des plantes ou les phytohormones en particulier, les gibbérellines, l'auxine, les cytokinines, l'éthylène, les brassinostéroïdes et également la SA jouent un rôle clé dans la tolérance à la HM des plantes. SA, une hormone végétale phénolique, régule la photosynthèse, la respiration et le mécanisme de défense antioxydant chez les plantes sous différents stress abiotiques tels que la température élevée, la salinité et le HM. Le prétraitement SA offre une protection contre divers métaux tels que Pb, Hg, Cd, dans différentes usines (Sharma et al., 2020).

La supplémentation en SA en combinaison avec des bactéries favorisant la croissance des plantes réduit les dommages oxydatifs induits par le Cr dans le maïs en améliorant les activités des enzymes antioxydantes et non antioxydantes. Plus tôt, Song et al, ont rapporté une amélioration médiée par SA dans les activités des enzymes CAT et SOD dans les feuilles d'orge sous stress Zn, Cu et Mn. En outre, le métabolisme des glucides dans les plants de maïs traités au Cr s'est amélioré lors de l'exposition au SA. Une réduction de la toxicité du Cd a été signalée dans des plantes de moutarde en réponse à un traitement exogène de SA. Récemment, le traitement SA a atténué le stress lié au Cd chez les plantes de Brassica juncea et a amélioré la croissance et la photosynthèse des plantes. De plus, la supplémentation en SA réduit les niveaux d'espèces réactives de l'oxygène en renforçant le système de défense antioxydant des plantes et assure la stabilité de la membrane végétale (**Fig.11**) (Sharma et al., 2020).

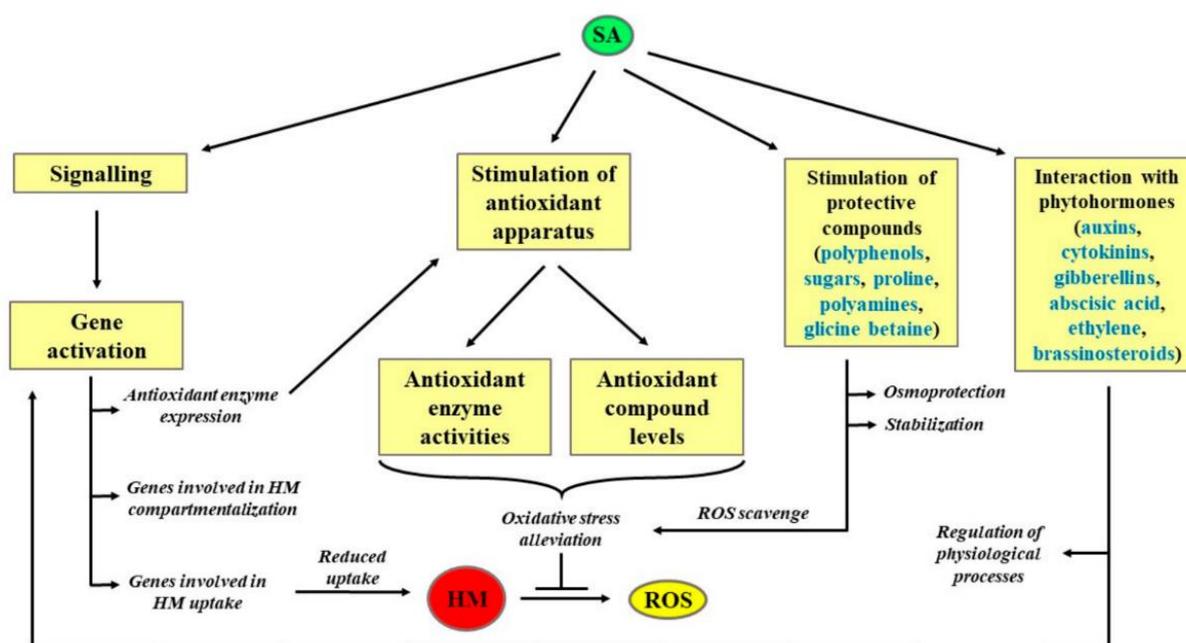


Figure.12 : Schématisation du rôle protecteur exercé par SA dans les plantes stressées par HM. HM : Métaux lourds ; ROS : espèces réactives de l'oxygène; SA : acide salicylique (Sharma et al., 2020).

I.5.1 Régulation de la signalisation cellulaire par le SA en cas de stress aux métaux lourds

La tolérance au stress HM induite par le SA confirme son rôle dans la signalisation du stress. Le mécanisme de tolérance ne dépend pas seulement de la concentration et du mode d'application du SA mais aussi de l'état général des plantes. Le stress abiotique n'affecte pas seulement la croissance et le développement des plantes, mais régule également la machinerie de réplication de l'ADN. L'application de SA régule à la hausse le gène topoisomérase et le facteur d'élongation du chloroplaste qui aident à l'adaptation des plantes dans des conditions de stress. De plus, le SA est connu pour induire l'expression de TLC1, une famille de rétrotransposons à longue répétition terminale *in vivo*. Cette famille est activée transcriptionnellement dans des conditions de stress et son expression par le SA suggère son rôle dans les voies de signalisation médiées par le SA. Un autre mécanisme adopté par le SA pour réguler la réponse de la plante au stress HM est l'augmentation de l'activité des enzymes impliquées dans la voie AsA-GSH. L'AsA et le GSH sont des composés redox actifs qui maintiennent l'équilibre redox cellulaire dans les plantes (Sharma *et al.*, 2020). La supplémentation en SA a également augmenté le niveau de SOD et de POD dans le Cannabis sativa et a amélioré la tolérance au Cd, ce qui pourrait être lié à l'augmentation de la concentration de Ca²⁺ (un second messager) et de H₂O₂, qui favorise finalement l'activité des enzymes antioxydantes qui réduisent le niveau de ROS cellulaire dans les plantes (Fig.12)

Chapitre IV :
Matériel et Méthodes

I. Matériel et Méthodes

I.1. Objectif de l'étude:

Notre objectif est de déterminer l'effet du prétraitement de l'acide salicylique (AS) sur la toxicité de plomb chez l'orge (*Hordeum vulgare*).

I.2. Matériel végétal

Un lot homogène de graines d'orge (*Hordeum vulgare* L. cv. techidrett) a été obtenu auprès du l'ITGC Saida, Algérie. Le choix de cette plante revient à leur haut rendement et sa résistance à divers contraintes. Les paramètres phénologiques, les paramètres morphologiques et le degré de tolérance aux stress abiotiques sont dans le tableau ci-dessous :

Tab.04 : les caractéristiques agronomiques de la variété de Tichedrette.

Variétés caractères	Tichedrette
Morphologie Epi	6 rangs, compact à barbes très longues
Paille Grain	moyenne long et peu ridé
Cycle végétatif tallage	précoce moyen
Comportement à l'égard des maladies	Sensible à la rouille jaune et à la rhynchosporiose Assez tolérante a l'helminthosporiose
Productivité	Bonne
Zone d'adaptation	Plaines intérieures, hauts plateaux

I.3. Condition de l'essai

Les essais ont été réalisées dans laboratoire de biologie végétale de l'université de saida, Les graines sont sélectionnées et stérilisés en surface dans une solution d'éthanol à 95 % pendant 10min puis rincés abondamment avec de l'eau distillée stérile. Les graines ont été prétrempées pendant 20 h, soit dans 20 μ M de l'acide salicylique (AS), soit dans de l'H₂O distillée comme témoin. Après cela, ils ont été mis à germer dans des boîtes de pétri

à l'obscurité à 24°C pendant 5 jours. Des semis de taille et de vigueur égale ont été transplantés dans des pots en polyéthylène contenant un substrat (2/3 terreau et 1/3 sable). Les pots sont additionnés par une solution contenant une concentration de Pb (100µM) pendant 15 jours.

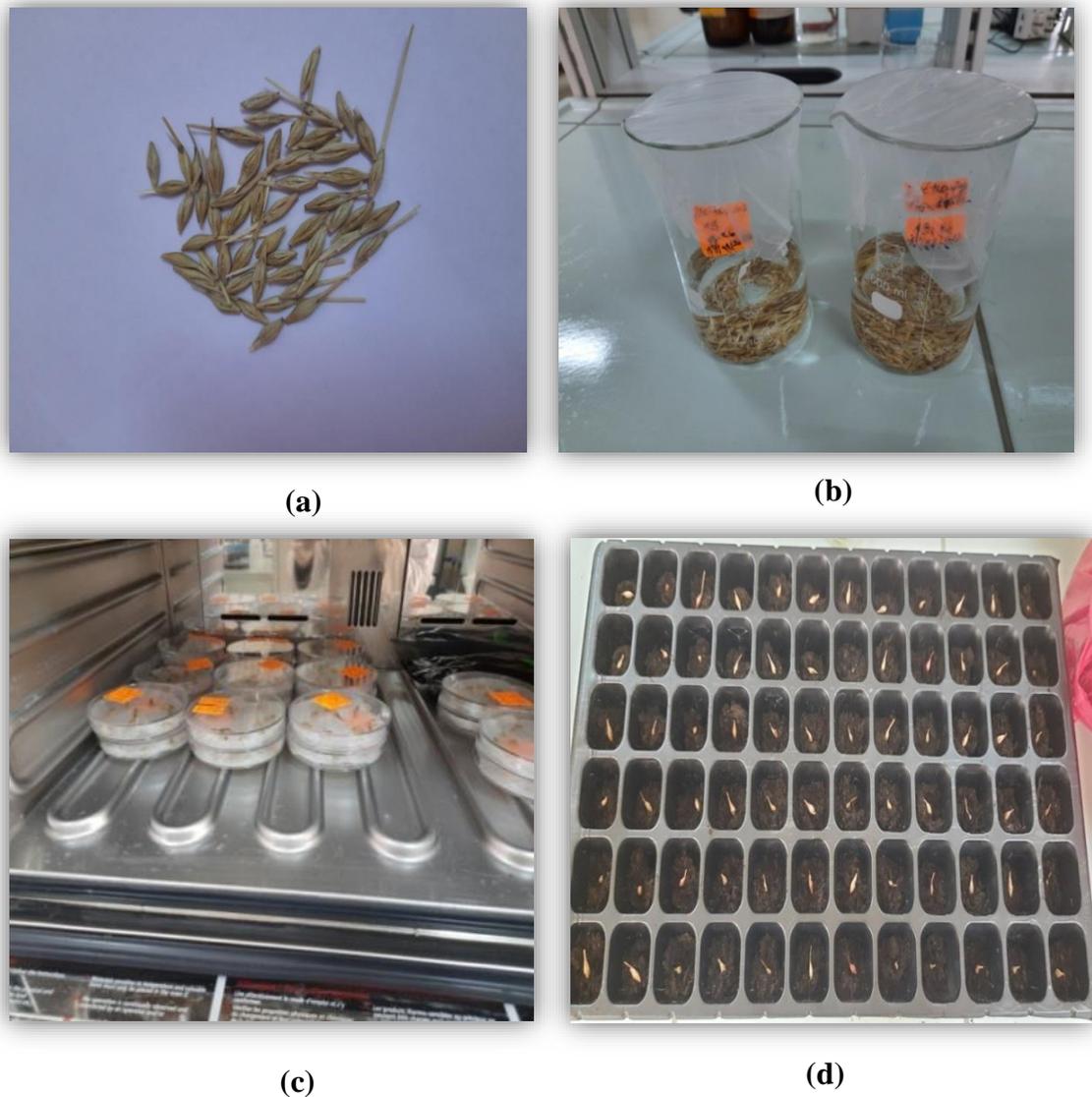


Figure.13 : Différentes étapes de germination et transplantation

(a) : la sélection des graines ; (b): prétrempée de grains ; (c): germination des graines (d): transplantations des plantules .

