



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique

Université Ziane Achour-Djelfa

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Biologie

Projet de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Filière : Sciences biologiques

Spécialité : Microbiologie appliquée



Thème :

**Etude de la résistance au chrome de certaines
Rhizobactéries Endophytes et de leurs effets sur le
comportement germinatif des graines de blé dur sous
stress métallique**

Présenté par :



Chaiche Ibtihal Nour el houda



Ghezal Aicha

Devant le jury composé de :

Mme. Ghazi Meriem	MAA-Université de Djelfa	Président
Mr. Touati Mostefa	MCA-Université de Djelfa	Promoteur
Mr. Dif Guendoz	MCA-ENS de Laghouat	Co-Promoteur
Mr. Bougoutaia Youcef	MCA-Université de Djelfa	Examineur

Année universitaire : 2023-2024

Remerciements:

Tous nos remerciements et notre gratitude à Dieu Tout-Puissant, qui nous a donné la patience et la volonté de mener à bien ce travail

*Tout d'abord, nous voudrions exprimer nos remerciements, notre respect et notre appréciation à notre promoteur, **M. Touati mostefa**, pour ses conseils et ses orientations, qui nous ont beaucoup aidés à mener à bien ce modeste travail, et notre co-promoteur **M. Dif***

***Guendoz** que Dieu vous bénisse tous les deux pour votre précieuse contribution qui a permis de mener à bien ce modeste travail.*

Enfin, nous exprimons notre sincère gratitude aux membres du jury et à tous ceux qui ont contribué et aidé à l'élaboration de ce travail.

Toute gratitude à chaque enseignant qui a contribué à notre formation et à notre éducation, et nous espérons que notre travail a atteint son sens et apporté un remède à un problème réel.

Dédicace :

(Et un autre que leur cas Louange à Allah)

*Louange à Dieu, pour qui aucun effort n'a été accompli ni aucun effort n'a été conclu sans sa grâce. Je n'ai surmonté ces difficultés qu'avec son succès, j'ai obtenu mon diplôme non pas avec mon effort, mais avec la grâce de mon Seigneur. Fruit de mon humble effort, sur l'épaule sur laquelle je me suis appuyé dans ma fatigue et ma tristesse, pour ma force et ma fierté de vivre. Mon cher père, que Dieu continue de le soutenir. Et à ma mère, ma compagne et amie dans mon parcours universitaire. , à celui qui m'a inculqué la confiance en moi et la volonté de réussir, que Dieu vous protège pour nous, et à mes chers frères **Salim, Walid, Mohamed et Karim**, à ma famille et mes amis, à ma sœur, mon âme amie et mon encourageuse **Nesrine Goumich**, je suis reconnaissante pour les doux jours qui m'ont réuni avec vous, ainsi qu'à tous mes amis et à tous mes professeurs.*

Ibtihale

Dédicace:

Je loue Dieu et je le remercie pour ce que j'ai accompli, car tout cela vient de sa grâce (et mon succès ne vient que de Dieu). Je remercie les circonstances difficiles qui m'ont mis sur ce chemin.

*Je dédie ce travail à mon cher père, qui a toujours été fier de moi, et à ma chère mère, que Dieu ait pitié d'elle, qui m'a appris cela... Ne désespérez jamais, et le succès vient après patience et détermination. À mon frère aîné (**Omar**), qui a toujours été comme un père pour moi, et à ma chère sœur et à tous mes frères, en particulier mon frère (**Abdel el kader**), qui ont cru en moi et m'ont encouragé à continuer mes études, et à toute ma famille et mes proches, notamment **Ibtihal**, qui a cru en mes capacités et qui m'a soutenu, à tous les honorables professeurs, et je mentionne particulièrement les professeurs qui m'ont encouragé directement ou indirectement, et à tous mes camarades de classe, en particulier la belle et coopérative **Nesrine Goumich**, que Dieu la protège ainsi que ses parents. Enfin, je prie Dieu Tout-Puissant de rendre notre connaissance pure pour son noble visage.*

Aicha

SOMMAIRE

SOMMAIRE

Liste d'abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Résumé	
Introduction générale.....	1
CHAPITRE I : POLLUTION DES SOLS PAR LE CHROME HEXAVALENT	
1/Introduction.....	3
2/ Nature et comportement des contaminants.....	3
3/Effets sur la santé.....	3
4/ Pollution des sols par le chrome hexavalent.....	4
4.1/Historique.....	4
4.2/Abondance du chrome (VI).....	4
4.3/Chimie du chrome (VI).....	4
4.4/Domaines d'application du chrome (VI).....	5
4.5/Problèmes posés par le chrome (VI).....	5
5/Transfert et dispersion du chrome dans l'environnement.....	6
5.1/ Transport et toxicologie dans la vie	6
5.1.1/Chez les plantes.....	6
5.1.2/Chez les micro-organismes	6
5.1.3/Chez les animaux.....	7
6/Méthodes d'élimination du chrome hexavalent dans les sols pollués.....	7
7/La phytoremédiation du chrome hexavalent.....	10
7.1/Définition de la phytoremédiation.....	10
7.2/Les différents mécanismes de phytoremédiation.....	10
7.2.1/Phytoextraction.....	10
7.2.2/Phytodégradation.....	11
7.2.3/Phytovolatilisation.....	11
7.2.4/Rhizofiltration (Phytofiltration).....	11
7.2.5/Phytostabilisation.....	12
8/Critères de choix des espèces végétales pour la phytoremédiation.....	13
9/Utilisation du blé dans la phytoremédiation des éléments métalliques	13

CHAPITRE II : BLE DUR

1. Introduction.....	14
2. Définition.....	14
3. Cycle de développement	15
4. Structure de grain de blé	15
5. Les stades phénologiques de blé	16
6. Importance des céréales	17
7. Origine génétique de blé	17
8. Classification taxonomique du blé dur	18
9 Le blé dans le monde.....	18

CHAPITRE III : Effets des rhizobactéries promotrices de la croissance des Plantes (PGPR)

1. Généralités sur la rhizosphère	
1.1. Rhizosphère	
1.1.1. Historique	22
1.1.2. Définition	22
2. Microbiologie de la rhizosphère.....	22
3. Les Rhizobactéries promotrices de la croissance des Plantes	
3.1. Définition de Rhizobacteria (PGPR).....	23
3.2 Rôle des PGPR.....	23.
4. Effets directs des PGPR.....	25
5. Stimulation et germination des graines.....	26..
5.1. Acquisition des ressources	26
5.1.1. Fixation de l'azote.....	26.
5.1.2. Solubilisations du phosphate.....	27.
5.1.3. Solubilisations du potassium	28
5.1.4. Productions des sidérophores.....	29.
5.1.5. Productions des phytohormones	29
5.1.5.1. Les auxine.....	29
5.1.5.2. Les gibbérellines	30
5.1.5.3. La réduction de la production de l'éthylène.....	30
5.1.5.4. La production des cytokinines.....	30
5.1.5.5. L'acide abscissique	31
6. Production de l'enzyme oxalate-oxydase	31

CHAPITRE 4 : MATERIEL ET METHODES

1/ Matériel.....	33
Sites d'étude.....	33
1.1/ Appareillage.....	34
1.2/Matériel utilisé.....	34
1.3/ Produit.....	35
1.4/Matériels consommables	35
2/ Méthodes.....	35
2.1/ Préparation de milieu de culture	35
2.2/ Ensemencement en milieu solide et repiquage des souches	36
2.3 / Préparation de bichromate de potassium	36
2.4/ Test de la résistance des isolats au chrome.....	36
2.5/ Préparation des suspensions bactériennes	37
2.6/Préparation des graines.....	38
2.7 / Traitement bactérien des graines	39
2.8 /Semis des graines	39
2.9/ Les Paramètres physiologiques étudiés	39
2.9.1. Les pourcentage de germination final (FGP%).....	39
2.9.2. La Germination moyenne journalière (MDG%)	39
2.9.3. Le temps moyen de germination (MGT)	39
2.9.4. L'indice de germination (GI).....	39
2.9.5. Le poids sec (PS) et le poids frais (PF).....	40
2.9.6. Teneur en eau (TE)	41
2.9.7. Longueur moyenne de la première feuille (LMF).....	41
2.9.8. Longueur moyenne des racines (LMR).....	41
3. Etude statistique	42

CHAPITRE 5 : Résultats et discussion

1/ Résultats	43
1.1/ Test de la résistance des isolats au chrome	43
1.2/ Les paramètres de la germination	46
1.2.1. Le pourcentage de germination final (FGP).....	46
1.2.2. La germination moyenne journalière (MDG%).....	47
1.2.3. Le temps de germination(MGT).....	47

1.2.4. L'indice de germination(GI).....	47
1.2.5. Le poids frais.....	49
1.2.6. Le poids sec.....	50
1.2.7. Teneur en eau (TE).....	51
1.2.8 Longueur moyenne de la première feuille (LMF).....	52
1.2.9 Longueur moyenne des racines(LMR).....	53
2/ Discussion	55
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	59
LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	60
ANNEXES	

Liste des abréviations :

1. **Cr(III)** : Chrome trivalent.
2. **Cr(VI)** : Chrome hexavalent.
3. **PGPR**: Plant Growth Promoting Rhizobacteria.
4. **(NH₄) Cr₂O₇** : Le dichromate d'ammonium.
5. **CaCrO₄** : Chromate de calcium.
6. **CrO₃** : Le trioxyde de chrome.
7. **ANOVA** : l'analyse de la variance
8. **FGP** : Le pourcentage de germination final
9. **MDG** : La germination quotidienne moyenne
10. **MGT** : Le temps moyen de germination
11. **GI** : L'indice de germination (IG)
12. **DF** : Degrés de liberté
13. **SS** : Somme des carrés des écarts
14. **MS** : Carré moyen
15. **F** : Valeur observée de F de Fisher
16. **P** : Probabilité de mettre en évidence des différences significatives.
17. **C0** : zéro concentration de chrome.
18. **C1** : la concentration 40ppm.
19. **C2** : la concentration 80ppm.
20. **C3** : la concentration 120ppm.
21. **K₂Cr₂O₇** : Dichromate de potassium.
22. **ROS** : les espèces réactives de l'oxygène

Liste de figures :

1. **Figure N° 01:** Mécanisme de phytoremediation
2. **Figure N° 02 :** Divers mécanismes impliqués dans la phytoremédiation des métaux lourds
3. **Figure N°03 :** Composition histologique du grain de blé
4. **Figure N°04 :** Cycle de développement du blé
5. **Figure N°05 :** Schéma d'une coupe d'un grain de blé
6. **Figure N°06 :** Les stades phénologiques de blé s, par l'échelle BBCH
7. **Figure N° 07:** Origines génétique du blé dur (Ravalis Institut du Végétal)
8. **Figure N° 08 :** Surplus et déficit de blé dans le monde. Source USDA et stratégie grains,
9. **Figure N° 09 :** Production de blé par pays
10. **Figure N° 10 :** Schéma montrant que les PGPR affectent directement et indirectement la croissance des plantes
11. **Figure N° 11 :** Schéma simplifié des principales activités du PGPR et de leurs interactions avec le système racinaire.
12. **Figure N° 12 :** Mécanismes d'actions des bactéries solubilisant les phosphates
13. **Figure N° 13 :** Rôles importants de six phytohormones importantes dans les plantes
14. **Figure N° 14 :** Mécanisme d'action de l'ACC désaminase sur la production de l'éthylène par la plante sous stress abiotiques
15. **Figure N° 15 :** Localisation géographique des deux sites de prélèvements.
16. **Figure N° 16 :** Préparation de milieu de culture
17. **Figure N° 17 :** Les étapes de repiquage des souches
18. **Figure N° 18 :** Préparation le milieu liquide BN (bouillon nutritif)
19. **Figure N° 19 :** Ensemencement des souches endophytes sur milieu liquide
20. **Figure N° 20 :** Ajustement de la charge bactérienne par spectrophotomètre UV-visible
21. **Figure N° 21 :** Etapes de la germination des grains de blé.
22. **Figure N° 22 :** Mesure de la biomasse fraîche et la biomasse sèche
23. **Figure N° 23 :** Mesure Longueur moyenne de feuille et racines
24. **Figure N° 24 :** Lecture de la croissance des souches (1er jour).
25. **Figure N° 25 :** Lecture de la croissance des souches (2ème jour).
26. **Figure N° 26 :** Lecture de la croissance des souches (3ème jour).
27. **Figure N° 27 :** L'effet du stress oxydatif sur le pourcentage de germination final (FGP, %) des graines de blé dur traitées par les 5 souches de rhizo-bactéries endophytes
28. **Figure N° 28 :** L'effet du stress oxydatif sur la germination moyenne journalière (MDG, %) des graines de blé dur traitées par par les 5 souches de rhizo-bactéries endophytes.
29. **Figure N° 29 :** L'effet du stress oxydatif sur le temps moyen de germination (MGT) des graines de blé dur traitées par les 5 souches de rhizo-bactéries endophytes.

30. **Figure N° 30** : L'effet du stress oxydatif sur l'indice de germination (GI) des graines de blé dur traitées par les 5 souches de rhizo-bactéries endophytes.
31. **Figure N° 31** : L'effet du stress oxydatifs sur la production de la matière fraîche chez les plantules de blé dur traitées par les 5 souches de rhizo-bactéries endophytes.
32. **Figure N° 32** : L'effet du stress oxydatif sur le poids sec des plantules de blé dur traitées par les 5 souches de rhizo-bactéries endophytes.
33. **Figure N° 33** : L'effet du stress oxydatif sur la teneur en eau chez les plantules de blé dur traitées par les 5 souches de rhizo-bactéries endophytes.
34. **Figure N° 34** : L'effet du stress oxydatif sur la longueur moyenne de la première feuille (LMF) chez les plantules de blé dur traitées par les 5 souches de rhizo-bactéries endophytes.
35. **Figure N° 35** : L'effet du stress oxydatif sur la longueur moyenne des racines (LMR) chez les plantules de blé dur traitées par les 5 souches de rhizo-bactéries endophytes.

Liste de tableaux :

1. **Tableau N°01** : Avantages et inconvénients des techniques de dépollution
2. **Tableau N°02** : Termes adoptés pour classer les mécanismes par lesquels les PGPR stimulent la croissance des plantes
3. **Tableau N°03** : Test de la résistance des isolats au chrome (1^{er} jour de croissance)
4. **Tableau N°04** : Test de la résistance des isolats au chrome (2^{ème} jour de croissance)
5. **Tableau N°05** : Test de la résistance des isolats au chrome (3^{ème} jour de croissance)

Résumé

La présence de chrome dans les sols a un impact sur la croissance des plantes et il peut s'accumuler dans les tissus des plantes. De plus, les rhizobactéries favorisant la croissance des plantes (PGPR) peuvent protéger les plantes contre les métaux en réduisant leurs effets nocifs. L'objectif de ce travail est d'évaluer la résistance au chrome de 22 souches de rhizobactéries endophytes et de leurs effets sur le comportement germinatif des grains de blé dur sous différentes concentrations de chrome hexavalent Cr (VI).

Les paramètres étudiés sont : les paramètres de germination (pourcentage de germination finale (FGP), germination quotidienne moyenne (MDG), temps moyen de germination (MGT) et l'indice de germination (GI)) et les paramètres physiologiques (la biomasse, la longueur moyenne de feuille, la longueur moyenne de racine).

Les résultats obtenus ont montré que les concentrations de Cr(VI) appliquées n'ont pas significativement influencé les paramètres de germination étudiés. La présence des cinq souches(02.21.39.55.14) a parfois réduit d'une manière non significative l'effet du stress oxydatif sur ces paramètres.

Les résultats obtenus pour les paramètres physiologiques ont montré que les concentrations de Cr(VI) appliquées ont causé un effet dépressif sur la production de la biomasse fraîche ou sèche, ainsi que l'utilisation des souches a abouti à une légère augmentation en poids frais et sec particulièrement avec la souche S02.

Mots clés : rhizo-bactéries endophytes, Blé dur, Cr(VI), PGPR, stress oxydatif.

Abstract

The presence of chromium in soils impacts plant growth and it can accumulate in plant tissues. Additionally, plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) can protect plants against metals by reducing their harmful effects. The objective of this work was to evaluate chromium tolerance of 22 endophytic rhizobacteria strains and their effects on germination behavior of durum wheat grains under different concentrations of hexavalent chromium Cr (VI).

The studied parameters were: germination parameters (final germination percentage (FGP), mean daily germination (MDG), mean germination time (MGT) and germination index (GI)) and physiological parameters (biomass, the mean leaf length and the mean root length).

The obtained results showed that the applied concentrations of Cr(VI) did not significantly influence the studied germination parameters. The presence of the five strains sometimes reduced the effect of oxidative stress on these parameters in a non-significant way.

The obtained results for the physiological parameters showed that the applied concentrations of Cr(VI) caused a depressive effect on the production of fresh or dry biomass, as well as the use of the strains resulted in a slight increase in fresh and dry weights, particularly with the S02 strain.

Key words: endophytic rhizobacteria, Durum wheat, Cr(VI), PGPR, oxidative stress.

يؤثر وجود الكروم في التربة على نمو النبات ويمكن أن يتراكم في الأنسجة النباتية. بالإضافة إلى ذلك، يمكن للبكتيريا الجذرية المعززة لنمو النبات (PGPR) حماية النباتات من المعادن عن طريق تقليل آثارها الضارة. الهدف من هذا العمل هو تقييم مقاومة 22 سلالة من البكتيريا الجذرية الداخلية للكروم وتأثيراتها على سلوك إنبات حبوب القمح الصلب تحت تراكيز مختلفة من الكروم سداسي التكافؤ. العوامل التي تمت دراستها هي: عوامل الإنبات (نسبة الإنبات النهائية) (FGP)، متوسط الإنبات اليومي (MDG)، متوسط وقت الإنبات (MGT) ومؤشر الإنبات (GI) والمعلمات الفسيولوجية (الكتلة الحيوية، متوسط طول الورقة، متوسط طول الجذر).

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن تراكيز الكروم (VI) المطبقة لم تؤثر بشكل كبير على معاملات الإنبات المدروسة. إن وجود السلالات الخمس أدى في بعض الأحيان إلى تقليل تأثير الإجهاد التأكسدي على هذه العوامل بطريقة غير معنوية.

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها للمعايير الفسيولوجية أن تراكيز الكروم (VI) المطبقة تسببت في تأثير مثبت على إنتاج الكتلة الحيوية الطازجة أو الجافة، كما أدى استخدام السلالات إلى زيادة طفيفة في الوزن الطازج والجاف خاصة مع سلالة S02.

