

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA - Béjaïa

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Biologiques de l'Environnement
Spécialité Toxicologie Industrielle et Environnementale



Réf :.....

Mémoire de Fin de Cycle
En vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Thème

**Etude de l'effet du plomb sur la
réponse physiologique et biochimique
des pousses de l'*Acacia cyanophylla* et
Ceratonia siliqua.**

Présenté par :

Boumeraou fairouz & Mendi Amina

Soutenu le :

Devant le jury composé de :

Mme. OURARI Malika	MCA	Président
M. DADACH Mohammed	MCA	Promoteur
M. BENADJOU Ali	MCA	Examineur

Année universitaire : 2023 / 2024

Remerciements

Nous tenons en premier à remercier Dieu le tout Puissant de nous avoir donné le courage, la volonté, l'amour du savoir et surtout la patience pour pouvoir produire ce modeste travail.

Nous présentons tous nos remerciements à notre promoteur M.

DADACH Mohammed

d'avoir accepté de nous encadrer, pour toute son aide, sa disponibilité, son suivi et sa confiance.

Nous voudrions remercier le président du jury Mme **OURARI Malika** et l'examineur M. **BENADJOU Ali**.

Nous adressons nos plus sincères remerciements à nos familles ; nos parents,

nos sœurs, nos frères et tous nos amis,

aussi à toute l'équipe des laboratoires de la Faculté

Egalement, nous remercions tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin,

à la confection de ce mémoire.

Dédicaces

*Je dédie ce Modest travail : A ma chère et tendre
Mère Naima, source d'affection de
courage et d'inspiration qui a autant
sacrifié pour me voir atteindre ce
jour.*

*A mon père Djelloul source de respect, en
témoignage de ma profonde reconnaissance pour
tout l'effort et le soutien incessant qui m'a
toujours apporté.*

A mes Jolies sœurs Imene et Farah

A Mes chers grands parents

A Ma binôme Boumeraou Fairouz

Merci à mon encadreur Monsieur Dadach

Mohammed pour ses conseils éclairés.

Amina

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents, qui sont ce que j'ai de plus précieux au monde.

À vous, mes frères Riad, Mazigh et mes sœurs Kenza, Lyna pour votre soutien et vos encouragements constants tout au long de mes études.

A mes nièces Anes et Aimad

A ma binôme Amina et toute

sa famille Et à mes amis :

B. Faika

M. Nesrine

B. Ilicia

T. Juba

Votre soutien et votre présence ont été inestimables. Merci à tous.

FAIROUZ

Abréviations

%	Pourcentage
°	Degré
°C	Degré Celsius
±	Plus ou moins
Tris-HCl	Hydroxyméthyl aminométhane hydrochloride
Tab.	Tableau
ppm	Parties par Million
PS	Poids sec
PF	Poids frais
mn	Minute
Mm	Millimolaire
Fig	Figure
ETM	Élément trace métallique
Pb(NO₃)₂	Nitrate de Plomb
Pb	Plomb
μM	Micromolaire
μl	Microlitre
μg	Microgramme
λ	Longueur d'onde
[]	Concentration
TBA	Acide thiobarbiturique
TCA	Acide trichloroacetic
MLs	Métaux lourds
FPGN	Fond pédogéochimique naturel
DO	Donsité optique
PH	potentiel hydrogène
H₂SO₄	Acide sulfurique
TG	Taux de la germination
TMG	Taux moyen de la germination
C	Caroubier
A	Acacia
T	Température
MDA	Malondialdéhyde
Nm	Nanomètres
MVF	Matière végétal fraiche
ml	Millilitre
Tr	Tourres
Mm	Millimètre
Ni	Nickel
H₂O₂	Eau oxygénée
G	Gramme
P	Probabilité
As	Arsenic
Cd	Cadmium
Hg	Mercuré

Abréviations

Cr	Chrome
Zn	Zinc
Fe	Fer
Cu	Cuivre

Liste des figures

N°	Titre	Page
01	Effet des métaux lourds sur l'environnement	05
02	Vue générale (A), tronc (B), feuilles (C), fleur (D), gousses (E) et graines (F) du caroubier	09
03	Aspect d' <i>Acacia cyanophylla</i> . Feuilles (A), Fleurs (B), gousses (C), graines (D) et arbre en vue entière €.	12
04	Courbe théorique d'imbibition d'une semence (Côme, 1982)	15
05	Schéma de la germination épigée et hypogée (Bhuyan et Mukherjee, 2024)	16
06	Les facteurs nécessaires pour la germination (Bennett. 2021).	17
07	Les facteurs internes et externes qui influencent la germination des graines Matures	18
08	Bloc des laboratoires de recherche au sein du campus Targa Ouzemour (Univ. de Béjaia)	20
09	Des parties d'arbre d' <i>Acacia cyanophylla</i> (A) et de <i>Ceratonia siliqua</i> (B).	20
10	Le protocole de scarification des graines de l' <i>A cyanophylla</i> (A) et de <i>C. Siliqua</i>	21
11	Des bouteilles en plastique contenant les différentes concentrations du nitrate de plomb utilisé.	22
12	Les différentes étapes à suivre pour réaliser le protocole de la germination	23
13	Des graines après 2 jours (A) et après 16 jours (B) d'incubation dans une étuve réglée à 22 °C à l'obscurité	23
14	Une pousse de caroubier déposée sur un papier millimétrique pour estimer la longueur de la tigelle et de la radicule	24
15	Une balance analytique utilisée pour peser les pousses des espèces étudiées	25
16	Des pousses enroulées dans du papier aluminium avant le séchage	25
17	Les principales étapes élaborées pour l'extraction et le dosage des protéines solubles selon la méthode de Bradford	26
18	Les principales étapes élaborées pour l'extraction et le dosage des sucres solubles à la base d'utilisation du réactif d'anthrone	27
19	Les principales étapes élaborées pour l'extraction et le dosage malondialdéhyde	28
20	Les principales étapes élaborées pour l'extraction et le dosage de l'activité de la catalase	29
21	Les principales étapes élaborées pour l'extraction de la proline.	30
22	Les principales étapes élaborées pour le dosage de la proline.	31
23	Effets des différentes concentrations en Pb sur la vitesse de germination des pousses de l' <i>Acacia cyanophylla</i> et <i>Ceratonia siliqua</i> . Les moyennes libellées par différentes lettres minuscules indiquent des différences significatives ($p < 0,05$) selon le test de Duncan.	32
24	Effets des différentes concentrations en Pb sur la vitesse de germination des pousses de l' <i>Acacia cyanophylla</i> et <i>Ceratonia siliqua</i> . Les moyennes libellées par différentes lettres minuscules indiquent des différences significatives ($p < 0,05$) selon le test de Duncan.	33
25	Effet du Plomb sur la taille de l'hypocotyle des pousses de l' <i>A. Cyanophylla</i> et <i>C. siliqua</i> . Les moyennes libellées par différentes lettres minuscules indiquent des différences significatives ($p < 0,05$) selon le test de Duncan	34
26	Effet du plomb sur la taille de radicule des pousses de l' <i>A. Cyanophylla</i> et <i>C. siliqua</i> . Les moyennes libellées par différentes lettres minuscules indiquent des différences significatives ($p < 0,05$) selon le test de Duncan	35

Liste des figures

- 27** Effet du Plomb le poids frais es pousses de l'*A. cyanophylla* et *C. siliqua*. 36
Les moyennes libellées par différentes lettres minuscules indiquent des différences significatives ($p < 0,05$) selon le test de Duncan.
- 28** Effet du Plomb sur le poids sec des pousses de l'*A. cyanophylla* et *C. siliqua*. Les moyennes libellées par différentes lettres minuscules indiquent des différences significatives ($p < 0,05$) selon le test de Duncan. 37
- 29** Effets des différentes concentrations en Pb sur l'accumulation des protéines (mg/g de poids frais) des plantules de l'acacia et caroubier. Les moyennes libellées par différentes lettres minuscules indiquent des différences significatives ($p < 0,05$) selon le test de Duncan. 38
- 30** Effet du Plomb sur synthèse des sucres solubles chez les pousses de l'*A. Cyanophylla* et *C. siliqua*. Les moyennes libellées par différentes lettres minuscules indiquent des différences significatives ($p \leq 0,05$) selon le test de Duncan 39
- 31** Effet du Plomb sur l'activité de MDA chez les pousses de l'*A. cyanophylla* et *C. siliqua* et les moyennes libellées par différentes lettres minuscules indiquent des différences significatives ($p \leq 0,05$) selon le test de Duncan. 40
- 32** Effet du Plomb sur l'activité de la catalase chez les pousses de l'*A. cyanophylla* et *C. siliqua*. Les moyennes libellées par différentes lettres minuscules indiquent des différences significatives ($p \leq 0,05$) selon le test de Duncan. 41
- 33** Effet du Plomb sur la bioaccumulation de la proline chez les pousses de l'*A. cyanophylla* et *C. siliqua*. Les moyennes libellées par différentes lettres minuscules indiquent des différences significatives ($p \leq 0,05$) selon le test de Duncan. 42

Table des matières

Remercîments

Les dédicaces

Liste des abréviations

La liste des figures

Introduction	1
Chapitre I : les métaux lourds et phytoremédiation	
1- Métaux lourds.....	3
1-1- Définition.....	3
1-2- Classifications des métaux lourds.....	3
1-2-1- Métaux lourds essentiels.....	3
1-2-2- Métaux lourds non essentiels.....	3
1-3- Les sources des métaux lourds.....	3
1-3-1- Les sources naturelles.....	4
1-3-2- Les sources anthropiques.....	4
1-4- Toxicologie des métaux lourds.....	4
1-5- Pollutions par les métaux lourds.....	4
1-5-1- Effet sur l'environnement.....	5
1-5-2- Effets sur la santé humaine.....	5
2- Le plomb.....	5
2-1- Définition.....	5
2-2- Classifications de plomb.....	6
2-3- Les sources de plomb.....	6
2-4- Pollutions de plomb.....	7
Chapitre II : Présentation des deux espèces	
1- Le caroubier (<i>Ceratonia siliqua L.</i>).....	8
1-1- Définition et classification de caroubier.....	8
1-2- Caractéristique botanique.....	8
1-3- L'origine de caroubier et sa distribution géographique.....	9
1-3-1- L'origine de caroubier.....	9
1-3-2- Distributions géographiques.....	10
1-4- L'utilisation de caroubier.....	10
1-4-1- Dans le domaine agroalimentaire.....	10
1-4-2- Dans le domaine médicale.....	10
1-4-3- La cosmétique.....	10
2- L' <i>Acacia cyanophylla (Acacia saligna)</i>	11
2-1 Définition et classification de l' <i>Acacia cyanophylla</i>	11
2-2 Caractéristique botanique.....	11
2-3 L'origine de l'acacia et sa distribution géographique.....	13
2-4 L'utilisation de l'acacia.....	13
2-4-1- Dans le domaine agroalimentaire.....	13
2-4-2- Dans le domaine médicale.....	13
2-4-3- La Cosmétique.....	13
Chapitre III : Généralités sur la germination	
1- Généralité sur la germination	15
1-1- Définition de la germination.....	15

Table des matières

1-2-	Les étapes de la Germination.....	15
1-3-	Les types de la germination.....	15
1-4-	Les facteurs de la germination	16
1-4-1-	L'eau.....	16
1-4-2-	L'oxygène	16
1-4-3-	Température	17
1-4-4-	Lumières.....	17
2-	La dormance.....	17
2-1-	Définition.....	17
2-2-	Type de la dormance.....	18
2-2-1-	La dormance tégumentaire.....	18
2-2-2-	La dormance embryonnaire	18
3-	La réponse biochimique des Graine.....	19
Chapitre I : Matériel et méthodes		
1-	Site expérimental.....	20
2-	Présentation de la zone de récolte des graines.....	20
3-	Protocole expérimental.....	21
3-1-	Traitement des graines.....	21
3-2-	Préparation des solutions de métaux lourds.....	21
3-3-	Répartition des graines.....	22
4-	Comptage et mesure des graines.....	23
5-	Traitement des donnés.....	23
5-1-	Taux final de germination.....	23
5-2-	Vitesse de germination.....	23
5-3-	Mesure des paramètres de croissance.....	24
5-3-1-	La taille de l'hypocotyle et la radicule	24
5-3-2-	Le poids frais des pousses.....	24
5-3-3-	Le poids sec des pousses.....	25
5-4-	les analyses bios chimiques.....	25
5-4-1-	Extraction et dosage des protéines	25
5-4-2-	Extraction et dosage des sucres solubles	26
5-4-3-	Extraction et dosage malondialdéhyde (MDA).....	27
5-4-4-	Extraction et dosage des catalases.....	28
5-4-5-	Extraction et dosage des prolines.....	29
6-	Analyse statistique.....	30
Chapitre II : Résultat et discussion		
1-	Résultats.....	31
1-1-	Effet du plomb sur les paramètres de germination des pousses de l' <i>Acacia cyanophylla</i> et <i>Ceratonia siliqua</i>	31
1-2-	Effet du plomb sur les paramètres de croissances des pousses de l' <i>Acacia cyanophylla</i> et <i>Ceratonia siliqua</i>	32
1-2-1-	Effet du plomb sur la taille de l'hypocotyle des pousses de l' <i>Acacia cyanophylla</i> et <i>Ceratonia siliqua</i>	33
1-2-2-	Effet du plomb sur la taille de radicule des pousses de l' <i>Acacia cyanophylla</i> et <i>Ceratonia siliqua</i>	33
1-2-3-	Effet du plomb sur le poids frais des pousses de l' <i>Acacia cyanophylla</i> et <i>Ceratonia siliqua</i>	34
1-2-4-	Effet du plomb sur les poids sec des pousses de l' <i>Acacia cyanophylla</i> et <i>Ceratonia siliqua</i>	35
1-3-	Effet du plomb sur les paramètres biochimiques des pousses de l' <i>Acacia cyanophylla</i> et <i>Ceratonia siliqua</i>	36
1-3-1-	Effet du plomb sur les protéines totaux des pousses de l' <i>Acacia cyanophylla</i> et <i>Ceratonia siliqua</i>	36

Table des matières

1-3-2- Effet du plomb sur les sucres solubles des pousses de l' <i>Acacia cyanophylla</i> et <i>Ceratonia siliqua</i>	37
1-3-3- Effet du plomb sur le MDA des pousses de l' <i>Acacia cyanophylla</i> et <i>Ceratonia siliqua</i>	38
1-3-4- Effet du plomb sur Catalase des pousses de l' <i>Acacia cyanophylla</i> et <i>Ceratonia siliqua</i>	39
1-3-5- Effet du plomb sur la proline des pousses de l' <i>Acacia cyanophylla</i> et <i>Ceratonia siliqua</i>	40
2- Discussion.....	41
V- Conclusion	46

Introduction

Introduction

Les métaux lourds (MLs) sont des éléments chimiques présents naturellement dans l'environnement, mais leur concentration élevée peut résulter de diverses activités anthropiques telles que l'industrie minière, les décharges de déchets et les rejets industriels. Ces métaux lourds, tels que le plomb (Pb), zinc (Zn), nickel (Ni) ... peuvent avoir des effets néfastes sur les organismes vivants, y compris les plantes (**Järup et al., 2003**).

Les sources de pollution par les métaux lourds comprennent les processus naturels et les activités anthropiques. Les sols peuvent accumuler des métaux lourds de matériaux d'origines naturels tels que ceux dérivés de roches enrichies en métaux. Les sources anthropiques de pollution par les métaux lourds comprennent l'exploitation minière, la fusion, la combustion fossiles, l'élimination des déchets, la corrosion et les pratiques agricoles (**He et al., 2015**).

On en distingue deux types des MLs en fonction de leurs effets physiologiques et toxiques. Les métaux essentiels peuvent devenir toxiques lorsque la concentration dépasse un certain seuil. C'est le cas du cuivre (Cu), du nickel (Ni), du zinc (Zn), du fer (Fe). D'autre part, des métaux toxiques qui ont un caractère polluant avec des effets toxiques pour les organismes vivants même à faible concentration (ex, Cd, Pb, Cr, etc.) (**Huynh, 2009**).

Dans le cadre d'une tentative de la réhabilitation et la restauration des sols Méditerranéens pollués, et compte tenu du manque de données sur les conditions de germination des graines de la plus part des espèces d'arbre, notre travail vise à mettre en évidence l'effet du Pb sur le comportement germinatif et le début de croissance des pousses de *Ceratonia siliqua* et d'*Acacia cyanophylla*.

Le choix de *C. siliqua* était fondé sur son importance dans plusieurs domaines (médical, cosmétique et bioalimentaire). Le caroubier (*C. siliqua*) est un arbre appartenant à la famille des Fabacées et originaire du Moyen-Orient et de la Méditerranée, qui se caractérise par une importance écologique, économique et thérapeutique (**Saadouni, 2021**).

Notre choix a été porté aussi sur *l'Acacia cyanophylla* en fonction de l'intérêt qu'elle présente (esthétique, économique et écologique) (**Lemzeri, 2007**). C'est un arbre de la famille des fabacées, d'origine australienne et introduite dans plusieurs éco-zones y compris dans les pays du pourtour Méditerranéen (**Souayah et al., 2003**).

Ce présent travail est élaboré selon un plan de travail méthodique réparti en deux parties : (I)

une synthèse bibliographique qui est scindée en trois chapitres.

Le premier chapitre intitulé : les métaux lourds en précisent le plomb et la phytoremédiation ensuite. Un deuxième chapitre dont les deux espèces seront présentées (*A. cyanophylla* et *C. siliqua*). En dernier lieu la germination et la repense biochimique.

La deuxième partie représente la partie expérimentale qui comprend les méthodes utilisées afin d'atteindre notre objectif, après nous exposerons les résultats obtenus et nous discuterons ces résultats afin de confirmer notre hypothèse que l'émergence des graines des espèces sélectionnées est ultimement dépendantes des concentrations utilisées.

Partie I :
Synthèse bibliographique

Chapitre I :
Métaux lourds et phytoremédiation

Chapitre I : métaux lourds et phytoremédiation

1- Métaux lourds :

1-1- Définition :

Les métaux lourds (MLs) ou élément traces métalliques (ETM) sont des éléments chimiques dont la masse volumique dépasse 5 g/cm³ (Baize, 1997). Par exemple, l'arsenic (As), plomb (Pb), mercure (Hg), cadmium (Cd), nickel (Ni), le chrome (Cr) et l'aluminium (Al) ont été considérés comme polluants environnementaux potentiels (Nedjimi, 2021), qui existent naturellement mais en quantités très faibles dans les sols, l'eau et l'air ou par certaines activités humaines (Fabrégat, 2006).

1-2- Classifications des métaux lourds :

1-2-1- Les métaux essentiels :

Ce sont des éléments indispensables à l'état de trace pour de nombreux processus cellulaires et qui se trouvent en proportion très faible dans les Tissus biologiques. Certains peuvent devenir toxiques lorsque la concentration dépasse un certain seuil. C'est le cas du cuivre (Cu), du zinc (Zn) et du fer (Fe). Par exemple, le zinc (Zn), à la concentration du milli molaire, est un oligo-élément qui intervient dans de nombreuses réactions enzymatiques (déshydrogénases, protéinase, peptidase) et joue un rôle important dans le métabolisme des protéines, des glucides et des lipides. (Kabata- Pendias et Pendias, 2001).