La nutrition hydrominérale des plantes est assurée par l'arrosage trois fois par semaine: à l'eau distillée (pour les lots témoin); avec les solutions du Pb (pour les lots Pb) et une fois sur trois (pour toute les plantes) par une solution nutritive de type Hoagland (Tab.05).

Tableau 05: Composition de la solution nutritive utilisée dans la culture hydroponique des céréales (Hoagland,1938).

Eléments chimiques	Concentrations (mg.L ⁻¹)
(NH ₄) ₂ SO ₄	48,2
MgSO ₄	65,9
KH ₂ SO ₄	15,9
KNO ₃	18,5
Ca(NO ₃) ₂	59,9
KH ₂ PO ₄	24,8
MnCl ₂ ·4H ₂ O	0,9
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0,11

I.3.1. Récolte et préparations des plantes

Les plantes sont récoltées après 20 jour de traitements. Une fois débarrassée de leur substrat, les racines sont rincées à l'eau robinet, puis séchées sur du papier filtre. Pour chaque plante, deux échantillons prélevés: la partie aérienne (les feuilles et les tiges) et la partie souterraine (les racines).



Figure.14: la récolte de la partie aérienne et racinaire.

I.4.Paramètres étudiés

Les mesures effectuées sur les paramètres morphologiques des plantes (nombre de feuilles et racines, hauteurs de parties aériennes et racinaires).

I.4.1.Paramètres morphologiques

I.4.1.1.Taux moyen de germination

Il est exprimé par le pourcentage des graines germées par rapport au nombre total des graines par boîtes de pétri.

$$\text{Taux de germination \%} = \left(\frac{\text{NG}}{\text{NGG}} \right) (100)$$

NG: nombre de graines germées. NGG: nombre de graines mises à germer.

I.4.1.2.Vitesse de germination

La vitesse de germination est déterminée par la formule suivante (**Haddad, 2001**) :

$$\text{VG} = \frac{(\text{ngg 1er jour})/1 + (\text{ngg 2ème jour})/2 + \dots + (\text{ngg nème jour})/n}{n}$$

VG : vitesse de germination ; Ngg : nombre de graines germées.

I.4.1.3.Mesure des paramètres de croissance

- **Longueur moyen des feuilles :**

La hauteur des feuilles de chaque plante a été mesurée chaque semaine durant l'exposition au plomb.

- **Longueur moyenne des racines**

A la fin de l'essai, la longueur des racines a été mesurée.

I.4.2.Paramètres biochimiques

I.4.2.1.Détermination des concentrations des pigments photosynthétiques

Les concentrations des chlorophylles a, b ont été évaluées en adoptant la méthode donnée par **Arnon (1949)**. Les mesures optiques ont été mesurées à des longueurs d'onde de 663 et 645 nm.

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 (CaCO₃) 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 densité optique (Do) des extraits pigmentaires est lue respectivement à 645 et 663 nm

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

$$\text{Cha} = 12.7y - 2.69x$$

$$\text{Chb} = 22.99x - 4.68y$$

$$\text{Ch(a+b)} = 20.21x + 8.02y$$

Où :

X : est laborbonce de la chlorophylle a 645 nm

Y : est laborbonne a 663 nm



Figure .15 : Méthodede préparé le dosage des pigments photosynthétique

I.4.2.2.Détermination des concentrations des sucres solubles totaux

-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%.
 - (Attention le mélange chauffe beaucoup !).
 - 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.
- 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 : $Y=3,868 X$



Figure.16 : Dosage des sucres dans les feuilles et racines.

I.4.2.3. 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:

- ✚ **Préparation de l'échantillon:** (0.1g) de l'échantillon (racines et feuilles) 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.
- ✚ **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 ortho phosphorique à 85% et compléter à l'eau distillée jusqu'à 1 litre.
- ✚ **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

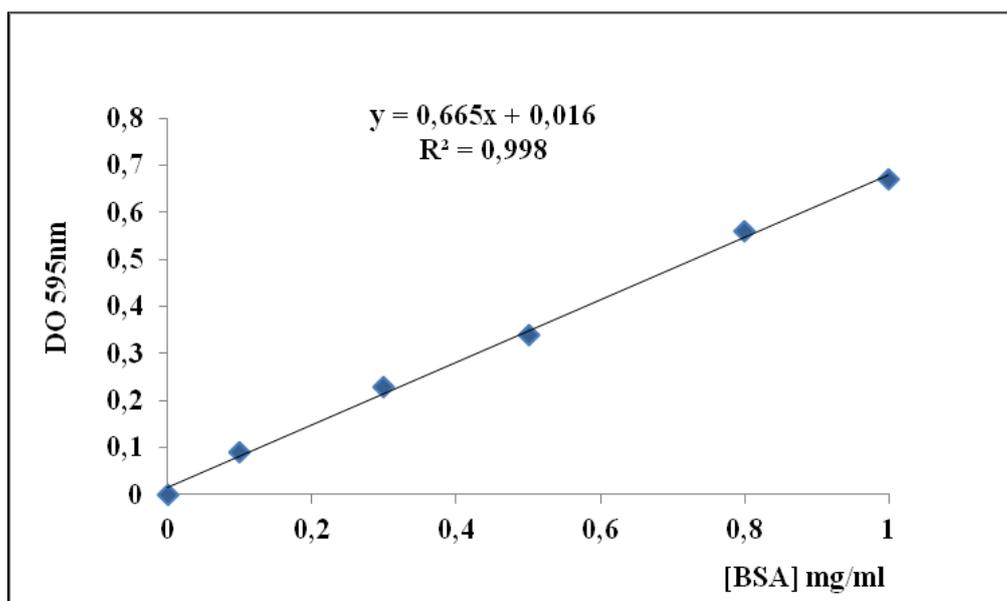
Réalisation de la gamme détalonnage

Tube à essai	1	2	3	4	5	6
BSA (ul)	0	20	40	60	80	100
H2O distillée (ul)	100	80	60	40	20	0
BBC (ml)	4	4	4	4	4	4
BSA (ug)	0	20	40	60	80	100

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

+ Dosage des échantillons

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

**Figure.17** : Dosage des protéines.**Figure.18** : La courbe d'étalonnage utilisée (BSA 1 mg/ml) pour le dosage des protéines.

Analyse statistique

Les résultats sont exprimés comme la moyenne (M) des valeurs individuelles, affectée de l'erreur standard à la moyenne (SEM). Une analyse de la variance (TwoWayANOVA) a été réalisée pour la longueur des pousses/racines. L'analyse de la variance a également été appliquée pour déterminer les niveaux de signification de la teneur en chlorophylle, protéines et sucres., résultant des différents traitements AS et/ou Pb suivie éventuellement du test Post-Hoc Student-Newman-Keuls : * $p \leq 0,05$ indique une différence significative. Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel Sigma Stat.

Chapitre V :
Résultats et discussion

Variété Tichedrett**Effet de prétraitement de l'acide salicylique sur la toxicité du plomb chez l'orge :****I. Effet du plomb sur les paramètres morphologiques****I.1. Taux de germination**

Le pourcentage de germination atteint 80% chez le groupe témoin. Des pourcentages de 76%, 74% ont été enregistrés respectivement dans les traitements 500 μ M et 1000 μ M de plomb. La toxicité au plomb affecte le taux de germination des graines. Par contre, les graines traitées par l'acide salicylique seul présentent une nette augmentation du taux de germination.

Le prétraitement à l'acide salicylique (500 μ M) a amélioré la germination par rapport aux graines intoxiquées. (fig.19)

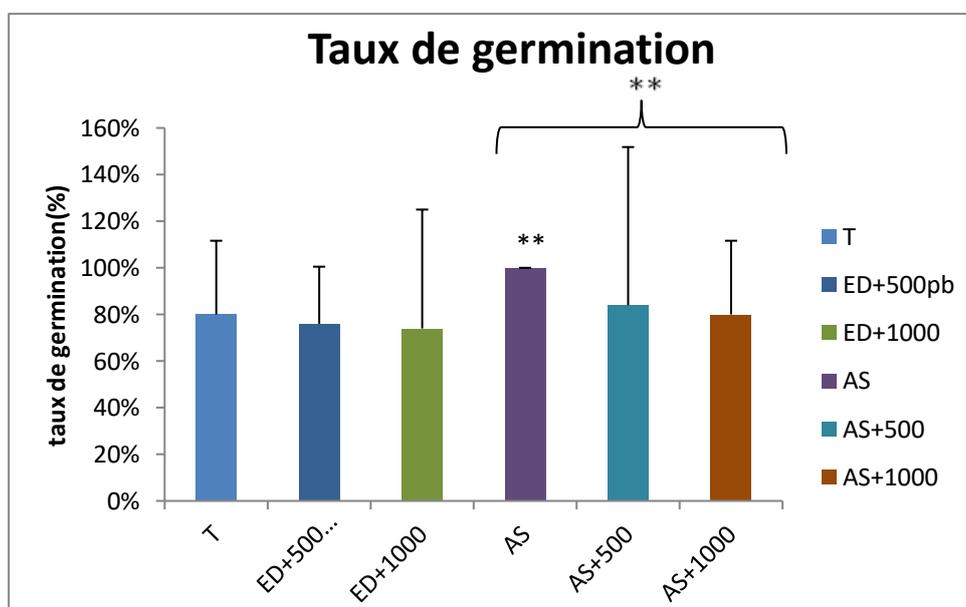


Figure (19) : Influence de plomb et d'acide salicylique sur le taux de germination des graines d'orges.

I.2. Vitesse de germination

L'observation du graphe montre que plus la concentration de plomb est élevée, plus la vitesse de germination est diminuée. L'ajout de l'acide salicylique a affecté positivement sur la vitesse de germination.