الكلمات المفتاحية: البكتيريا الجذرية الداخلية، القمح الصلب، الكروم (VI)، PGPR، الإجهاد التأكسدي.

INTRODUCTION
GENERALE

Introduction générale :

Les ions métalliques contaminent les sols et l'eau en raison des activités urbaines, industrielles et agricoles. Les plantes sont exposées directement à ces substances dont le danger est indéniable. Les questions concernant les rejets des métaux lourds dans l'environnement et leur éventuel transfert vers les organismes vivants sont sans doute les plus inquiétantes (KABATAPENDIAS et al., 2007). Le chrome (Cr) est un métal lourd connu pour ralentir la croissance des plantes cultivées, notamment les céréales. Les industries métallurgiques, qui produisent de grandes quantités de déchets fortement chargés en métaux lourds, contaminent les sols par le chrome. L'absorption et le transport de ces métaux lourds à l'intérieur des plantes des céréales peuvent entraîner des problèmes de santé en raison de leur consommation élevée (ZYED et al. , 2003 ; KUO et al., 2006 ; SOUIK.,2008). L'impact toxique des métaux lourds sur les communautés bactériennes telluriques a fait l'objet de très nombreuses études (GILLER et al.,1997 ; BELYAEVA et al.,2005 ; KHAN et SCULLION.,2002 ; KHALIL et al., 1996). Effectivement, les micro-organismes jouent un rôle essentiel dans les processus biogéochimiques et ont un impact sur le développement des plantes en contribuant de manière significative à la fertilité du sol (RANJARD et al.,2000). Ils n'ont donc plus la capacité de garantir la fertilité du sol à long terme. Par ailleurs, il est communément reconnu que les microorganismes sont plus vulnérables aux métaux lourds que les plantes ou les animaux vivant dans les sols contaminés (GILLER et al., 1998). Les bactéries peuvent être impactées en ce qui concerne leur activité, leur physiologie et leur diversité, ce qui peut entraîner des perturbations graves sur l'ensemble de l'écosystème. Effectivement, il est crucial d'utiliser certains rhizobactéries (PGPR : Plant Growth Promoting Rhizobacteria) sur les plantes afin d'améliorer leur croissance en utilisant des ressources biologiques naturelles. De plus, l'emploi des bactéries dans l'agriculture permet d'obtenir un rendement élevé même dans des conditions extrêmes telles que la sécheresse, la salinité et la pollution par les métaux lourds. Cela est généralement associé à la stimulation du développement des racines, à la production de phytohormones et à l'apport de nutriments et d'eau.

Le présent travail s'insère dans une optique de lutte contre un stress oxydatif causé par des concentrations croissantes de Cr(VI) en testant en première étape la capacité de 22 souches de rhizo-bactéries endophytes à croître à différentes concentrations de Cr(VI) et en sélectionnant la ou les souches ayant une meilleure tolérance au chrome pour les utiliser en deuxième étapes dans l'évaluation de leurs effets sur la germination des graines de blé dur.

Ce manuscrit s'organise autour de cinq chapitres :

Le premier chapitre sur les métaux lourds, le deuxième chapitre décrit l'espèce étudié alors que le troisième chapitre est consacré aux PGPR et le quatrième chapitre détaille le matériel et les méthodes utilisés et enfin le 5^{ème} chapitre expose les principaux résultats obtenus ainsi que leur discussion.

CHAPITRE I :
POLLUTION DE SOLS
PAR LE CHROME
HEXAVALENT

1. Introduction :

Le problème environnemental majeur réside dans la pollution causée par les Éléments de Traces Métalliques (ETM) toxiques. En raison de leur persistance, la libération de ces métaux sans traitement constitue une menace grave pour la santé publique (Decker M. et DOSSO, 2006).

Le chrome est présent dans les trois zones de l'environnement, à savoir l'eau, l'air et le sol, ainsi que dans les organismes vivants. En raison de l'altération des massifs riches en ETM, le chrome peut être abondant de manière naturelle, mais aussi en raison des activités humaines telles que la prospection minière, le traitement du bois, la métallurgie, la chimie (catalyseur) et l'industrie (tannerie, chromage) (ANONYME,2015).

Dans ce chapitre, nous examinerons la pollution des sols causée par le chrome hexavalent et nous examinerons comment le chrome hexavalent peut être éliminé biologiquement. Il s'agit de l'utilisation du potentiel biologique du sol ou de l'introduction d'organismes vivants dans ce sol afin de diminuer, voire supprimé, la pollution qui y est présente.

2. Nature et comportement des contaminants :

Les polluants présentent une grande diversité, généralement classés en deux catégories: les substances chimiques organiques et les substances chimiques inorganiques. La première catégorie comprend plusieurs substances telles que le benzène, le toluène, l'éthylbenzène, les xylènes (BTEX), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les composés organiques halogénés volatils (COV) et les biphénylespolychlorés (PCB). La seconde catégorie est essentiellement composée de composés métalliques : cadmium, cuivre, nickel, plomb, zinc, chrome ou arsenic. Ces polluants possèdent chacun leurs propres caractéristiques et se comportent de manière différente dans l'environnement, avec une dégradation faible ou une migration vers d'autres éléments de l'environnement, tels que l'atmosphère lors de l'évaporation, les plantes lors de l'absorption ou les eaux de surface lors du ruissellement (EL YAMANI M,2006).

3. Effets sur la santé :

De nombreuses maladies sont considérées comme étant causées par l'environnement, notamment par les polluants présents dans le sol. Différents éléments métalliques sont connues pour leur toxicité neurotoxique (plomb, par exemple) ou cancérigène (arsenic, chrome VI, cadmium, par exemple) (DAMIEN FRANCENNE et al. 2008).

4. Pollution des sols par le chrome hexavalent :

4.1/Historique :

Le chimiste français Nicolas Louis Vauquelin (1763-1829) a fait la découverte du chrome dans du minerai de plomb rouge (crocoïte) dans l'Oural à Beresovsk à la fin du XVIIIe siècle. On a donné ce nom à ce métal en raison des couleurs brillantes qu'il offre à certains de ses composés (khrôma en grec, couleur). La présence du Cr (III) est responsable des teintes du rubis et de l'émeraude, par exemple. Au début du XIXe siècle, le chrome a été employé dans les techniques de pigmentation aux bicarbonates, développées par Alphonse Louis Poitevin, pour la photographie. De nos jours, le chrome a trouvé de nombreuses applications industrielles qui utilisent ses couleurs, ainsi que ses autres qualités telles que la solidité et la dureté (DESJARDIN,2002).

4.2/Abondance du chrome (VI) :

L'élément chrome Cr n'est pas présent à l'état libre dans la nature (SHUPAK, 1991), mais plutôt sous forme de complexes avec l'oxygène, le fer ou le plomb, créant ainsi des oxydes tels que la chromite (FeCr_2O_4) et la crocité (PbCrO_4) (WILLIAMS,1988). Le chrome (VI) est employé dans diverses applications industrielles, y compris le dichromate d'ammonium ($(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), le chromate de calcium (CaCrO_4), CrO_3 , PbCrO_4 , K_2CrO_4 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, Na_2CrO_4 , SrCrO_4 , ZnCrO_4 , trioxyde de chrome (CrO_3), chromate de plomb (PbCrO_4), chromate de potassium (K_2CrO_4), bichromate de potassium ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$). Seuls les minerais contenant plus de 40% d'oxyde chromique (Cr_2O_3) sont exploités de manière industrielle. Ce métal est extrait de mines souterraines ou à l'air libre (STELLMAN,2000).

4.3/Chimie du chrome (VI) :

L'isotope le plus répandu du chrome est le ^{52}Cr . Comme les autres métaux de transition, le chrome possède de nombreux composés en fonction du nombre de valences. Les composés les plus importants sont les composés de l'état II (chromeux), de l'état III (chromiques) et de l'état VI (chromates). L'état II est basique, l'état III est amphotère et l'état VI est acide et basique. Mais il n'y a que les états d'oxydation (III) et (VI) dans l'environnement. L'état chromeux Cr (II) est en effet instable et peut facilement être oxydé en Cr (III). L'instabilité restreint l'emploi des composés chromeux. En revanche, les composés chromiques sont extrêmement résistants et sont utilisés dans de nombreux produits aux multiples utilisations dans le secteur industriel. (IKHLASS MARZOUK TRIFI, 2012).

4.4/Domains d'application du chrome (VI) :

Le chrome est l'un des métaux les plus couramment utilisés dans le domaine industriel en raison de sa solidité, de sa dureté et de sa résistance à la corrosion. Les bichromates sont principalement utilisés dans les industries chimiques. Les sels hexavalents, qui sont entièrement solubles, sont employés dans le domaine de la tannerie, de la peinture et de la teinture, des explosifs, de la céramique, du traitement du bois et de l'industrie papetière. On utilise les sels trivalents comme mordants dans les domaines de la teinture, de la céramique, de la verrerie et de la photographie. Le chrome est largement employé dans le domaine de la métallurgie pour la fabrication d'alliages. Le chrome est également employé dans la production de briques résistantes à l'eau. Un autre usage majeur du chrome se trouve dans les domaines chimiques tels que la finition des produits (F. GODE et al. 2005 ; LANGÅRD., 1982; USEPA., 1984b ; NRIAGU., 1988).

4.5/Problèmes posés par le chrome (VI) :

La forme du chrome hexavalent pose le plus de problèmes ; le chrome (VI) présente une toxicité élevée, mais il est également très soluble dans l'eau sous cette forme. Cette capacité à se dissoudre lui permet d'être très mobile dans les écosystèmes. On a considéré le chrome hexavalent comme l'un des polluants les plus dangereux en raison de ses effets cancérigènes et tératogéniques sur l'organisme humain. C'est devenu un problème de santé sérieux (TORRESDEY et al., 2000 ; KARTHIKEYAN et al.,2005). Diverses industries, telles que l'industrie du finissage des métaux, la sidérurgie et la production de produits chimiques inorganiques, peuvent libérer du chrome dans l'environnement (GAO et al.,2007). Selon l'U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency), la concentration maximale du chrome pour la consommation humaine est de 0,1 mg/L. De plus, la législation nationale en Algérie a restreint la teneur en Cr (VI) dans les eaux usées à 0,1 mg/L. (NORME OMS,1993 ; NORME UE,1998). Le chrome est toxique non seulement en fonction de sa concentration, mais également en fonction de son taux d'oxydation. Effectivement, on sait que le chrome (VI) est bien plus nocif que le chrome (III). Le chrome (III) joue un rôle crucial dans le métabolisme glucidique en tant qu'agent activateur de l'insuline, ce qui en fait un nutriment indispensable pour les organismes vivants (ALLOWAY,1995 ; DEFLOLA,1989 ; OTABBONG,1990). Les produits dérivés du chrome peuvent entraîner des lésions spécifiques connues sous le nom de « pigeonneau » ou « rossignol ». Elles commencent par des fissures douloureuses sur la peau qui augmentent peu à peu et se transforment en ulcérations. En plus de ces lésions classiques, on observe des dermatoses eczématiformes, et dans certains cas, le développement d'une dermatose de contact d'origine allergique, et plus rarement de l'acné (HAGUENOER et al.,1981). Selon

(Schubert,1997), l'ingestion d'un sel de chrome (VI) ou de chrome (III) provoque une nécrose sélective des cellules des tubes proximaux. Le chrome (VI) présente des risques pour la santé, notamment pour les employés de l'industrie de l'acier et du textile. D'autres effets du chrome (VI) peuvent inclure des éruptions cutanées, des troubles respiratoires, une diminution du système immunitaire, ainsi qu'une altération du matériel génétique et la formation de cancers (MOHANTY et al.,2005).

5. Transfert et dispersion du chrome dans l'environnement :

Le chrome présent dans l'air est généralement sous forme de petites particules d'environ 1 µm de diamètre. Ces particules, qui s'accrochent à la pluie ou à la neige, tombent au sol et se trouvent dans les eaux. Dans les sols et les sédiments, la transformation du chrome hexavalent en chrome trivalent est importante. Ce processus est d'autant plus crucial que les sols contiennent une grande quantité de matière organique et que le pH est faible (CHARENETE M,1993).

5.1/ Transport et toxicologie dans la vie:

5.1.1/Chez les plantes :

Le chrome est difficilement assimilable par les plantes en raison de son adsorption sur les hydroxydes métalliques. Pourtant, avec le chrome présent dans le sol, la végétation présente une concentration plus élevée de chrome, plus élevée dans les racines que dans les feuilles et les graines (DECKER M ET DOSSO O,2006). Le chrome n'apparaît pas indispensable à la survie des végétaux. Dans les environnements naturels, certaines plantes se développent dans des régions très corrodées par le chrome et il est affirmé que les plantes ne captent pas le chrome ou l'absorbent uniquement par leurs racines, sans le transporter vers d'autres parties de la plante (LOSI et al., 1994). Cependant, une étude récente a révélé que la culture de la jacinthe d'eau dans un milieu contenant du chrome hexavalent a pu l'abaisser au niveau des racines. Dans ces tissus, le Cr(III) est donc conservé sous forme libre ou mélangé avec des oxalates, ainsi que dans d'autres tissus tels que les feuilles et les pétioles (LYTLE et al. 1998).

5.1.2/Chez les micro-organismes:

Le chrome ne joue pas un rôle crucial dans la croissance des microbes. Le chrome a des conséquences néfastes sur les bactéries saprophytes et nitrifiantes, les champignons filamenteux, les algues et le phytoplancton. Le chrome (VI) provoque des changements dans le matériau cellulaire, le métabolisme et les réactions physiologiques (DESJAR V, 2002).

5.1.3/Chez les animaux :

La corrélation entre la concentration de chrome dans l'organisme et la concentration de chrome dans le milieu a été mise en évidence par plusieurs travaux. Selon (DECKER M ET DOSSO O,2006), le chrome hexavalent n'est pas accumulé chez les poissons, contrairement au chrome trivalent. Étant donné sa toxicité et son potentiel mutagène, la forme hexavalente ne constitue pas une source de nourriture. Selon la théorie, l'homme et l'animal ne consomment que peu de chrome par inhalation, mais ils en absorbent beaucoup par la nourriture et l'eau. Les produits alimentaires contenant du chrome sont relativement sécurisés, tandis que les chromates sont extrêmement toxiques. La composition chimique du chrome joue un rôle crucial dans l'assimilation du chrome par l'intestin (DESJAR V, 2002).

6/Méthodes d'élimination du chrome hexavalent dans les sols pollués :

L'objectif de l'assainissement des sols est de rendre le site à son état d'origine le plus fidèlement possible. En outre, il est important que les techniques de traitement des sols ne contaminent pas davantage que les résultats de la décontamination. En d'autres termes, la contamination ne peut pas se propager (PERCH ET G.T,2008). Depuis de nombreuses années, la pollution des sols par le chrome hexavalent a été identifiée comme un enjeu majeur, en particulier celle liée au chrome hexavalent. Le chrome hexavalent persiste dans son impact environnemental en raison de ses effets toxiques, mutagènes et cancérigènes. Il est impératif de procéder à la décontamination des sites concernés (DECKER M ET DOSSO O,2006) (VANGRONVELD et al.,2009). De plus, de nombreuses méthodes de traitement ont été développées pour tenter de rétablir les sites pollués classés comme dangereux pour les écosystèmes et la santé des individus (BALLERINI ET VANDECASTEELE,1999).

Le choix du procédé dépend de plusieurs paramètres contrôlant la méthode de décontamination, à savoir :

- En comparaison avec les méthodes physiques et biologiques, les procédés chimiques semblent être plus onéreux en termes d'investissement (REBHI,2019).
- Niveau de contamination : Le sol et/ou l'eau contiennent-ils des quantités importantes de contaminants (REBHI,2019).
- La nature du sol : Le sable et l'argile ne sont pas traités de la même manière.
- Surface du site : Le site est-il suffisamment grand pour accueillir des installations de contrôle de la pollution.

Tableau N°01 : Avantages et inconvénients des techniques de dépollution (ADEME et BRGM,2013).

CHAPITRE I: POLLUTION DE SOLS PAR LE CHROME HEXVALENT

Techniques d'éliminations	Avantages	Inconvénients
Technique physico-chimique	<ul style="list-style-type: none"> -Bonne reproductibilité des essais laboratoire à l'échelle industrielle. -Simplicité du principe de fonctionnement -Coûts d'investissements modérés. -Possibilité d'améliorer les performances en utilisant des agents insolubilisant. 	<ul style="list-style-type: none"> -inopérant sur les polluants à l'état dissous, sauf cas d'adsorption sur les floes formés ou sur du charbon actif en poudre. -Conditions de pH pouvant nécessiter une correction des eaux traitées avant rejet ou Avant un traitement de finition complémentaire. -Risques de transfert dépollution (COV) vers l'atmosphère avec l'aéro-flottation. -Utilisation de réactifs dangereux (acides, bases), Difficile à maîtriser lorsque la qualité des effluents varie.
Technique biologique (phytoremédiation)	<ul style="list-style-type: none"> - Limiter l'érosion du sol. - Limiter l'envol de poussières. - Limiter le lessivage des éléments toxiques et leur transfert vers la nappe phréatique. - Maintenir ou restaurer une microflore et une microfaune adaptée, garants de la fonctionnalité des sols. - la limitation des transferts de 	<ul style="list-style-type: none"> - les durées de traitement sont importantes. - les concentrations élevées en polluants peuvent être rédhibitoires. - l'emploi d'une plante bien adaptée à un type de polluant n'est pas toujours possible.

CHAPITRE I: POLLUTION DE SOLS PAR LE CHROME HEXVALENT

	<p>polluants et des expositions.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Technique applicable in situ sur une large variété de sols pollués et en milieu rural et urbain. - Compétitivité en termes de coût par rapport aux techniques physico-chimiques - Possibilité de réaliser des traitements de décontamination de grande superficie en alternative ou en complément aux techniques conventionnelles. - Faible perturbation du milieu contaminé. - Technologie visuellement attractive. - Reconquête des activités de fonctionnalité des sols. - On peut récupérer les métaux à haute valeur ajoutée. 	
<p>Technique thermiques</p>	<ul style="list-style-type: none"> - sa capacité de traitement importante. - sa vitesse de traitement. - la certitude du résultat. - une technique de recyclage des terres. - pas de pollution résiduelle 	<ul style="list-style-type: none"> - une technologie robuste principalement par des polluants organiques. - le coût élevé de sa consommation énergétique importante. - l'obligation d'excaver les terres.