1-2-2- Les métaux non essentiels :

Les métaux non essentiels ont un caractère polluant. Ils n'ont aucun effet bénéfique connu pour la cellule. Ils exercent des effets toxiques sur les organismes vivants même à faible concentration. C'est le cas du plomb (Pb), du mercure (Hg), du cadmium (Cd), etc. (Kabata- Pendias et Pendias, 2001)

1-3- Les sources de métaux lourds :

Les MLs sont redistribués naturellement dans l'environnement par les processus géologiques et les cycles biologiques ou à partir des activités industrielles et technologiques.

1-3-1- Les sources naturelles :

Le fond pédogéochimique naturel (FPGN) désigne la concentration naturelle d'un élément chimique dans le sol, résultant des processus géologiques et pédologiques sans intervention humaine. Les ETM peuvent être présents naturellement dans le sol, provenant de

Chapitre I : métaux lourds et phytoremédiation

la dégradation de la roche mère ou des apports sédimentaires. (Abdesadok et Kamoun, 2018).

1-3-2- Les sources anthropiques :

La quantité d'ETM issue des apports anthropiques est également très importante). La principale source d'ETM dans les zones urbaines est l'activité industrielle et la circulation de différents moyens de transport. Les principales sources industrielles d'émissions atmosphériques de micropolluants métalliques sont les usines d'incinération, les hauts fourneaux, la combustion du charbon et du pétrole (Abdesadok et Kamoun, 2018).

1-4- Toxicologie des métaux lourds :

Les MLs sont l'un des polluants les plus persistants dans l'environnement, leur présence dans l'air, le sol et l'eau est connue comme une source de menace croissante pour l'environnement et la santé humaine (Nithya et al., 2011).

-+

1-5- pollutions par les métaux lourds :

1-5-1- Effet sur l'environnement (Figure 1)

- **Contamination des sols :**

La contamination des sols par les métaux lourds notamment Cu, Ni, Cd, Zn, Cr et Pb est la plus importante appréhension dans l'ensemble des pays industrialisés. Sont donc considérés comme l'un des principales sources de pollution des sols. Les métaux lourds affectent les organismes du sol en affectant les principaux microbes qui synthétisent les enzymes du sol (Singh et Kalamdhad 2011).

- **Contamination des eaux :**

Bien qu'il existe de nombreuses sources de pollution de l'eau, l'industrialisation et l'urbanisation sont à l'origine de l'augmentation du niveau de pollution de l'eau par les MLs, qui s'accumulent dans le sol et les sédiments des plants d'eau, provoquant des problèmes de santé pour les humaines et d'autres écosystèmes (Vhahangwele et al., 2018).

- **Contamination de l'air :**

La plupart des problèmes qui préoccupent la société aujourd'hui sont les MLs associées à la pollution de l'air due aux activités humaines. Les sources fixes et mobiles rejettent de grandes quantités de substances lourdes dans l'atmosphère. Les MLs présents dans le sol peuvent également générer des particules et des poussières en suspension dans l'air qui affectent la quantité de ce dernier (Nachana'a et Williams, 2019).

Chapitre I : métaux lourds et phytoremédiation

1-5-2- Effets sur la santé humaine :

L'impact des MLs sur la santé dépend de leur (1) espèce chimique, (2) concentration, (3) biodisponibilité et (4) passage dans les chaînes alimentaires. Certains éléments n'ont aucun rôle dans le maintien de l'homéostasie de l'organisme et sont directement toxiques, comme le Hg, Pb ou Cd, d'autres sont indispensables (appelés oligo-éléments) comme le sélénium (Se) ou le Fe. Enfin, certains sont neutres et considérés comme biocompatibles avec l'organisme, et sont ainsi utilisés en médecine, comme le titane et l'or par exemple (Souveret et al., 2017).

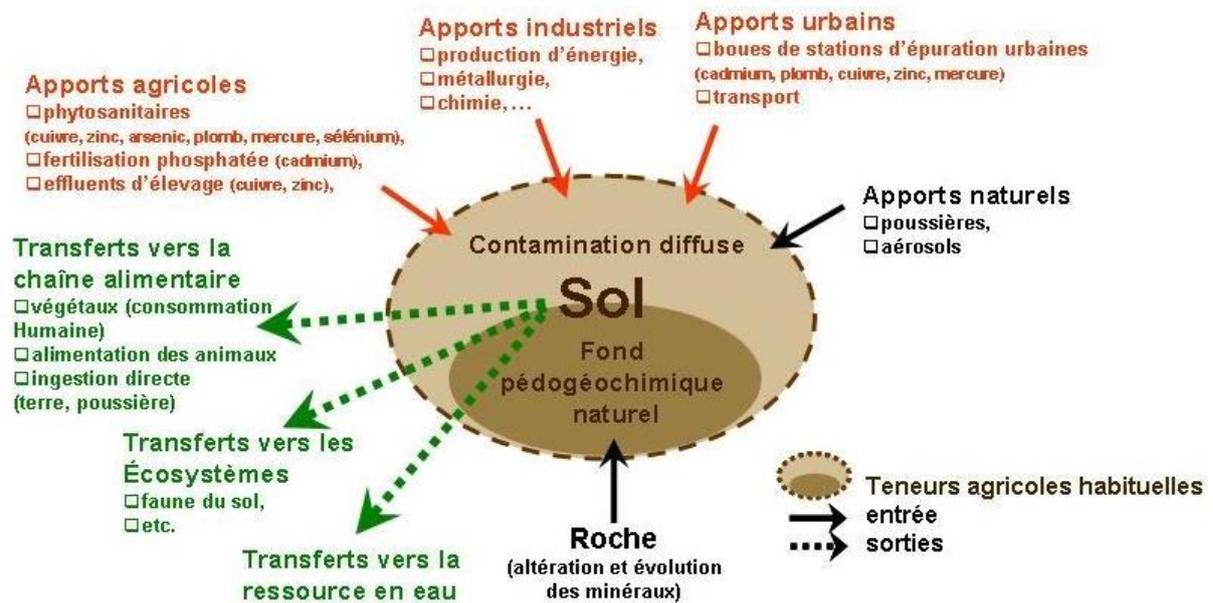


Figure 1. Effet des métaux lourds sur l'environnement

2- Le plomb :

2-1- Définition :

Le plomb (Pb), un contaminant persistant, peut subsister dans le sol pendant des siècles. Il a la capacité de s'accumuler dans la chaîne alimentaire, posant ainsi un risque pour la santé humaine (Ayad et Hatou, 2013).

Les concentrations élevées de plomb sont principalement le résultat des activités humaines (Ghezri, 2006). L'exposition au plomb peut survenir par inhalation, ingestion ou contact cutané (Moore et al., 1980).

2-2- Classifications de plomb :

Chapitre I : métaux lourds et phytoremédiation

Les différentes formes du plomb sont indiquées dans le tableau suivant :

Le sulfate de plomb (PbSO₄)	Un sel de plomb se présentant sous forme de cristaux ou de poudre blanche, peu soluble dans l'eau. Il est souvent visible sur les électrodes des batteries automobiles Déchargées
Le chlorure de plomb(PbCl₂)	Un composé ionique du plomb de valence II et d'anions chlorure. Il est un solide blanc peu soluble dans l'eau, classé toxique et dangereux pour l'environnement.
Le nitrate de plomb Pb(NO₃)₂	Le nitrate de plomb est un sel de plomb(II) soluble dans l'eau, qui se présente sous forme de cristaux blancs et inodores avec une pureté d'au moins 99%.

Tableau : Différent formes du plomb (**Forgeais, 1856**)

2-3- Les sources de plomb :

Les principales sources d'exposition au plomb (**Guide intoxications plomb medecins**)

- **L'habitat ancien et dégradé :** Les habitats anciens et dégradés présentent un risque d'exposition au plomb en raison de l'utilisation passée de peintures au plomb, de plaques de plomb pour l'étanchéité des toitures et d'éléments architecturaux comme les vitraux sertis avec du plomb.
- **L'exposition professionnelle :** L'exposition professionnelle au Pb est courante dans divers secteurs tels que la fabrication, la réparation et le recyclage des accumulateurs en plomb, la récupération des métaux, la démolition et la rénovation de bâtiments contenant de vieilles peintures au plomb, ainsi que dans des activités telles que la fabrication d'émaux, le soudage, la fonderie et le traitement de surface.
- **La contamination environnementale et domestique :** La contamination environnementale et domestique par le Pb est causée par les rejets industriels polluant l'air, l'eau et les sols autour de sites industriels. De plus, les poussières de plomb

Chapitre I : métaux lourds et phytoremédiation

provenant des activités professionnelles et de loisirs peuvent se déposer sur diverses surfaces, contaminant ainsi les habitants, en particulier les enfants et les femmes enceintes, à leur domicile.

- **Des objets importés :** L'exposition au Pb peut résulter de l'utilisation d'objets importés, tels que des céramiques artisanales, des récipients en étain ou en cristal, qui libèrent du plomb au contact d'aliments ou de boissons acides. Certains cosmétiques et remèdes traditionnels en poudre contiennent également du Pb. De plus, les jouets non conformes aux normes européennes peuvent également présenter un risque d'exposition au Pb.
- **L'alimentation :** L'alimentation peut être une source d'exposition au plomb, notamment via la consommation d'aliments cultivés sur des sites pollués ou exposés à des rejets atmosphériques. De plus, l'eau distribuée par des canalisations en plomb peut également contribuer à l'exposition au plomb, surtout si l'eau a un pH acide et est faiblement minéralisée.

2-4- Pollutions de plomb

La pollution au plomb est une préoccupation majeure en raison de ses effets nocifs sur la santé humaine et l'environnement. Le Pb, un métal lourd toxique, peut entraîner des troubles digestifs, des lésions rénales, des impacts sur le système nerveux central, et même des décès en cas d'exposition aiguë ou chronique à des niveaux élevés (**Web site 1**).

Chapitre II :
Présentation des deux
espèces

Chapitre II : Présentation des deux espèces

1- Le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.)

1-1- Définition et classification de caroubier :

Le nom scientifique du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) dérive du grec *keras*, corne, et latin *siliqua*, faisant allusion à la dureté et à la forme de la gousse (Batlle et al., 1997). Cet arbre peut mesurer plusieurs mètres de hauteur et produit des gousses, d'abord vertes, puis brunes à maturité. Elles sont généralement récoltées durant l'été, près d'un an après s'être formées (Guignard et Dupont, 2007). L'espèce *C. siliqua* est classée dans la famille des Fabacées comme suit : (Azani, 2017)

Classification	
Règne	Plantae
Sous règne	Tracheobionta
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Sous classe	Rosidae
Ordre	Fabales
Famille	Fabaceae (légumineuses)
Genre	<i>Ceratonia</i>
Espèce	
<i>Ceratonia siliqua</i>	

1-2- Caractéristiques botaniques

Arbre peut atteindre 15 m de hauteur et porte des feuilles paripennées à 2-5 paires de folioles coriaces, vert foncé et luisantes au-dessus, ovales, entières, grandes (2-5 X 1,5-4 cm). Cet arbre porte deux types de fleurs sur le même individu : Fleurs mâles et fleurs femelles. Chaque fleur contient 5

Chapitre II : Présentation des deux espèces

sépales et 5 étamines. Les gousses sont grandes (8-15 X 2-2,5 cm), brunâtres, pendantes, à 12-16 graines brunes et ovoïdes (**Figure 2**) (**Quézel et Santa, 1962**).

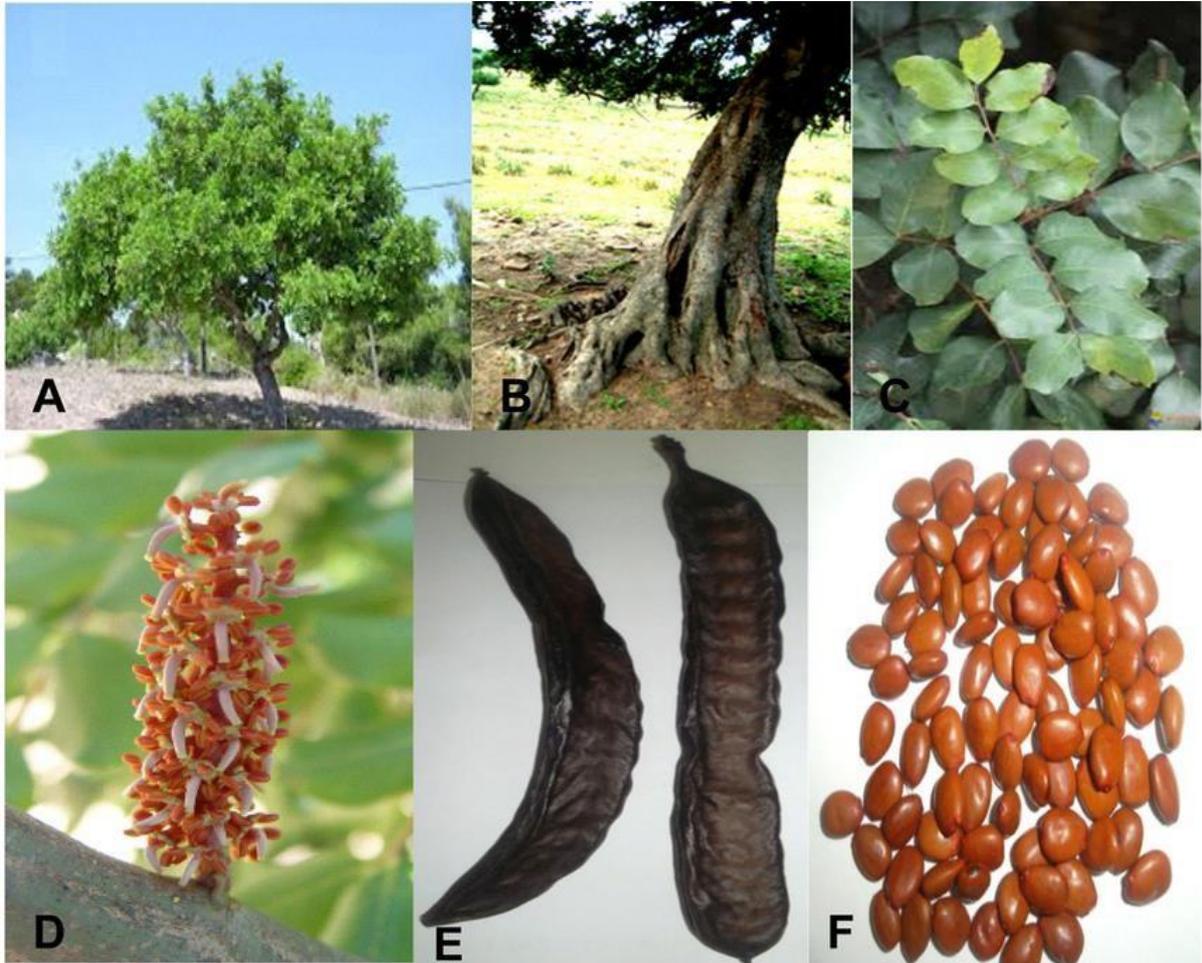


Figure 2. Vue générale (A), tronc (B), feuilles (C), fleur (D), gousses (E) et graines (F) du caroubier

1-3- L'origine de caroubier et sa distribution géographique :

1-3-1- L'origine de caroubier :

Le centre d'origine de *C. siliqua* n'est pas clair. Il a été placé par **De Candolle (1883)** et **Vavilov (1951)** dans la région de la Méditerranée orientale (Turquie et Syrie). Cependant, **Schweinfurth (1894)** considérait la caroube comme originaire des hautes terres d'Arabie méridionale (Yémen). Alors que **Zohary (1973)** a considéré comme provenant d'une flore indo-malésien nexérotropicale, la regroupant avec *Olea*, *Laurus*, *Myrtus*, *Chamaerops* et

Chapitre II : Présentation des deux espèces

autres et plaçant également l'origine de son genre sur le Péninsule arabe (**Battle et al., 1997**).

1-3-1- Distribution géographique :

Originaire du Moyen-Orient, le caroubier est un arbre essentiellement méditerranéen d'importance écologique, industrielle et ornementale indiscutable. On le rencontre à l'état naturel principalement en Espagne, Portugal, Maroc, Grèce, Italie, Turquie, Algérie, Tunisie, Égypte, et Chypre. Il a été introduit aussi en Australie, en Afrique du Sud, aux États-Unis et en Amérique du Sud (**Chial, 2020**).

1-4- L'utilisation de caroubier :

1-4-1- Dans le domaine agroalimentaire :

Le fruit du caroubier appelle « la caroube » est une gousse qui contient des graines à partir desquelles il est possible d'obtenir plusieurs ingrédients comme la poudre qui utilise dans la production de : Lait infantile, soupe, crème glacée, lait concentré, gélules pour compléments alimentaires, etc.). La caroube est considéré comme un super élément car il contient plusieurs points forts, on trouve essentiellement :

La **vitamine A**, permettant un bon fonctionnement du système immunitaire, etc. La **vitamine B2**, favorisant une bonne absorption et utilisation des nutriments dans notre organisme. La **vitamine E**, protéger notre corps des radicaux libres qui peuvent mettre à mal les cellules (**Paper, 2023**).

1-4-2- Dans le domaine médical :

Le caroubier est un remède naturel et particulièrement conseillé en cas de troubles digestifs, de reflux gastriques fréquents, d'irritation du côlon, de vomissements persistants, d'acidité gastrique, de stéatorrhée (terme médical utilisé pour désigner l'excès de graisses dans les selles), d'hémorroïdes, d'anémie et de carences nutritionnelles (**Chial, 2020**).

1-4-3- La cosmétique :

Le fruit du caroubier appelle « la caroube » est une gousse qui contient des graines à partir desquelles il est possible d'obtenir plusieurs ingrédients : poudre, gomme, extrait ou encore une molécule active du nom d'inositol qui utilise dans la production de savon, crèmes et dentifrice. L'inositol est un sucre qui entre dans la composition du phosphatidylinositol, Cette molécule protège la peau du photovieillissement en activant la synthèse du collagène I au niveau des fibroblastes. Par ailleurs, l'inositol intensifie et prolonge le bronzage de la peau grâce à un mécanisme innovant basé sur l'activation des seconds messagers impliqués dans la synthèse de mélanine (**Maylis, 2023**).