Aucune différence significative a été observé entre AS-Pb 500, AS-Pb1000 et ED-Pb 500, ED-Pb1000 respectivement (Fig.20).

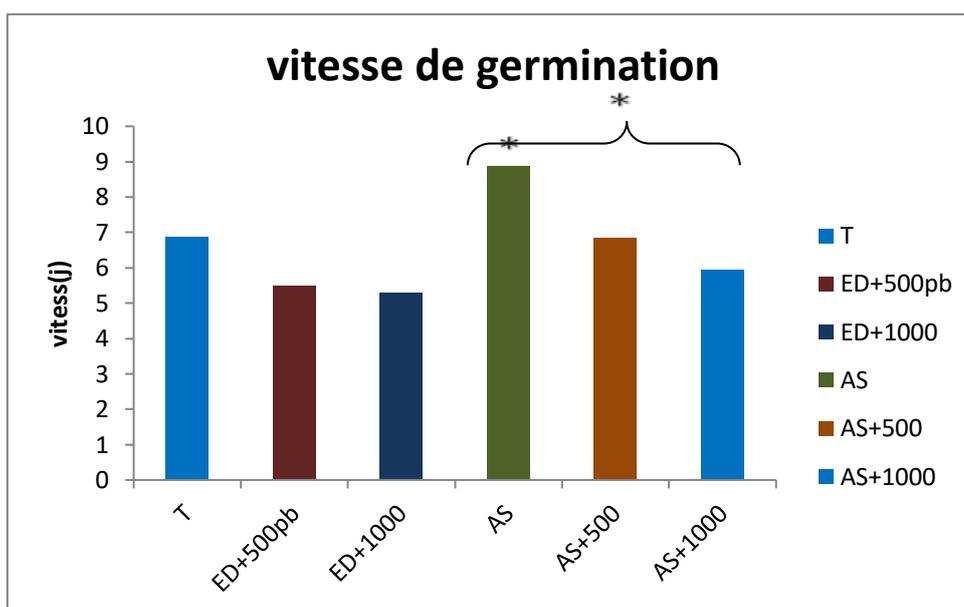
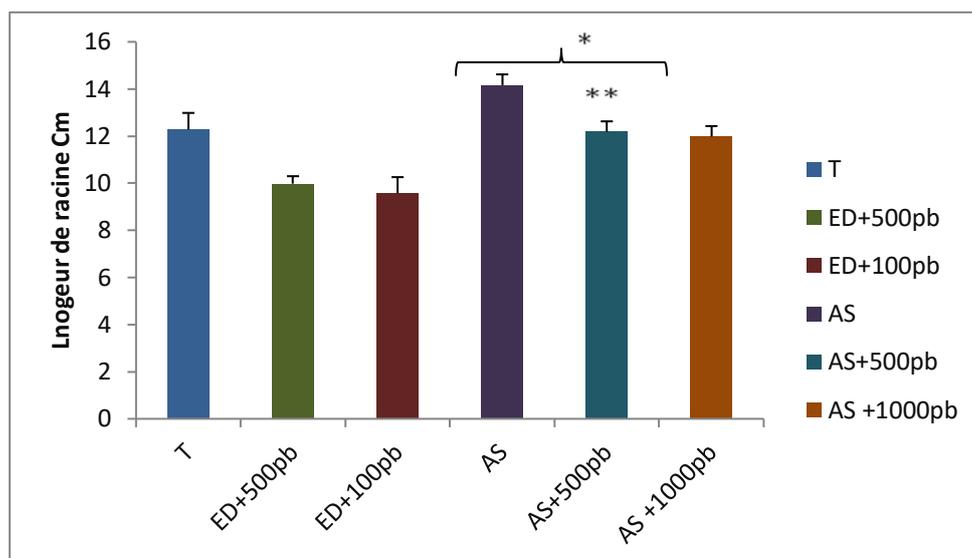


Figure (20) : Effet de plomb et d'acide salicylique sur la vitesse de germination des graines d'orges.

I.3.Effet du plomb sur la croissance

I.3.1 Effet de prétraitement de l'acide salicylique sur la toxicité du plomb sur la longueur des racines

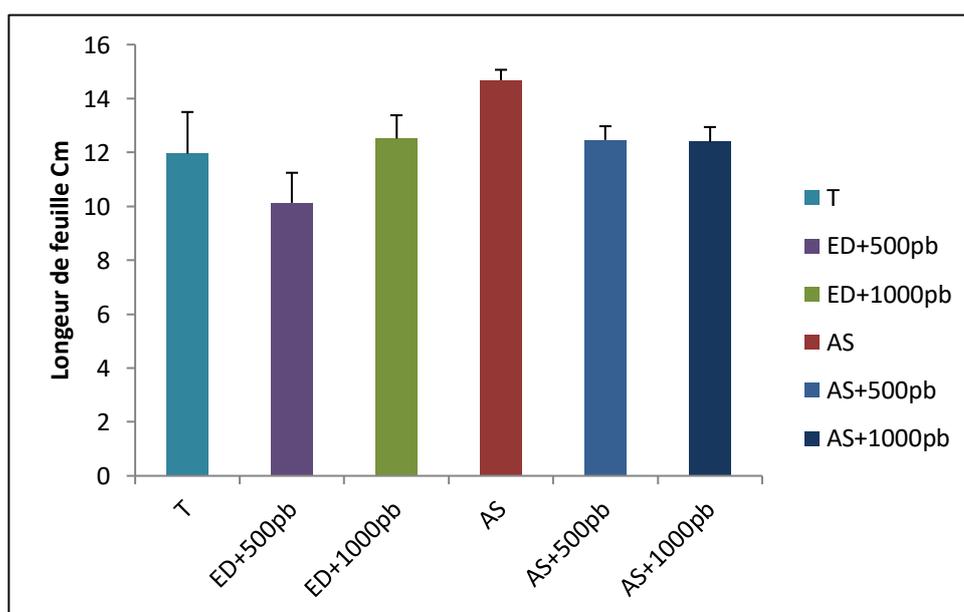
La croissance racinaire est aussi perturbée de manière visible par le traitement de plomb surtout avec l'augmentation de concentration du Pb. une longueur de 10.9166 ± 0.318 (cm) a été enregistré dans le lot (Pb500) contre une longueur de 9.866 ± 0.678 (cm) dans le lot Pb1000 par rapport au lot témoin ave une longueur de $12,28 \pm 0.704$ (cm). L'AS corrige cette diminution mais à un niveau inférieur du témoin. L'analyse statistique montre que la longueur des racines est de l'ordre $12,18 \pm 0,44$ (cm) de groupe intoxiqué traité $500 \mu\text{M}$ qui reflète une augmentation significative ($p < 0,01$) comparé avec le groupe intoxiqué $500 \mu\text{M}$. (**Fig.21**)



Figure(21) : Influence de plomb et d'acide salicylique sur l'évolution de longueur des racines

I.3. Effet de prétraitement de l'acide salicylique sur la toxicité du plomb sur la longueur des feuilles

Les résultats obtenus montrent une inhibition non significative dans la longueur des feuilles chez les plantes exposées à des concentrations élevées de Pb. Tandis que, le prétraitement à l'AS a nettement atténué l'inhibition de la croissance des feuilles induite par le Pb dans les lots AS-Pb500 et AS-Pb1000 respectivement. **.(Fig.22)**



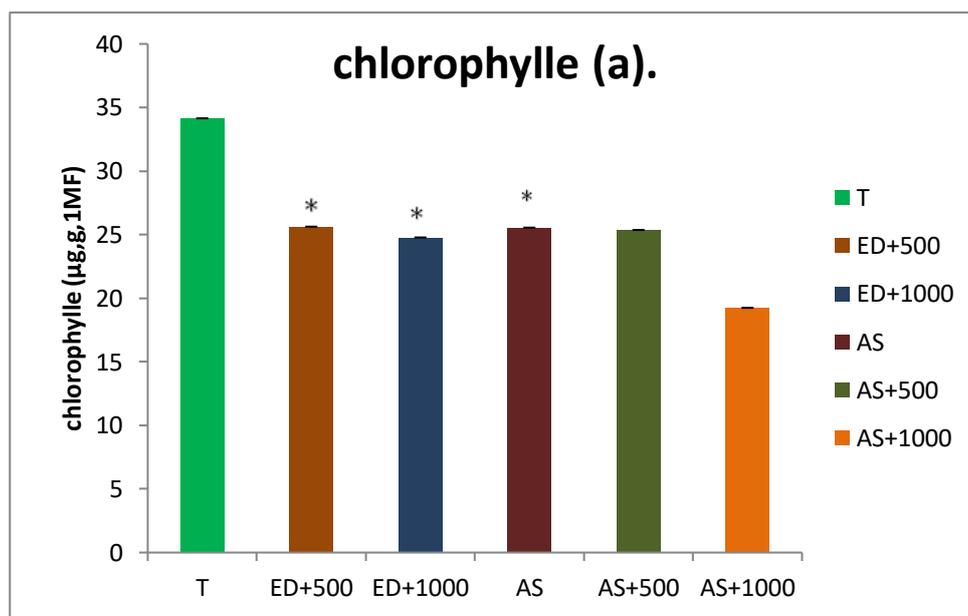
Figure(22): Influence de plomb et d'acide salicylique sur l'évolution de longueur des feuilles.

II. Evaluation des paramètres biochimiques

II.1.Effet de prétraitement de l'acide salicylique sur la toxicité du plomb sur la synthèse de pigments photosynthétique

II.1.1.La teneur en chlorophylle a

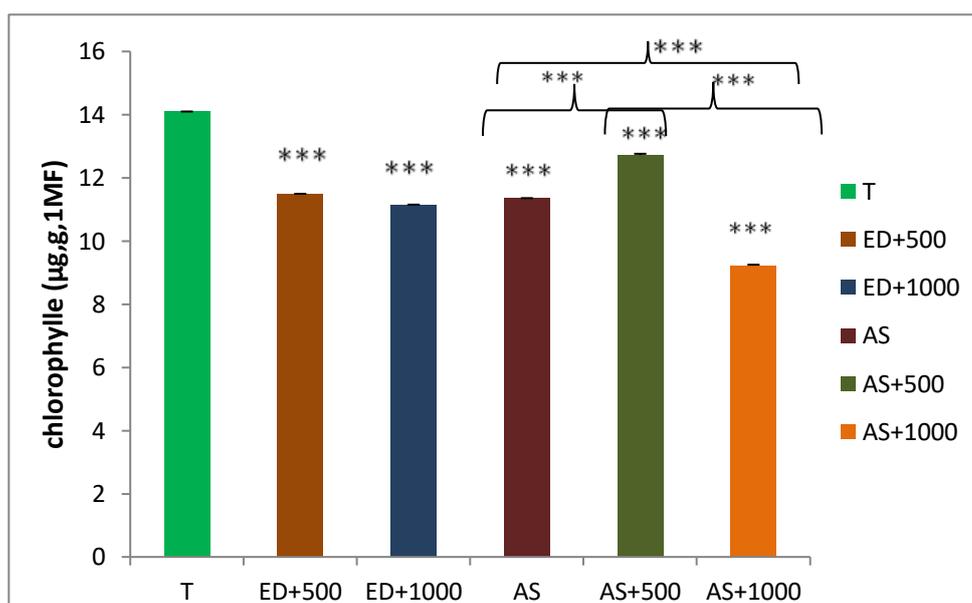
Les résultats présentés dans la figure 03 montrent que la teneur en chl *a* a diminué significativement ($p < 0,05$) chez les lots AS, ED-500 et ED-1000 comparé avec lot témoin respectivement. En, revanche, nous avons remarqué aucune différence significative de la teneur en chl *a* dans les traitements (AS-Pb500, AS-Pb1000.) par rapport les intoxiqués (ED-Pb500, ED-Pb1000) respectivement. La forte concentration de Pb a entraîné une diminution de la teneur en chlorophylle et par conséquent une diminution de la photosynthèse ce qui limite l'assimilation de CO₂ et synthèse de la matière organique (**Fig.23**).