		<p>- également inadaptée au traitement des métaux lourds</p> <p>-Nécessité d'utiliser du gaz et de l'eau</p>
--	--	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Selon les données du tableau 1, les méthodes biologiques de remédiation des sols contaminés présentent des avantages par rapport aux autres techniques en raison de leur coût d'investissement réduit, de leur efficacité et de leur biocompatibilité. C'est pourquoi nous nous concentrerons dans la section suivante sur l'élimination des éléments métalliques, en particulier le chrome, par des méthodes biologiques telles que la phytoremédiation.

7/La phytoremédiation du chrome hexavalent :

Dernièrement, on a accordé davantage d'importance aux méthodes à base de plantes vertes. On sait que le cycle de vie des végétaux a des conséquences importantes sur les mécanismes chimiques, physiques et biologiques. Effectivement, la croissance des racines et des tiges entraîne l'acquisition de minéraux et d'eau, ce qui conduit les plantes à modifier l'environnement du sol et, dans certains cas, à purifier le sol en transférant ou en dégradant les polluants (FOURNON D,2017). Ainsi, la bio ou la phytoremédiation représente une option judicieuse pour traiter les sols en raison de son adaptabilité aux divers polluants, de sa simplicité et de son coût abordable par rapport aux méthodes de traitement classiques (incinération et lavage des sols). Elle a bénéficié d'une attention spéciale.

7.1/Définition de la phytoremédiation :

" phyto" = végétal ; "remedium" = rétablissement de l'équilibre. L'utilisation des plantes pour réduire, éliminer, dégrader ou fixer les contaminants présents dans le sol, les boues, les sédiments, les eaux de surface, les eaux souterraines et les eaux usées est appelée phytoremédiation (FOURNON D,1999).

7.2. Les différents mécanismes de phytoremédiation

7.2.1/Phytoextraction :

Les plantes qui ont une capacité d'accumulation de toxines élevée peuvent utiliser cette méthode pour éliminer les polluants présents dans le sol, les eaux souterraines ou les eaux de surface (Susarla et al.,2002). Les végétaux employés dans cette procédure peuvent supporter des concentrations élevées de métaux organiques ou lourds. En outre, ils doivent générer une

grande quantité de biomasse et évoluer rapidement. On peut classer la phytoextraction en deux types : les processus initiés et les processus continus (ADEME.,2012).

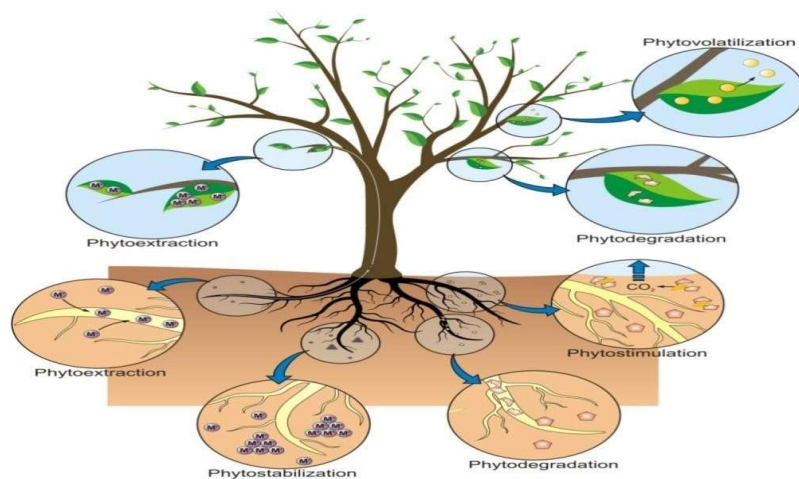


Figure N°01: Mécanisme de phytoremédiation (Rebhi, 2019).

7.2.2/Phytodégradation :

Selon Newman et Reynolds (2004), cette méthode utilise des plantes qui génèrent des enzymes qui accélèrent la dégradation des xénobiotiques. La phytodégradation peut se produire à l'intérieur ou à l'extérieur de la plante à chaque fois qu'une plante produit des enzymes qui sont sécrétées dans le sol de la zone racinaire (GASKIN,2008). Elle est utilisée pour le traitement des sols, des sédiments fluviaux et des boues, des eaux souterraines et de surface (EDWARDS et DIXON,2000 ; MAECKA et TOMASZEWSKA,2005).

7.2.3/ Phytovolatisation :

Dans cette approche, les substances polluantes sont absorbées par les plantes, traitées par leur métabolisme, puis évacuées dans l'atmosphère sous une forme volatile et moins dangereuse. Selon plusieurs études (BURKEN et SCHNOOR ,1999), Ce procédé est principalement employé pour purifier les eaux et les sols contaminés par du sélénium (Se), du mercure (Hg) ou de l'arsenic (As), ainsi que des composés organiques tels que le trichloroéthylène, le benzène, le nitrobenzène et le phénol.

7.2.4/ Rhizofiltration (Phytofiltration) :

Cette technologie permet de traiter les eaux usées de surface générées par l'industrie et l'agriculture. On peut soit immerger les plantes dans de l'eau purifiée, soit pulvériser des eaux usées au-dessus de leurs racines. Ainsi, les plantes employées dans cette méthode doivent être extrêmement résistantes aux substances dangereuses, capables de supporter de faibles niveaux

d'oxygène et dotées de racines larges qui se développent rapidement et génèrent une grande quantité de biomasse (SRIVASTAVA et al.,2014). La rhizofiltration permet d'éliminer les éléments radioactifs et les métaux lourds, en particulier le plomb (Pb) (GAJEWSKA et al. 2006 ; MARECIK et al. 2006).

7.2.5/Phytostabilisation :

Cette méthode utilise les racines des plantes afin d'assainir le sol. La phytostabilisation permet d'empêcher la propagation des polluants vers les eaux souterraines, le sol de surface et jusqu'au niveau des eaux ruisselantes. Les plantes utilisées pour la phytostabilisation devraient posséder les caractéristiques suivantes : un système racinaire très développé qui facilite l'adsorption, l'absorption et le stockage des polluants dans les tissus, ainsi que leur conversion en produits chimiques moins solubles dans la rhizosphère (SEGURA et RAMOS, 2013). En outre, il est essentiel que les plantes soient extrêmement résistantes aux variations de pH, de salinité et d'humidité du sol, ainsi qu'un faible pouvoir d'accumulation de contaminants dans leurs parties aériennes (CUNNIGHAM et BERTI, 1993).

Les différents mécanismes d'élimination des polluants par les plantes sont illustrés dans la figure suivante :

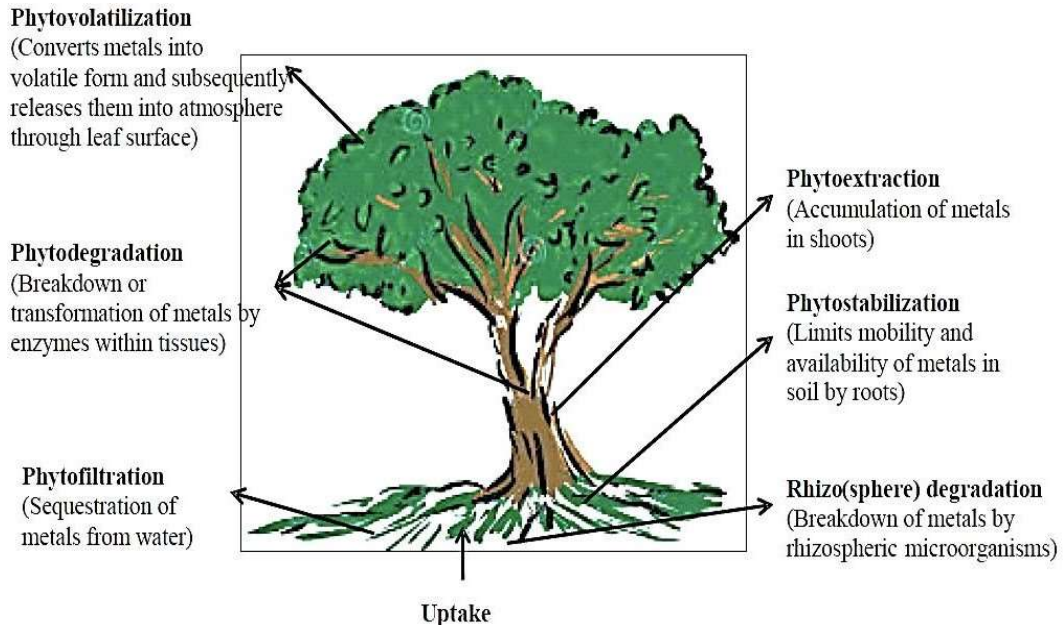


Figure N°02 : Divers mécanismes impliqués dans la phytoremédiation des métaux lourds (DIXIT R WASIULAH et al. 2015).

8/Critères de choix des espèces végétales pour la phytoremédiation :

Différents paramètres influencent le choix des espèces à utiliser pour fixer le chrome présent dans les sols (REBHI ,2019) :

- Les propriétés physico-chimiques de la terre.
- Les types de polluants présents dans les sols.
- La tolérance des végétaux sélectionnés.
- La quantité de biomasse produite et la vitesse de développement.
- Les moyens par lesquels la plante absorbe.
- Adaptation à la situation.
- Acceptation des polluants.

Les espèces utilisées pour la phytoremédiation du chrome hexavalent doivent être capables de faire face spontanément à cette contamination et de s'adapter aux caractéristiques des sols de la zone concernée. Le blé est un candidat prometteur, car il joue un rôle essentiel dans la sécurité alimentaire. D'après les recherches en phytoremédiation, le blé dur présente des capacités élevées pour décontaminer les sols contaminés par les éléments métalliques (BARAUD, 2004).

9. Utilisation du blé dans la phytoremédiation des éléments métalliques :

Il existe peu de recherches sur l'utilisation du blé dur dans la phytoremédiation. Parmi les études menées par (FARRAG et al. 2012), on peut mentionner que la plante est capable de supporter la contamination par le chrome, avec une teneur élevée en chrome d'environ 1978 mg/kg.

CHAPITRE II : LE BLE DUR

1. Introduction :

La culture du blé dur (*Triticum Durum* Desf) joue un rôle crucial dans la sécurité alimentaire mondiale, fournissant le gluten indispensable à la production de pain (ARIF et al. 2017). En Algérie, l'État se préoccupe principalement de l'augmentation de la production de céréales, en particulier du blé dur, afin d'atteindre l'autosuffisance, un produit qui est largement consommé sous diverses formes : Sandwich, pain et couscous (LADRAA, 2012 ; REBOUH et al. 2018). Selon des recherches précédentes, il serait nécessaire d'atteindre un rendement de 4000 Kg ha⁻¹ pour répondre aux besoins de la population. Malgré les avancées significatives dans la production de blé dur dans le pays au cours des dernières années, il est souvent constaté que cette spéculation ne parvient pas à satisfaire les besoins d'une population parmi les plus consommatrices au Maghreb et dans le monde (HADDAD,2021 ; BAGHDALI,1991).

2. Définition :

Plante herbacée annuelle, le blé présente des tiges dressées et des inflorescences en épis linéaires. Il existe deux types de blé : le blé d'hiver (9_11 mois) et le blé de printemps (3_6 mois) (ŠRAMKOVA et al., 2009). C'est une espèce du genre *Triticum* et donc de la famille des poacées. Les graines sont de forme ovoïde, plus ou moins allongée, de 20 à 50 mg de poids, 5 à 8 mm de long, 2 à 4 mm de large et 2,5 à 3,5 mm d'épaisseur (Figure 03). Il existe deux espèces de blé: le blé tendre (*Triticum aestivum*) et le blé dur (*Triticum durum*) (CALVEL, 1984).

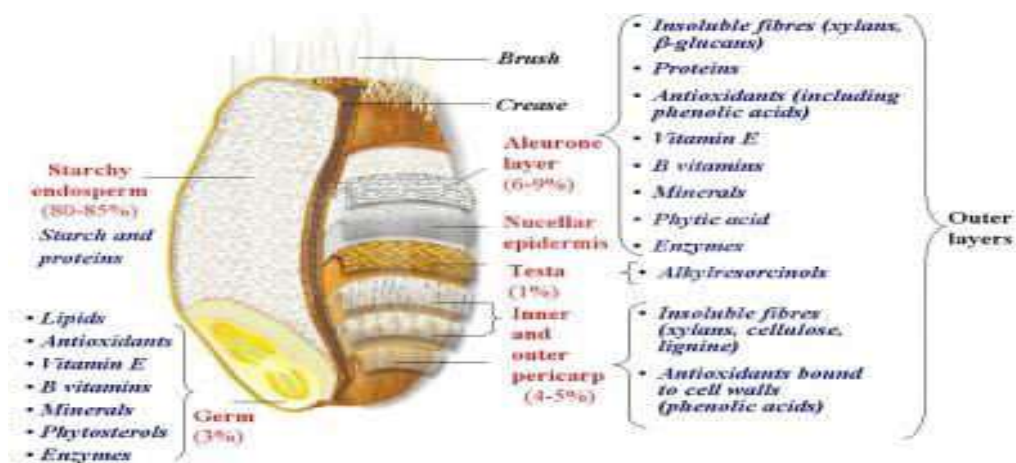


Figure N°03 : Composition histologique du grain de blé (BOUNNECHE, 2015).

3. Cycle de développement

Selon (SOLTNER, 2005), le cycle de développement du blé se compose d'une série d'étapes (figure 4) séparées par des stades identifiés. Cela permet de diviser la vie des céréales en deux périodes distinctes : une période végétative pendant laquelle la plante ne pousse que des feuilles et des racines, et une période de reproduction marquée par l'apparition des épis et la formation des graines.

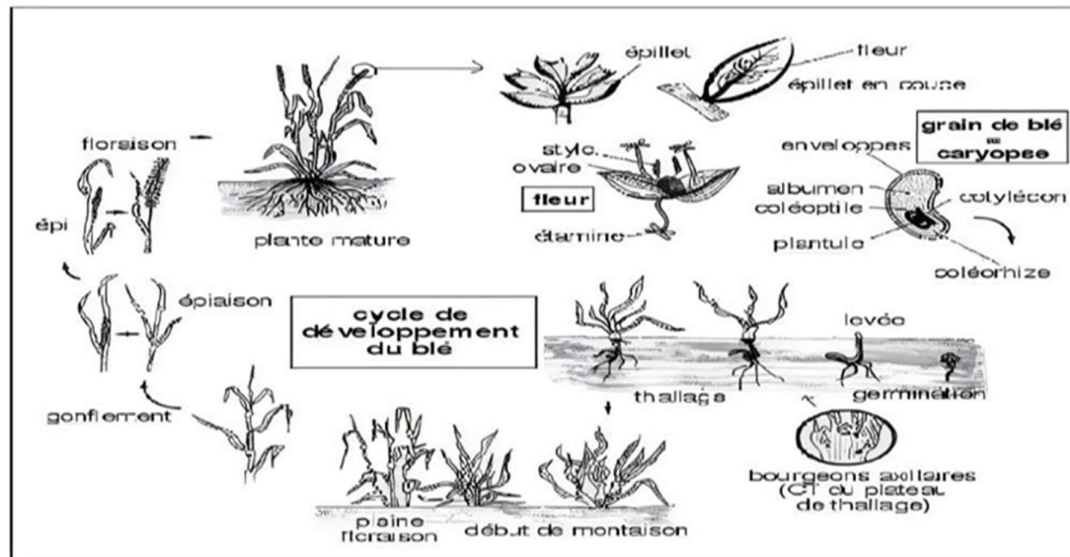


Figure N°04 : Cycle de développement du blé (HENRY et DE BUYSER, 2000).

4. Structure de grain de blé :

Deux enveloppes continues entourent le grain de blé (ou caryopse de blé) : le péricarpe (paroi ovarienne) et le tégument de la graine (paroi de l'ovule). L'embryon et le tissu végétatif, l'albumen.

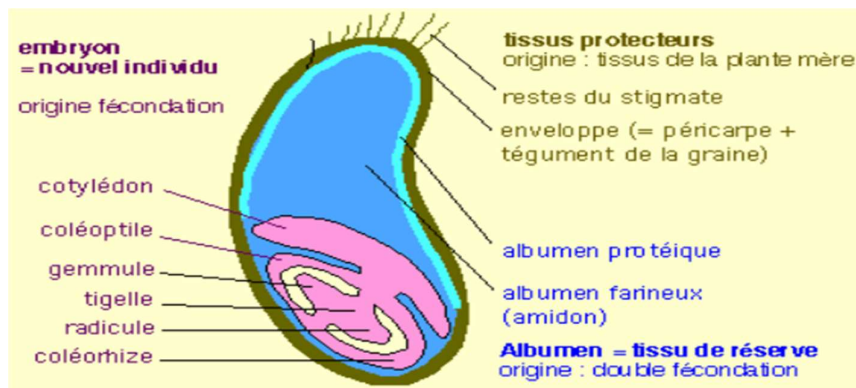


Figure N°05 : Schéma d'une coupe d'un grain de blé (MOSINIAK et al. 2005).

6. Les stades phénologiques de blé

Pendant la période de croissance et de développement, le blé dur traverse différents stades végétatifs où la plante développe de nouveaux organes tout au long de la croissance.

Le blé traverse un cycle évolutif en trois phases (BELAGROUZ,2021). Chaque étape est marquée par des stades distincts, les périodes de croissance du blé sont spécifiques :

- Période végétative : Trois étapes sont identifiées :
 - La germination est la période où la surface foliaire de la culture se forme, elle est étroitement liée à la température et à la photopériode, et elle correspond à la formation de l'appareil foliaire (feuilles talles) (ABDELLICHE et FERKHI,2018).
 - La période de germination-levée est vulnérable aux excès d'eau en zones côtières et sublittorales, ainsi qu'au gel en zones de hautes plaines.
 - Lors de la phase de tallage : les températures baissent et les jours sont courts, ce qui favorise la formation des premières talles au stade de 3 feuilles (AIT SLIMANE,2008).
- La période reproductrice se distingue par :
 - La phase de montée-floraison : cette période correspond à la pleine croissance des talles. Chez le blé, elle marque la transition de la phase végétative à la phase reproductrice (BELAGROUZ, 2021). Son contrôle repose sur la photopériode et la température.
 - La phase d'épiaison se produit lorsque l'épi sort de la dernière feuille, ce qui entraîne la floraison et la pollinisation quelques jours plus tard (TAYEBET REBAI, 2014). Lorsque le jour s'allonge et les nuits se raccourcissent, le blé commence à fleurir, et le nombre définitif ou réel de grains/épi est établi pendant cette période (HAMADACHE, 2013).
- La période de remplissage et la maturité du grain : après la floraison, le grain est rempli de deux manières différentes (HAMADACHE,2013) :
 - En transférant une partie des réserves de la tige.