Chapitre II : Présentation des deux espèces

2- *Acacia cyanophylla* (ou *A. saligna*) :

2-1- Définition et classification de l'*Acacia cyanophylla* :

Il s'agit d'une espèce végétale appartenant à la famille des Fabacées. C'est un arbre ou un arbuste originaire d'Australie, naturalisé dans plusieurs autres pays. En France, il était anciennement appelé *Acacia saligna*. Son feuillage est bleuâtre et il est connu pour son port retombant décoratif et dense (**Web site 2**)

Classification de l'*Acacia cyanophylla* : (Azani, 2017)

Classification	
Règne	Plantae
Sous règne	Tracheobionta
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Sous classe	Rosidae
Ordre	Fabales
Famille	Fabaceae (légumineuses)
Genre	Acacia
Espèce	
<i>Acacia cyanophylla</i>	

2-2- Caractéristiques botaniques

Les feuilles d'*A. cyanophylla* sont alternes, composées, bipennées ; pétiole épaissi à la base et souvent muni de glandes, parfois phyllodes (pétiole élargi en une lame) de couleur

Chapitre II : Présentation des deux espèces

vert-foncé ou plus ou moins bleuté (glauque), de couleur vert-bleue (figure 3A) (Spichiger et al., 2002). L'inflorescence est en glomérules assez gros, de 22 à 55 fleurs, jaunes vif, groupés en grappes de 3-7, l'unité de base de la reproduction chez les fabacées est l'inflorescence et non la fleur individuelle. Les fleurs sont petites, régulières, avec un nombre d'étamines indéfini, sont généralement disposées en capitules jaunes ou jaunes blanchâtre, bien connues sous le nom de « Mimosa », groupées en un nombre variant de 3 à 8 fleurs situées sur de courts rameaux axillaires. Ce sont des fleurs hermaphrodites. La floraison s'effectue une fois par an. En régions méditerranéenne, l'époque de floraison s'étale du mois d'avril au mois de mai (figure 3B) (Mansouri, 2011).

Les fruits d'*A. cyanophylla* sont des gousses, avec des graines rapprochés, 7-13cm x 0,5cm généralement assez droites. La fructification commence autour de la troisième année (figure 3C) et ses graines sont oblongues, d'une couleur brun verdâtre foncé, à funicule moins long qu'elles. Le nombre de graines par kilogramme oscille entre 14.000-80.000. Elles présentent un bon taux de germination compris entre 55 et 90%. La graine doit être scarifiée, prétrempée pour 12 heures dans l'eau chaude et semée dans une serre chaude au mois de mars. La graine germe après 3-4 semaines à 25°C. La graine traitée doit être plantée à une profondeur de 0,5 cm (Crompton, 1992) (figure 3D). L'écorce est lisse, de couleur rouge-brun au niveau des rameaux; sur les arbres âgés l'écorce prend une couleur gris-foncé et fissurée (figure 2E) (Mansouri, 2011).

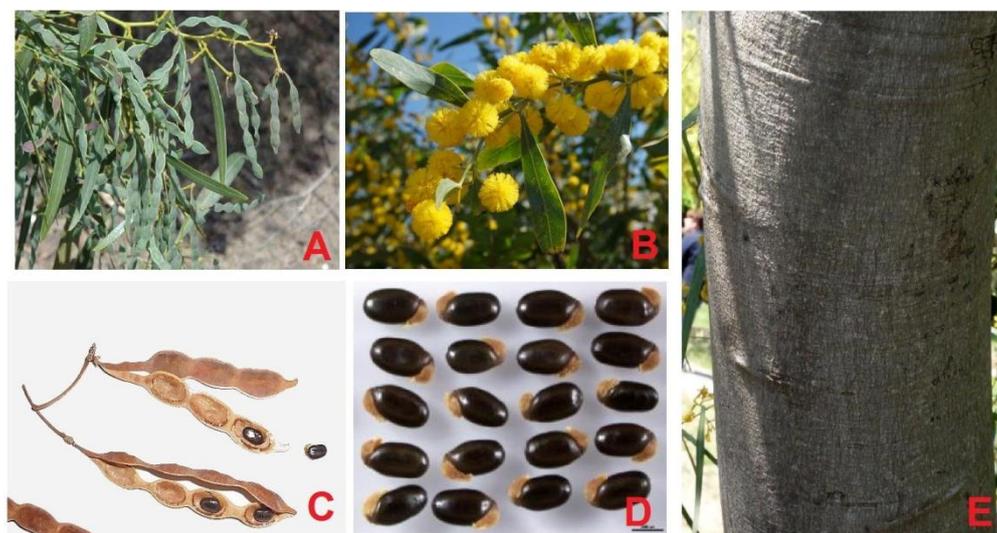


Figure 3 : Aspect d'*Acacia cyanophylla*. Feuilles (A), Fleurs (B), gousses (C), graines (D) et arbre en vue entière €.

Chapitre II : Présentation des deux espèces

2-3- L'origine de l'acacia et sa distribution géographique :

Acacia cyanophylla, également connu sous le nom de Mimosa bleuâtre, a une origine australienne. Cette espèce d'arbuste, appartenant à la famille des Fabacées, peut atteindre jusqu'à 8 mètres de hauteur.

L'*Acacia cyanophylla* est originaire d'Australie, mais a été introduit et est maintenant répandu en Afrique du Nord (notamment en Algérie et au Maroc), en Afrique du Sud, en Europe et dans certaines régions d'Amérique (Lebbida, 2015).

2-4- L'utilisation de l'acacia

L'utilisation de l'*A. cyanophylla* est principalement liée à son rôle dans l'alimentation. Cette espèce d'acacia est utilisée comme réserve fourragère sur pied, surtout pendant les périodes de sécheresse. Bien que relativement pauvre en énergie. De plus, cette espèce améliore le sol, protège contre l'érosion et produit du bois à multi-usages (El Euch, 1995)

En outre, des études ont montré que l'*A. cyanophylla* peut être compostée pour améliorer la qualité des plants de chêne liège, offrant des gains significatifs en croissance, diamètre, biomasse et capacité de régénération racinaire (Benamirouche et Chouial, 2018)

2-4-1- Dans le domaine agroalimentaire

L'*A. cyanophylla* est une ressource fourragère importante pour les ovins et les caprins en raison de son feuillage riche en protéines, bien que pauvre en énergie. Des recherches ont montré que les tanins présents dans cette plante peuvent affecter la digestibilité des protéines, mais l'utilisation de polyéthylène glycol 4000 semble prometteuse pour améliorer cette digestibilité ainsi que la croissance des animaux (Site web 4).

2-4-2 - Dans le domaine médical

L'*A. cyanophylla* est valorisé dans le domaine médical pour ses propriétés bénéfiques. Ses composants offrent des avantages pour la santé humaine, notamment ses fleurs utilisées dans certaines préparations médicinales, bien que leur utilisation en tant que substitut médical soit encore peu répandue. De plus, l'écorce et la fibre de cette plante sont utilisées en homéopathie, mais leur utilisation est réglementée (Palici, 2016).

Chapitre II : Présentation des deux espèces

2-4-3- La cosmétique :

L'*A. cyanophylla* est utilisé dans le domaine de la cosmétique en raison de ses propriétés bénéfiques pour la peau. Ses composés naturels sont extraits et incorporés dans des produits tels que des crèmes, des lotions ou des sérums pour hydrater, apaiser ou régénérer la peau. Les extraits de cette plante offrent des avantages cosmétiques grâce à leurs propriétés naturelles, contribuant ainsi à l'amélioration de la qualité des produits de soins cutanés (**Ansel et al., 2016**).

Chapitre III :
La germination et la réponse
biochimique.

Chapitre III : la germination et la réponse biochimique.

1- Généralités sur la germination

1-1- Définition :

La germination est le processus par lequel une graine se développe en une nouvelle plante. Cela implique généralement l'absorption d'eau par la graine, suivie de la croissance de la radicule (racine embryonnaire) et de la tige, avec l'émergence des premières feuilles (Bewley, 1997).

1-2- Les étapes de la germination :

Les étapes typiques de la germination des graines comprennent :

Imbibition : L'absorption d'eau par la graine, ce qui entraîne le gonflement de celle-ci et l'activation métabolique (Fig. 4) (Mihoub et al., 2005).

Activation métabolique : Les processus métaboliques internes de la graine commencent à s'activer, y compris la respiration et la synthèse de protéines (Anzala, 2006).

Germination sens stricte : La radicule (la première racine) commence à émerger de la graine, suivie par le développement de la tige et des premières feuilles (Bewley, 1997).

Croissance : La plante continue de se développer, produisant des racines secondaires, des feuilles et des tiges.

Photosynthèse : Les feuilles se développent et commencent à effectuer la photosynthèse, fournissant à la plante l'énergie nécessaire à sa croissance continue.

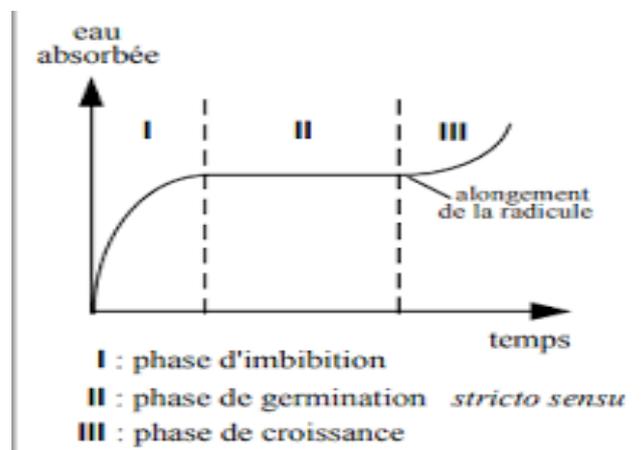


Figure 4 : Courbe théorique d'imbibition d'une semence (Côme, 1982)

1-3- Les types de la germination :

- **La germination épigée** : lorsque les tissus de réserve qui composent l'essentiel de la graine sortent du sol (Fig. 5). La germination est alors assurée essentiellement par l'élongation importante de l'hypocotyle (Côme, 1970).

Chapitre III : la germination et la réponse biochimique.

- **La germination hypogée** : l'hypocotyle ne se développe pas et les cotylédons restent dans le sol ou il s'attache avec la partie inférieure de la tige (**Fig. 5**). L'élongation se fait alors dans la gemmule (**Campine, 1992**)

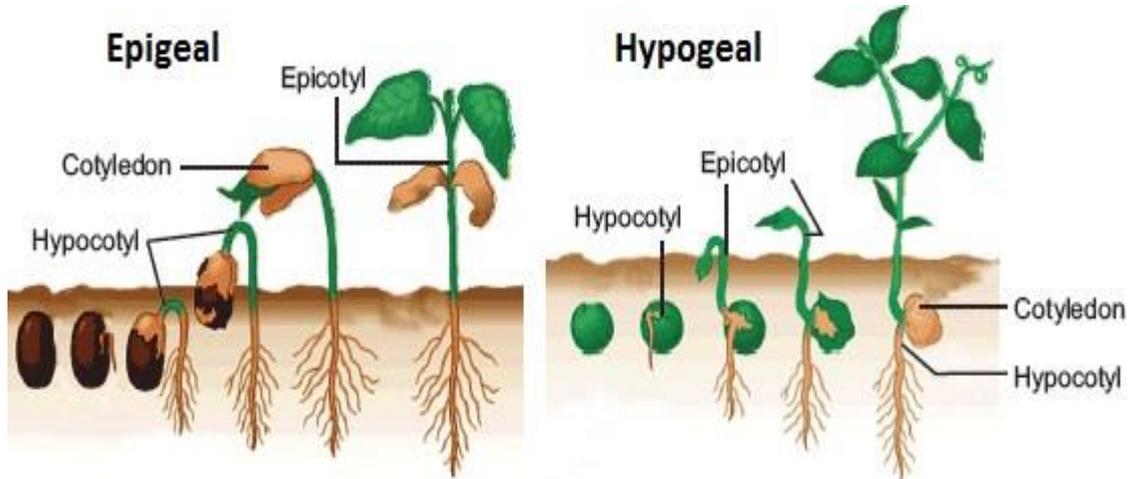


Figure 5. Schéma de la germination épigée et hypogée (**Bhuyan et Mukherjee, 2024**)

1-4- Les facteurs de la germination :

La germination est le processus par lequel une plante passe d'une graine à une plante. Toutes les graines ont besoin d'eau, d'oxygène, une température optimale et la lumière pour germer (**Fig. 6**).

1-4-1- L'eau :

Elle est absolument nécessaire, en son absence, la graine reste sèche et peut conserver longtemps (**Bassou, 2019**).

1-4-2- l'oxygène :

En même temps que l'imbibition, on constate que les graines qui étaient en vie ralentie, se remettent à respirer. Selon Soltner (2007) l'oxygène est indispensable à la germination. Une faible quantité d'oxygène peut être suffisante pour permettre la germination (**Mazliak, 1982**).

Chapitre III : la germination et la réponse biochimique.

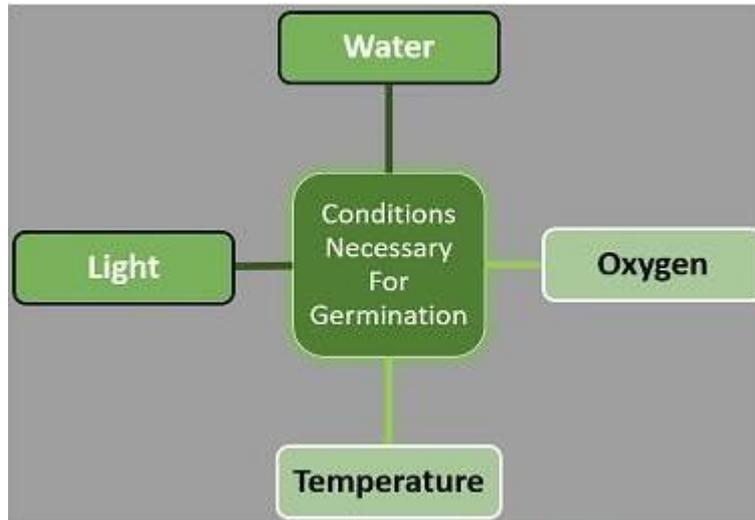


Figure 6. Les facteurs nécessaires pour la germination (Bennett, 2021).

1 4-3- Température :

La température joue un rôle important dans la germination. (Marie et al., 2011), elle varie d'une plante à l'autre. Chacune d'elle possède une température minimum et une température maximum de germination qui lui sont propres, et entre lesquelles elle se trouve en capacité de germer. (Isabelle, 2022).

1-4-4- Lumières :

La germination peut ne pas être affectée par la lumière (semences non-photosensibles), ou être stimulée (photosensibilité positive), ou être inhibée (photosensibilité négative) par la lumière. (Roux, 2024).

2- La dormance :

2-1- Définition :

Est un stade important dans le cycle de vie des plantes. C'est un état provisoire dans lequel des graines viables ne peuvent pas germer même dans des conditions favorables (Fig. 7) ; cet état se caractérise par une absence virtuelle d'activité métabolique et/ou par un manque virtuel de développement et de croissance. (N'Dri et al., 2011).

Chapitre III : la germination et la réponse biochimique.

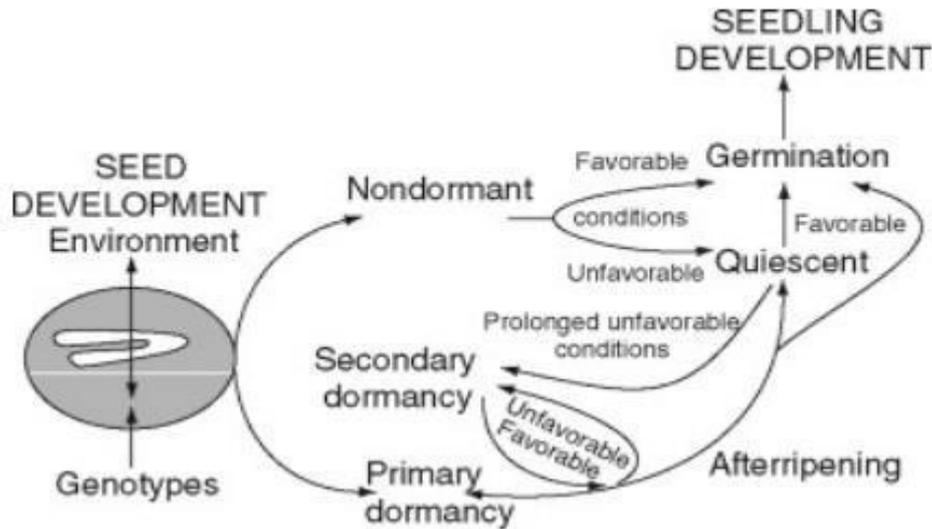


Figure 7. Les facteurs internes et externes qui influencent la germination des graines matures

2-2- Types de dormance :

On peut distinguer deux grandes catégories de dormances selon la morphologie des graines :

2-2-1- La dormance tégumentaire :

La dormance tégumentaire ou physique (ou encore exogène) qui est liée à une imperméabilité des graines à l'eau, causée par la présence d'une enveloppe tégumentaire de la graine infranchissable par l'eau. (Alane, 2019) .Dans ce cas la graine intacte est incapable de germer mais son embryon germe facilement, s'il est dénudé, Dans cette catégorie, on distingue deux sous -type de dormance :

- La dormance tégumentaire chimique
- La dormance tégumentaire physique. (Boukhedenna, 2009)

2-2-1- Dormance embryonnaire :

Une dormance embryonnaire a par définition son origine dans l'embryon lui-même, c'est-à-dire qu'elle n'est pas levée par un traitement opéré sur les enveloppes et qu'elle se manifeste même si l'embryon est isolé. La levée de dormance permet en général la poursuite de la germination sans autre encombre, mais il n'en est pas toujours ainsi car il peut persister ou s'installer une dormance secondaire, qui nécessitera une nouvelle levée de dormance. (Maougal, 2015).

Chapitre III : la germination et la réponse biochimique.

3- La réponse biochimique

La réponse biochimique des graines fait référence aux changements moléculaires qui se produisent à l'intérieur de la graine lorsqu'elle est soumise à des conditions propices à la germination. (**Groot et Karszen, 1987**).

Ces changements impliquent généralement une activation métabolique, y compris la synthèse de nouvelles protéines et enzymes nécessaires à la croissance de la plante à partir de la graine. (**Catusse et al., 2008**).

Partie II :

Expérimentation

Chapitre I : Matériel et méthodes

1- Site expérimental :

Notre projet de fin d'étude a été réalisé au niveau de laboratoire de recherche en écologie et environnement (Fig. 8) au sein de l'Université de Bejaia a pour but d'évaluer l'effet de plomb sur la réponse physiologique et biochimique des pousses de l'*Acacia cyanophylla* et de *Ceratonia siliqua*.



Figure 8. Bloc des laboratoires de recherche au sein du campus Targa Ouzemour (Univ. de Béjaia)

2- Présentation de la zone de récolte des graines :

Les graines utilisées dans cette expérimentation sont l'*A. cyanophylla*, qui ont été récoltées en 2022 à partir de 10 arbres différents dans le campus de Targa Ouzemour (Univ. Abderrahmane mira) de la wilaya de Bejaia, situé au nord de l'Algérie (Fig. 9). Quant aux graines de *C. siliqua*, elles ont été récoltées au mois d'Aout 2023 à Amizour (village de Bou Mraou), aussi situé dans la wilaya de Bejaia.



Figure 9. Des parties d'arbre d'*Acacia cyanophylla* (A) et de *Ceratonia siliqua* (B).