Figure(23) : Effet de prétraitement de l'acide salicylique sur la toxicité du plomb sur la teneur en chlorophylle (a).

II.1.2. la teneur en chlorophylle b

Les teneurs en chlorophylle b sont significativement plus faibles au niveau du traitement Pb (500pb, 1000pb) et AS par rapport lot témoin. De plus, Les teneurs en chlorophylle b sont significativement élevées chez lot AS-Pb 500 par rapport lot ED-Pb500 par contre lot AS-Pb1000 est significativement faible par rapport lot ED-Pb 1000, Tandis que, le lot AS-Pb 500 a révélé une élévation hyper significative ($p < 0,001$) en teneur de chl (b) que le lot AS-Pb 1000 (**fig.24**).

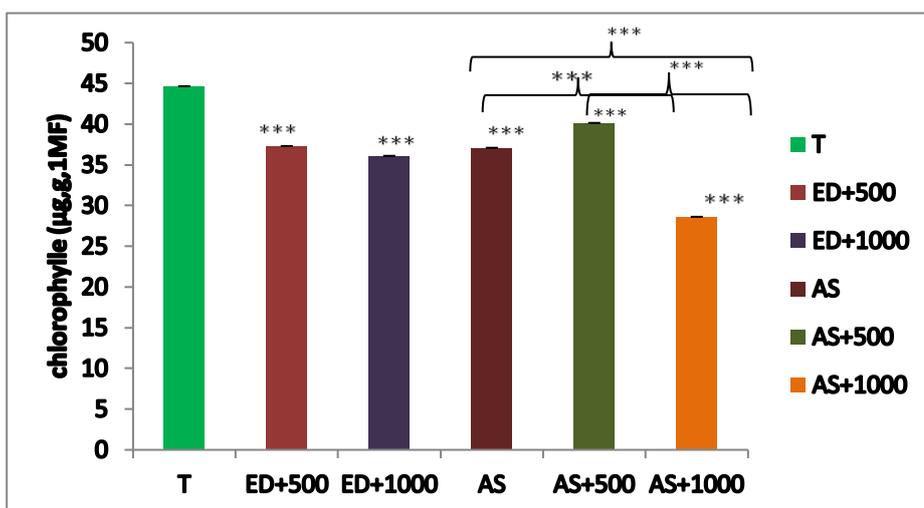


Figure(24) : Effet de prétraitement de l'acide salicylique sur la toxicité du plomb sur la teneur en chlorophylle (b).

II.1.3. la teneur en chlorophylle (a+b)

les résultats de la figure ci-dessous montre une perturbation des niveau chlorophylle a+b. Une diminution significative ($p < 0.001$) a été observé entre les concentrations de chl(a+b) chez les témoin traité , les intoxiqués 500µM, 1000µM et témoin respectivement. D'autre part il existe une augmentation significative ($p < 0.001$) de la tenue en chl (a+b) de groupe AS-Pb500 par rapport ED-Pb500 et AS respectivement.

Par contre, le groupe AS-Pb1000 présente une diminution significative ($p < 0.001$) de concentration de chl (a+b) comparé avec les groupes ED-Pb1000, AS, AS-Pb500 (**fig.25**).

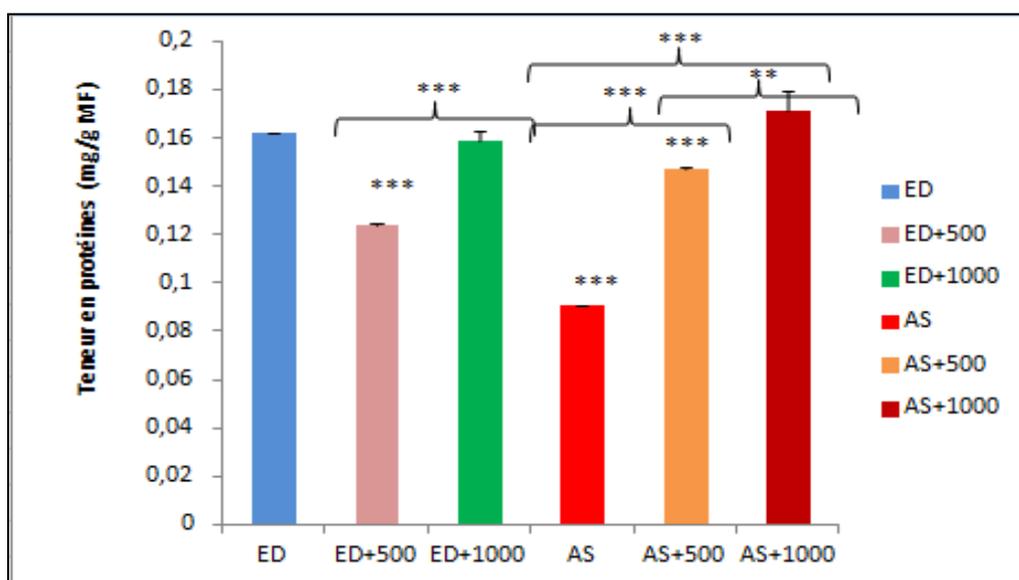


Figure(25) : Effet de prétraitement de l'acide salicylique sur la toxicité du plomb sur la teneur en chlorophylle (a+b)

II.2.Effet de prétraitement de l'acide salicylique sur la teneur en protéines totaux

a. Au niveau des feuilles

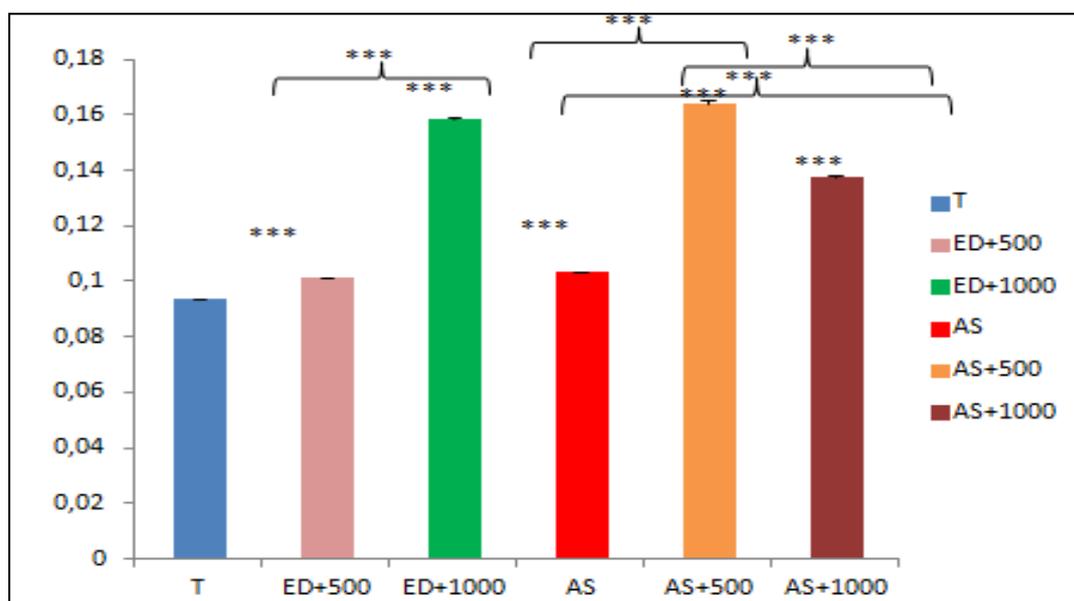
On remarque que le plomb provoque une diminution significative à la teneur des protéines au niveau des feuilles chez les plantes stressées par le plomb. Cette diminution quantitative de la teneur en protéines totales apparaît comme la résultante de plusieurs conséquences de l'action du plomb. Une récupération significative ($p < 0.001$) est observée dans la teneur en protéines chez les plantes prétraitées à l'AS puis intoxiqués au Pb. (fig.26).



Figure(26) : Effet de prétraitement de l'acide salicylique sur la teneur en protéines au niveau des feuilles

a. Au niveau des racines

L'exposition à court terme à une concentration de 500 μM Pb a provoqué une réduction dans la teneur en protéines par rapport au lot témoin avec 0,0148 mg/g de MF et 0,0231 mg/g respectivement. Cependant, les plantes d'orge prétraitées à l'AS sont caractérisées par des niveaux réduits. (fig.27).