- En utilisant les parties de la plante encore vertes (feuilles, épis, barbes) pour la photosynthèse.

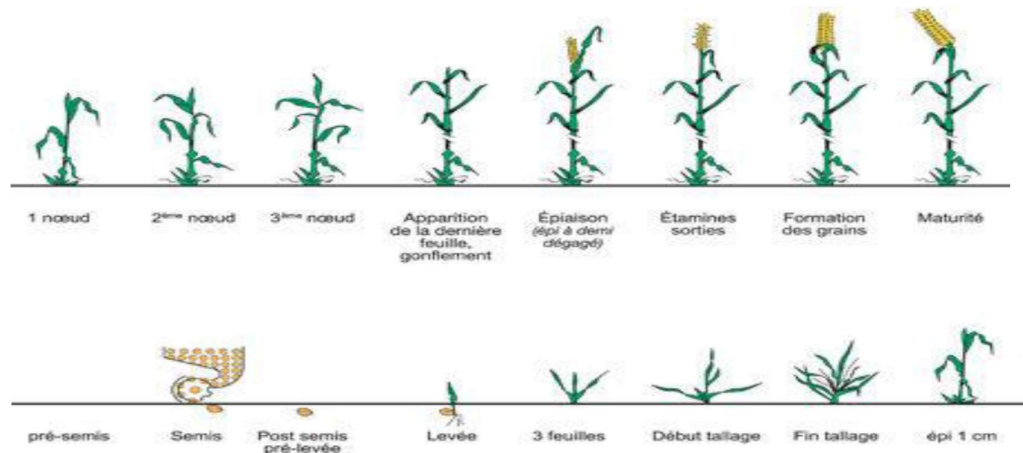


Figure N°06 : Les stades phénologiques de blés, par l'échelle BBCH, Source site (SYNGENTA, 2015).

6. Importance des céréales :

Les blés sont l'aliment principal de l'humanité et la principale source de protéines. Ils constituent aussi un élément essentiel pour l'alimentation animale et de nombreuses applications industrielles. La majorité des aliments consommés par la population mondiale sont des grains, dont 95% sont fabriqués par les principales cultures céréalières (BONJEAN ET PICARD,1991).

Mise en valeur économique Environ 8 % des surfaces cultivées en blés à travers le monde sont consacrées au blé dur, dont 70 % se trouvent dans les pays du bassin méditerranéen. Les principaux producteurs sont en effet la Turquie, la Syrie, la Grèce, l'Italie, l'Espagne et les pays d'Afrique du Nord (MONNEVEUX,2002). De plus, la culture du blé dur joue un rôle essentiel dans l'économie algérienne. En 2012, elle a produit 51,2 millions de tonnes de blé contre 690 millions de tonnes à l'échelle mondiale. Sur un territoire de 3 Mha consacré à la culture des céréales, 1 785 000 hectares sont réservés à la culture du blé (CIC,2008)

7. Origine génétique de blé

Trois types de blés sont actuellement cultivés dans le monde : le blé tendre (*Triticum aestivum*), le blé dur (*Triticum turgidum*) et l'épeautre (*Triticum monococcum*). Les caryotypes de ces trois espèces de blé sont respectivement de 42, 28 et 14, tandis que les différentes variétés

de blé sauvage que l'on trouve encore dans certaines régions du monde possèdent 14 chromosomes. Le caryotype du blé est donc une lignée à chromosomes multiples de 7, ce qui signifie que le blé tendre et le blé dur ont respectivement des chromosomes polyploïdes, hexaploïdes et tétraploïdes (DOUSSINAULT et al., 2001). Des études sur l'histoire du blé ont montré, selon les mêmes auteurs, que le blé dur est le fruit d'un croisement entre deux espèces de blé sauvage à monocotyles sauvages et que le blé tendre est le fruit d'un croisement entre le blé dur et une autre espèce de blé sauvage. Le blé polyploïde est causé par ces croisements et le doublement ultérieur du nombre de chromosomes.

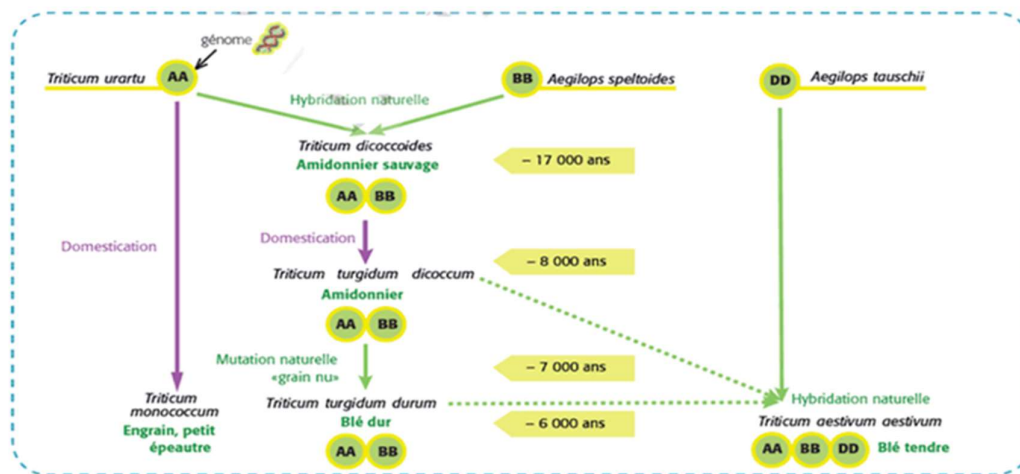


Figure N° 07 : Origines génétique du blé dur (Ravalis Institut du Végétal).

8. Classification taxonomique du blé dur

Embranchement : Spermaphytes,

Sous-embranchement : Angiospermes,

classe : Monocotylédone,

Ordre : Poales,

Famille : Poaceae,

Sous-famille : Festucoideae,

Genre : Triticum,

Espèce : *Triticum durum* Desf (FEILLET P, 2000).

9. Le blé dans le monde :

Selon le rapport mensuel de l'USDA du 12 mai, la production mondiale de blé devrait atteindre 774,83 millions de tonnes en 2022/2023, contre 779,29 millions de tonnes en 2021/2022. Cela est principalement dû à la révision à la baisse de la production ukrainienne, qui devrait atteindre 21,5 millions de tonnes contre 33,01 millions de tonnes en 2021/2022.

Ainsi, une diminution de la production est prévue non seulement en Ukraine, mais aussi en Australie, dans l'Union européenne et au Maroc. Cependant, ces diminutions de performance ont été compensées par des augmentations au Canada, en Russie et aux États-Unis. En 2022/2023, les stocks mondiaux ont connu une baisse par rapport à 2021/2022, passant de 279,72 à 279,72.

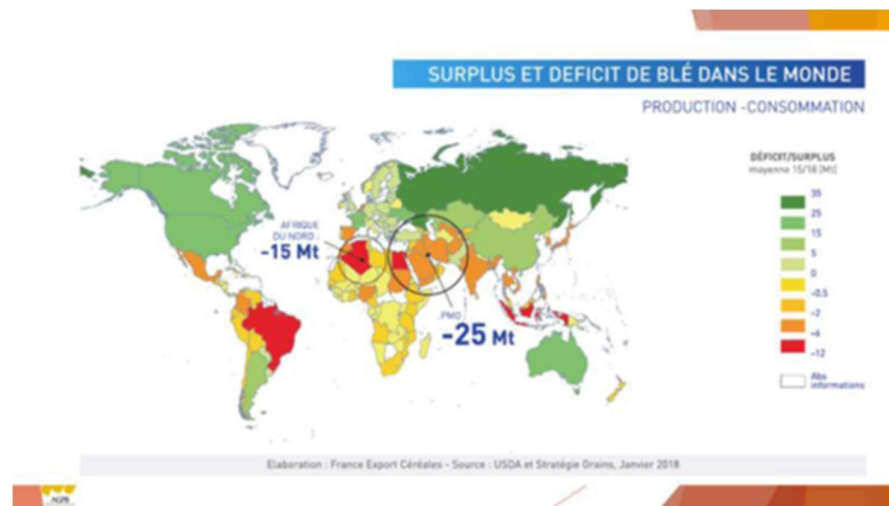


Figure N° 08 : Surplus et déficit de blé dans le monde. Source USDA et stratégie grains, (JANVIER,2018).

D'après le rapport de la FAO en 2022, les dix pays les plus importants dans la production de blé entre 2018/2019 et 2022/2023, en milliers de tonnes, sont :

- La Chine est le principal producteur mondial de blé. Chaque année, la Chine produit plus de 130 millions de tonnes de blé.
- L'Inde occupe le deuxième rang mondial en tant que producteur de blé, avec une production annuelle d'environ 100 millions de tonnes de blé, pour une superficie de 29,5 millions d'hectares.
- La République de Russie Par an, on produit 72 millions de tonnes de blé. En Russie, on estime que 26,5 millions d'hectares sont réservés à la culture du blé. Cependant, la production est limitée à 2,7 tonnes de blé par hectare.
- Les États-Unis : La production de blé aux États-Unis s'élève à 51 millions de tonnes, avec 16 millions d'hectares réservés à cette culture.
- La France est la première nation européenne à produire du blé. Avec une production d'environ 36 millions de tonnes, il est l'un des principaux producteurs mondiaux de blé.

En France, on estime qu'il y a 5,2 millions d'hectares cultivés en blé, avec un rendement moyen de 6,8 tonnes de blé par hectare.

- Le Canada : Environ 31,8 millions de tonnes de blé sont récoltés au Canada, sur une superficie de près de dix millions d'hectares. La production de blé par hectare s'élève à 3,2 tonnes.
- Chaque année, le Pakistan produit 25 millions de tonnes de blé. Toutefois, ce nombre de production n'est pas adéquat pour le marché national.
- L'Ukraine : cette nation génère environ 25 millions de tonnes de blé par an. Dans ce pays, la culture du blé occupe 6,6 millions d'hectares, avec un rendement moyen de 3,7 tonnes par hectare.
- L'Allemagne a une production annuelle de 22 millions de tonnes. Le blé donne un peu moins de 6,7 tonnes par hectare de rendement. La superficie agricole totale en Allemagne est aujourd'hui d'environ 17 millions d'hectare
- En moyenne, chaque année, l'Australie récolte 21 millions de tonnes de blé. On cultive le blé australien sur environ 11 millions d'hectares. La productivité est très faible, avec un rendement de 1,9 tonne par hectare.

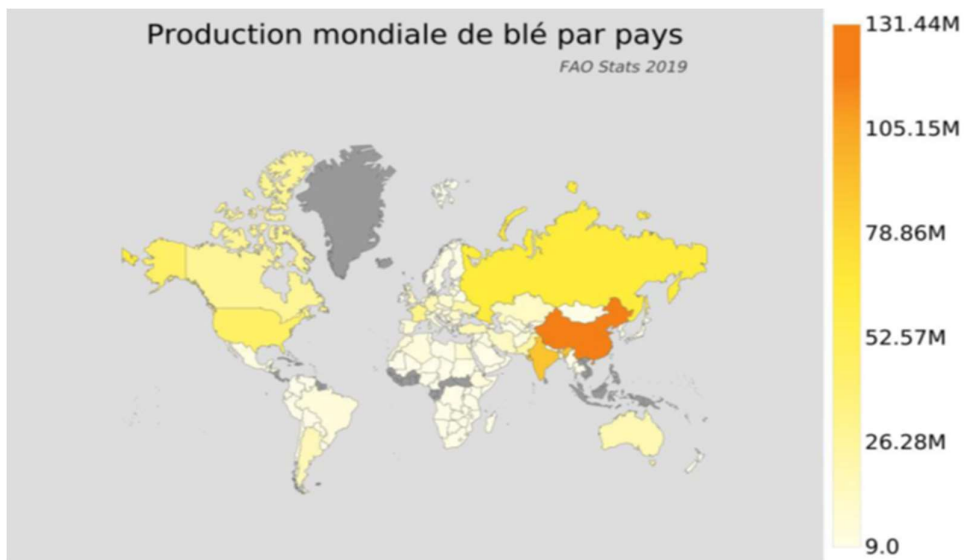


Figure N° 09: Production de blé par pays (FAO STATS, 2019).

CHAPITRE III :
Effet des rhizobactéries
promotrices de la croissance
des Plantes (PGPR)

CHAPITRE III: Effet des rhizobactéries promotrices de la croissance des plantes (PGPR)

1. Généralités sur la rhizosphère :

1.1 Rhizosphère

1.1.1. Historique

En 1904, le professeur d'agronomie au collège technique de Munich, Lorenz Hiltner, a démontré l'importance cruciale des activités microbiennes dans la "rhizosphère" pour la nutrition et la santé globale des plantes. Il semble que le mot rhizosphère se définisse lui-même, mais il n'existe pas de consensus total entre les microbiologistes du sol et les experts en plantes quant à la signification précise. Rhizo, ou rhiza (du mot grec), qui signifie racine, est assez simple, mais peut être utilisé dans de nombreuses expressions, allant du corps rond à l'environnement social. Il s'agissait pour la première fois de l'expression de la zone d'activité bactérienne la plus intense autour des racines des légumineuses. Selon Hiltner, la nutrition des plantes est certainement influencée par la composition de la flore du sol (CURL et TRUELOVE, 2012).

1.1.2. Définition

L'écosystème de la rhizosphère est l'un des plus complexes. Il s'agit d'une niche écologique où se trouvent divers micro-organismes et racines à proximité. Il y a deux facteurs indispensables à la croissance des plantes : la lumière et la présence d'eau et de nutriments dans le sol. Il représente entre 0,1 et 1 % du sol total des écosystèmes forestiers et près de 100 % des premiers centimètres des sols prairiaux en fonction du développement racinaire (BAZOT,2005).

En général, on peut tirer la conclusion que le rhizoplan, qui représente la connexion entre la racine et le sol rhizosphérique, se trouve dans le voisinage direct de la racine et est soumis à son influence. Les plantes utilisent l'eau et les minéraux essentiels à leur développement et à leur croissance, ce qui entraîne également des changements significatifs dans le potentiel de l'eau et les concentrations ioniques du sol rhizosphérique (SELAMI, 2015).

2. Microbiologie de la rhizosphère

La rhizosphère représente une zone écologique riche en micro-organismes qui jouent un rôle crucial dans la santé des végétaux (VILLEJOURBERT,2016). On ne retrouve pas ces micro-organismes isolés dans le sol, mais ils forment des communautés complexes où se déroulent différentes interactions microbiennes (LEPINAY,2013). Les interactions végétales avantageuses incluent la symbiose, dont la symbiose des rhizobiums est la plus connue dans les légumineuses (HAN et al.,2020). Ainsi, les mycorhizes qui se propagent à travers les racines des plantes et certains champignons présents dans le sol (RIMINGTON et al.,2018) Toutefois,

CHAPITRE III: Effet des rhizobactéries promotrices de la croissance des plantes (PGPR)

certains microbes sont préjudiciables, tels que *R. solanacearum* qui est nuisible aux cultures de pommes de terre, tandis que d'autres semblent sans effet (WANG et al., 2019).

Autour des racines se trouvent également des protozoaires et des nématodes qui se nourrissent de bactéries. Ainsi, la majorité des périodes de cycle des nutriments et de la prédation se déroulent à proximité immédiate des racines, où se déroule une activité métabolique forte (DOMMERGUES,1978).

La structure racinaire et la composition des exsudats racinaires évoluent généralement au cours du développement de la plante et selon les conditions environnementales (eau, température), ce qui peut également influencer la dynamique des populations microbiennes de la rhizosphère, car les plantes exercent une pression sélective en émettant des signaux spécifiques, ce qui réduit souvent la diversité microbienne et favorise des espèces ou des souches spécifiques (BERTRAND et al.,2000).

3. Les Rhizobactéries promotrices de la Croissance des Plantes

3.1. Définition de Rhizobacteria (PGPR)

La première utilisation du terme PGPR remonte à la fin des années 1970 par Kloepper et Schroth. Les rhizobactéries favorisant les nodules sont également appelées Nodule Promoting Rhizobacteria (NPR) (BAZOT,2005) et Plant Health- Promoting Rhizobacteria (PHPR) rhizobactéries favorisant la santé des plantes (SINGH,2018). Les PGPR sont des bactéries qui se trouvent dans la rhizosphère (BENMATI,2014). En se basant sur leur interaction, on pourrait les classer en deux catégories : symbiotique et libre. Le premier est à cause de leur existence à l'intérieur des parties de la plante et d'une interaction directe avec l'échange de métabolites, tandis que le second est à l'extérieur. Dans les espaces intercellulaires de la plante, certaines bactéries symbiotiques vivent, tandis que d'autres peuvent s'engager dans une interaction mutualiste afin de pénétrer à l'intérieur de la cellule végétale (SINGH,2018).

3.2 Rôle des PGPR

Les PGPR présentent de nombreuses applications intéressantes dans le domaine de l'agriculture, comme la biofertilisation et la lutte biologique par les biopesticides (Tableau 2), ainsi que dans le domaine de la phytoremédiation et d'autres applications environnementales, comme le reboisement pour des sols stériles ou chimiquement contaminés (BASHAN et al., 2004, LUGTENBERG et KAMILOVA,2009 ; WEYENS et al.,2009). Les plantes bénéficient de leurs effets positifs grâce à des mécanismes d'action directs ou indirects (BEAUCHAMP,1993 ; GLICK,1995). Selon Somers et al. (2004), les PGPR ont été divisés en trois catégories : les PGPR biofertilisants (qui augmentent la disponibilité des éléments nutritifs des plantes), les PGPR phytostimulateurs (qui favorisent la croissance en produisant des

CHAPITRE III: Effet des rhizobactéries promotrices de la croissance des plantes (PGPR)

phytohormones), les PGPR rhizoremédiateurs (qui dégradent les polluants organiques) et les PGPR biopesticides (qui contrôlent les agents phytopathogénétiques) (KIRDI,2011). Traditionnellement, on distingue le mécanisme PGP en mécanisme direct et mécanisme indirect (Figure 10). La distinction entre les deux n'est pas forcément nette. Les processus indirects ont lieu en dehors de la plante, tandis que les processus directs ont lieu à l'intérieur de la plante et métabolisent directement la plante (GOSWAMI et al.,2016). Grâce aux conséquences directes et indirectes des PGPR sur les plantes hôtes, ils ont été des candidats parfaits pour la création et la vente d'inoculants biologiques et de produits phytoprotecteurs microbiens. Toutefois, la manière d'agir et le mécanisme de PGPR varient en fonction du type de plante hôte. De plus, il existe d'autres éléments qui influencent également le rôle des PGPR, tels que le génotype de la plante, le stade de développement, le mécanisme de défense de la plante et l'existence d'autres membres de la communauté microbienne, ainsi que des facteurs abiotiques tels que le type, la composition et l'historique de la gestion du sol, ainsi que les conditions environnementales générales (BASU et al.,2021).