Chapitre I : Matériel et méthodes

3- Protocole expérimental :

3-1- Traitement des graines :

Avant d'utiliser les graines d'acacia et de caroubier, il faut d'abord les scarifier. Pour achever ce protocole, nous avons mis environ 600 graines d'acacia dans un bécher contenant 30 ml d'acide sulfurique [H₂SO₄] et 900 graines de caroubier dans un autre bécher saturé avec 180 ml de [H₂SO₄] pendant 50 minutes en remuant chaque 5 minute. Après, nous avons rincé 5 fois les graines d'acacia avec de l'eau distillée, puis avec de l'eau distillée et deux gouttes d'eau de javel. Les mêmes étapes étaient répétées pour les graines du caroubier, où nous avons rincé 8 fois ensuite avec de l'eau distillée et 2 gouttes d'eau de javel, pendant 20 secondes pour éliminer les traces d'acide et les agents pathogènes (Fig. 10).

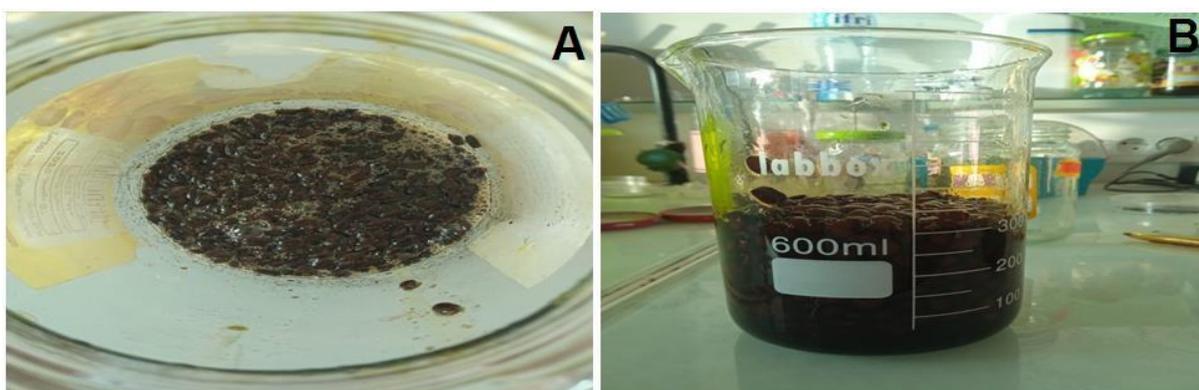


Figure 10: Le protocole de scarification des graines de l'*A. cyanophylla* (A) et de *C. siliqua*

3-2- Préparation des solutions de métaux lourds :

Pour préparer des solutions de métaux lourds, nous suivons les étapes suivantes :

1. Mettre 6 bouteilles étiquetées propre et sèche sur la surface de travail.
2. Ajouter 200 ml d'eau distillée dans chaque bouteille.
3. Utiliser une balance pour mesurer précisément la quantité de poudre de nitrate de plomb (Pb(NO₃)₂) nécessaire puis ajouter la quantité mesurée de poudre dans chaque bouteille (Fig. 11), comme suit, selon la loi suivante : 1 ppm= 1mg/1000 ml.

Bouteille 1 : 200 ppm —————> 40 mg /200 ml d'eau distillée

Chapitre I : Matériel et méthodes

- Bouteille 2 : 400 ppm → 80 mg /200 ml d'eau distillée
Bouteille 3 : 600 ppm → 120 mg/200 ml d'eau distillée
Bouteille 4 : 800 ppm → 160 mg/200 ml d'eau distillée
Bouteille 5 : 1000 ppm → 200 mg/200 ml d'eau distillée
Bouteille 6 : contient uniquement 200 ml d'eau distillée (le témoin).



Figure 11 : Des bouteilles en plastique contenant les différentes concentrations du nitrate de plomb utilisées.

4. Agiter chaque bouteille jusqu'à la dissolution complète de la poudre.

3-3- Répartition des graines :

Après avoir fini de laver et sécher les graines, nous avons pris 33 boîtes de Pétri (15 pour l'acacia, 15 boîtes pour le caroubier et les 3 dernières pour le contrôle), Après les avoir bien lavées et séchées, nous avons mis un morceau de papier absorbant sur la surface de chaque boîte, nous les avons donc nommés : (Pb L1 200 ppm, Pb L1 400 ppm..... etc.). À l'aide de pinces, nous prenons les graines de l'acacia et du caroubier pour les placer dans les boîtes de Pétri (18 graines dans chaque boîte) et les incubées dans étuve réglée à 22 °C pendant 16 jours (Fig. 12).

Chapitre I : Matériel et méthodes



Figure 12. Les différentes étapes à suivre pour réaliser le protocole de la germination

4- Comptage et mesure des graines :

Pendant une période de germination de 16 jours, nous avons effectué des comptages toutes les 48 heures afin de déterminer le nombre de graines ayant développé une racicule de plus de 2 mm (Fig. 13).



Figure 13. Des graines après 2 jours (A) et après 16 jours (B) d'incubation dans une étuve réglée à 22 °C à l'obscurité

5- Traitement des données :

5-1- Taux final de germination :

Le taux final de germination a été calculé par le rapport du nombre de graines germées sûr le nombre total de graines rapporté à 100. (Tanveer et al., 2010).

$$TG(\%) = (Graines\ germées) / (Nombre\ total\ des\ graines) \times 100$$

5-2 Vitesse de germination :

Exprime le taux de germination en termes du nombre total de graines qui germent dans un intervalle de temps :

Chapitre I : Matériel et méthodes

$$TMG = \frac{N1T1 + N2T2 + N3T3 \dots NnTn}{N1 + N2 + N3 + \dots Nn}$$

N1 : nombre de graines germées au temps T1

N2 : nombre de graines germées entre T1 et T2

5-3- Mesure des paramètres de croissance :

A l'aide d'un papier millimétrique, nous avons pris 3 pousses émergées dans chaque exemplaire de 2 espèces pour mesurer la taille de la radicule et de l'hypocotyle.

5-3-1- La taille de l'hypocotyle et de la radicule :

Une mesure de longueur des racines primaires ainsi que les tigelles (après 16^{ème} jours) a été effectuée à l'aide d'une règle gradué ou par un papier millimétré (Fig. 14).

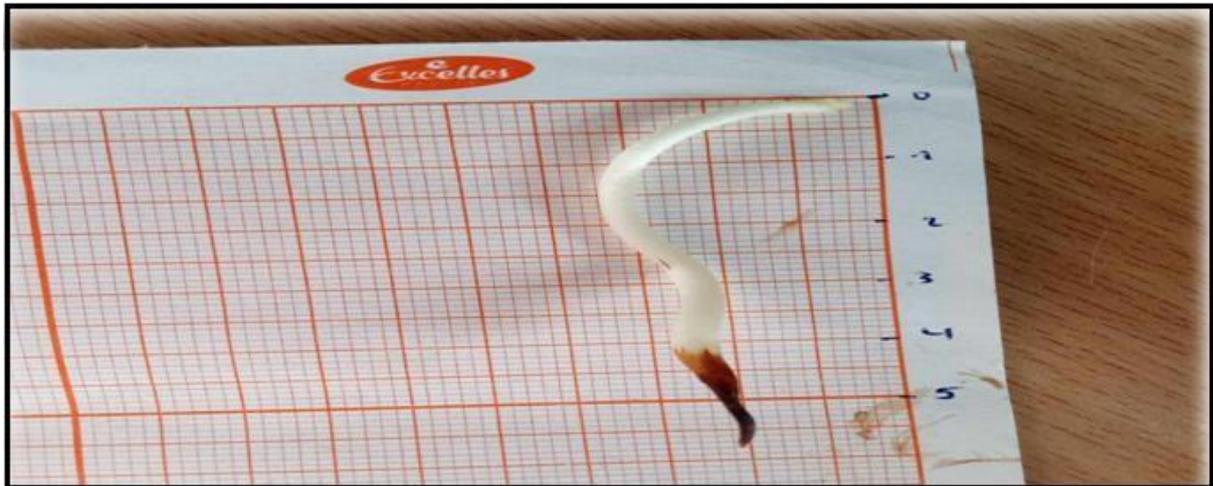


Figure 14. Une pousse de caroubier déposée sur un papier millimétrique pour estimer la longueur de la tigelle et de la radicule

5-3-2- Le poids frais des pousses :

A l'aide d'une balance nous avons pesé les poids des pousses (un échantillon par boîte), après le 16^{ème} jour de germination (Fig. 15).

Chapitre I : Matériel et méthodes



Figure 15. Une balance analytique utilisée pour peser les pousses des espèces étudiées

5-3-3- Le poids sec des pousses :

Nous avons utilisé une balance pour mesurer le poids des pousses, en prélevant un échantillon dans chaque boîte après les avoir mises dans le four pendant 48 heures à 70 °C (Fig. 16), après 16 jours de germination.

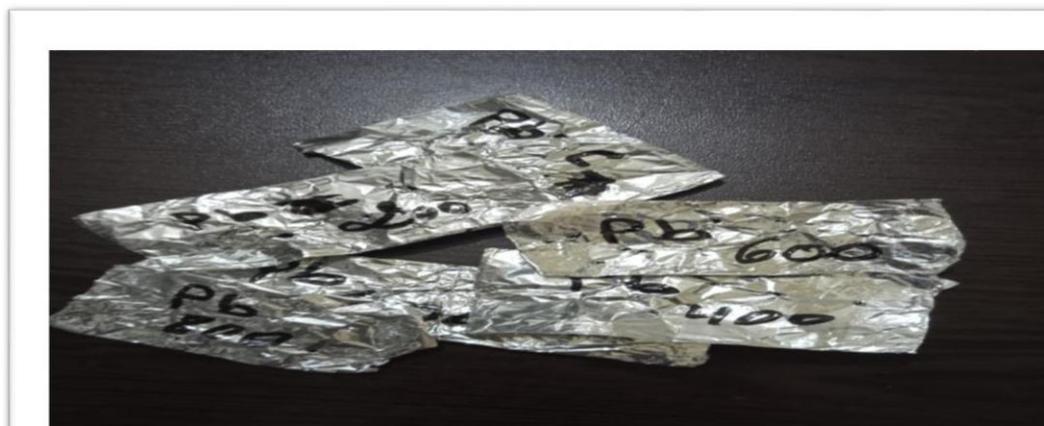


Figure 16. Des pousses enroulées dans du papier aluminium avant le séchage

5-4- Analyse biochimique

5-4-1- Extraction et dosage des protéines :

- **Extraction :**

- 1) Nous avons mis dans un mortier 0,5 g de matière végétale fraîche que nous avons déjà pesée, plus 1,5 ml de solution de Tris-HCl, (pH = 8,1).
- 2) Nous avons versé la solution dans des tubes en plastique, après les avoir bien broyés.

Chapitre I : Matériel et méthodes

3) Ensuite, nous les avons soumis à une centrifugation à 1300 t / min pendant 10 min.

- **Dosage :**

1) À l'aide d'une micropipette, nous avons prélevé 1 ml de surnageant de chaque tube et le placé dans 3 tubes de verre différents propre et sec (chaque concentration) avec 3 ml de réactif de Bradford.

2) Nous avons agité les solutions de chaque tube par un vortex pendant 20 secondes pour avoir un mélange homogène.

3) Lecture au spectrophotomètre a une longueur d'onde de 595 nm (Fig. 17).

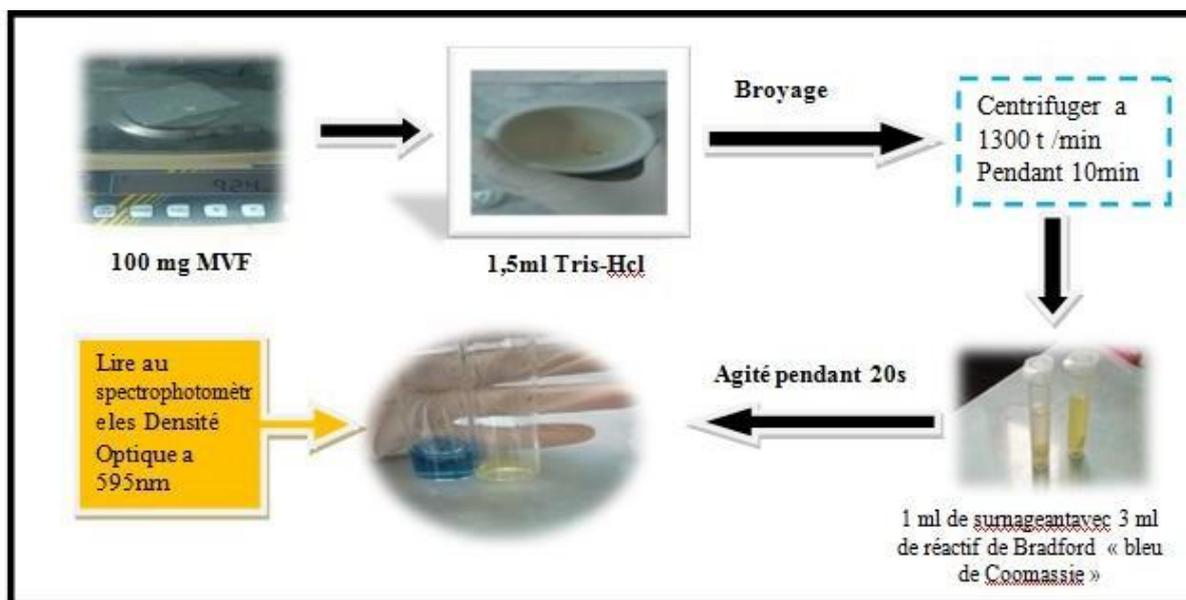


Figure 17. Les principales étapes élaborées pour l'extraction et le dosage des protéines solubles selon la méthode de Bradford

5-4-2- Extraction et dosage des sucres solubles :

- **Extraction :**

1) Nous broyé dans un mortier 0,1 de MVF plus 4 ml d'éthanol à 80 %, après nous avons mis le liquide dans des tubes en plastiques.

2) Ensuite, on les a centrifugé à 5000tr / min pendant 20min

3) Après avoir les centrifuger, on les a ajusté à 10 ml avec de l'eau distillée.

- **Dosage :**

1) 1 ml d'extrait de glucides de chaque tube est verser dans 3 tubes en verre propres et secs différents (chaque concentration) et 2 ml de réactif à l'antrone a été additionné.

Chapitre I : Matériel et méthodes

- 2) nous avons mesuré l'absorbance de la solution dans un spectrophotomètre à une longueur d'onde $\lambda=630$ nm (Fig. 18).

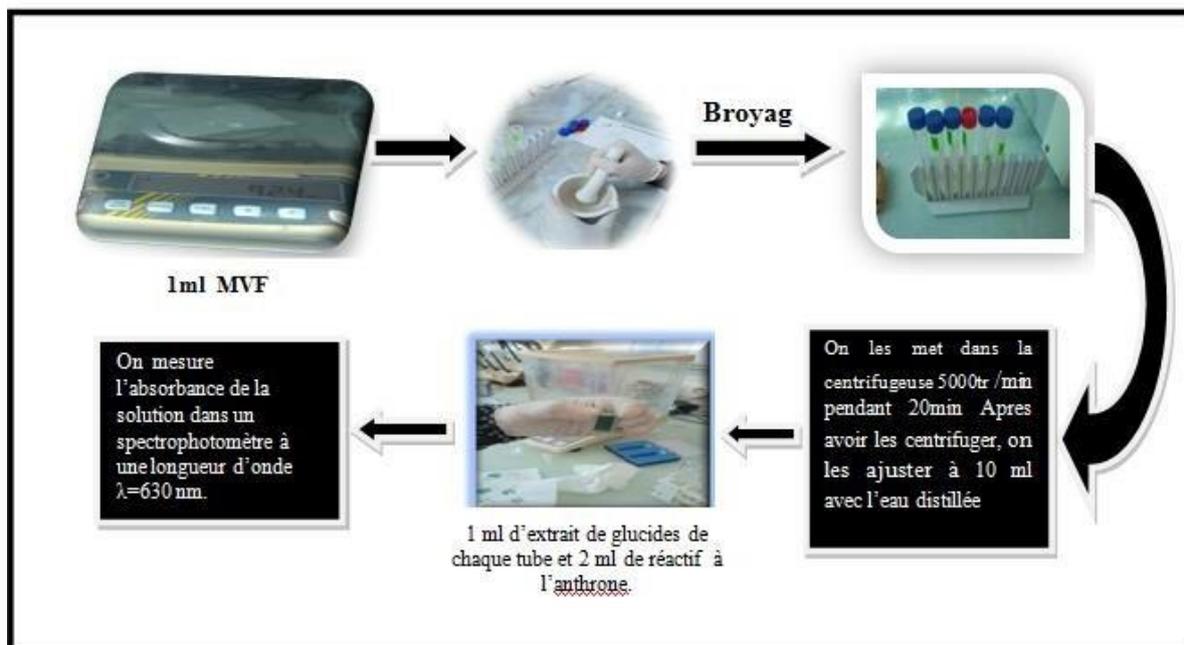


Figure 18. Les principales étapes élaborées pour l'extraction et le dosage des sucres solubles à la base d'utilisation du réactif d'anthrone

5-4-3- Extraction et dosage des malondialdéhyde (MDA)

- **Extraction :**

- 1) Dans un mortier nous avons broyé 0,1g de MVF avec 1,5 ml de trichloracétique (TCA à 1 %).
- 2) Après, on met les tubes dans la centrifugeuse pendant 20 min à 12000tr / min.

- **Dosage :**

- 1) Nous avons pris 1 ml d'extrait surnageant de chaque tube et le transférer dans tubes en verre propres et secs différents et ajouté 2 ml de TBA à 0,5 % dans chaque tube.
- 2) Ensuite, les tubes dans sont chauffés dans un bain marie réglé à 95 °C pendant 30min.
- 3) Enfin, on passe à la lecture des solutions au spectrophotomètre (au D.O. 532 et 600 nm) (Fig.19).

Chapitre I : Matériel et méthodes

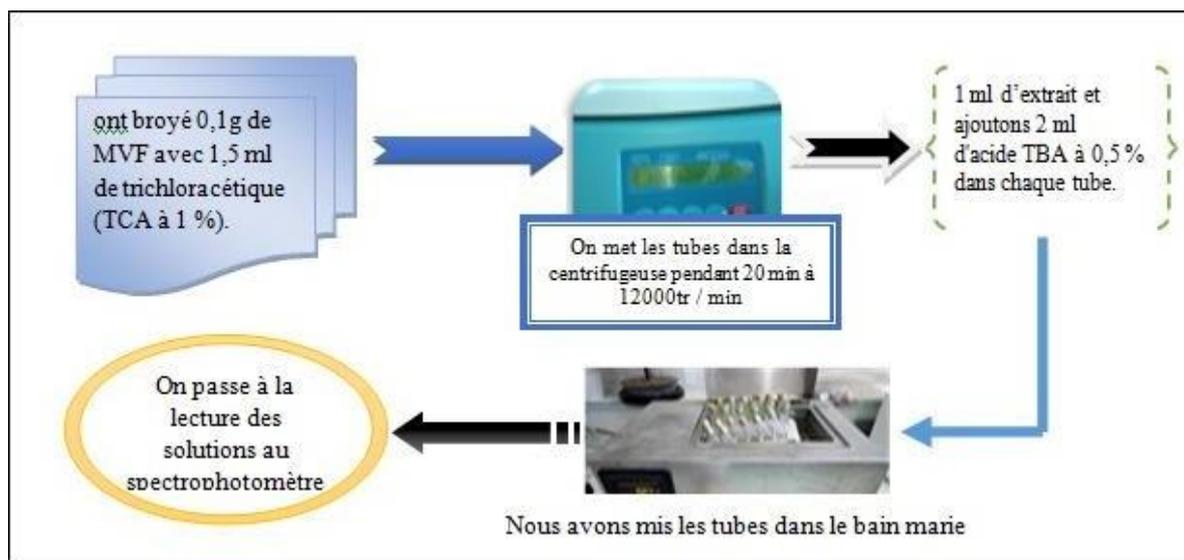


Figure 19. Les principales étapes élaborées pour l'extraction et le dosage malondialdéhyde.