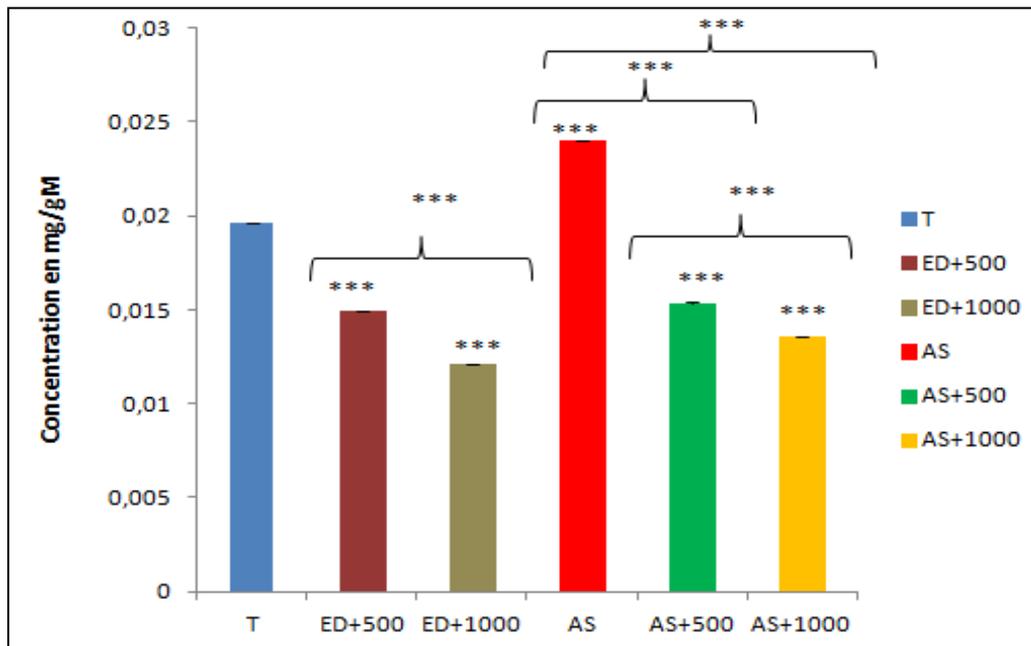
Figure(27) : Effet de prétraitement de l'acide salicylique sur la teneur en protéines au niveau des racines

II.2.Effet de prétraitement de l'acide salicylique sur la teneur en en sucres totaux

a. Au niveau des feuilles

Le plomb induit une diminution du taux des sucres solubles chez l'orge au niveau des parties aériennes et racinaires. Les groupes intoxiqués par les deux concentrations de Pb ont présentés des valeurs inférieures significativement ($p < 0.001$) en teneur en sucres par rapport au groupe témoin. En parallèle la concentration des sucres chez le lot intoxiqué 1000 est diminué significativement comparé au lot intoxiqué 500.

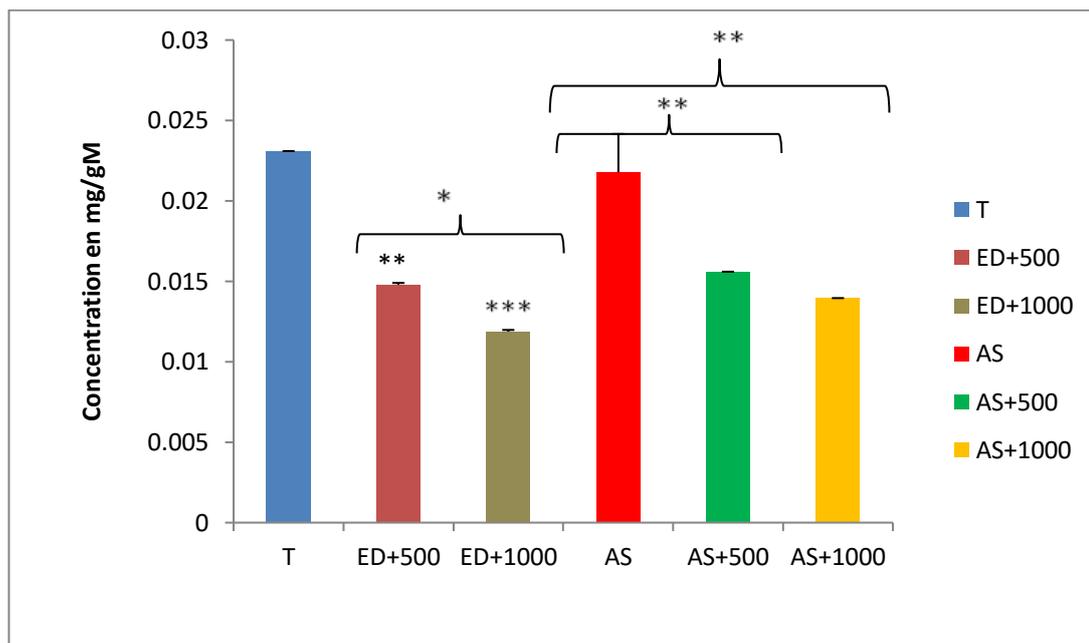
La toxicité du Pb affecte la photosynthèse par limitation de l'entrée de CO_2 ceci répercute sur la production de la matière organique. Cependant, L'acide salicylique a amélioré considérablement le taux en sucres dans le lot AS-Pb500 que dans le lot AS-Pb1000 avec des valeurs de 0,01537 (mg/gM) de MF et 0,01357 (mg/gM) respectivement. (fig.28).



Figure(28) : Effet de prétraitement de l'acide salicylique sur la teneur en sucres au niveau des feuilles

b. Au niveau des racines

La moyenne de sucre au niveau des racines chez les groupes intoxiqué (500 et 1000) sont de l'ordre 0.0148 (mg/gM) et 0.0118 (mg/gM) , qui représentent une diminution significative ($p < 0,01$) et ($p < 0,001$) respectivement par rapport au témoin avec moyenne de 0,0231 (mg/gM).en addition, nous avons remarqué que plus la concentration de Pb est élevé provoque une diminution significative ($p < 0,05$) de la teneur de sucre. Notre résultat montre une augmentation non significative pour les lots intoxiqué puis traité 500 et 1000 comparé aux lots intoxiqué 500 et 1000 respectivement (**fig.29**).



Figure(29) : Effet de prétraitement de l'acide salicylique sur sur la teneur en sucres au niveau des racines.

Discussion

Discussion :

L'exposition des plantes aux métaux lourds peut entraîner de nombreux troubles morphologiques et histologiques. L'inhibition de la croissance des plantes peut être considérée comme une réponse générale associée à la toxicité des métaux lourds (**Kopyra et al., 2006**).

Une diminution du taux de germination est observée dans le lot Pb 100µmM , cette diminution pourrait être due à l'interférence du plomb avec les processus métaboliques, ce qui entraîne une diminution de la production d'énergie pour l'embryon de la graine qui pourrait se produire en raison de l'effet inhibiteur du plomb sur les enzymes ATP synthétase/ATPase (**Tu Shu et Brouillette, 1986 ; Gill, 2014 ; Sedzik et al., 2015**) et résulte en un effet d'inhibition sur la germination des graines et donc retarde la croissance des semis.

Le rôle du SA dans la germination des graines a été controversé car il existe des rapports contradictoires suggérant qu'il peut inhiber la germination ou augmenter la vigueur des graines. Les effets contradictoires rapportés peuvent être liés aux concentrations de SA.

Szepesi et al, 2005 a démontré que la SA a sensiblement amélioré la vigueur de la germination dans des conditions de stress métallique chez les plantes de tomates. Dans une autre étude, prétraitement des graines avant le semis avec SA a montré un meilleur pourcentage de germination chez *Vicia faba* (**Anaya et al., 2015**).

La concentration 1000µM de Pb a provoqué une diminution de croissance. Par conséquent, la longueur des racines était plus affectée que la longueur des pousses après exposition au Pb. Ces résultats corroborent ceux de (**Hamoum, 2003**) chez le blé, (Djerah et Oudjehih ,2015) chez l'orge. Plusieurs travaux ont signalé que la réduction du développement des racines et des tiges de la plante est due aux effets toxiques des teneurs élevées en métaux lourds et au déséquilibre de la disponibilité en nutriments (**Datta et al., 2009**).

Le ralentissement de la croissance racinaire produite par le Pb pourrait être de moins partiellement en raison de l'effet de ce métal lourd sur la division des cellules racinaires (**Potters et al., 2007 ; Eun et al., 2000**), Des études ont permis d'observer une diminution du taux de transpiration ainsi que du contenu en eau dans les plantes (**Iqbal et Mushtaq, 1987; Sharma et Dubey, 2005**). Ceci pouvant être du à une fermeture des stomates induite par l'altération des flux de K⁺ à travers la membrane et l'augmentation du contenu en ABA. (**Bazzaz et al., 1974**).

Le prétrempage des graines de blé pendant 20 h avec 500 μM SA avant exposition au Pb a empêché la diminution de la croissance des plantules. Ces résultats sont concordants avec ceux de **(Deef, 2007)** chez le blé (*Triticum aestivum*) et d'orge (*Hordeum vulgare*) **(Shopova et al., 2021)** chez le blé (*Triticum aestivum*), **(Spormann et al., 2019)** qui ont fourni des informations utiles sur la capacité de l'AS à atténuer, au moins en partie, le stress des plantes induit par le plomb.

L'AS a amélioré les effets négatifs du Cd sur la croissance de l'orge **(Metwalley et al., 2003 ; Moussa et El- Gamal, 2010)** et du riz **(Choudhury et Panda, 2004)** ainsi que de la tomate stressée par le sel **(He et Zhu, 2008)**.

L'inhibition de la croissance produite par le Plomb pourrait être au moins partiellement due à l'effet de ce métal lourd sur la teneur en pigments, une diminution considérable a été enregistré dans les niveaux de chl a et ch b dans les plantules soumises au stress métallique Pb 500 μM , Ainsi qu'une dépigmentation foliaire est observé ce qui pourrait entraîner une sévère inhibition de la photosynthèse. De même, la teneur en chlorophylle ont diminué chez d'autres espèces végétales sous l'influence du Pb **(Deef, 2007; Cencki et al., 2010)**. Lei et al., (2006) ont signalé une inhibition non significative en teneur de chlorophylle en fonction de la dose de plomb appliqué. La teneur en pigments est affectée par la présence de Pb^{2+} dans le milieu extérieur qui induit à une compétition avec les ions minéraux au niveau des transporteurs cellulaires surtout en Mg^{+2} , cation, crucial dans la biosynthèse de chlorophylle **(Marschner, 1995)**.

Le prétraitement des plantes avec SA a induit une augmentation considérable en ch a et ch b des plantes d'orge dans les conditions de stress ou sans stress, qui était coforme à **(Deef, 2007)**. Zhou et al. (1999) ont rapporté que les pigments photosynthétiques étaient augmentés dans le maïs avec l'application de SA. Les graines prétraitées avec une solution de SA à 10-2 mol/L présentaient une teneur en chlorophylle plus élevée.

Le SA a également été impliqué dans la régulation des pigments photosynthétiques et du système antioxydant, en réduisant la formation de superoxyde et en assurant une meilleure activité des enzymes photosynthétiques **(Hayat et al., 2012; Khan et al., 2013; Ma et al., 2017)**.

Les teneurs en sucres ont été fortement réduites à la concentration de 1000 μM Pb appliquée. Tandis que le prétraitement AS n'avait pas aucun effet sur la teneur en protéines dans

les feuilles, mais dans les racines, il en a résulté une augmentation significative de la teneur en protéines. De même, à ces résultats, il a été précisé sur la base de nos constatations que le traitement au AS avait des effets bénéfiques sur le *Zea mays* (**Moravcová et al., 2018**).