Tableau N°02 : (RIAZ et al.,2021).

Termes	Définitions	Mécanismes
Biofertilisant	Une substance contenant des microorganismes, quand elle est appliquée à la semence, la surface de la plante ou au sol, elle colonise la rhizosphère et stimule la croissance végétale par l'amélioration de la nutrition ou la disponibilité des nutriments essentiels à la plante.	<ul style="list-style-type: none"> -Fixation biologique de l'azote. -Solubilisation du phosphore insoluble.
Biopesticide	Microorganismes améliorant la croissance des plantes par le contrôle des agents phytopathogène, principalement par la production des antibiotiques et des métabolites antifongiques.	<ul style="list-style-type: none"> - Production des antibiotiques (sidérophores, HCN, métabolites antifongiques). - Production des enzymes qui dégradent les parois cellulaires des champignons. - Compétitivité à l'encontre des agents phytopathogènes, principalement par la production des antibiotiques et des métabolites antifongiques. - Résistance systémique acquise et induite.

CHAPITRE III: Effet des rhizobactéries promotrices de la croissance des plantes (PGPR)

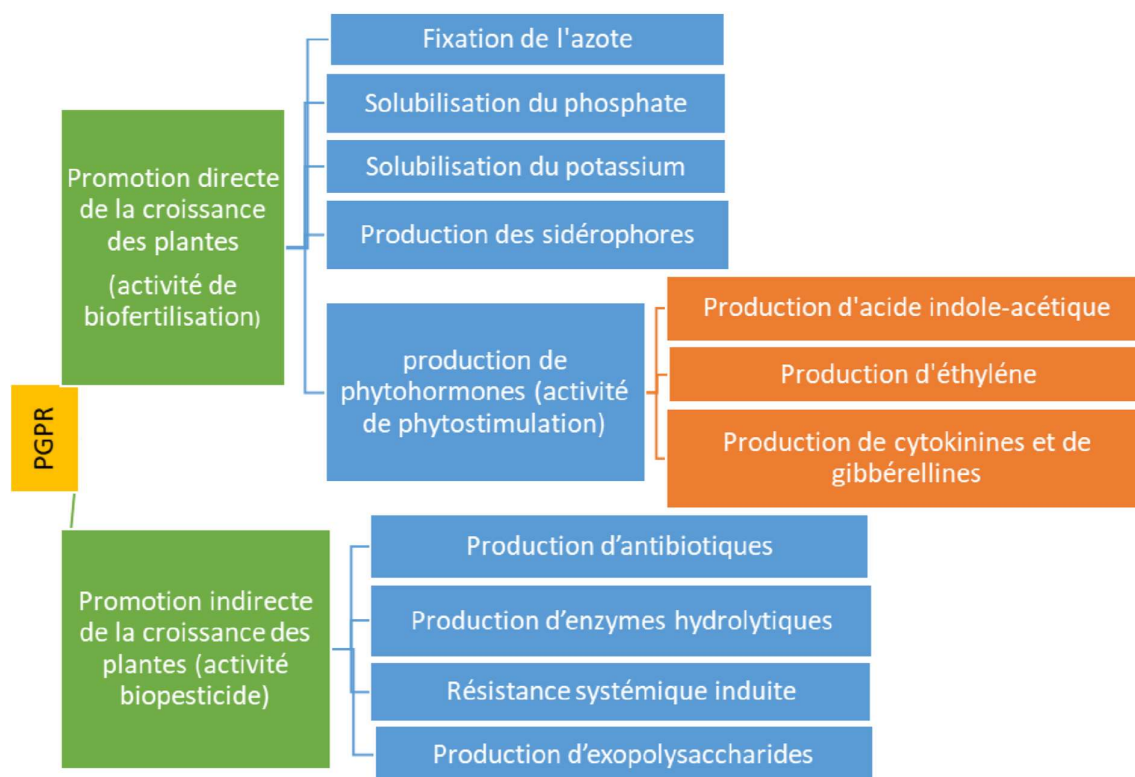


Figure N° 10 : Schéma montrant que les PGPR affectent directement et indirectement la croissance des plantes (GUPTA *et al.*,2015).

4. Effets directs des PGPR

Les mécanismes directs des PGPR incluent ceux qui affectent l'équilibre des régulateurs de croissance des plantes, soit en libérant les régulateurs de croissance intégrés dans la plante par les microorganismes, soit en agissant comme un puits d'hormones libérées par les plantes, ce qui améliore la capacité d'adaptation des plantes (GOSWAMI *et al.*,2016).

L'approche directe du PGPR englobe :

- Pour améliorer la nutrition des plantes et/ou favoriser leur croissance et leur développement, il est recommandé de fournir des phytonutriments tels que de l'azote fixé ou des minéraux solubles dans le sol tels que le P, le K, le Zn, le Fe et d'autres nutriments mineurs essentiels.
- Mettre en équilibre les hormones végétales (comme l'auxine, la cytokinine, la gibbérelline, l'acide abscissique et l'éthylène) afin de contrôler les plantes (BASU *et al.* 2021).

CHAPITRE III: Effet des rhizobactéries promotrices de la croissance des plantes (PGPR)

5. Stimulation et germination des graines

5.1. Acquisition des ressources

5.1.1. Fixation de l'azote

Il arrive fréquemment que l'azote soit sous forme gazeuse (N_2) qui est inaccessible aux plantes et aux animaux, ou qu'aucune espèce végétale ne peut fixer l'azote atmosphérique et l'utiliser directement pour leur végétation (PUJIC et NORMAND, 2009 ; ARORA NK et al., 2012). Les plus célèbres PGPR sont *Azoarcus* sp., *Burkholderia* sp., *Gluconacetobacter diazotrophicus*, *Herbaspirillum* ; *Azotobacter Paenibacillus*, qui transforment l'azote atmosphérique en ammoniac par un mécanisme enzymatique. La rhizobia est une vaste famille de rhizobactéries qui peuvent établir des interactions symbiotiques en colonisant et en créant des nodules racinaires, où l'azote est fixé et transformé en ammoniac, puis rapidement en nitrate pour être rendu accessible à leur hôte. À l'origine, la bactérie entre dans la racine, puis se fixant sur les nodules où l'azote se fixant. (MUNES et MULUGETA, 2013). La fixation de l'azote, la solubilisation du phosphate, l'absorption du fer par les sidérophores, la désaminase de l'ACC réduit les niveaux d'éthylène, et la production d'IAA favorise la croissance des cellules végétales (VOCCIANTE et al., 2022).

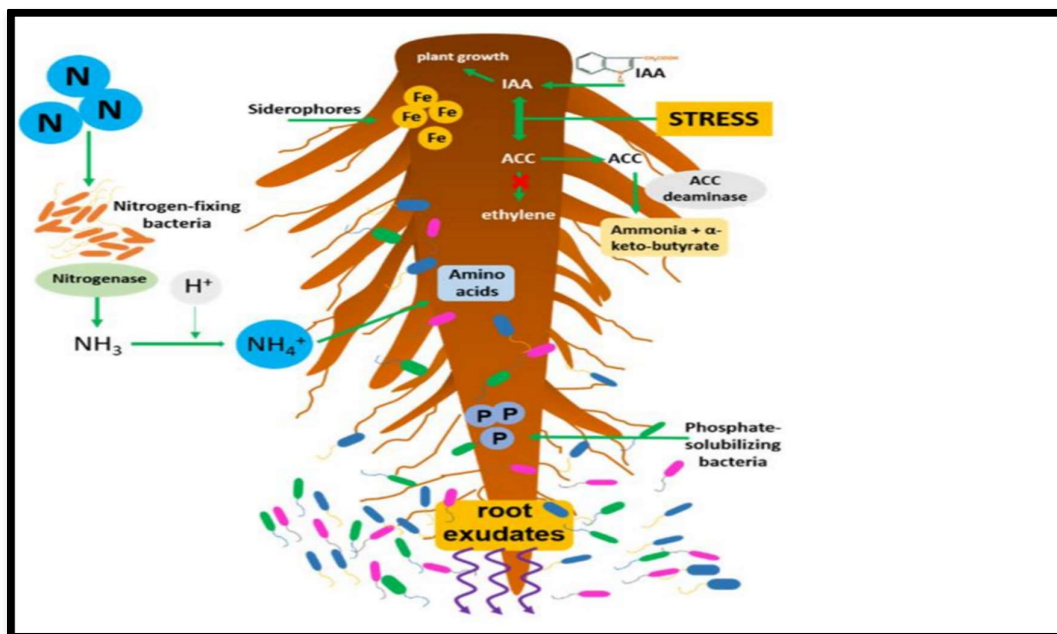


Figure N° 11 : Schéma simplifié des principales activités du PGPR et de leurs interactions avec le système racinaire.

CHAPITRE III: Effet des rhizobactéries promotrices de la croissance des plantes (PGPR)

5.1.2. Solubilisations du phosphate

L'une des techniques les plus couramment employées pour augmenter les rendements agricoles est la fertilisation des sols. En plus de la fixation biologique de l'azote, la dissociation du phosphate est également essentielle. Le phosphate (P) est essentiel pour la croissance et le développement des plantes, mais il est également un nutriment indispensable qui restreint leur croissance. Contrairement à l'azote, il n'existe pas d'origine biologiquement exploitable (EZAWA et al.,2002). (VESSEY,2003). Les micro-organismes permettent aux plantes de bénéficier du phosphore en minéralisant le phosphore organique du sol et en dissolvant les phosphates précipités (KUCEY et al.,1989 ; PRADHAN et SUKLA,2005). Certains micro-organismes ont la capacité de transformer le phosphore insoluble en une forme accessible, ce qui est une caractéristique essentielle des PGPR. La présence de bactéries capables de solubiliser le phosphate dans la rhizosphère pourrait constituer une source prometteuse de biofertilisants agricoles (SHARMA et al., 2007). La production d'acides organiques est le principal processus de solubilisation des phosphates. On retrouve les acides gluconiques et 2-cétogluconiques les plus fréquemment. On a également repéré les acides glycolique, oxalique, malonique et succinique. Quelques souches peuvent aussi synthétiser des mélanges d'acides lactique, isovalérique, isobutyrique et acétique. Les acides qui mobilisent le phosphore sont libérés par l'interaction ionique avec les cations du sel de phosphate, ce qui entraîne l'acidification des cellules microbiennes et de leur environnement, ce qui entraîne la libération du phosphate sous forme ionique (KUMAR et NARULA, 1999 ; POOLE et al., 2002). Par conséquent, la combinaison de *Bacillus* spp. avec d'autres souches PGPR permet de diminuer la consommation de phosphore de 50% sans impacter la productivité du maïs. L'utilisation de *B. megaterium* pour solubiliser les phosphates permet d'augmenter de 12,6% les rendements de la canne à sucre (SUNDRA et al., 2002). Les plantes cultivées présentent fréquemment des PSB dans leur rhizosphère, et certaines associations bénéfiques incluent *B. megaterium* et les pois chiches. *B. licheniformis*, *B. megaterium* et le blé ainsi que les épinards, *Pantoea agglomerans* et la tomate (KIM et al. 1998). *Pseudomonas chlororaphis*, *Pseudomonas putida* et le soja, ainsi que les souches PGPR isolées de la rhizosphère de fourrage, *Serratia marcescens*, *Pseudomonas sp* et le maïs. (HAMEEDA et al. 2008).

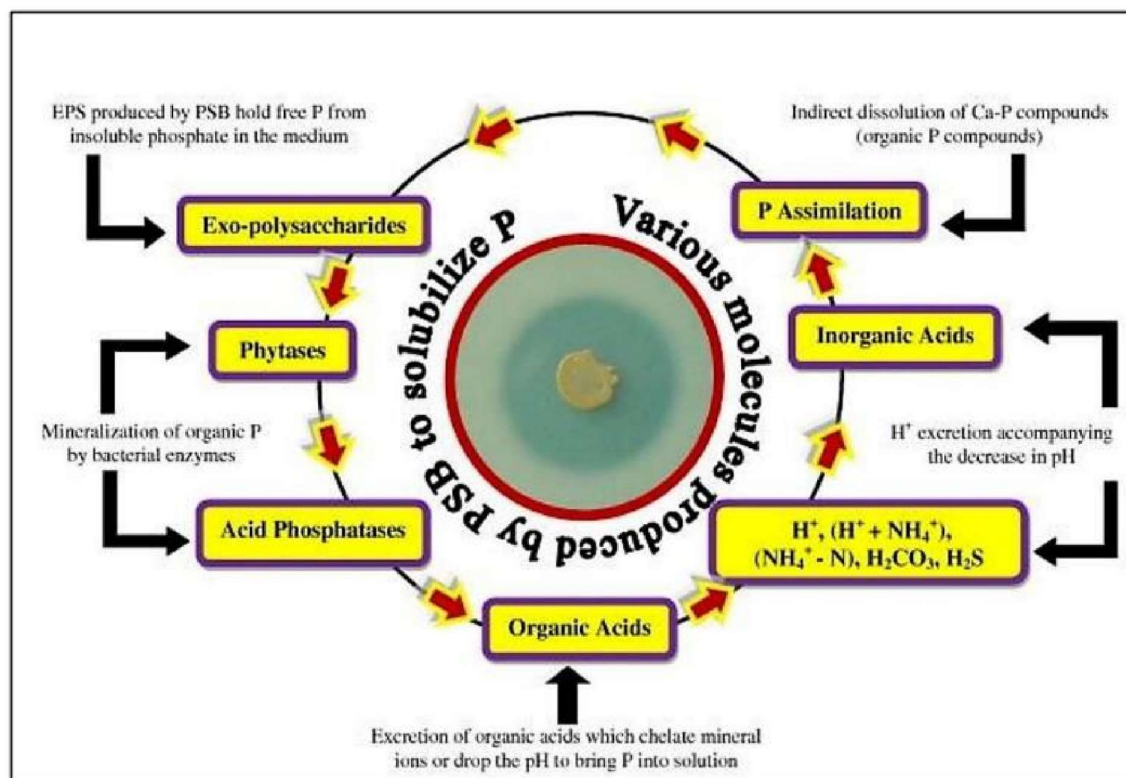


Figure N° 12: Mécanismes d’actions des bactéries solubilisant les phosphates (KHAN et al. QADIR, YAQOOB ,2009).

5.1.3. Solubilisations du potassium

Le potassium (K) se présente dans le sol sous quatre formes différentes : l’ion K (K^+) dans la solution du sol, en tant que cation échangeable, étroitement fixé à la surface des minéraux argileux et de la matière organique, étroitement retenu ou fixé par les minéraux micacés altérés et présent dans le réseau de certains minéraux contenant du K^+ . Toutefois, l’altération du sol, l’histoire des cultures et l’utilisation d’engrais ont un impact sur la concentration du K (KUMAR et DUBEY,2012).

Le troisième macronutriment indispensable à la croissance des plantes est le potassium. En général, la quantité de potassium soluble dans le sol est très faible et plus de 90 % se trouve sous forme de roches et de silicates minéraux insolubles. En raison d’une utilisation inadéquate des engrais, la pénurie de potassium est devenue l’un des principaux obstacles à la production agricole. En l’absence de K adéquat, les racines des plantes se déformeront, se développeront lentement, produiront de petites graines et fourniront des rendements faibles. Cela met l’accent sur la quête de sources primaires alternatives de potassium afin que les plantes puissent absorber et maintenir le potassium dans le sol, ce qui contribue à la production agricole en produisant et

CHAPITRE III: Effet des rhizobactéries promotrices de la croissance des plantes (PGPR)

en sécrétant des acides organiques, les rhizobactéries qui favorisent la croissance des plantes peuvent dissoudre la roche de K. Parmi elles, on retrouve *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Bacillus edaphicus*, *B. mucilaginosus*, *Burkholderia*, *Paenibacillus sp* et *Pseudomonas*. Le K est libéré par ces bactéries sous forme accessible à partir de minéraux potassiques. Ainsi, la mise en œuvre de rhésus pour dissoudre le K dans le but de favoriser les plantes en tant qu'engrais biologiques pour l'amélioration agricole peut diminuer l'utilisation de pesticides et favoriser une production agricole respectueuse de l'environnement (GUPTA et al. 2015).

5.1.4. Productions des sidérophores

Le fer joue un rôle essentiel en tant que nutriment pour pratiquement toutes les formes de vie (NEILANDS,1995). Certains PGPR génèrent des sidérophores, des composés moléculaires de faible poids, généralement inférieurs à 1 kDa, qui renferment des groupements fonctionnels capables de capter le fer en les rendant assimilables par les plantes (Kirdi Et ZERMANE,2010). Selon (ROSSUM, 1994). Les sidérophores (sidéros = fer ; phoros = transport) sont des composés organiques qui présentent une affinité très élevée et qui sont particulièrement adaptés au fer chélaté. Les sidérophores permettent aussi d'accroître la disponibilité du fer en raison d'une complexation élevée de Fe³⁺. Ils demeurent en solution, ce qui favorise la diffusion du fer à la surface de la cellule. On connaît actuellement près de 500 structures sidérophores, créées par des bactéries, des champignons et des plantes (BOUKHALFA Et CRUMBLISS, 2002).

5.1.5. Productions des phytohormones

Les phytohormones sont des substances chimiques qui influencent la capacité des plantes à faire face à leur milieu. Il ne faut pas négliger leur importance dans les réactions des plantes face aux stress biotiques et abiotiques. Plusieurs recherches ont démontré que l'incorporation d'hormones en tant que molécules de signalisation ne se limite pas aux plantes, mais s'inscrit également dans la communication entre les bactéries et d'autres micro-organismes ou ISR. Les hormones sont classées en cinq grands groupes : les auxines, les gibbérellines, l'éthylène, les cytokinines et l'acide abscissique (PORTEOUS et al, 2006).

5.1.5.1. Les auxines

Dans les années 1920, l'auxine, la première hormone végétale, est produite dans les bourgeons terminaux et est transportée à travers les tissus vivants jusqu'aux racines où elle se constitue. On peut résumer le rôle de ces molécules dans les points suivants (PORTEOUS et al. 2006).

- Encourage le développement (allongement des cellules) et la dormance apicale.
- Empêche la croissance des bourgeons latéraux.