5-4-4- Extraction et dosage de la catalase

- **Extraction :**

- 1) On met 0,1 g de MVF dans le mortier après l'avoir pesé, puis on ajoute 1 ml de Tri-HCL et on verse le mélange dans les tubes en plastique (chaque concentration).
- 2) Ensuite, on les centrifuge 5 min à 15000 tr /min à 4 °C.
- 3) On met les solutions dans la glace pour conserver le surnageant (quelque minutes).

- **Dosage :**

- 1) Dans la cuve en quartz on met 2ml de tampon phosphate-potassium plus 100 μ l d'extrait végétal et 30 μ l de H₂O₂ (à 6%).
- 2) Enfin, nous avons effectué une lecture de la longueur d'onde à $\lambda = 240$ nm pendant 3 minutes (toutes les 30 secondes) (Fig. 20).

Chapitre I : Matériel et méthodes

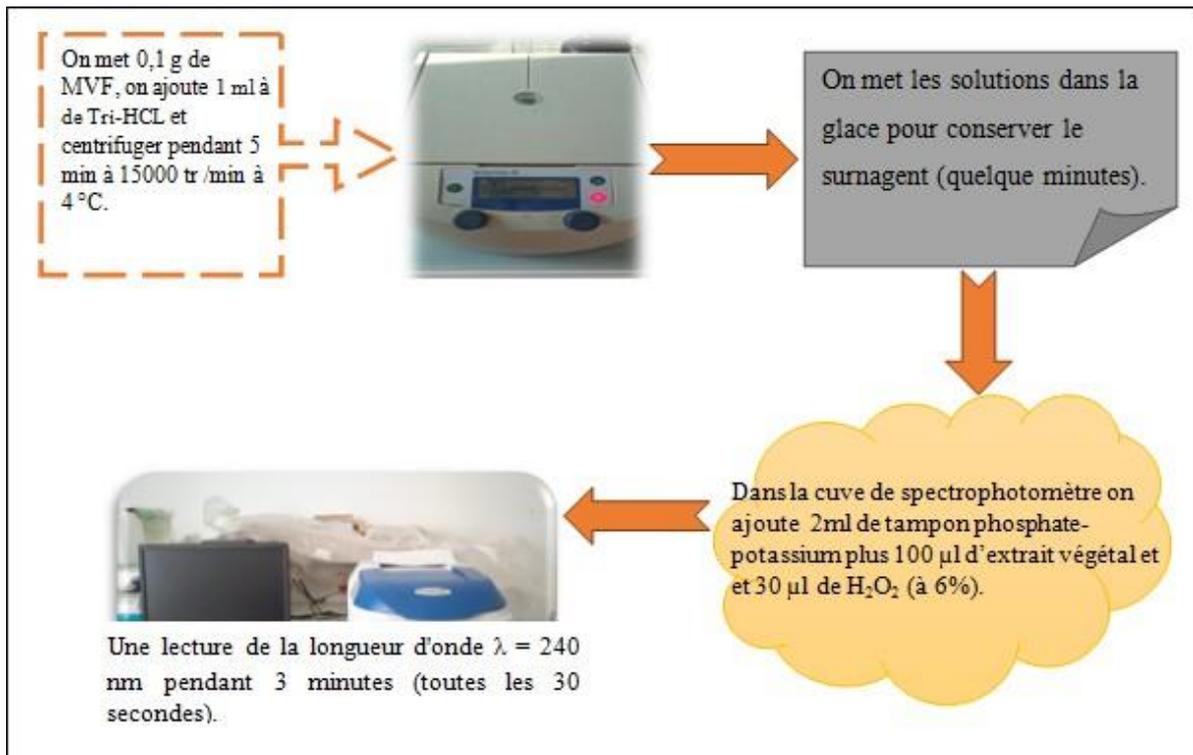


Figure 20. Les principales étapes élaborées pour l'extraction et le dosage de l'activité de la catalase.

5-4-5- Extraction et dosage de la proline

- **Extraction :**

- 1) Dans des microtubes, nous avons mis 0,1 g de matière végétale sèche (après l'avoir séché au four pendant 48 heures) plus 2 ml d'eau distillée et une pincée de sable jaune puis on les écrasée très bien (chaque concentration).
- 2) Ensuite, nous avons mis les tubes pour l'incubation à 95 °C pendant 30 min.
- 3) Après l'incubation, Nous avons mis les tubes dans la glace (quelque minute).
- 4) Enfin, on place les tubes dans la centrifugeuse à 13 000 tr/min pendant 15 minutes (Fig. 21).

Chapitre I : Matériel et méthodes

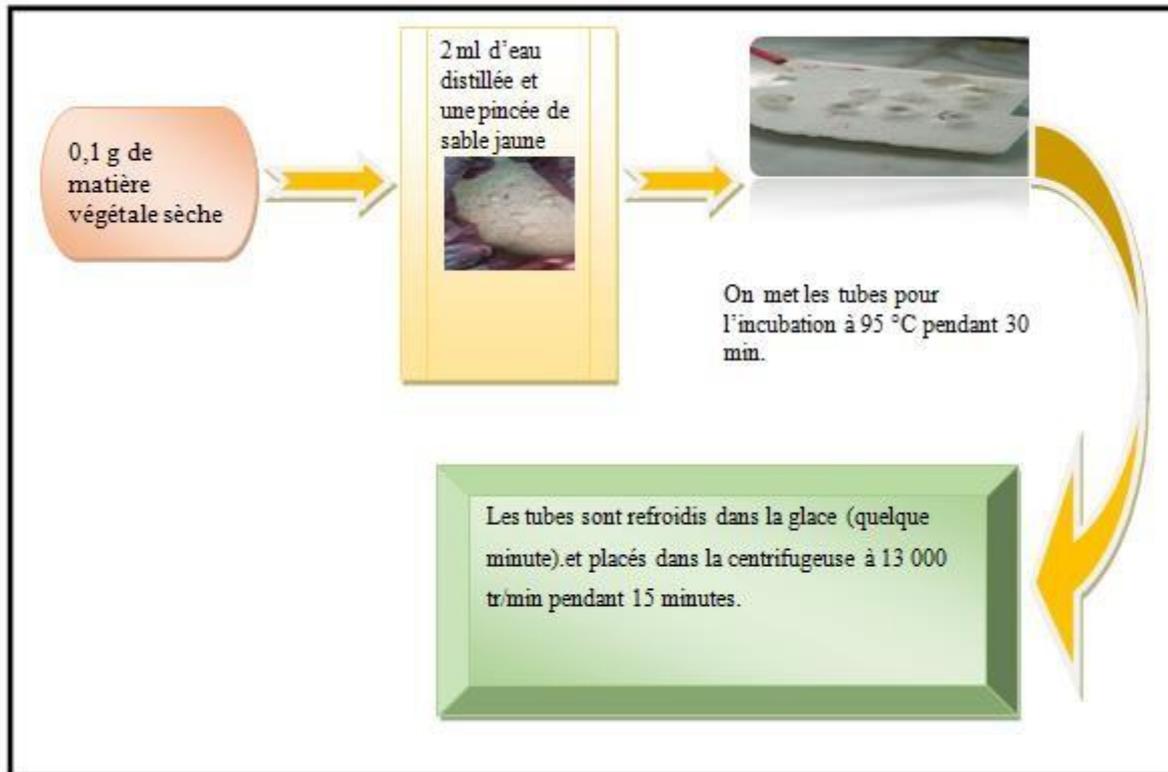


Figure 21. Les principales étapes élaborées pour l'extraction de la proline.

- **Dosage :**

- 1) Nous avons mis dans des tubes à essai 1ml de surnageant plus 2ml de la solution de ninhydrine.
- 2) Ensuite, on les place dans un vortex pour bien mélanger la solution.
- 3) Nous avons incubé encore une autre fois (à 95 °C pendant 30 min).
- 4) Après l'incubation, nous avons ajouté 3 ml de toluène ensuite agiter très bien à l'aide d'un vortex.

Enfin, nous passons à la lecture au spectrophotomètre à 520nm (Fig. 22)

Chapitre I : Matériel et méthodes

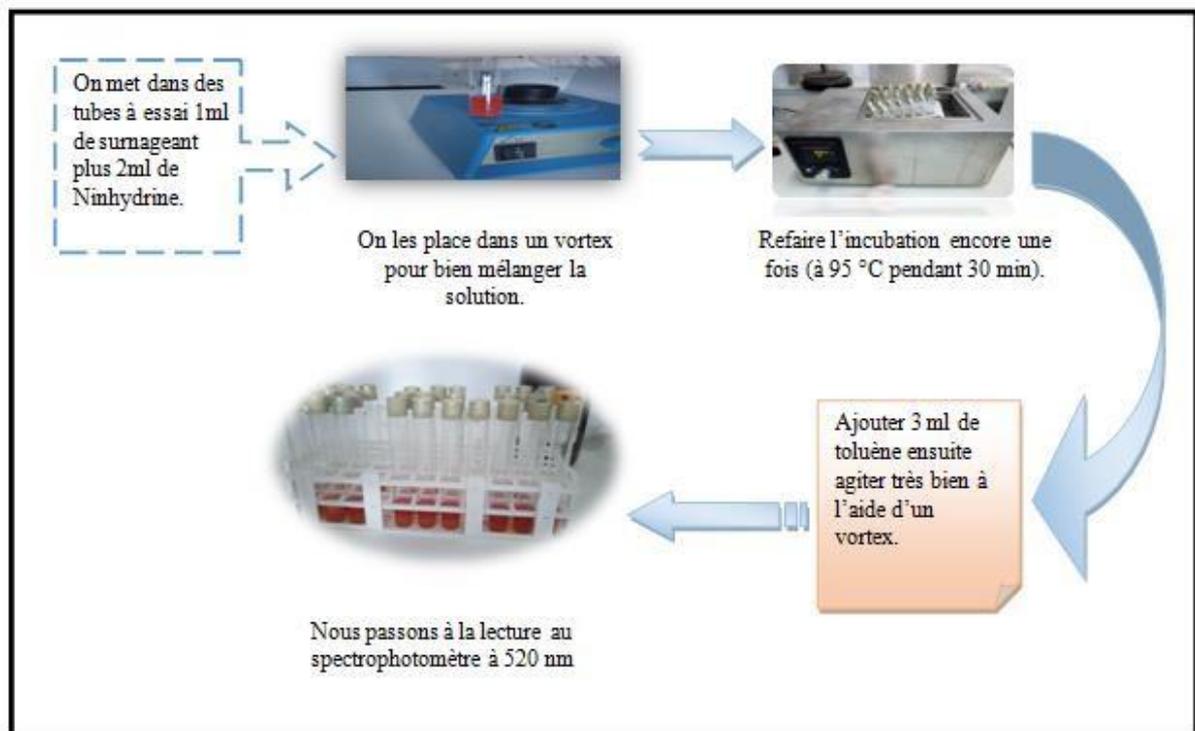


Figure 22. Les principales étapes élaborées pour le dosage de la proline.

6- Analyses statistiques

Pour chacun des concentrations appliqués, les résultats obtenus sur trois répétitions à raison de dix-huit graines par boîte de Pétri sont statistiquement analysées par le logiciel SPSS pour Windows, version 22. Une analyse de la variance (ANOVA) a été effectuée pour la comparaison de plusieurs moyennes. Le test de Duncan est utilisé pour identifier la signification des différences entre les moyennes deux à deux au seuil de 5%.

Chapitre II :

Résultats & Discussion

Chapitre II : Résultats & Discussion

1- Résultats :

1-1- Effet du plomb sur les paramètres de germination des pousses de l'*Acacia cyanophylla* et *Ceratonia siliqua* :

La figure 23 représente le pourcentage finale de germination des graines de l'*A. cyanophylla* et *C. siliqua* soumises à différents doses de plomb (200, 400, 600, 800,1000 ppm) pendant 16 jours. Nous avons remarqué que le pourcentage de germination des pousses de caroubier a été statistiquement significativement plus élevé par rapport à l'acacia ($p < 0.05$). Le pourcentage de germination le plus important des pousses de caroubier est 96,29% qui ont été obtenu à 600 ppm et le plus faible pourcentage qui est estimé de 76,92% a été noté à 800 ppm. Concernant l'acacia, le maximum de germination des graines n'a pas dépassé 42,59% et qui a été enregistré à 400 ppm, alors que le plus faible pourcentage chute jusqu'à 16,66% à la concentration de 800 ppm.

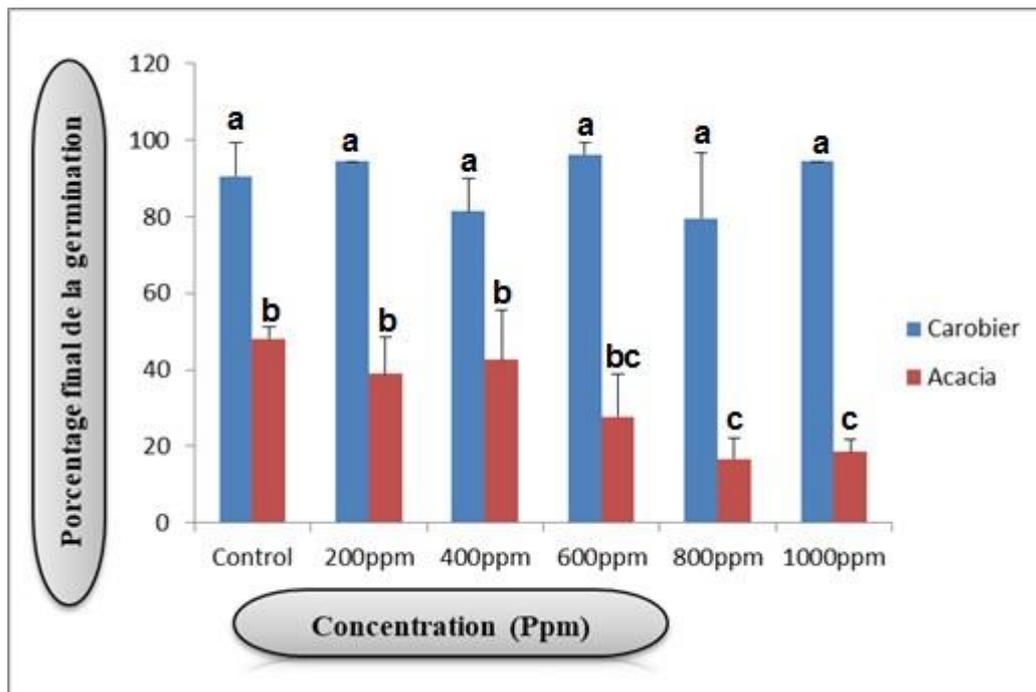


Figure 23: Effets des différentes concentrations en Pb sur la germination des pousses de l'*Acacia cyanophylla* et *Ceratonia siliqua*. Les moyennes libellées par différentes lettres minuscules indiquent des différences significatives ($p < 0,05$) selon le test de Duncan.

Chapitre II : Résultats & Discussion

Le temps moyen de germination (TMG) est montré dans la figure 24. Le TMG le plus réduit (c-à-d la vitesse de germination la plus rapide) a été enregistré chez le témoin soit pour l'acacia (1,51 jours) ou le caroubier (1,56 jours). Pour l'acacia, plus le stress métallique par le Pb s'intensifie dans le milieu, le TMG augmente pour atteindre une valeur la plus importante à 800 ppm (2,86 jours) suivit par 1000 ppm (2,77 jours). Par contre, les valeurs du TMG chez le caroubier affichent des mesures qui ne dépassent pas 1,91 jour. Malgré une légère augmentation, nous avons noté une différence non-significative, en appliquant le test de Duncan ($p > 0,05$), entre les différentes valeurs de TMG chez le caroubier.

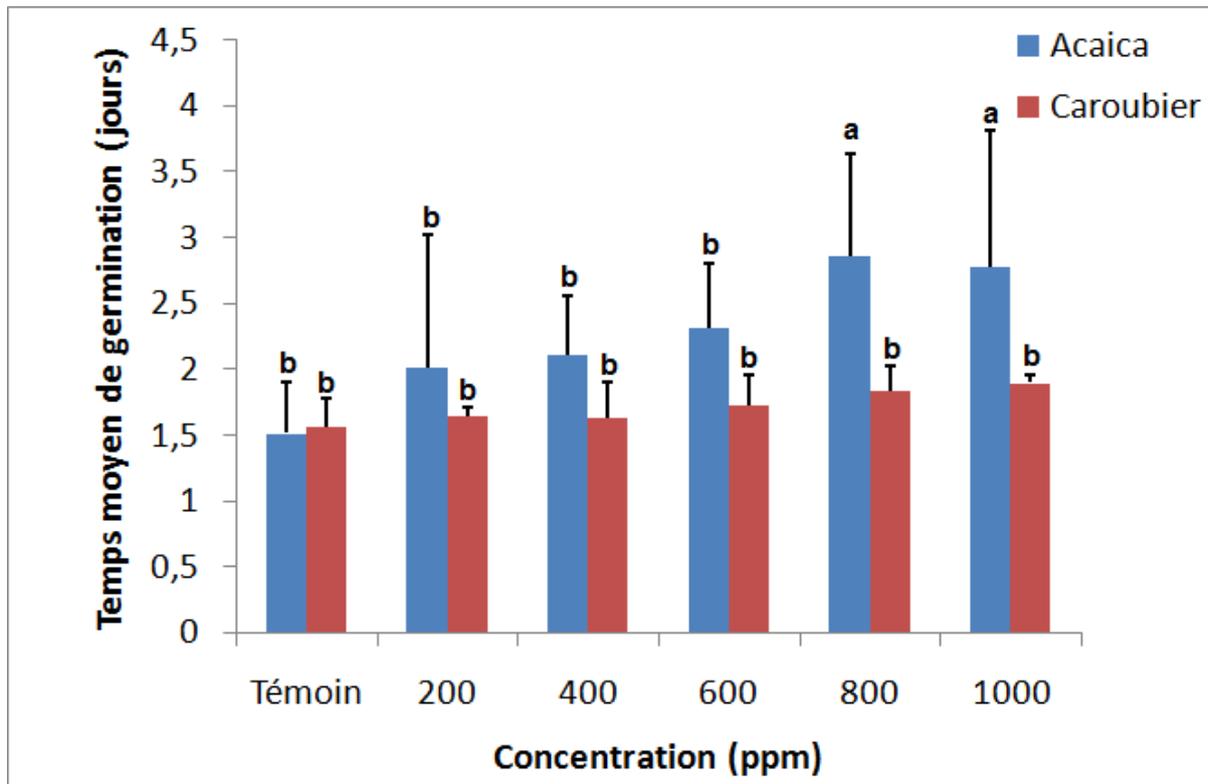


Figure 24: Effets des différentes concentrations en Pb sur la vitesse de germination des pousses de l'*Acacia cyanophylla* et *Ceratonia siliqua*. Les moyennes libellées par différentes lettres minuscules indiquent des différences significatives ($p < 0,05$) selon le test de Duncan.