Lors de notre étude, l'observation des résultats établis entre la longueur des racines et la teneur en protéines, il en ressort que cette variable est fortement influencée par le stress métallique. Cette diminution quantitative en taux de protéines apparaît comme la résultante de plusieurs conséquences de l'action du plomb, par une réduction de la teneur en acides aminés libres, corrélée à une forte perturbation du métabolisme de l'azote et la formation de radicaux libres beaucoup plus toxiques comme le peroxyde d'hydrogène ou le radical hydroxyle. Ces observations sont en accord avec plusieurs espèces de céréales exposés aux métaux lourds et stress abiotique (**Li et al., 2013 ; Li et al., 2015**).

L'augmentation observée de la teneur en protéines chez les plantes cultivées à partir de graines prétraitées au SA a indiqué une récupération partielle du stress au Pb.

L'augmentation du taux de protéines par application exogène de SA a été signalé dans certaines espèces de cultures comme *zea mays*, blé tendre, *Hordeum*, vulgare (**Moussa et El-Gamal, 2010; Tufail et al., 2013; Deef, 2007**).

Le SA a diminué les marqueurs de stress et a provoqué une amplification supplémentaire des systèmes de défense antioxydants (MDA, GR, POX et GST) chez les plantes soumises à un stress abiotique comme la salinité et métal lourd (**Habib, 2015; Li et al., 2013**).

Conclusion

Conclusion

Conclusion:

L'un des défis de la recherche actuelle en biotechnologie végétale est de produire des variétés de plantes à intérêt agronomique présentant une tolérance vis-à-vis le stress aux métaux lourds. Il pose actuellement des problèmes importants en matière de contamination de l'environnement. Les plantes, du fait de leur immobilité, sont particulièrement vulnérables à l'effet délétère de ces contaminants.

Les résultats obtenus dans cette étude indiquent que l'exposition au plomb provoque une perturbation de la croissance, par une diminution du taux et vitesse de germination, une inhibition la longueur des feuilles et racines.

La contamination par le plomb induit des perturbations importantes sur l'activité photosynthétique par la réduction de la quantité des pigments chlorophylliens (Chl a, Chl b, Chl a+b). De plus la présence du plomb à concentration (500 μ M) entraîne une diminution importante de la teneur en protéines dans les feuilles et les racines.

Néanmoins l'effet positif de l'AS sur les plantes d'orge soumises à un stress au Pb pourrait avoir de nombreuses explications hypothétiques. L'AS a empêché le développement de dommages cumulatifs en réponse à la toxicité au Pb, ce qui atténue l'effet délétère du polluant et exerce un effet bénéfique sur la croissance. Les niveaux de chlorophylle, protéines et sucres des plantes prétraitées au SA étaient supérieurs à ceux des plantes exposées au Pb. Le prétraitement avec SA a exercé un effet protecteur sur la croissance de l'orge. Prises ensemble, ces preuves appuient la conclusion que l'AS peut indirectement atténuer la toxicité du Pb, par le développement d'une réponse anti-stress générale des semis, qui comprend probablement l'amélioration des différents paramètres morphologiques et physiologiques.

Cela suggère que l'AS pourrait être utilisé comme régulateur de croissance potentiel pour améliorer la croissance des plantes sous stress Pb.

Il est ambigu de savoir si l'application exogène de l'AS améliore directement ou indirectement les niveaux d'AS endogène et si l'effet d'AS est couplé à la génération de ROS. Des études sur les niveaux physiologiques et moléculaires de la tolérance des plantes à de nombreux stress seront déterminantes et prometteuse.

Une fois que le mécanisme d'action de l'AS sera mieux compris, de nouvelles opportunités pour la biotechnologie agricole pourraient devenir évidentes.

Références Bibliographique

- **Adriano D.C. (2001).** Trace elements in terrestrial environments: Biochemistry, bioavailability and risks of metals. Springer-Verlag, New York..
- **Alais et al.,(2003)** .Biochimie Alimentaire. 5éme ed Dunod. Pp 131
- **Alloway, B. J. (1995).** Heavy metals in soils. Blackie Academic and Professional. An Imprint of Chapman & Hall. Glasgow.
- **Alves, L. R., dos Reis, A. R., & Gratão, P. L. (2016).** Heavy metals in agricultural soils: From plants to our daily life. Científica,44(3), 346-361.
- **Anaya, F., Fghire, R., Wahbi, S., Loutfi, K., 2015.** Influence of salicylic acid on seed germination of Vicia faba L. under salt stress. J. Saudi Soc. Agric. Sci. 12, 18.
- **Anonyme, (2016).** Contribution du secteur a l'élaboration d'un nouveau modèle de croissance économique 2016-2019, 36p.
- **Araujo.R,** « Evaluation de la contamination actuelle de métaux lourds et certains composés organiques persistants chez des poissons d'intérêt sportif du fleuve SaintLaurent à Québec », Maitrise en Environnement. Université de Sherbrooke, (2013).
- **Arfan M, Athar HR, Ashraf M .,2006.** Exogenously application of salicylic acid on the modulation of photosynthetic in heat in salt stress.
- **Badr A; Muller K; Schafer-Pregl R; El Rabey H :Effgen S;Ibrahim H.H; Pozzi C;RohdeW salamini F.(2000).** On the origin and domestication history of barley (Hordeum vulgare).Mol Biol Evol ,17:499-510.
- **Baik,B.k; Ulrich,S.E, (2010).** Barley: Production, Improvement and Uses, Ed. willey-blackwell, U.S. A. P: 2-3-12-15-17-253-411
- **Baker, A. J. (1981).** Accumulators and excluders-strategies in the response of plants to heavy metals. Journal of plant nutrition, 3(1-4), 643-654
- **Bazile, D., Pulvento, C., Verniau, A., Al-Nusairi, M. S., Ba, D., Breidy, J., ... & Padulosi, S. (2016).** Worldwide evaluations of quinoa: preliminary results from post international year of quinoa FAO projects in nine countries. Frontiers in Plant Science, 7, 850.
- **Bazzaz FA, RW Carlson and GL Rolfe (1975).** "Inhibition of Corn and Sunflower Photosynthesis by Lead." Physiologia Plantarum 34(4): 326-329.
- **Benlaribi M., Onneveux P. Et Grignac P., (1990).** Etude des caractères d'enracinement et de leur rôle dans l'adaptation au déficit hydrique chez le blé dur (Triticum durum Desf.). Agronomie. 10 : 305-322.

- **Berger ,(1984).**les lipide du ble tendre .Etat actule de nos connaissances .Sciences des aliments ,2 ;411-450
- **Bonjean A,(2001).**Histoire de la culture des céréales et en particulier de celle du blé tendre .Eds .le Perchec S ,Guy P.et fraval A .agriculture et biodiversité des plants .Dossier de l'environnement de l'INRA,21,29-37.
- **Borsani O, Valpuesta V, et Botella MA.,2001**-Evidence for a role of salicylic acid in the oxidative damage generated by NaCl and osmotic stress in Arabidopsis seedlings. *Plant Physiol.* 126:1024–1030.
- **Bothmer R., Belay T., Knupffer H. et Sato K., (2003).** Diversity in barley (*Hordeum vulgare*), Ed. Elsevier, Amsterdam. P: 4-10-13-179-190
- **Botineau, (2010).** Botanique systématique et appliquée des plantes à fleurs, Ed.TEC. Paris. P : 224-227
- **Boulal H., Zaghouane O., El Mourid M., et Rezgui L., (2007).** Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blés et orges) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). Ed. TIGC, INRA, ICARDA, Algérie, 176 p.
- **Bourrelier P., J Berthelin., (1998).** "Contamination des sols par les éléments traces : les risques et leur gestion." Rapport de l'Académie des sciences Ed. Lavoisier, Paris.
- **Briat JF., Lebrun M., (1999).** Plant responses to metal toxicity. *Plant Biology and Pathology*, cadmium and lead. *Plant Physiol.* 54, 122-124.
- **Brink et Belay, (2006) .** Ressources végétales de l'Afrique tropicale vol. : 1.Céréales et légumes secs. Ed. PROTA. Pays-Bas. P : 92-93-94-95-96.
- **Cobbett CS., Goldsbrough P., (2002).** Phytochelatins and metallothioneins: roles in heavy metal detoxification and homeostasis. *Annu Rev Plant Biol* 53:159–182
- **Cecchi, M. (2008).** Devenir du plomb dans le système sol-plante: Cas d'un sol contaminé par une usine de recyclage du plomb et de deux plantes potagères (Fève etTomate) (Doctoral dissertation).
- **Cenkci, S., Ciğerci, İ. H., Yıldız, M., Özay, C., Bozdağ, A., & Terzi, H. (2010).** Lead contamination reduces chlorophyll biosynthesis and genomic template stability in *Brassica rapa* L.*Environmental and Experimental Botany*, 67(3), 467-473.
- **Chadefaud,M., Emberger,L. (1960).** Traité de Botanique systématique. Tome I, par M. Chadefaud : Les Végétaux non vasculaires, Cryptogamie ; Tome II, fasc. I et II, par L. Emberger : Les Végétaux vasculaires, Paris.

- **Cheng, S., (2003).** Effects of heavy metals on plants and resistance mechanisms. *Environmental Science and Pollution Research* 10 (4), 256-264.
- **Claire, E ,M., (2007).** origine, devenir et impact du cuivre et du zinc des lisiers porcines. Rôle de la digestion anaérobie; thèse doctorat, Institut polytechnique Toulouse .
- **Comadran, J., Kilian, B., Russell, J. Ramsay, L. Stein, N. Ganal, M. Shaw, P.(2012).** Natural variation in a homolog of Antirrhinum CENTRORADIALIS contributed to spring growth habit and environmental adaptation in cultivated barley. *Nat Genet* 44, 1388–1392 . <https://doi.org/10.1038/ng.2447>
- **Czuchajowska Z., Klamczynski A., Paszczynska B., Baik B.-K.,(1998).** Structure and functionality of barley starches. *Cereal Chemistry* 75.
- **Dalenberg JW et Van Driel W (1990).**"Contribution of atmospheric deposition to heavy metal concentrations in field crops." *Netherlands journal of agricultural science* 38: 369-379.
- **Deef., et hanan, E.(2007).** Influence of Salicylic Acid on Stress Tolerance During Seed Germination of Triticum aestivum and Hordeum vulgare. *Advances in Biological Research* 1 (1-2): 40-48
- **Devi, S.R., Prasad, M.N.V., 1999.** Membrane lipid alterations in heavy metal exposed plants. In: Prasad, M.N.V. & Hagemayer, J. (Eds.). *Heavy metal stress in plants: From molecules to ecosystems*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 99-116.
- **Dietz, K.J., Baier, M., Kramer, 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.
- **EL-Tayeb MA., 2005 –** Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. *Plant growth regulation*,45 (3), 215-224 .
- **Eun SO, H Shik Youn and Y Lee (2000).** "Lead disturbs microtubule organization in the root meristem of Zea mays." *Physiologia Plantarum* 110: 357-365.
- **Faostat.(2015).** World Food and Agriculture – FAO Statistical Pocketbook . organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture [.http://www.fao.org/faostat/en/#data](http://www.fao.org/faostat/en/#data)
- **Feillet, P. (2000).** Le grain de blé: composition et utilisation. Editions Quae.