CHAPITRE III: Effet des rhizobactéries promotrices de la croissance des plantes (PGPR)

- Évitez que les feuilles et les fruits ne tombent.
- Peut réguler la chute des fruits.
- Agrandissement des racines et croissance des poils absorbants.
- Les tiges et les racines se développent : les bourgeons auxiliaires se développent.
- Fleurissement et fructification.

5.1.5.2. Les gibbérellines

Les champignons et les plantes supérieures produisent ces hormones, qui sont le seul groupe d'hormones végétales qui peuvent être caractérisées par leur structure chimique plutôt que par leur activité biologique. Les gibbérellines font partie d'une vaste famille chimique composée de l'entakaurène. Elles favorisent la croissance des tiges, la croissance des feuilles et des fruits, rompent la dormance des graines et des bourgeons ; les GB sont généralement sous forme conjuguée (avec du glucose) et forment des réserves temporaires observées dans divers organes tels que les graines de haricot, les graines de tomate et les graines de céréales. On utilise des GB artificielles afin d'obtenir des fruits sans avoir besoin de fécondation, de provoquer la floraison ou de stimuler la dormance de certaines graines. On utilise des inhibiteurs de GB (anti gibbérellines) afin de diminuer la réduction (MEZAACHE,2012).

5.1.5.3. La réduction de la production de l'éthylène

Il s'agit d'un hydrocarbure gazeux de formule $H_2C=CH_2$. Il est abondant à partir de fleurs pendant la floraison et de fruits pendant la maturation. En général, il entraîne la chute des feuilles et leur permet de se maturer. L'usage de l'éthéphon a différentes conséquences (PORTEOUS et al., 2006).

Il s'agit d'un hydrocarbure gazeux de formule $H_2C=CH_2$. Il est abondant à partir de fleurs pendant la floraison et de fruits pendant la maturation. En général, il entraîne la chute des feuilles et leur permet de se maturer. L'usage de l'éthéphon a différentes conséquences (MEZAACHE,2012).

5.1.5.4. La production des cytokinines

Il s'agit de composés plutôt simples qui jouent le rôle de facteurs de développement. (SINGLETON et al. 2006). On les produit principalement dans les racines, puis on les transporte dans toute la plante. Ils se trouvent sur le site d'action de l'AIA, ont la possibilité d'interagir avec celui-ci et sont souvent résumés in situ (TSUJI et MINAMI,1987) .En 1964, les graines de maïs ont été utilisées pour extraire la première cytokinine naturelle. Les racines produisent principalement les cytokinines. Souvent, ils interagissent avec d'autres hormones, notamment l'hormone de croissance. Ils favorisent la croissance cellulaire et la production de protéines.

CHAPITRE III: Effet des rhizobactéries promotrices de la croissance des plantes (PGPR)

Quelques espèces (bananes, tomates, pommes) ont montré l'effet des cytokinines sur la croissance des fruits. En culture in vitro, les cytokinines sont employées afin de favoriser la croissance des plantes (PORTEOUS et al.,2006).

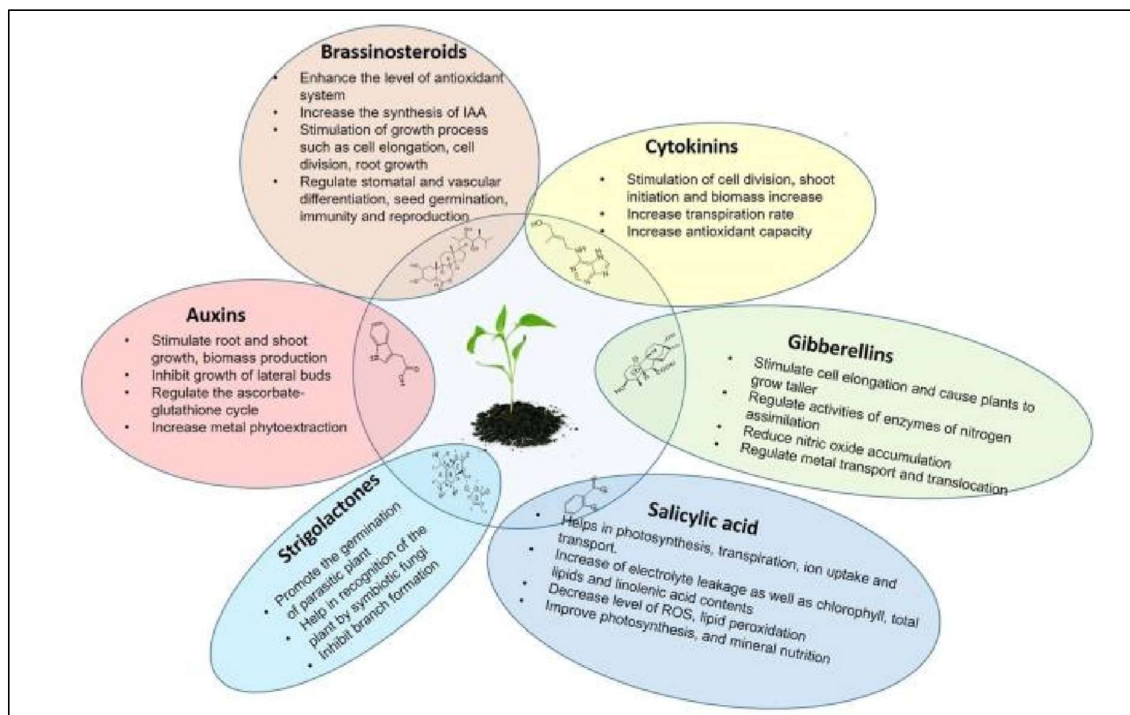


Figure N° 13 : Rôles importants de six phytohormones importantes dans les plantes (OKSANA et al.,2018).

5.1.5.5. L'acide abscissique

Différents processus de croissance et de développement sont inhibés et la période de dormance des bourgeons et des graines est prolongée. Cette hormone, également connue sous le nom de stress ou d'hormone du stress, agit en régulant l'ouverture et la fermeture des stomates lorsque les conditions environnementales de la plante ne lui sont pas favorables (comme le froid ou les blessures) (PORTEOUS,2006).

6. Production de l'enzyme oxalate-oxydase

Il est extrêmement difficile de gérer les cultures contre l'infection par le champignon de la moisissure blanche en raison de la longévité du champignon *Sclerotium sclerotium*. La production et l'accumulation de grandes quantités d'acide oxalique (AO) sont l'un des facteurs majeurs de la pathogénicité lors des premiers stades de l'infection. Sans tenir compte de la présence d'agents pathogènes, une fois l'AO produit et accumulé, il sera essentiel pour l'émergence des symptômes de maladies similaires. Selon (MAXWELL et LUMSDEN,1970) l'AO produit par *S. sclerotiorum* agit en collaboration avec les enzymes pectinolytiques et

CHAPITRE III: Effet des rhizobactéries promotrices de la croissance des plantes (PGPR)

cellulolytiques afin de détruire les tissus de l'hôte. L'oxydase oxalique, une nouvelle méthode de lutte biologique contre *S. sclerotiorum*, est utilisée par des bactéries productrices d'oxydase. La production de cette enzyme est extrêmement bénéfique pour combattre la pourriture de la tige des plantes due à *S. sclerotiorum*. Au niveau du terrain, l'utilisation de *Bacillus subtilis* sur les feuilles a diminué la présence de moisissure blanche dans les haricots blancs. In vitro, *Erwinia herbicola* et *B. polymyxa* empêchent la prolifération de *S. sclerotiorum*. Les souches de *Pseudomonas* fluorescentes sont également utilisées pour la détoxification par *R. solani*, qui produit également de l'AO (KUMAR et DUBEY,2012).

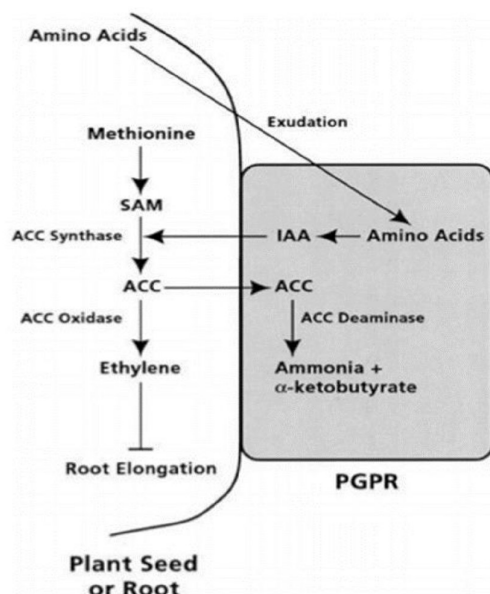


Figure N° 14 : Mécanisme d'action de l'ACC désaminase sur la production de l'éthylène par la plante sous stress abiotiques (GLICK et al.,1998).

CHAPITRE IV :
MATERIEL ET
METHODES

CHAPITRE IV : MATERIEL ET METHODES

Ce travail a été réalisé au niveau du laboratoire de PFE (projet de fin d'étude) du département des sciences biologiques de la faculté des sciences de la nature et de la vie à l'université Ziane Achour de Djelfa.

L'objectif de cette étude consiste à tester 22 souches de rhizobactéries endophytes, provenant des racines de plantes spontanées de la région de Djelfa, pour leurs capacités de moduler favorablement la réponse du blé dur au stress métallique causé par le chrome. Dans un premier temps, ces isolats ont été examinés pour leur aptitude à se développer dans des conditions avec différentes concentrations de chrome hexavalent. Ensuite, les souches sélectionnées ont été testées *in vitro* pour leur capacité à favoriser la germination du blé dur.

1. Matériel:

Matériel biologique : 22 souches de Rhizobactéries Endophytes, des graines de blé dur variété (vitro R2).

Sites d'étude:

Le prélèvement des racines de plantes halophytes spontanées sélectionnées pour l'isolement des bactéries endophytes provient de deux sites steppiques du Nord du Sahara Algérien dans la commune de Hassi Bahbah, Wilaya de Djelfa. Le premier site appelé El Mosrane (S1:34°56'08.0"N 3°03'19.8"E), est représenté par un sol salin recouvert d'espèces végétales variées et peu denses. Le deuxième site, appelé rocher de sel (S2:34°50'03. 00"N, 3°05'58. 56"E), est représenté par un sol très salé et rocailleux avec un recouvrement végétal peu varié (Figure 15).

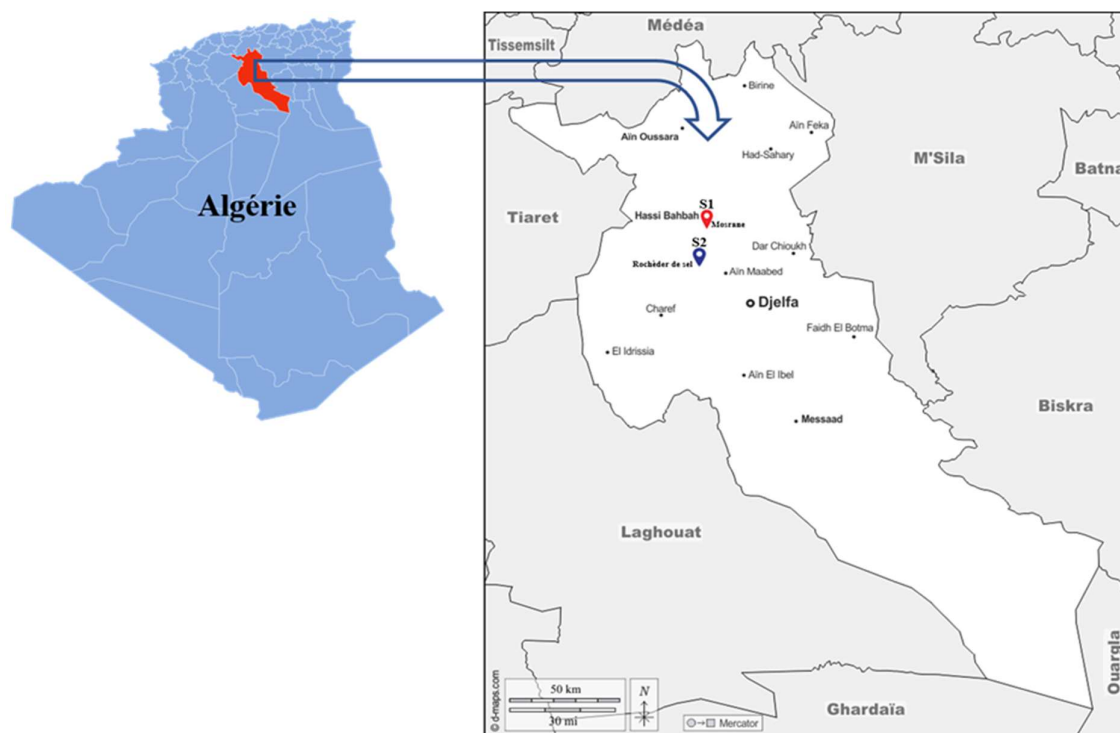


Figure N° 15 : Localisation géographique des deux sites de prélèvements.

1.1. Appareillage:

- Etuve
- Balance analytique
- Hotte
- Micropipette
- Spectrophotomètre UV-visible
- Bec benzène
- Agitateur
- Réfrigérateur
- Chauffe ballon
- Autoclave

1.2. Matériel utilisé:

- Verreries
- Bécher
- Erlenmeyer
- Eprouvette graduée

- Flacon gradué en verre
- Tube à vis

1.3. Produits:

- Chromate de potassium (K_2CrO_4).
- Eau distillé stérile
- Eau de javel

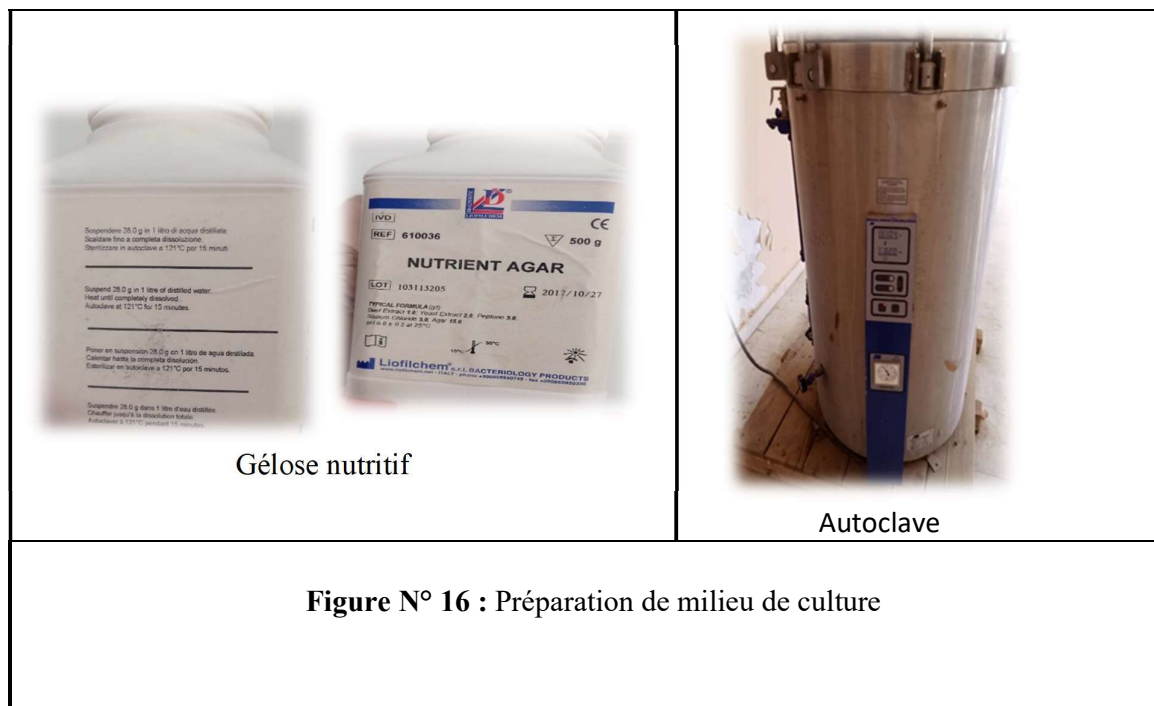
1.4. Matériels consommables:

- Cuvette pour spectrophotomètre UV-visible
- Coton cardé, Ciseaux, Seringue, Gants, Bavette de protection, Blouse
- Embouts de pipettes stériles
- Boite de pétri
- Spatule
- Papier Aluminium, Papier filtre, Pince

2. Méthodes :

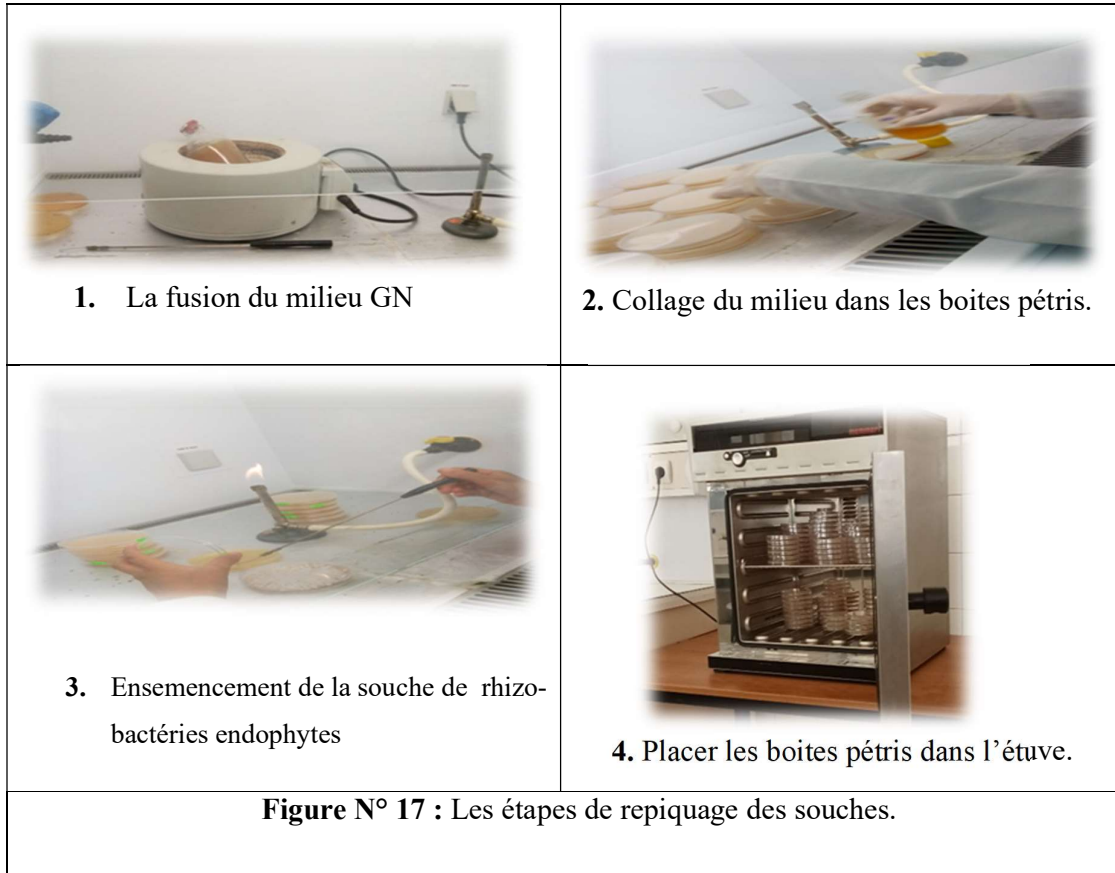
2.1. Préparation de milieu de culture :

On pèse 3 fois 28 g de gélose nutritive (nutriment agar), puis on dissout la poudre dans 3 litres d'eau distillée stérile et après une agitation, on place la solution dans 15 flacons et on stérilise à l'autoclave à une pression 2bar (120° C).