1-2- Effet du plomb sur les paramètres de croissances des pousses de l'*Acacia cyanophylla* et *Ceratonia siliqua* :

L'effet du plomb sur les paramètres de croissance (taille de l'hypocotyle et de la racicule, le poids frais et le poids sec) sont représentés dans les figures 25, 26, 27, 28.

Chapitre II : Résultats & Discussion

1-2-1- Effet du plomb sur la taille de l'hypocotyle des pousses de l'*Acacia cyanophylla* et *Ceratonia siliqua* :

La valeur maximale de l'hypocotyle des pousses de l'acacia est de 7,3 cm enregistrée au témoin. Pour les lots traités par le plomb, la taille de l'hypocotyle des pousses de caroubier variait entre 4,3 cm et 1,7 cm, tandis que pour les pousses de l'*A. cyanophylla*, nous avons remarqué que les valeurs de l'hypocotyle ne dépassaient pas 0,5 cm chez les concentrations les plus élevées (800 et 1000 ppm, figure 25).

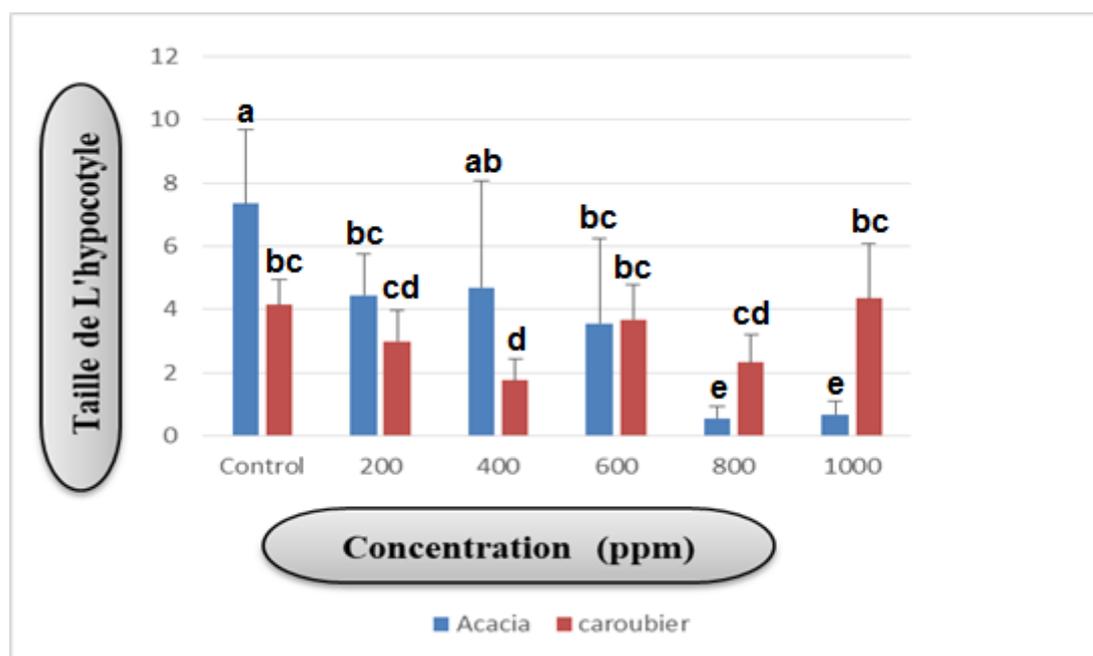


Figure 25 : Effet du Plomb sur la taille de l'hypocotyle des pousses de l'*A. Cyanophylla* et *C. siliqua*. Les moyennes libellées par différentes lettres minuscules indiquent des différences significatives ($p < 0,05$) selon le test de Duncan.

1-2-2- Effet du plomb sur la taille de radicule des pousses de l'*Acacia cyanophylla* et *Ceratonia siliqua* :

Les données indiquent que les racines des pousses de caroubier semblent mieux tolérantes au stress induit par le plomb que celles des pousses de l'acacia. À une concentration de 600 ppm, les racines de caroubier atteignent une taille maximale de 3,9 cm, ce qui suggère une certaine capacité de cette espèce à maintenir une croissance relativement normale même sous un stress sévère. Cependant, il est important de noter que même chez le caroubier, une augmentation de la concentration au-delà de 400 ppm entraîne une réduction significative de la taille des racines.

Chapitre II : Résultats & Discussion

En revanche, les racines des pousses de l'acacia montrent une sensibilité plus marquée au stress induit par le plomb. Bien que la taille maximale des racines chez les témoins soit légèrement inférieure à celle du caroubier (3,4 cm), elles diminuent significativement ($p < 0.05$) dès l'exposition à une concentration de 200 ppm. Cette drastique diminution continue avec l'augmentation de la concentration de plomb, suggérant une sensibilité accrue de cette espèce aux effets néfastes de ce métal (figure 26).

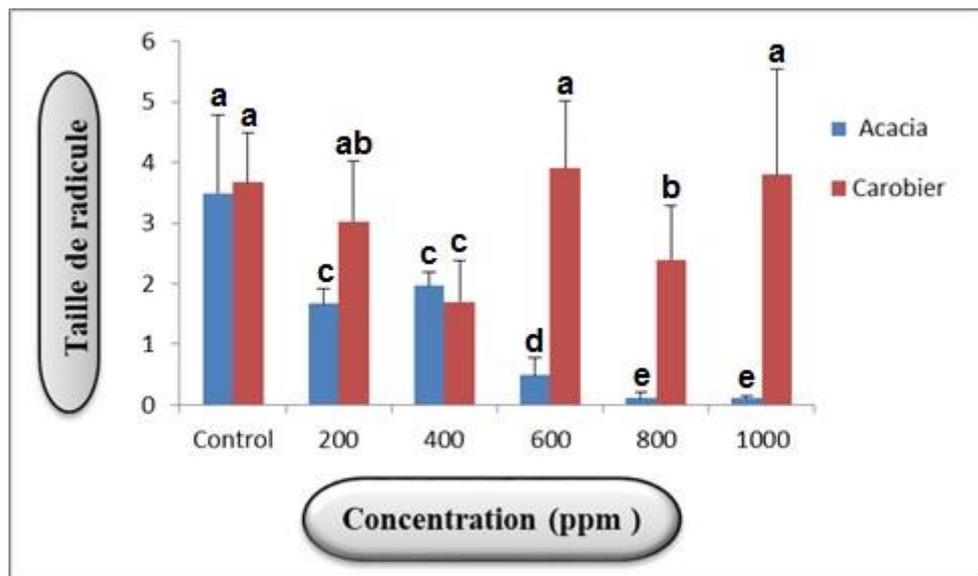


Figure 26: Effet du plomb sur la taille de racicule des pousses de l'*A. Cyanophylla* et *C. siliqua*. Les moyennes libellées par différentes lettres minuscules indiquent des différences significatives ($p < 0,05$) selon le test de Duncan.

1-2-3- Effet du plomb sur le poids frais des pousses de l'*Acacia cyanophylla* et *Ceratonia siliqua* :

Malgré une différence non-significative enregistrée ($p > 0.05$), nous avons remarqué une diminution graduelle du poids frais des pousses d'acacia, avec une légère augmentation constatée à la concentration la plus élevée (1000 ppm) en comparaison avec 800 ppm. Par rapport aux pousses stressées du caroubier, leur poids frais varie entre 223,38 mg et 131,6 mg, avec un poids maximal étant de 282,2 mg qui a été observé chez le témoin (figure 27).

Chapitre II : Résultats & Discussion

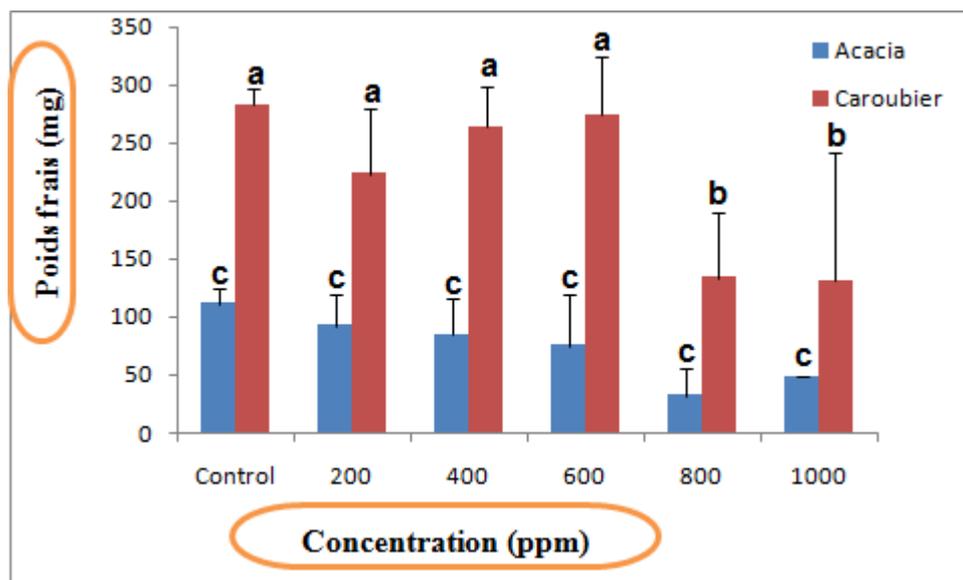


Figure 27 : Effet du Plomb le poids frais es pousses de l'*A. Cyanophylla* et *C. siliqua*. Les moyennes libellées par différentes lettres minuscules indiquent des différences significatives ($p < 0,05$) selon le test de Duncan.

1-2-4- Effet du plomb sur les poids sec des pousses de l'*Acacia cyanophylla* et *Ceratonia siliqua* :

Les données de l'histogramme 26 révèlent des variations significatives dans les poids secs entre le caroubier et l'acacia en réponse aux différentes concentrations de plomb testées ($p < 0.05$).

Les témoins montrent des poids secs significativement plus élevés chez le caroubier (32,6 mg) par rapport à l'acacia (12,1 mg), indiquant des différences initiales dans la biomasse des plantules entre les deux espèces. À 200 ppm, on observe une diminution du poids sec pour les deux espèces, mais cette diminution est plus prononcée pour l'acacia (9,6 mg) que pour le caroubier (27,4 mg), suggérant une plus grande sensibilité de l'acacia à cette concentration de plomb. À 400 ppm, le poids sec continu de diminuer pour l'acacia (7,1 mg), bien qu'il soit légèrement plus élevé pour le caroubier (29,8 mg). À 800 ppm, une diminution significative du poids sec est observée pour le caroubier (13,4 mg), à mesure que le poids sec reste très faible pour l'acacia (2,5 mg), indiquant une différence dans la capacité des deux espèces à maintenir leur biomasse à cette concentration de plomb (figure 28). Enfin, à 1000 ppm, le poids sec diminue dramatiquement pour l'acacia (0 mg), indiquant une incapacité à maintenir la biomasse

Chapitre II : Résultats & Discussion

à cette concentration élevée de plomb, tandis que le caroubier montre une diminution moins prononcée (13,1 mg).

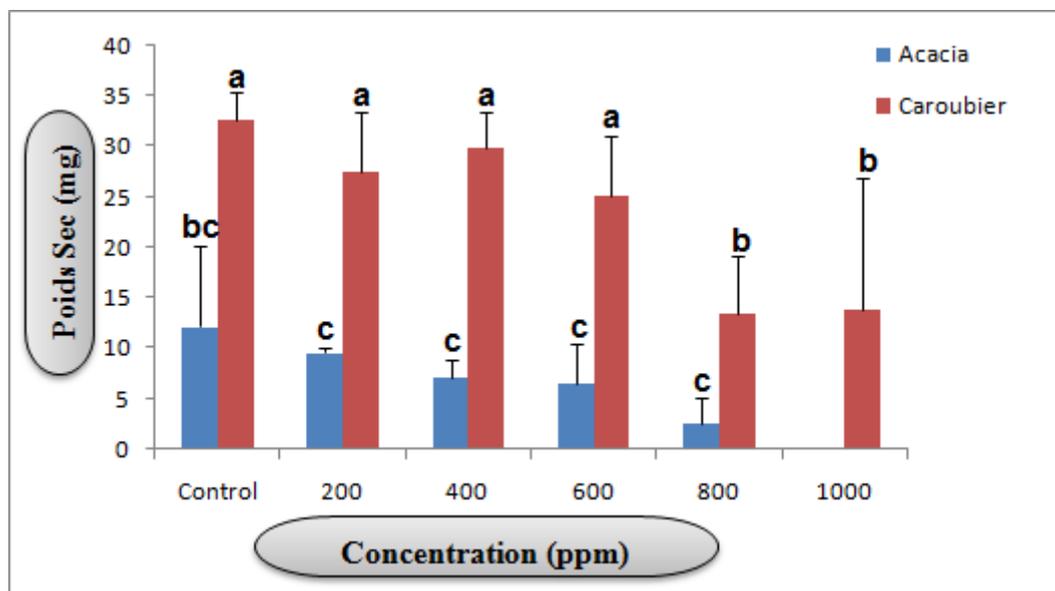


Figure 28 : Effet du Plomb sur le poids sec des pousses de l'*A. Cyanophylla* et *C. siliqua*. Les moyennes libellées par différentes lettres minuscules indiquent des différences significatives ($p < 0,05$) selon le test de Duncan.

1-3- Effet du plomb sur les paramètres biochimiques des pousses de l'*Acacia cyanophylla* et *Ceratonia siliqua* :

1-3-1- Effet du plomb sur les protéines totaux des pousses de l'*Acacia cyanophylla* et *Ceratonia siliqua* :

Le contenu protéinique des pousses de l'*A. cyanophylla* et *C. siliqua* a été dosé à l'issue des 16 jours du déroulement de la germination. Ce contenu a été exprimé en 100 mg de matière végétale sèche. Les résultats de la figure 29 concernant la moyenne des protéines montrent des variations significatives entre le caroubier et l'acacia en fonction des différentes concentrations testées ($p < 0.05$).

Pour le témoin, les niveaux de protéines sont plus élevés chez le caroubier (56,4 mg/g MVF) que chez l'acacia (11,3 mg/g MVF). À 200 ppm, les niveaux de protéines augmentent chez le caroubier (66 mg/g MVF) et l'acacia (38,3 mg/g MVF). Cette même tendance a été

Chapitre II : Résultats & Discussion

notée pour la concentration de 400 ppm, soit chez le caroubier (84,8 mg/g MVF) ou l'acacia (41,7 mg/g MVF). À 600 ppm, les niveaux de protéines diminuent chez le caroubier (62,7 mg/g MVF) mais restent relativement stables chez l'acacia (41,0 mg/g MVF). À 800 ppm, les niveaux de protéines augmentent chez le caroubier (69,7 mg/g MVF) et l'acacia (75,9 mg/g MVF). Enfin, à 1000 ppm, les niveaux de protéines totaux restent relativement stables chez les deux espèces (figure 29).

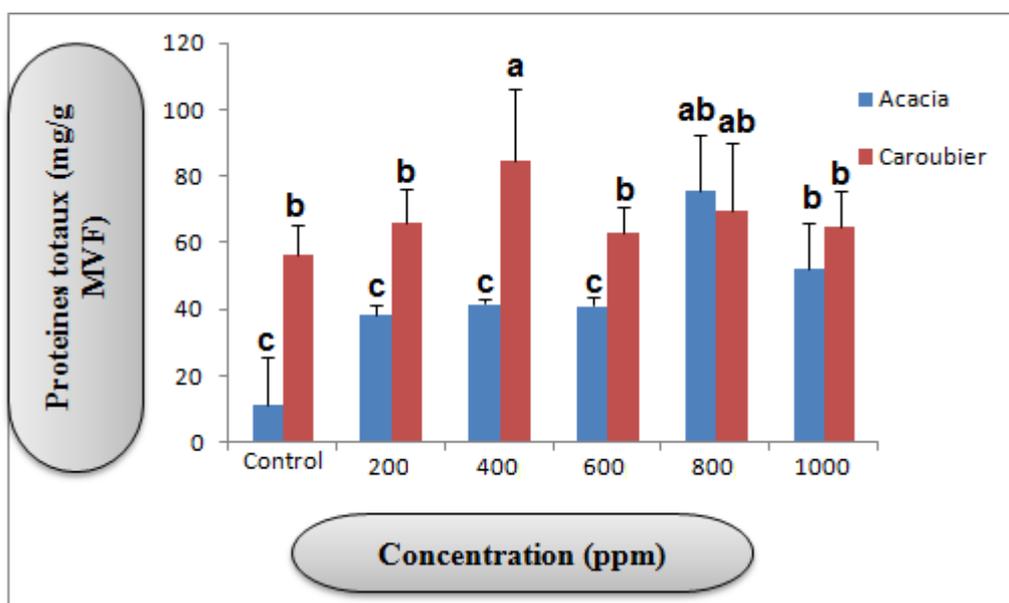


Figure 29: Effets des différentes concentrations en Pb sur l'accumulation des protéines (mg/g de poids frais) des plantules de l'*acacia* et caroubier. Les moyennes libellées par différentes lettres minuscules indiquent des différences significatives ($p < 0,05$) selon le test de Duncan.

1-3-2- Effet du plomb sur les sucres solubles des pousses de l'*Acacia cyanophylla* et *Ceratonia siliqua* :

Les résultats indiquent des variations distinctes dans l'activité mesurée en fonction des concentrations en ppm pour le caroubier et l'acacia, avec des tendances divergentes observées à différentes concentrations (voir la figure 30).