- **Ferrand, E., Dumat, C., Leclerc-Cessac, E., Benedetti, M. F. (2006).** Phytoavailability of zirconium in relation to its initial added form and soil characteristics. *Plant and soil*, 287(1), 313-325.
- **Flaten O., Bakken K. Et 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.
- **Fredot E,(2005).** « connaissance des aliments ». Pages : 157 à 199. Edition TEC et DOC. Lavoisier-Paris.
- **Gabriel G., 2003.** Mémento, d'agriculture biologique. 2e édition. ISBN. 416p.
- **Gill, M. (2014).** Heavy metal stress in plants: a review. *International Journal of Advanced Research*, 2(6), 1043-1055.
- **Griffey C, Brooks W, Kurantz M, Thomason W, Taylor F, Obert D, Moreau R, Flores R, Sohn M,Hicks K (2010)** Grain composition of Virginia winter barley and implications for use in feed, food and biofuels production. *J Cereal Sci* 51:41–49. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2009.09.004>.
- **Grillot (1959) :** La classification des orges cultivées. *An. Amélioration des Plantes*, vol. 4, p. 446-486.
- **Guiga, W. (2006).** Identification des inhibiteurs de la germination de l'orge et mise au point d'un procédé de traitement des eaux de trempage en malterie en vue leur recyclage (Doctoral dissertation, Institut National Polytechnique de Lorraine).
- **Guignard, L., Dupont, J.** Botanique Systématique moléculaire. 13 Ed révisée Masson Paris: Elsevier ,(2004),p 336
- **Gunes A, Inal A, Alpaslan M ., 2005** – Salicylic acid induced changes on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress and mineral nutrition in maize (*Zea mays*L.) growth under salinity. Department of soil science and plant nutrition. Ankara University. Turkey.
- **Hakimi, (1993).** L'évolution de la culture de l'orge . le calendrier climatique traditionnel et les données agro-météorologiques modernes. *Proceeding of an International Symposium, Tunis*, Ed. Jones M., Marthys G., Rijks D., pp. 157 –166.
- **Hammoum Z, 2003:** Contribution à l'étude de l'effet du plomb sur certains paramètres germinatifs et sur les activités lipasiques et amylasiques du blé. These de magister Univ oran 95p.

- **Handa, N., Kohli, S.K., Kaur, R., Khanna, K., Bakshi, P., Thukral, A. K., et al., 2017.** Emerging Trends in physiological and biochemical responses of salicylic acid. *Salicylic Acid: A Multifaceted Hormone*. Springer, Singapore, pp. 4775.
- **Hara, M., Furukawa, J., Sato, A., Mizoguchi, T., Miura, K., 2012.** Abiotic stress and role of salicylic acid in plants. *Abiotic Stress Responses in Plants*. Springer, New York, pp. 235251.
- **Hariri A,(2003).** Etude et modélisation de la trempe en malterie, thèse I.N.P.L.,spécialité : biotechnologie et industries alimentaires, Nancy (France).
- **Hayat, Q., Hayat, S., Alyemeni, M.N., Ahmad, A., (2012).** Salicylic acid mediated changes in growth, photosynthesis, nitrogen metabolism and antioxidant defense system in *Cicer arietinum* L. *Plant Soil Environ.* 58 (9), 417423.
- **Hazmoune(2006).**les semis profond comme palliatif à sécheresse. Rôle de la coléoptile dans la levée et conséquences sue les composantes du rendement. Thèse docteur d'état .Univ .Constantine .P :168
- **Heller R., Esnault R et Lance C., 2000.** *Physiologie végétale 2. Développement* 6 édition de l'Abrégé, 1er et 2e cycles, DUNOD, Paris, 366p
- **Holtekjflen, A.K., Kinitz, C., and Knutsen , S.H.(2006).** Flavanol and bound phenolic acid contents in different barley varieties. *J.Agric. FoodnChem.*54 :2253,2006.
- **Hovmand, M.F, Neilsen, S.P. etJohnsen, I. 2009.** Root uptake of lead by Norway spruce grown on 210Pb spiked soils : Role of synthetic chelates in lead phytoextraction. *Environ Sci Techno*, 3 : 800-805.
- **Huynh D. 2009.** Impacts des métaux lourds sur l'interaction plante/ ver de terre/ microflore tellurique. Thèse de doctorat. Université Paris Est. 169 P
- **Iqbal J et Mushtaq S (1987) .** " Effect of lead on germination , early seedling growth , soluble protein and acid phosphatase content in *Zea mays* . " *Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research* 30 : 853-856 .
- **Izydorczyk M.S., Storsley J., Labossiere D., MacGregor A.W., Rossnagel B.G., (2000).**Variation in total and soluble b-glucan content in hullless
- **Janda T; SZALAI G; EMIL P; . 2005** - Effect of salt stress on the endogenous salicylic acid content in maize (*Zea mays* L.) plants. Agricultural Research Institute,

Hungarian Academy of Sciences, Martonvásár, Hungary

- **Jean-Claude, Pujos, M., P. O. N. S., & PARRA, M. (2000).** Évolution des métaux lourds dans la sédimentation récente de la baie de Fort-de-France (Martinique). *Oceanologica Acta*, 23(6), 701-715.
- **Jeantet, R., Croguenne, T., PSchuck, P and Gerard Brulé.(2007)** . Science des aliments :Biochimie Microbiologie, procédés produits Pp138-159.
- **Jopony, M., Young, S. D. (1994).** The solid solution equilibria of lead and cadmium in polluted soils. *European Journal of Soil Science*, 45(1), 59-70.
- **Kabata-Pendias, A., Pendias, H., 1992.** Trace elements in soils and plants. CRC Press
- **Khan, M.I.R., Asgher, M., Khan, N.A., (2013).** Rising temperature inthe changing environment: a serious threat to plants. *Clim.Change Environ. Sust.* 1, 2536.
- **KIM C., LEE Y., ONG S.K.** Chemosphere, pp.845-853, (2003). Effet du co-solvant supercritique sur les propriétés des aérogels ZnO :AL
- **Koehler P. et Wieser. H., (2013).** Chemistry of cereal grains. In: Handbook on Sourdough Biotechnology. Springer US, 2013. p. 11-45.
- **Kopyra, M. et Gwozdz, E.A. 2006.** Nitric oxide stimulates seed germination and counteracts theinhibitory effect of heavy metal and salinity on root growth of *Lupinus luteus*.*Plant Physiol. Biochem.* 41:1011-1017.
- **Korkmaz A,Uzunlu M, Demirkiran AR.,2007** – Treatment with acetyl salicylic acid protects muskmelon seedlings against drought stress. Franciszed Gorski institute of plant
- **Leonard, W. H. & J. H. Martin (1963).** Cereal Crops. The MacMillan Company, New York. Orge: pp. 478-543;. Avoine, pp. 544-603)
- **Liliana A,(2014)** .thèse de Autophagie ,senescence et remobilisation de l'azote chez l'orge unversite paris-sud.
- **Li M. S., Luo Y. P. et Su Z. Y. 2007.** Heavy metal concentrations in soils and plant accumulation in a restored manganese mineland in Guangxi, South China. *Environnement Pollution*, 147 : 168-175

- **Li, Z., Yu, J., Peng, Y., Huang, B., (2013).** Metabolic pathways regulated by abscisic acid, salicylic acid and γ -aminobutyric acid in association with improved drought tolerance in creeping bentgrass (*Agrostis stolonifera*). *Physiol. Plant.* 159 (1), 4258
- **Ma, X., Zheng, J., Zhang, X., Hu, Q., Qian, R., (2017).** Salicylic acid alleviates the adverse effects of salt stress on *dianthus superbus* (Caryophyllaceae) by activating photosynthesis, protecting morphological structure, and enhancing the antioxidant system. *Front. Plant Sci.*
- **Mazza G; Gao L .,(2005).** Blue and purple grains, Pp 313-350. : Phenolic Compounds in Cereal Grains and Their Health Benefits. Dyke I.3 Le seigle: *Secale cereale* Ls L & Rooney W L(2007) Texas A&M University, CFW-52-3-010.
- **Metwally A, Finkemeier I, Georgi M, Dietz K-J. (2003).** Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in barley seedlings. *PLANT PHYSIOLOGY.* 2003;132(1):272-281.
- **Miura, K., Tada, Y., 2014.** Regulation of water, salinity, and cold stress responses by salicylic acid. *Front. Plant Sci.* 5.
- **Moule C., (1971).** Phytotechnie spéciale II céréales. Ed. La maison rustique –Paris, 94 p.
- **Moussa, H.R. et El- Gamal, S.M. (2010).** Effect of salicylic acid pretreatment on cadmium toxicity in wheat. *Biologia Plantarum* 54 (2): 315-320.
- **NEMETH, M; JANDA, T; HORVATH, E; PALDI, EL; SZALAI, G.2002 –** Exogenous salicylic acid increases polyamine content but may decrease drought tolerance in maize . *Plant Science (Shannon, Ireland)* .162(4), 569-574 .
- **Nicole.M;Daniel.J.F;Bresson.E;Martinez.C;Elbachir.O;Lopez.F;AssigbEtsé.K ;Fernandez.D;Montillet.J.L Et Geiger.Jp. 1998 –** The hypersensitive reaction of cotton to *Xanthomonas campestris* pv. *malvacearum*. *Recent Research Developments in Microbiology*, 2: 641-654
- **Paquereau, (2013):** Au jardin des plantes de la Bible : botanique. Symboles et usages. Ed. Forêt privée française. Paris. P : 158.
- **Pastre J., (2005).** intérêt de la supplémentation en antioxydants dans l'alimentation des carnivores domestiques. Thèse pour le doctorat vétérinaire, l'université Paul-sabatier de toulouse. 2005
- **Patra M, Bhowmik N, Bandopadhyay B, Sharma A., 2004.** Comparison of mercury, lead and arsenic with respect to genotoxic effects on plant systems and the development of genetic tolerance. *Environ Exp Bot* 2004; 52: 199-223.