2.2 Ensemencement en milieu solide et repiquage des souches :

Les souches ont été ensemencées sur milieu GN (gélose nutritive) dans des conditions aseptiques, suivi d'une incubation à 30 °C pendant 48 heures selon les étapes décrites ci-dessous (figure 17).



2.3 Préparation de bichromate de potassium :

K_2CrO_4 à un poids moléculaire 194,18 g/mol

K_2CrO_4 194 g \longrightarrow Cr 52g

? \longrightarrow C1 0.1 g = $0,337 \text{ g}/5 = 0,0746$

0,0746 de Concentration 1 dissoudre dans 200ml de GN

0,150 de C2 dissoudre dans 200ml de GN

0,224 de C3 dissoudre dans 200 ml de GN

0,3 de C4 dissoudre dans 200ml de GN

2.4. Test de la résistance des isolats au chrome

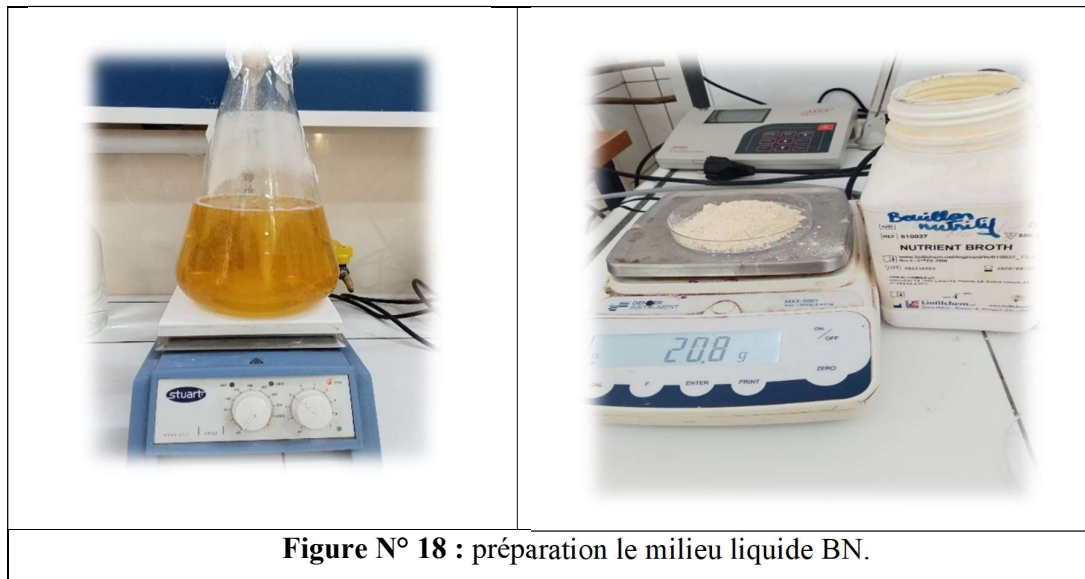
Les souches ont fait l'objet d'un test de résistance à diverses concentrations de chrome sur gélose nutritive. Chaque isolat a été repiqué sur gélouses nutritives avec des concentrations finales de chrome de l'ordre de 0 ppm, 40 ppm, 80 ppm et 120 ppm. Après une incubation de

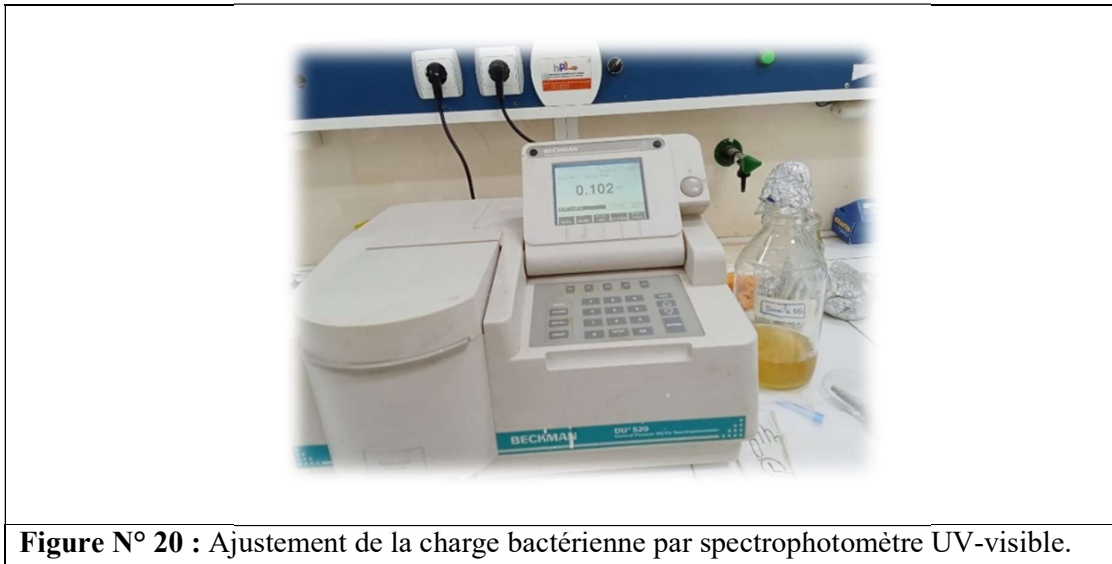
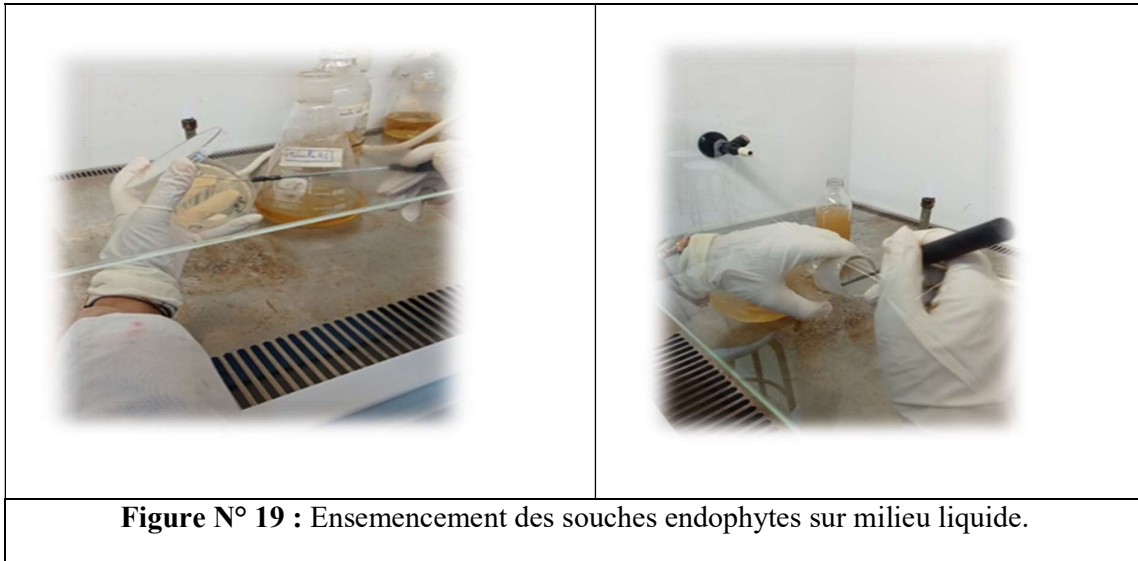
24 à 48 heures, les résultats ont été enregistrés en tenant compte de l'importance du développement microbien à la surface des géloses en question (- : pas de croissance, + : faible développement, ++ : développement moyen, +++ : développement important).

À l'issue de ce test, les performances en termes de croissance à diverses concentrations ont été prises en compte pour la sélection des candidats endophytes, ainsi que leur diversité phénotypique. Cinq (5) candidats bactériens ont été retenus pour faire l'objet d'une caractérisation de leurs effets sur le comportement germinatif et de l'effet PGPB sur le blé dur.

2.5. Préparation des suspensions bactériennes

Les isolats ayant exhibé les meilleures capacités en termes de croissance et de résistance au chrome ont été retenus pour l'évaluation de leur capacité à moduler favorablement la réponse des plantes au stress métallique au stade germinatif. Les 5 souches en question ont été ensemencées sur milieu BN (bouillon nutritif) (150 ml) pour une culture de 48 heures à 30°C, 120 rpm. Chaque suspension ainsi obtenue a fait l'objet d'un ajustement de la charge bactérienne à une valeur de 0,1 à 600 nm (équivalant à 10^6 - 10^8 UFC/ml) par spectrophotomètre UV-visible, étalonnée par milieu BN stérile.





2.6. Préparation des graines

Les graines de variété de blé sélectionnée ont subits un nettoyage au préalable dans de l'eau distillée stérile (2 fois). Les surfaces de celles-ci ont été par la suite stérilisées par immersion dans de l'hypochlorite de sodium à 4% durant 5 min. Les graines ayant subits cette désinfection sont lavées aseptiquement avec de l'eau distillées stérile (5 fois) puis séchées à l'air dans des conditions d'asepsie toujours, en les mettant dans du papier absorbant stérile (en les mettant sur trois couches de papier et en les recouvrant de trois autres couches) (GOUDJAL,2014).

2.7. Traitement bactérien des graines

Le traitement bactérien des semences a été réalisé dans des conditions d'asepsie sous hotte. Pour chaque lot, 100 graines stérilisées ont été placées dans 18 ml de suspension bactérienne ajustée (le tout dans un tube à essai) pour une durée d'incubation de 2 heures dans l'obscurité, sous agitation à 120 rpm.

Les graines des lots « contrôle » ont quant à elles été immergées dans le milieu BN pendant 2 heures sous agitation à 120 rpm (WE ,2009).

2.8. Semis des graines

Une fois les grains traités prêtes, celles-ci ont été déposées aseptiquement dans les boites de pétrie préparées au préalable en mettant 10 graines par boites (10 grains X 3 boites par lot), espacées entre-elles par 1 cm au minimum. Chaque boite fut arrosée par la solution correspondante.

2.9 Les paramètres physiologiques étudiés :

2.9.1. Le pourcentage de germination final (FGP, %) :

Le pourcentage de germination finale a été calculé selon l'équation suivante :

$$FGP = (n / N) \times 100$$

Où 'n' est le nombre de graines germées et N est le nombre de graines testées.

2.9.2. La Germination moyenne journalière (MDG, %) :

La germination moyenne journalière (MDG) a été estimée comme décrit par (Almaghrabi et al., 2014) :

$$MDG = N / D$$

Où N est le nombre total de graines germées et D est le nombre total de jours.

2.9.3. Le temps moyen de germination (MGT) :

Le temps moyen de germination (MGT) a été obtenu par l'expression suivante (AKINCI & AKINCI, 2010) :

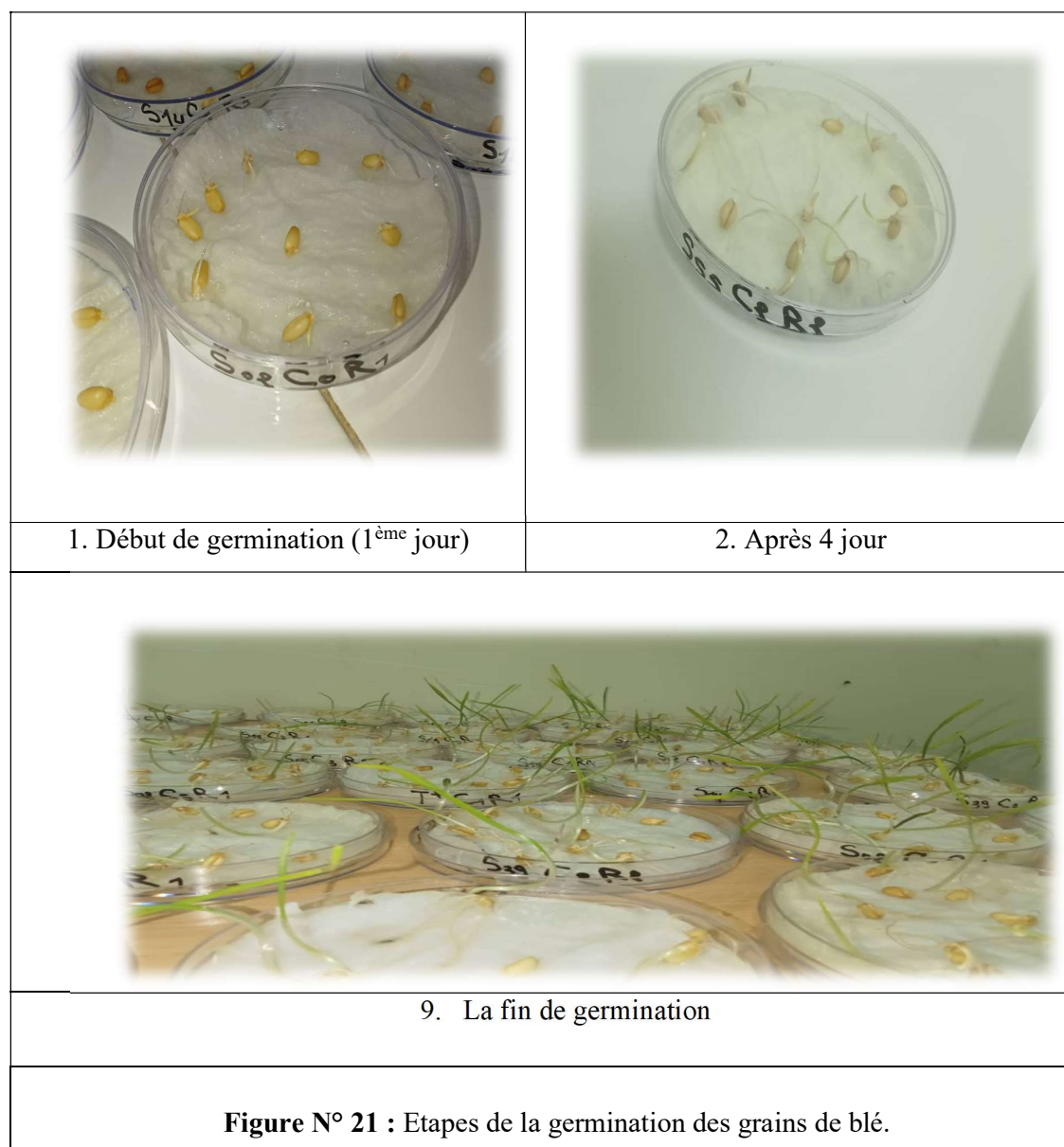
$$\text{MGT} = \frac{\sum (n \times d)}{\sum n}$$

Où 'n' est le nombre de graines qui ont germé le jour 'd' après imbibition.

2.9.4. L'indice de germination (GI) :

L'indice de germination (GI) a été déterminé par la formule donnée par (SALEHZADE et al., 2009).

$$\text{GI} = \sum (ni / Di)$$



2.9.6. Le poids sec(PS) et le poids frais(PF) :

Après la germination, on sépare les feuilles et les racines ainsi que les grains de blé de la boîte de Pétri, on mesure les feuilles et les racines et nous jetons les grains de blé, ensuite et à l'aide d'une balance de précision, le poids de la matière fraîche des feuilles a été rapidement déterminé après leur récolte, et les feuilles sont placées dans des enveloppes puis transférées à une étuve à 70°C pendant 48 heures. Ensuite, les feuilles séchées sont repesées afin de déterminer le poids de la biomasse sèche.



2.9.7. Teneur en eau (TE)

La teneur en eau est la différence entre la valeur de la matière fraîche (MF) et la valeur de la matière sèche (MS) qui est exprimée par la relation suivante :

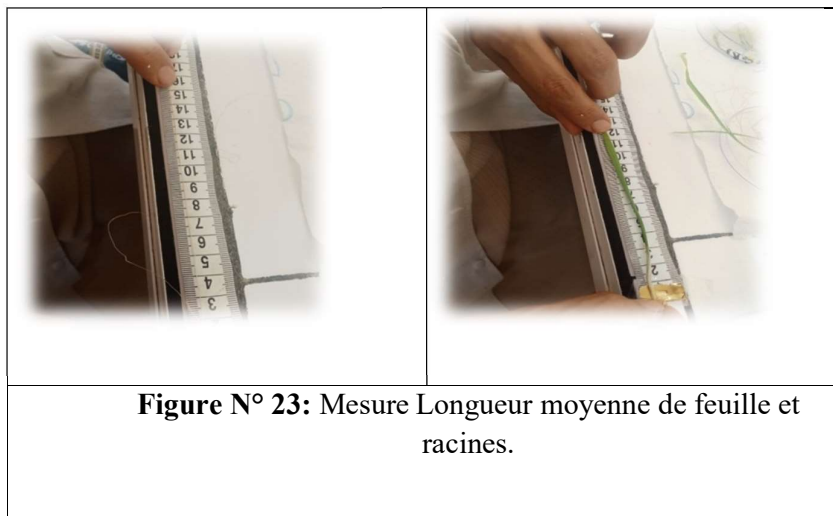
$$TE=PF-PS$$

2.9.8. Longueur moyenne de la première feuille (LMF)

Après 10 jours de mise en culture, la longueur de la première feuille de chaque graine germée est mesurée à l'aide d'une règle. La longueur moyenne est calculée pour chaque boîte de pétri et pour chaque condition de traitement.