Les témoins montrent des valeurs d'activité mesurée différentes entre les deux espèces, avec une synthèse plus élevée pour l'acacia (1,59 mg/g MVF) par rapport au caroubier (1,46 mg/g MVF). À 200 ppm, une augmentation significative ($p < 0,05$) de l'accumulation des sucres est observée pour le caroubier, atteignant 2,76 mg/g MVF, tandis que pour l'acacia, l'activité est de 1,73 mg/g MVF, montrant une réponse initiale différenciée entre les deux plantes à cette

Chapitre II : Résultats & Discussion

concentration. À 400 ppm, l'accumulation des sucres continue à augmenter encore dans les cellules des pousses du caroubier (3,49 mg/g MVF), mais en revanche elle recule pour l'acacia (1,39 mg/g MVF), soulignant des réponses contrastées des deux espèces à cette concentration. À 600 ppm, l'activité de cet osmo-régulateur diminue pour le caroubier (2,37 mg/g MVF), tandis qu'elle reste relativement stable pour l'acacia (2,33 mg/g MVF), indiquant une différence de réponse entre les deux plantes à cette concentration. À 800 ppm, l'activité augmente légèrement pour le caroubier (2,71 mg/g MVF), en concomitance avec celle de l'acacia (2,56 mg/g MVF), montrant une tendance similaire de croissance de synthèse pour les deux espèces. Enfin, à 1000 ppm, la biosynthèse des sucres chute pour le caroubier (1,74 mg/g MVF) ainsi que pour l'acacia (2,13 mg/g MVF), soulignant à nouveau des réponses similaires entre les deux plantes à cette concentration élevée.

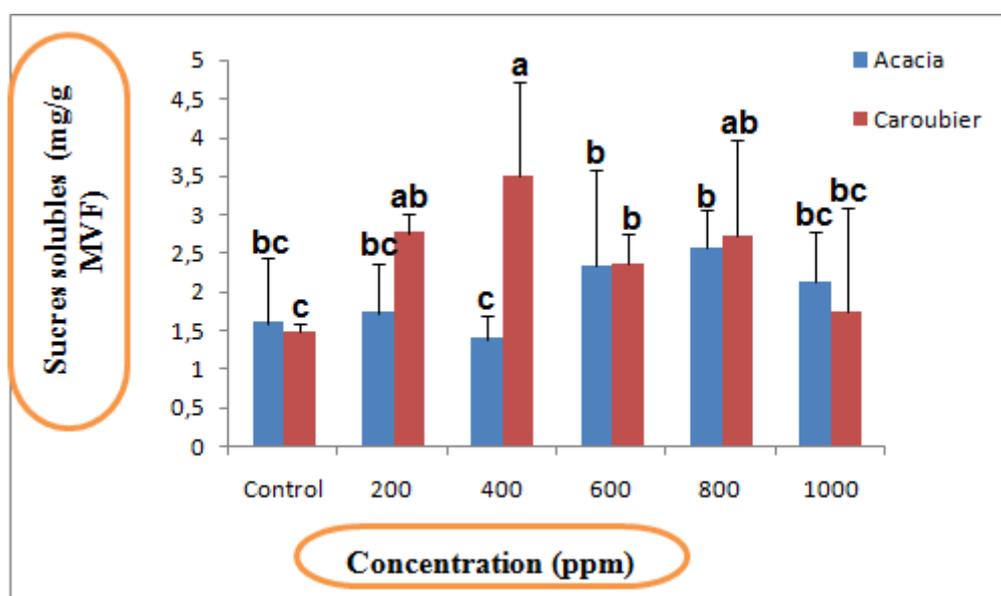


Figure 30: Effet du Plomb sur synthèse des sucres solubles chez les pousses de l'*A. Cyanophylla* et *C. siliqua*. Les moyennes libellées par différentes lettres minuscules indiquent des différences significatives ($p \leq 0,05$) selon le test de Duncan

1-3-3- Effet du plomb sur le MDA des pousses de l'*Acacia cyanophylla* et *Ceratonia siliqua* :

Pour le témoin, les niveaux de MDA sont plus élevés chez l'acacia (1,26 ng/g MVF) en comparaison avec le caroubier (1,87 ng/g MVF). À 200 ppm, la teneur du MDA augmente pour le caroubier (2,37 ng/g MVF) et l'acacia (1,41 ng/g MVF). Les niveaux du MDA fluctuent à mesure que les concentrations augmentent : 2,94 ng/g MVF pour le caroubier et 0,92 ng/g MVF

Chapitre II : Résultats & Discussion

pour l'acacia à 400 ppm ; 7,31 ng/g MDA pour le caroubier et 1,45 ng/g MDA pour l'acacia à 600 ppm ; 13,39 ng/g MDA pour le caroubier et 1,78 ng/g MDA pour l'acacia à 800 ppm ; et enfin 4,01 ng/g MDA pour le caroubier et 0,9 ng/g MDA pour l'acacia à 1000 ppm. Ces résultats suggèrent que les concentrations du plomb influent différemment sur les niveaux du MDA, avec des variations notables observées à différentes concentrations. Les valeurs du MDA augmentent de manière significative pour le caroubier à 600 et 800 ppm, tandis que l'acacia montre des niveaux plus stables avec une différence non-significative entre les moyennes ($p > 0,05$). Ces variations indiquant des réponses spécifiques des plantes aux différentes concentrations de Pb (figure 31).

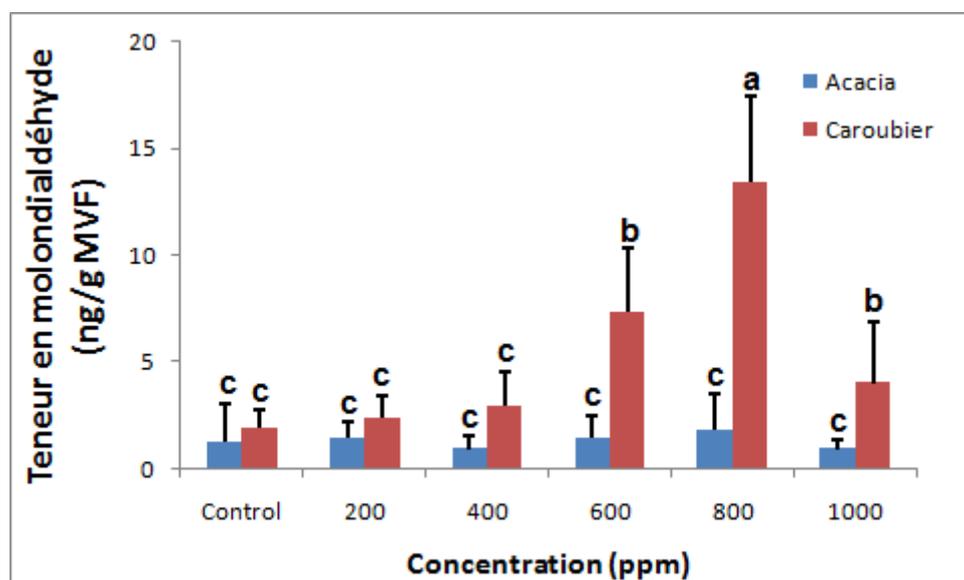


Figure 31 : Effet du Plomb sur l'activité de MDA chez les pousses de l'*A. Cyanophylla* et *C.siliqua* et les moyennes libellées par différentes lettres minuscules indiquent des différences significatives ($p \leq 0,05$) selon le test de Duncan.

1-3-4- Effet du plomb sur Catalase des pousses de l'*Acacia cyanophylla* et *Ceratonia siliqua* :

Chez le Témoin Les valeurs de référence montrent des concentrations de base en éléments pour les deux plantes. 200 ppm Les deux plantes montrent une légère augmentation de la concentration en éléments, indiquant une absorption initiale. 400 ppm A cette concentration, le caroubier montre une absorption plus importante que l'acacia, avec une concentration plus élevée. 600 ppm Les deux plantes continuent d'absorber les éléments, avec une augmentation significative pour le caroubier par rapport à l'acacia. 800 ppm À cette concentration élevée, le caroubier maintient une absorption élevée, tandis que l'acacia montre

Chapitre II : Résultats & Discussion

une augmentation marquée de sa concentration. 1000 ppm À cette concentration élevée, l'acacia présente une concentration plus faible, suggérant une possible toxicité, tandis que le caroubier maintient une absorption significative.

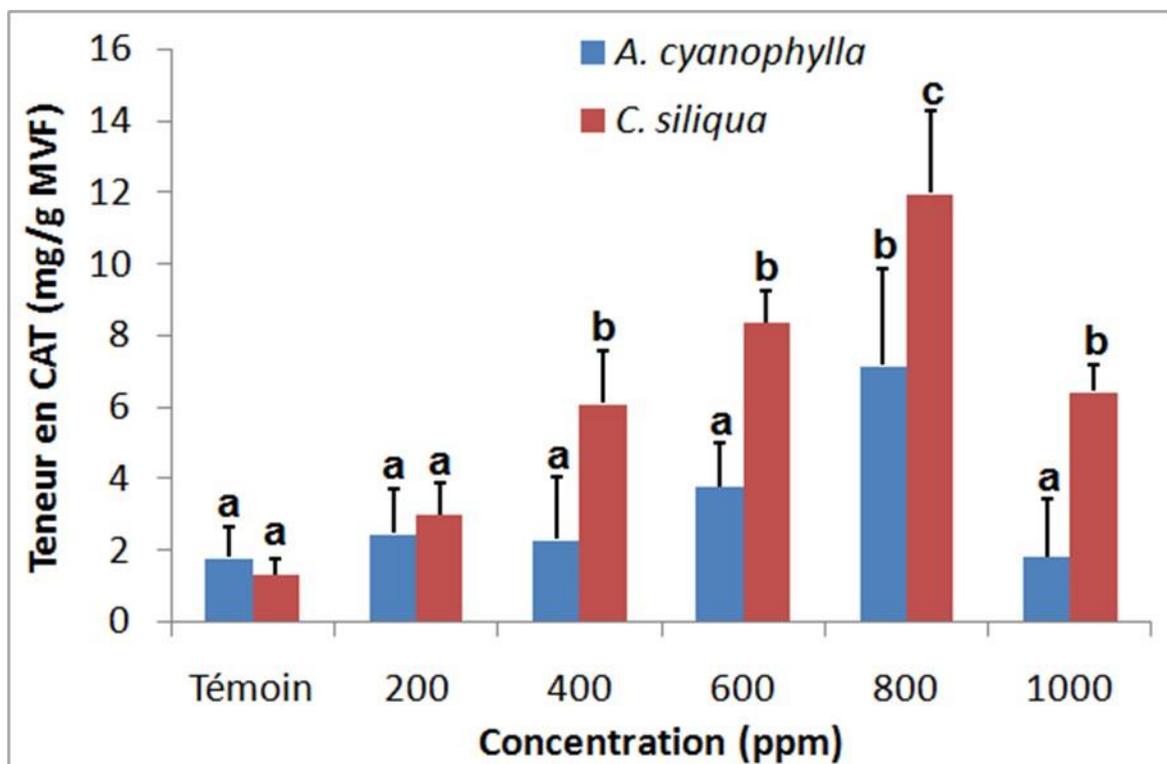


Figure 32 : Effet du Plomb sur l'activité de la catalase chez les pousses de l'*A. Cyanophylla* et *C. siliqua*. Les moyennes libellées par différentes lettres minuscules indiquent des différences significatives ($p \leq 0,05$) selon le test de Duncan.

1-3-5- Effet du plomb sur la proline des pousses de l'*Acacia cyanophylla* et *Ceratonia siliqua* :

Les résultats montrent que la teneur en proline varie de manière différente entre le caroubier et l'acacia en fonction des concentrations testées (figure 31). Pour le témoin, la teneur en proline est plus élevée chez l'acacia (58,70 $\mu\text{g/g MVS}$) que chez le caroubier (54,73 $\mu\text{g/g MVS}$). À 200 ppm, la proline augmente de manière plus importante chez le caroubier (71,03 $\mu\text{g/g MVS}$) que chez l'acacia (51,62 $\mu\text{g/g MVS}$). À 400 ppm, la proline diminue chez le caroubier (50,54 $\mu\text{g/g MVS}$) mais augmente fortement chez l'acacia (87,45 $\mu\text{g/g MVS}$). À 600 ppm, la proline remonte chez le caroubier (74,80 $\mu\text{g/g MVS}$) et reste élevée chez l'acacia (71,87

Chapitre II : Résultats & Discussion

$\mu\text{g/g MVS}$). À 800 ppm, la proline diminue chez le caroubier (57,03 $\mu\text{g/g MVS}$) mais chute drastiquement chez l'acacia (48,52 $\mu\text{g/g MVS}$). Enfin, à 1000 ppm, la proline reste stable chez le caroubier (53,52 $\mu\text{g/g MVS}$). Ces résultats suggèrent que le caroubier et l'acacia réagissent de manière différente à l'augmentation des concentrations en termes d'accumulation de proline, un marqueur de stress. Le caroubier semble mieux tolérer les fortes concentrations que l'acacia (figure 33).

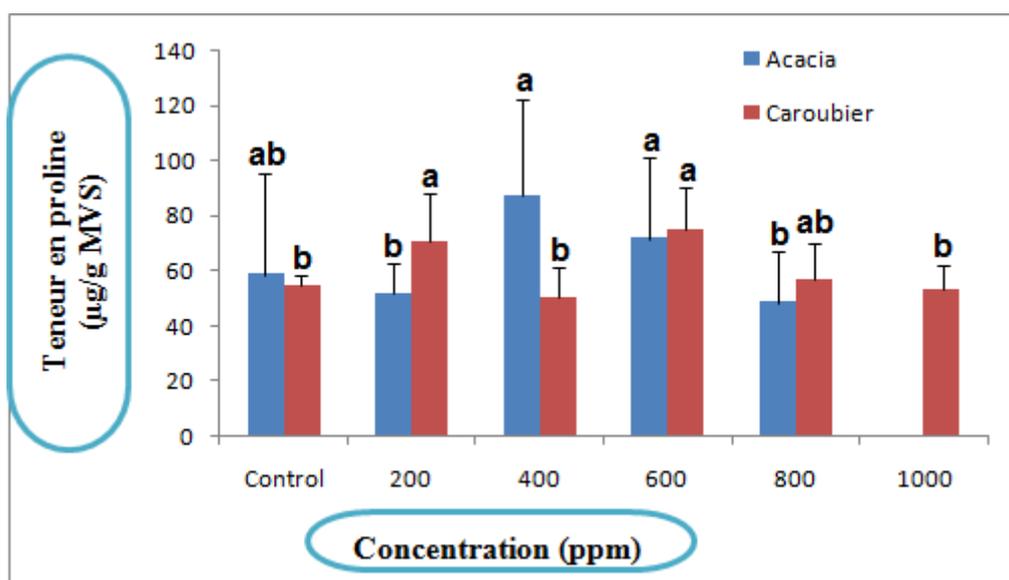


Figure 33 : Effet du Plomb sur la bioaccumulation de la proline chez les pousses de l'*A. cyanophylla* et *C. siliqua*. Les moyennes libellées par différentes lettres minuscules indiquent des différences significatives ($p \leq 0,05$) selon le test de Duncan.

2- Discussion :

Dans cette étude, nous avons examiné les effets du plomb sur la germination des graines d'*A. cyanophylla* et de *C. siliqua* sur une période de 16 jours, sous des conditions spécifiques d'obscurité et à une température de 22°C. Les résultats montrent que les graines témoins non traitées ont un taux de germination élevé, atteignant 96,29% pour le caroubier avec un temps moyen de germination de 1,51 jours, et 42,59% pour l'acacia avec un temps moyen de germination de 1,56 jour.

Le stress métallique du plomb n'a pas entravé la germination des graines des deux espèces, le caroubier affichant un taux de germination final similaire aux témoins, tandis que l'acacia a

Chapitre II : Résultats & Discussion

montré des différences entre les concentrations utilisées. En générale, l'augmentation des concentrations de plomb a prolongé le temps moyen de germination pour les deux espèces. Dans cette optique, **Baruah et al. (2019)** ont également montré que l'augmentation des niveaux de Pb nuisait considérablement à la germination des graines de diverses espèces cultivées telles que le blé (*Triticum aestivum*), le pois (*Pisum sativum*) et la tomate (*Solanum lycopersicum*). Ces auteurs ont déduit que des niveaux plus élevés de MLs ont des effets délétères sur l'activité de certaines enzymes (par exemple l'amylase et la protéase) et hormones (par exemple l'auxine), provoquant ainsi une inhibition de l'approvisionnement alimentaire à l'embryon.

Les mesures des racines et des hypocotyles après 16 jours ont révélé une forte influence du plomb sur la croissance, particulièrement marquée pour le caroubier, dont les racines étaient significativement plus longues à 400 ppm. L'effet du plomb était plus prononcé sur le caroubier que sur l'acacia, avec un ratio de croissance plus élevé à 1000 ppm pour le caroubier comparé à 200 ppm pour l'acacia. La présence de Pb dans le milieu supprime l'assimilation des éléments essentiels (par exemple Ca^{2+} et Fe^{2+}), altère la conductance stomatique, perturbe l'équilibre hydrostatique cellulaire, affecte l'absorption des nutriments et endommage les organites cellulaires par la surproduction de radicaux libres (**Nedjimi, 2018**).

Nous avons examiné les paramètres biochimiques des plantules d'*Acacia cyanophylla* et de *Ceratonia siliqua* après 16 jours de germination, en présence de plomb (Pb). Selon les résultats obtenus dans ce mémoire, le plomb peut agir sur la concentration totale en protéines des plantes, bien que les mécanismes ne soient pas encore complètement élucidés. Cela suggère que le plomb peut avoir des effets variables sur les protéines végétales selon l'espèce et la concentration (**Akrout, 2015**).

Les résultats obtenus sur le contenu de sucre des plantules de caroubier et d'Acacia révèlent des variations significatives entre les deux espèces en fonction des différentes concentrations de Pb testées. L'Acacia montre une activité de sucre plus élevée que le caroubier, suggérant des différences naturelles dans leur réactivité aux conditions expérimentales. Les résultats suggèrent que les deux espèces réagissent différemment aux variations de concentration de plomb, ce qui peut avoir des implications importantes pour leur utilisation en agriculture ou en phytoremédiation. Le plomb, étant un métal lourd toxique et bioaccumulable, peut affecter

Chapitre II : Résultats & Discussion

négalement la croissance et le métabolisme des plantes, y compris le métabolisme des sucres. La teneur réduite en sucres solubles des semis émergents exposés aux Pb pourrait être due à l'inhibition de la biosynthèse de la chlorophylle (**Baruah et al., 2019**).

Les résultats obtenus sur les niveaux de malondialdéhyde (MDA) entre le caroubier et l'Acacia révèlent des différences significatives dans leur réponse oxydative aux différentes concentrations de plomb testées. Les niveaux de MDA, indicateurs de stress oxydatif, sont plus élevés chez l'Acacia que chez le caroubier, suggérant une sensibilité différente aux stress oxydatifs. Ces résultats suggèrent que le caroubier et l'Acacia réagissent différemment aux variations de concentration de plomb, reflétant des mécanismes distincts de réponse au stress oxydatif entre ces deux espèces. Le plomb, en tant que métal lourd toxique, peut entraîner un stress oxydatif, et le MDA, produit de la décomposition des acides gras polyinsaturés, sert d'indicateur de ce stress, montrant des altérations biochimiques et des dommages cellulaires en réponse aux agents oxydants (**Choudhary et al., 2007**).