- **Pierre C.A.,et Gendron G., (1982).** Les céréales et le aïs. Les presses de l'université Laval. Québec. P 145
- **Pichard, A., Bisson, M., Hulot, C., Lefèvre, J. P., Magaud, H., Oberson, G., ... Pépin, G. (2002).** Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques: Plomb et ses dérivés. INERIS-DRC-01-25590–ETSC–API/SD, N00df257_version2. Doc.
- **Popineau Y., (1985).** Propriétés biochimiques et physicochimiques des protéines des céréales in : B. Godon, protéines végétales, Tec. Doc. Lavoisier, APRIA, Paris, pp.161-210.
- **Potters G, L De Gara, H Asard and N Horemans (2007).**"Ascorbate and glutathione: guardians of the cell cycle, partners in crime?" *Plant Physiology and Biochemistry* 40(6-8): 537-548.
- **Prasad MNV et Hagemeyer F (1999).** Heavy Metal Stress in Plants: From Molecules to Ecosystems. Berlin, Springer-Verlag.
- **Rahal-Bouziane et Abdelguerfi, (2007) :** Caractéristiques agronomiques et Morphologiques d'orges oasiennes (*Hordeum vulgare* L.) de la région d'Adrar (Algérie).Recherche Agronomique, Ed. INRA, Alger. **19** : 7-13.
- **Salvarredy, A.M. (2008).** Contamination en métaux lourds des eaux de surface et des sédiments du Val de Milluni (Andes Boliviennes) par des déchets miniers. Approches géochimique, minéralogique et hydrochimique.These de doctorat. Université de Toulouse. Sciences de l'Univers, de l'Espace et de l'Environnement .développé par l'Université Toulouse III - Paul Sabatier.
- **Saulnier Luc,(2012).** Les grains de céréales : diversité et compositions nutritionnelles.Cahier de nutrition et diététique 47, 45-515 (Société française de nutrition).
- **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

- **Soltner D., (1998).** Les grandes productions végétales. Éditions Sciences et techniques agricoles.
- **Soltner D.,(2005).** Les grandes productions végétales. 20eme édition. Collection science et techniques. P : 303-308 , 472p
- **Soltner,(2007) :** Les bases de la production végétale, Tome III la plante et son amélioration, 5e édition, CSTA, 304p.
- **Sorgho,(2001) :** Statistiques de production pour l'orge (FAOSTAT 2001, revise)23p.
- **Raskin La; Ehrmann W; Melander R Et Meeuse B J D. 1987** -Salicylic acid :A natural inducer of heat production in Arum lilies.Scienc 237(4822):1601-1602
- **Rastoin et Benabderrazik,(2014) :** Rastoin Jean-Louis et Benabderrazik El Hassan, 2014. Céréales et oléo protéagineux au Maghreb Pour un Co-développement de filières territorialisées. Algérie Une agriculture sous fortes contraintes. Institut de Prospective Economique du Monde Méditerranéen, IPEMED. 32p.
- **Senaratna T, Touchell D, Bunn T, Dixon K . 2000** - Acetyl salicylic acid(Aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. Plant Growth Regul 30:157-161.
- **Shakirova F.M.; Sakhabutdinova A.R.; Bezrukova M.V.; Fatkhutdinova R.A.; Fatkhutdinova D.R.2003** - Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. PlantScience (164) N° 3, pp. 317-322(6)
- **Sharma P., Dubey RS., 2005.** Lead toxicity in plants. Brazilian Journal of Plant Physiology 17 (1): 35-52.
- **Shopova, E., Brankovan,L., Katerova,Z., Dimitrova,L. , Todorova,D., Sergiev,I. and Neveen B. Talaat (2021).** Salicylic Acid Pretreatment Modulates Wheat Responses to Glyphosate. 88–96. <https://doi.org/10.3390/crops1020009>
- **Singh RP, RD Tripathi, SK Sinha, R Maheshwari and H S Srivastava (1997).** "Response of higher plants to lead contaminated environment." Chemosphere 34(11): 2467-2493
- **Srivastava, D., Singh, A., & Baunthiyal, M. (2015).** Lead toxicity and tolerance in plants. Journal of Plant Science and Research, 2(2), 123-128.
- **Stiborova M, M Doubravova, A Brezinova and F A. (1986).** "Effect of heavy metal ions on growth and biochemical characteristics of photosynthesis of barley (Hordeum

- vulgare L.)." *Photosynthetica* 20(4): 418-425.
- **Szepesi, Á., J. Csiszár, S. Bajkán, K. Gémes and F. Horváth, (2005).** Role of salicylic acid pre-treatment on the acclimation of tomato plants to salt- and osmotic stress. *Acta Biologica Szegediensis*, 49: 123-125
 - **Thapa, G., Sadhukhan, A., Panda, S. K. & Sahoo, L.. (2012)** Molecular mechanistic model of plant heavy metal tolerance. *Biomaterials*. 25, 489–505 .
 - **Tricase C, Amicarelli V, Lamonaca E, Rana RL (2018).** Economic analysis of the barley market and related uses, grasses as food and feed, Zerihun Tadele, IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.78967>.
 - **Tung, G., & Temple, P. J. (1996).** Histochemical detection of lead in plant tissues. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 15(6), 906-914.
 - **USDA/FAS (United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Systems) (2018).** Grain: world market and trade—barley prices fail to curb China's Demand [Internet]. [http:// uga.ua/wp-content/uploads/grain-market-03-08-2018.pdf](http://uga.ua/wp-content/uploads/grain-market-03-08-2018.pdf)
 - **Usabaliev B., Brantestam A., Salomon B. et Garkava-Gustavson L.,(2013.)** Genetic diversity in farmer grown barley material from Kyrgyzstan. *Genetic Resources and Crop Evolution* 60. P : 1843-1858
 - **Wierzbicka, M. (1987).** Lead translocation and localization in *Allium cepa* roots. *Canadian journal of botany*, 65(9), 1851-186
 - **Yalpani, N., V. Shulaev et 1. Raskin .(1993).** Endogenous salicylic acid levels correlate with accumulation of pathogenesis-related proteins and virus resistance in tobacco . *Phytopathology* 83(7): 702-708.
 - **Zairi ,M (2015).**these de caracterisation de la production de quelques lingeés d'orge issues de la premiere selection participative en Algerie. Unvresite de sidi bel Abbes.P4-34-35.
 - **Zibouche et Grimes, 2016** Contribution à l'étude des flavonoïdes et del'activité antioxydant de l'orge: *Hordeum vulgare*, Thèse Master, Université de Constantine, 88p.

Annexe

Annexes 01

Tableau : des caractéristiques de variétés Tichedrett

	caractérisation au champ	
Plante	Port au tallage	Demi-dressé à demi –étalé
	Hauteur (tige, épi et barbes)	Très Longue
Feuille de la base	Pilosité de la graine	Présenter
Dernière feuille	Port	Légèrement récurvé
	Pigmentation anthocyanique des oreillettes	Absente
	Intensité de la pigmentation anthocyanique des oreillettes	Très Faible
	Glaucescence de la graine	Moyenne
Barbes	Pigmentation anthocyanique des Pointes	Présente
	Intensité de la pigmentation anthocyanique des pointes	Nulle ou faible
	Epoque d'épiaison (1 ^{er} épillet visible sur 50% des plante)	Tardive
Epi	Glaucescence Port	Nulle ou faible Droit

Annexes 02

L'orge de wilaya de saida

Fiche descriptive

2-Variété Tichedrett

Origine :Algérie

Pedegree: Tichedrett\RebelleCS95203 SF4 N21 1998\99

Obtenteur: ITGC setif

Demandeur: ITGC

Année d'inscription: 1998

Leur Caractéristiques : Variété locale, à paille moyenne, précoce, tallage moyen, bonne productivité et rustique.

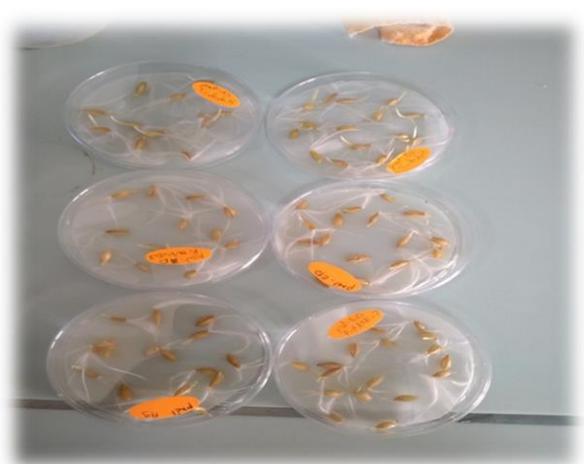


Figure.: Méthodes de préparation des dosage des protéines

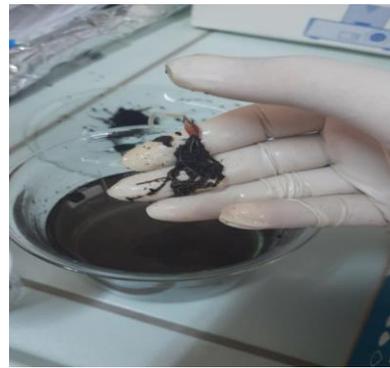
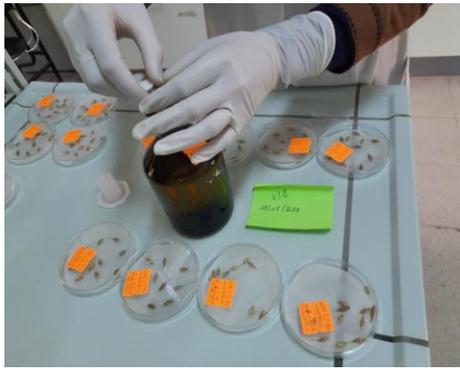
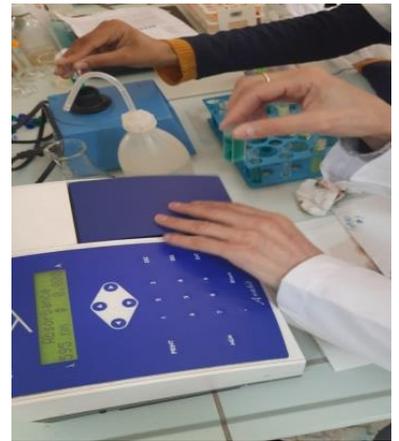
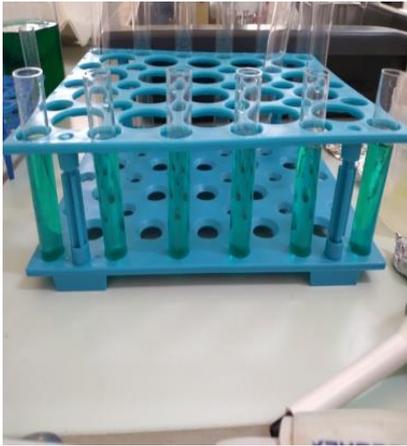


Figure. :Prétrempage des graines