Dans cette investigation, nous avons examiné également l'activité de la catalase chez le caroubier (*C. siliqua*) et l'acacia (*A. cyanophylla*) sous différentes concentrations de plomb (Pb). La catalase, une enzyme essentielle pour détoxifier les espèces réactives de l'oxygène (ERO), joue un rôle crucial dans la défense des plantes contre le stress oxydatif (**Baruah et al., 2019**). Les résultats révèlent que le caroubier tolère mieux le plomb en augmentant l'activité de la catalase, tandis que l'acacia affiche une réponse limitée et montre des signes de toxicité à des concentrations plus élevées. Ces différences renforcent l'hypothèse que le caroubier est plus adapté à des environnements contaminés pour des applications de phytoremédiation.

Les résultats concernant la teneur en proline entre le caroubier et l'Acacia révèlent des variations significatives dans leur réponse au stress induit par les différentes concentrations de plomb, ces résultats montrent des différences significatives dans l'accumulation de proline entre le caroubier et l'Acacia, avec une meilleure tolérance du caroubier aux fortes concentrations de stress. Ces différences sont importantes pour comprendre les mécanismes de réponse au stress chez les plantes et peuvent avoir des implications pour la sélection et l'amélioration des cultures dans des environnements stressants.

Chapitre II : Résultats & Discussion

Chez *Triticoseale wittmack*, une augmentation du taux de proline, marqueur de stress, est normalement observée avec l'augmentation des concentrations en plomb. Cependant, cette augmentation peut être suivie d'une diminution, probablement due à une perturbation du mécanisme de détoxification cellulaire ou à une dégradation de la proline (Talebi et al., 2014).

CONCLUSION

Conclusion :

Le plomb pose actuellement des problèmes importants en matière de contamination sur l'environnement. Les plantes, du fait de leur immobilité, sont particulièrement vulnérables à l'effet délétère de ce contaminant.

L'Acacia cyanophylla et *Ceratonia siliqua* mettent en lumière l'importance des ressources naturelles dans la vie humaine, tant du point de vue économique que socioculturel. Leur étude contribue à une meilleure compréhension de la diversité végétale et à l'exploration de nouvelles possibilités d'utilisation durable de ces ressources pour le bien-être de l'homme et de l'environnement.

Ce travail a porté donc sur l'étude des effets du plomb sur la germination et les paramètres biochimique des deux espèces : *l'A. cyanophylla* et *C. siliqua*.

Les résultats obtenus indiquent que l'exposition des graines de *l'A. Cyanophylla* à différentes doses du plomb affecte son processus germinatif, qui se traduit par une diminution du taux de germination des graines traités par le plomb à différentes concentrations (200,400, 600,800 et 1000 ppm), en revanche, le caroubier a été peu affecté par ce métal par rapport au témoin.

L'excès de plomb exerce un effet négatif aussi sur la croissance des pousses de *l'A. Cyanophylla* qui entraîne une réduction des paramètres biométriques, spécialement au niveau des graines traités avec 800 et 1000ppm de plomb, par contre au pousses de caroubier.

Les résultats obtenus indiquent aussi que l'exposition au plomb provoque une légère perturbation qui affecte les processus biochimiques des graines de *l'A. cyanophylla* et *C. siliqua*.

En conclusion, cette étude offre un aperçu approfondi des réponses des plantes au plomb, tout en soulignant l'importance de la diversité végétale et du processus de germination pour la santé des écosystèmes et le bien-être humain. Elle ouvre également la voie à de futures recherches sur la biologie végétale et la conservation des ressources naturelles.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Akrout, A. (2015). Etude des effets du plomb et du nickel sur l'efficacité germinative des graines et sur les premiers stades de croissance des plantules de *Marrubium vulgare* L. Thèse de doctorat, Université de Bejaia.
- Akrout, K. (2015). Etude de l'effet du plomb sur quelques paramètres biochimiques chez les céréales conduites sous différentes concentrations de l'acétate du plomb [Mémoire de fin d'études]. Université Larbi Tébessi, Tébessa, Algérie.
- ALANE, F. (2019). Recherches sur des espèces spontanées du genre *Medicago* d'Algérie : caractéristiques phénologiques, biométriques et nutritionnelles [Thèse de Doctorat]. Université EL-HARRACH, 39 p.
- Ansel, J.-L., et al. (2016). Principaux taxons ligneux de la cosmétopée tropicale : une analyse bibliographique. *Bibliographical analysis of main lignified taxons used in tropical cosmetopoeia*, 19(9), 1035-1048.
- Anzala, F. J. (2006). Contrôle de la vitesse de germination chez le maïs (*Zea mays*) : étude de la voie de biosynthèse de l'acide amine issue de l'aspartate et recherche de QTLs. Thèse de Doctorat, Université d'Angers.
- AYAD, Tiziri, & HATOU, Hanane. (2013). Impact du trafic routier sur la santé et l'environnement (INRAA-Oued Ghir) [Mémoire de fin d'études]. Université de Béjaia, p. 61.
- Azani, N. (2017). A new subfamily classification of the Leguminosae based on a taxonomically comprehensive phylogeny: The Legume Phylogeny Working Group (LPWG). *TAXON*, 66(1), 44-77. <https://doi.org/10.12705/661.3>
- Baize, D. (1997). Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols (France). Références et stratégies d'interprétation. INRA Éditions, Paris, 408 p.
- Bewley, J. D. (1997). Seed germination and dormancy. *The plant cell*, 9(7), 1055-1066.
- Baruah, A., Saikia, R., Baruah, P. P., & Deka, S. (2019). Effect of lead on seed germination, growth and antioxidant enzyme activities in *Helianthus annuus* L. *South African Journal of Botany*, 121, 544-553. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2018.08.013>.
- Bassou, S. (2019). Effet du stress salin sur la germination de trois variétés d'haricot (*Phaseolus vulgaris* L) [Mémoire de fin d'étude]. Université de Biskra, 2019, p. 13.
- Battle, I., Tous, J., & Johannes, M. M. E. (1997). Carob tree. *Ceratonia siliqua* L. (Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops). Institute of Plant Genetic and Crops Plant Research. Gatersleben/International Plant Resources Institute. Rome, Italy.
- Benamirouche, S., & Chouial, M. (2018, April). Essai de production et de valorisation de compost d'*Acacia cyanophylla* pour la production de plants de.
- Benghazi, M., Mezaghechia, K., & Meziti, M. (2020). Biorémediation des métaux lourds (cas du Plomb) par des souches fongiques isolées et identifiées à partir du lac Oubeira (Parc National d'El kala – Algérie) [Mémoire de Master]. Université 08 Mai 1945, Guelma, p. 49.
- Bennett, B. M. (2021). Germinating Seeds. WVU Extension Service Agent.
- Bewley, J. D. (1997). Seed germination and dormancy. *The Plant Cell*, 9(7), 1055-1066. doi: 10.1105/tpc.9.7.105
- Bhuyan S., Mukherjee S. (2024). Seed Germination. Sciencefacts.
- BOUKHEDENNA, L. (2009). LA GERMINATION ET LES PROBLÈMES DE DORMANCE DES GRAINES. Mémoire de fin d'étude, Université de Jijel, p. 23-24.
- CAMPINE, D. (1992). ETUDE DE LA GERMINATION ET DES PLANTULES DE QUELQUES ESSENCES SPONTANÉES DE COMBRETACEAE ET CAESALPINJACEAE AU BURKINA FASO. Mémoire de fin d'étude, Université d'OUAGADOUGOU, p. 19.
- Catusse, J., Strub, J.-M., Job, C., Van Dorselaer, A., & Job, D. (2008). Germination des graines et contrôle du métabolisme. Volume 202, Numéro 3, 4 novembre 2008.
- Choudhary, S., Kumar, A., & Kumar, V. (2007). Oxidative stress and antioxidant responses in plants under heavy metal stress. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 42(5), 631-641. <https://doi.org/10.1080/03601230701455521>.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Côme, D. (1982). Les bases de l'agriculture biologique : définitions, réglementations, histoire et état des lieux. IRD Éditions, 39 p.
- Côme, D. (1970). Les obstacles à la germination (monographie et physiologie végétale). Ed. Masson et Cie, Paris, 162p
- El Euch, F. (1995). Rôle de l'Acacia cyanophylla dans l'alimentation du cheptel en Tunisie. In : Sulas. L. (ed.). Legumes for Mediterranean forage crops, pastures and alternative uses. Cahiers Options Méditerranéennes, vol. 45, p. 429-434.
- Forgeais, A. (1856). Collection de plombs historiés trouvés dans la Seine. Paris
- Fabrégat, S. (2006). Métaux lourds. Une pollution de long terme. L'aire à bout de souffle.
- Ghezri, F. (2006). Chapitre 1 : Généralité sur les métaux lourds et leurs effets sur l'environnement et la santé. Université de Tlemcen, p. 16.
- Groot, S. P., & Karssen, C. M. (1987). Gibberellins regulate seed germination in tomato by endosperm weakening: A study with gibberellin-deficient mutants. *Planta*, 171(4), 525-531. DOI: 10.1007/BF00392302.
- Guignard, J.-L., & Dupont, F. (2007). Botanique systématique moléculaire. Masson
- HE, Z., SHENTU, J., YANG, X., BALIGAR, V.C., ZHANG, T., & STOFFELLA, P.J. (2015). Heavy metal contamination of soils: Sources, indicators, and assessment. *Journal of Environmental Indicators*, 9, 17-18.
- Huynh, T. M. D. (2009). Impacts des métaux lourds sur l'interaction plante/vers de terre/microflore tellurique. Thèse de doctorat, Université de Paris Est, 4 p.
- Isabelle, C. (2022). Graines : températures de germination. Gerbeaud.
- Järup, L. (2003). Hazards of heavy metal contamination. *British medical bulletin*, 68(1), 167-182.
- Kabata-Pendias, A., & Pendias, H. (2001). Trace Elements in Soils and Plants (3rd ed.). CRC Press. Boca Raton, 403 p.
- Lebbida, F. (2015). Caractérisation des rhizobia de quelques acacias d'Algérie en vue de la production d'inoculum pour la bactérisation des acacias en pépinières. Mémoire de Magister, École Nationale Supérieure Agronomique, Alger, Algérie.
- Lemzeri, H. (2007). Réponses écophysiologicals de trois espèces forestières du genre Acacia, Eucalyptus et Schinus (A. cyanophylla, E. gomphocephala et S. mölle) soumises à un stress salin. Mémoire de fin d'étude, Université d'Université Mentouri Constantine.
- Mihoub, A., Chaoui, A., & El Ferjani, E. (2005). Effet du stress hydrique au stade de germination sur la croissance de la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Agronomie*, 25(6), 439-445.
- Mansouri, L. M. (2011). Production d'inoculum de *Rhizobium nodulans* Acacia saligna pour la revégétalisation de la carrière de Terga (Aïn Témouchent). Mémoire de magistère, Université d'Oran, 73 p.
- MAOUGAL, R. T. (2015). CHAPITRE.VI. les hormones végétales (Phytohormones) [Cours de physiologie végétale].
- Marie, J., Lamboir, Y., Laporte, M. L. K., Ollivier, M., & Philippe, L. (2011). La démarche d'investigation. Les végétaux : des êtres vivants.
- Maylis. (2023). Les dangers de l'extrait de caroube sur la peau. Typology.
- Mazliak, P. (1982). Physiologie végétale, croissance et développement. Tome 3. Ed. Hermann éditeurs des sciences et des arts, collecte méthodes. Paris, 420 p.
- Moore, M., Meredith, P., Watson, W., Sumner, D., Taylor, M., & Goldberg, A. (1980). The percutaneous absorption of lead-203 in humans from cosmetic preparations containing lead acetate, as assessed by whole-body counting and other techniques. *Food and Cosmetics Toxicology*, 18, 399-405.
- Nachana'a, T., & Williams, E. T. (2019). Environmental Pollution by Heavy Metal: An Overview. *International Journal of Environmental Chemistry*, 3(2), 72-82. doi: 10.11648/j.ijec.20190302.14
- N'DRI, A. N. A., VROH-BI, I., KOUAMÉ, L., & ZORO BI, I. (2011). Bases génétiques et biochimiques de la capacité germinative des graines : implications pour les systèmes semenciers et la production alimentaire. *Sciences & Nature*, 8(1), 119-137.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Nedjimi, B., 2018. Heavy metal tolerance in two Algerian saltbushes: a review on plant responses to cadmium and role of calcium in its mitigation. In: Hasanuzzaman M., Fujita, M., Oku, H., Nahar, K., Hawrylak-Nowak, B. (Eds.), *Plant Nutrients and Abiotic Stress Tolerance*. Springer, Berlin, pp. 205–220.
- Nithya, C., Gnanalakshmi, B., & Pandian, S. K. (2011). Assessment and characterization of heavy metal resistance in Palk Bay sediment bacteria. *Marine Environmental Research*, 71, 283-294.
- Palici, I.-F. (2016). Valorisation des activités biologiques de certaines espèces végétales du Sahara algérien. Thèse de doctorat, Université de Bourgogne, France.
- Quézel, P., Santa, S., & Schotter, O. (1962). *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales*. Tome I et II. Éditions du Centre National de la Recherche Scientifique. Paris.
- Roux, B. (2024). Les facteurs de la germination. Académie d'Agriculture de France. <https://www.academie-agriculture.fr/publications/encyclopedie/questions-sur/0604q01-quest-ce-que-le-processus-de-germination>
- Saadouni, M. (2021). Étude in vitro de l'activité antalgique de l'extrait méthanolique de caroube « *Ceratonia siliqua L.* ». Mémoire de fin d'étude, Université de Frères Mentouri Constantine 1.
- Singh, J., & Kalamdhad, A. S. (2011). Effets of Heavy Metals on Soil, Plants, Human Health and Aquatic Life. *International Journal of Research in Chemistry and Environment*, 1(2), 15-21. doi: 10.1007/978-1-4614-4693-4_5
- Soltner, D. (2007). *Les bases de la production végétale*. Tome 1 : le sol et son amélioration. Sciences et Techniques Agricoles.
- Souayah, N., Rajeb, H., Amara, A., & Bouzid, S. (2003). Effet du plomb sur quelques paramètres biochimiques chez les plantes. Mémoire de Doctorat de l'Université d'Artois.
- Souveret, P., Halimi, I., Mouysset, J., & Collard, J. (2017). Les métaux lourds - La synthèse de l'ASEF.
- Talebi, M., Khorram, S., & Ghasemi, M. (2014). Effects of lead on proline content and antioxidant enzymes in wheat seedlings. *Journal of Plant Physiology*, 171(12), 1041-1048. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.03.014>.
- Vhahangwele, M., Khathutshelo, L., & Muedi, K. (2018). Environmental Contamination by Heavy Metals. *Heavy Metals*, 10, 5772-76082. doi: 10.5772/intechopen.76082
- Zulfiqar, U., Farooq, M., Hussain, S., Maqsood, M., Hussain, M., Ishfaq, M., Ahmad, M., & Anjum, M. Z. (2019). Lead toxicity in plants: Impacts and remediation. *Journal of Environmental Management*, 250, 109557. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109557>.

Les sites web

- Web site 1 : <https://sante.gouv.fr/sante-et-environnement/batiments/article/sources-d-exposition-au-plomb>
- Web site 2 : <https://www.mimosa-cavatore.fr/de-3-a-5m/154-acacia-saligna-syn-cyanophylla.html>
- Web site 3 : <https://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=600237>
- Web site 4 : <https://docplayer.fr/111781914-Role-de-l-acacia-cyanophylla-dans-l-alimentation-du-cheptel-en-tunisie.html>

Résumé :

L'objectif de cette étude est de déterminer et de comparer les effets inhibiteurs d'un élément traces métalliques (ETM) sur la germination et les paramètres biochimiques des graines de *Acacia cyanophylla* et *Ceratonia siliqua*. L'ETM testés c'est le plomb (Pb) apporté sous forme de Nitrate de Plomb (Pb(NO₃)₂), utilisés avec des concentrations croissantes de 200, 400, 600, 800 et 1000 ppm.

Les résultats de la germination des graines ont montré une résistance supérieure du caroubier par rapport à l'acacia, avec un taux de germination maximum de 94%. Les analyses biométriques des racines et de l'hypocotyle ont révélé une sensibilité accrue des pousses au Pb, entraînant une réduction significative de leur longueur chez l'acacia par rapport au caroubier. En revanche, le poids frais et le poids sec ont révélé une légère réduction par rapport aux témoins chez les deux espèces. Par ailleurs, les analyses biochimiques ont montré que le caroubier est le plus résistant que l'acacia après avoir été stressée par des différentes concentrations du plomb.

Dans l'ensemble, ces résultats mettent en évidence la complexité des interactions entre les éléments traces métalliques et les plantes, où le caroubier semble être l'espèce la plus tolérante par rapport à l'acacia.

Mots-clés : Germination, Plomb, Restauration, Stress métallique

الهدف من هذه الدراسة هو تحديد ومقارنة التأثيرات المثبطة للعنصر المعدني الزر (TME) على الإنبات والمعايير البيوكيميائية لبذور *Acacia cyanophylla* و *Ceratonia siliqua*. إن مادة ETM التي تم اختبارها هي الرصاص (Pb) الممدوم على شكل نترات الرصاص (Pb(NO₃)₂)، الممدوم بتركيزات متزايدة تبلغ 200، 400، 600، 800 و 1000 جزء في المليون. أظهرت نتائج إنبات البذور مقاومة أعلى للخروب مقارنة بالسرنط، حيث بلغ الحد الأقصى لمعدل الإنبات 94%. كشفت النتائج أن انخفاض الوزن الطولي في السرنط مقارنة بالخروب. في المقابل، أظهر الوزن الطازج والوزن الجاف انخفاضاً طفيفاً مقارنة بالسرنط في كلاً من النوعين. علاوة على ذلك، أظهرت النتائج البيوكيميائية أن شجرة الخروب أكثر مقاومة من السرنط بعد إجهادها بشكل عام، تسليط هذه النتائج الضوء على مدى تعقيد التفاعلات بين العنصر المعدني الزر والإنبات، حيث يبدو أن الخروب هو أكثر الأنواع تحملاً مقارنة بالسرنط. الكلمات المفتاحية: الرصاص، المعدن الثقيل، إنبات، إعادة

The objective of this study is to determine and compare the inhibitory effects of a trace metal element (TME) on the germination and biochemical parameters of *Acacia cyanophylla* and *Ceratonia siliqua* seeds. The tested TME is Lead, supplied in the form of Lead Nitrate (Pb(NO₃)₂), used at increasing concentrations of 200, 400, 600, 800, and 1000 ppm.

The seed germination results showed a higher resistance in *Ceratonia siliqua* compared to *Acacia*, with a maximum germination rate of 94%. Biometric analyses of the roots and hypocotyl revealed an increased sensitivity of the shoots to Lead (Pb), resulting in a significant reduction in their length in *Acacia cyanophylla* compared to *Ceratonia siliqua*. In contrast, both fresh weight and dry weight showed a slight reduction compared to the controls in both species. Additionally, biochemical analyses indicated that *Ceratonia siliqua* is more resistant than *Acacia* when stressed by different concentrations of Lead. Overall, these results highlight the complexity of interactions between trace metal elements and plants, where *Ceratonia siliqua* appears to be the more tolerant species compared to *Acacia*.

Key-words : Germination, Lead, Metallic stress, Restoration