2.9.9 Longueur moyenne des racines (LMR)

La longueur maximale des racines séminales a été déterminée comme étant la longueur de la racine la plus longue, en moyenne de l'échantillon de dix plantules (SIMMONS et al.1995).



3. Etude statistique

Afin de déterminer les interactions entre les concentrations de chrome hexavalent utilisées et l'inoculation des grains de blé dur par des souches de rhizobactéries. Nous avons réalisé une étude statistique de l'analyse de la variance (ANOVA) à deux facteurs (les souches de *rhizobactéries* et la concentration du chrome), suivie d'une comparaison des moyennes au seuil de 0.05 pour identifier les groupes homogènes pour les différents tests, tout en s'aidant du logiciel STATISTICA 6.1.

CHAPITRE V :
RESULTATS ET
DISCUSSIONS

1. Résultats

Dans ce chapitre, Nous discuterons également ces résultats obtenus et les comparerons avec les résultats de travaux expérimentaux antérieurs, Afin de connaître la capacité de la plante à tolérer et à remédier aux sols contaminés par le chrome hexavalent et son effet sur celui-ci, et l'effet bénéfique de rhizobactérie endophyte pour éliminer le chrome.

1.1. Test de la résistance des isolats au chrome :

À l'issue de ce test, les performances en termes de croissance à diverses concentrations ont été prises en compte pour la sélection des candidats endophytes, ainsi que leur diversité phénotypique. Suite à ceci, les 05 meilleurs isolats endophytes furent sélectionnés, à savoir: S55, S02, S14, S21, S39 (tableaux, 03, 04 et 05).

Ces cinq (5) candidats bactériens ont été retenus pour faire l'objet d'une caractérisation de leurs effets sur le comportement germinatif et de l'effet PGPB sur le blé dur.

Tableau 03. Test de la résistance des isolats au chrome (1^{er} jour de croissance) :

Souches	C4	C3	C2	C1
S70	+	+	++	++
S23	++	++	++	++
S30	-	+	++	+
S13	+	+	++	++
S26	-	-	++	++
S07	-	+	++	++
S55	++	++	++	++
S60	+	+	+	++
S15	+	+	++	++
S40	+	+	+	++
S06	+	+	+	++
S22	++	++	++	++
S08	-	+	+	+
S04	-	+	+	+
S18	-	+	+	+
S42	-	-	-	+
S19	++	++	++	++
S42	-	-	-	+
S29	++	++	++	++
S34	++	++	++	++
S02	++	++	++	++
S14	+	++	++	++
S88	-	-	-	-
S21	+	+	+	++
S39	++	++	++	++
S11	+	+	+	+

Figure N° 24 : Lecture de la croissance des souches (1^{er} jour).

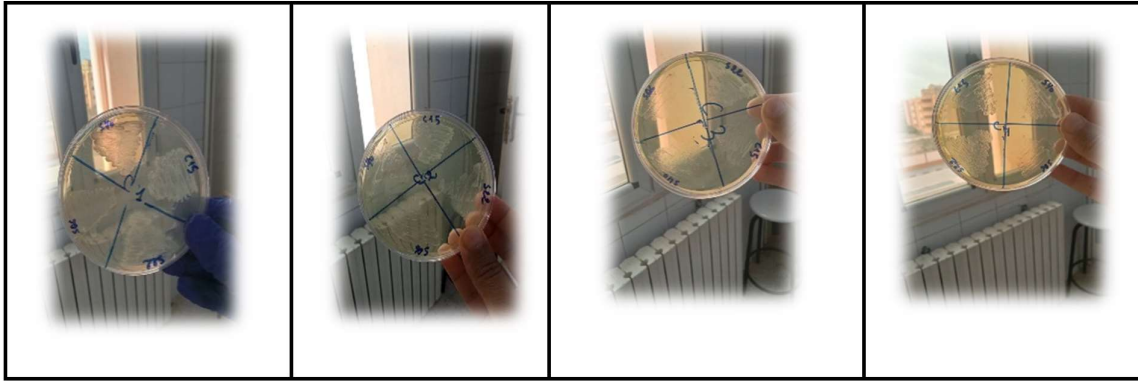


Tableau 04. Test de la résistance des isolats au chrome (2^{ème} jour de croissance) :

Chaque souche	C4	C3	C2	C1
S70	+	+	++	++
S23	++	++	+	++
S30	-	+	+	+
S13	+	+	+	++
S26	+	+	+	++
S07	-	-	-	++
S55	++	++	++	++
S60	+	+	+	++
S15	+	+	+	+
S40	+	+	+	++
S06	+	+	+	+
S22	++	++	++	++
S08	-	-	-	-
S04	-	+	+	++
S18	++	++	++	++
S42	-	-	-	+
S19	++	++	++	++
S42	-	-	-	+
S29	++	++	++	++
S34	++	++	++	++
S02	++	++	++	++
S14	++	++	++	++
S88	-	-	-	-
S21	++	++	++	++
S39	++	++	++	++
S11	+	++	++	++

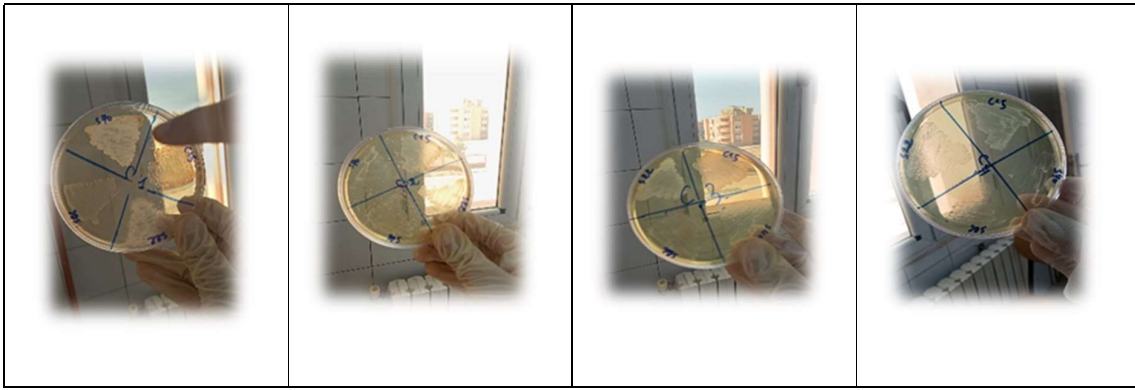


Figure N° 25 : Lecture de la croissance des souches (2^{ème} jour).

Tableau 05. Test de la résistance des isolats au chrome (3^{ème} jour de croissance) :

Chaque souche	C4	C3	C2	C1
S70	+	++	++	++
S23	++	++	++	++
S30	-	+	+	++
S13	+	+	++	++
S26	+	++	++	++
S07	-	-	-	++
S55	++	++	++	++
S60	+	+	+	++
S15	++	++	++	++
S40	-	-	+	++
S06	+	+	+	++
S22	++	++	++	++
S08	-	-	-	+
S04	+	+	+	++
S18	++	++	++	++
S42	-	-	-	++
S19	++	++	++	++
S42	-	-	-	++
S29	++	++	++	++
S34	++	++	++	++
S02	++	++	++	++
S14	++	++	++	++
S88	-	-	-	-
S21	++	++	++	++
S39	++	++	++	++
S11	+	+	++	++

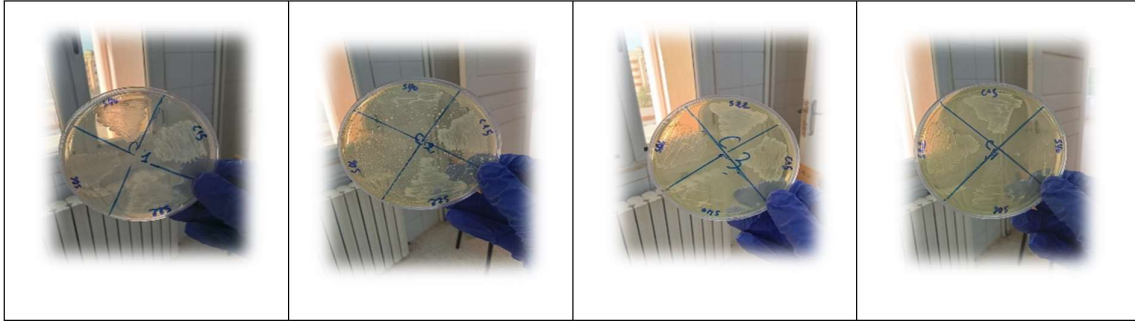


Figure N° 26: Lecture de la croissance des souches (3^{ème} jour).

1.2. Les paramètres de la germination :

1.2.1. Le pourcentage de germination final (FGP) :

La figure (27) visualise l'effet du stress oxydatif sur le pourcentage de germination final (FGP, %) des grains de blés durs traités par les 5 souches de *rhizo-bactéries endophytes*. On remarque une légère diminution du pourcentage de germination final chez les graines de blé dur traitées par les différentes souches comparativement au témoin.

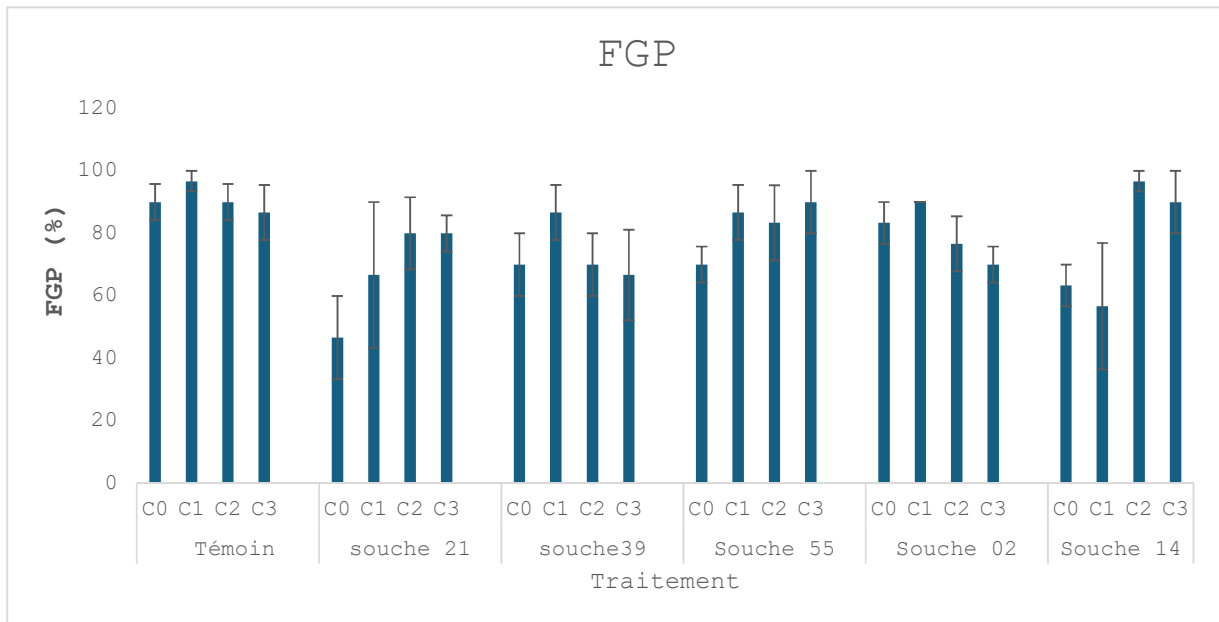


Figure N° 27: L'effet du stress oxydatif sur le pourcentage de germination final (FGP, %) des graines de blé dur traitées par les 5 souches de rhizo-bactéries endophytes.

L'analyse de la variance de l'effet du stress oxydatif (annexe 1 tableau 1) ne révèle aucune différence significative du pourcentage de germination final (FGP, %) des graines de blé dur traitées par les souches de rhizo-bactéries endophytes utilisées.

1.2.2. La Germination moyenne journalière (MDG, %) :

La figure (28) montre l'effet du stress oxydatif sur la germination moyenne journalière (MDG, %) des graines de blé dur traitées par les 5 souches de rhizo-bactéries endophytes. En comparaison au témoin, une diminution a été enregistrée chez les graines traitées par les cinq souches, particulièrement dans la souche 21 et 39.

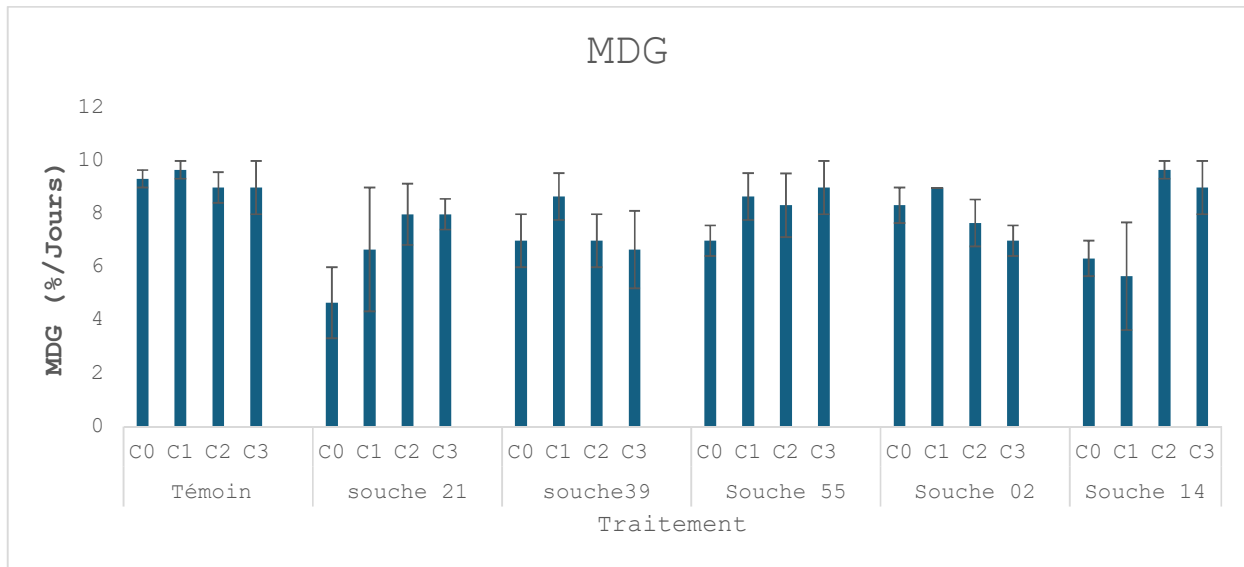


Figure N° 28 : L'effet du stress oxydatif sur la germination moyenne journalière (MDG, %) des graines de blé dur traitées par par les 5 souches de rhizo-bactéries endophytes.

L'analyse de la variance de l'effet du stress oxydatif (annexe 1 tableau 2) ne révèle aucune différence significative de la germination moyenne journalière (MDG, %) des graines de blé dur traitées par les 5 souches de rhizo-bactéries endophytes.

1.2.3 Le temps moyen de germination (MGT) :

D'après la figure (29) qui représente l'effet du stress oxydatif sur le temps moyen de germination (MGT) des graines de blé dur traitées par les 5 souches de rhizo-bactéries endophytes, on observe que les graines de blé dur ont pris plus de temps pour germer dans les déférentes concentrations de Cr (VI) (MGT longue). Lors du traitement des graines avec les cinq souches, on constate que les graines de blé dur ont germé rapidement.

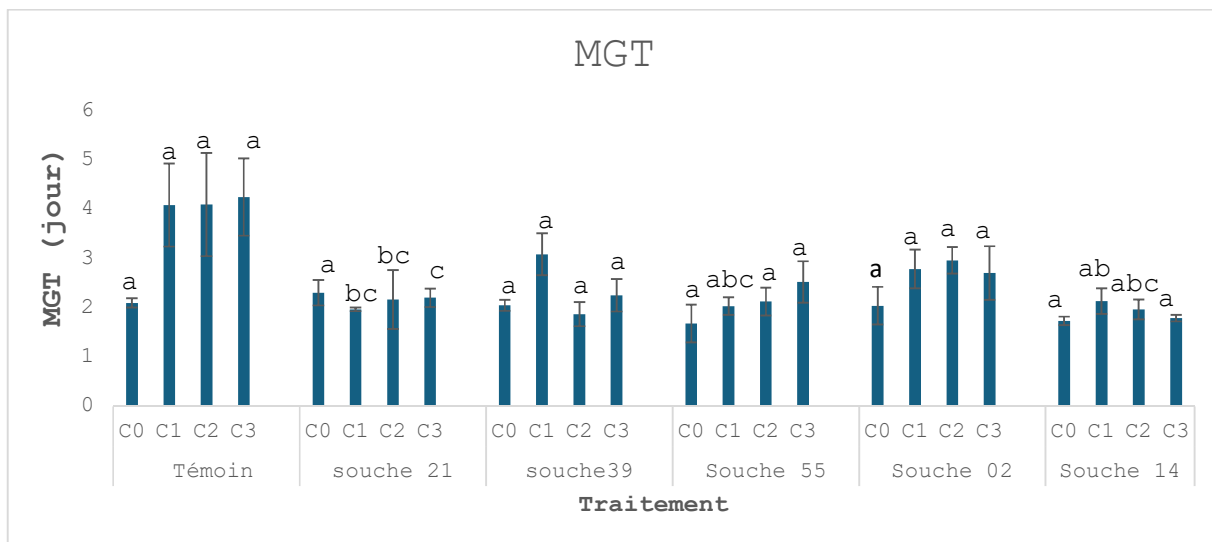


Figure N° 29 : L'effet du stress oxydatif sur le temps moyen de germination (MGT) des graines de blé dur traitées par les 5 souches de rhizo-bactéries endophytes.

L'analyse de la variance de l'effet du stress oxydatif (annexe 1, tableau 3(a)) affiche une différence significative du temps moyen de germination (MGT) chez les graines de blé dur traitées par les 5 souches de rhizo-bactéries endophytes.

Le Test Lsd de Fisher au seuil de 5% (annexe 1 , tableau 3(b)) de l'effet du stress oxydatif sur le temps moyen de germination (MGT) des graines de blé dur traitées par les 5 souches de *rhizo-bactéries endophytes* montre l'existence de quatre groupes (abc, a, bc, c).

1.2.4 L'indice de germination (GI) :

La figure (30) montre l'effet du stress oxydatif sur l'indice de germination (GI) chez des graines de blé dur traitées par les 5 souches de rhizo-bactéries endophytes. On remarque que la souche 21 semble avoir amélioré l'indice de germination (GI) chez les graines du blé dur dans la concentration zéro par rapport aux autres souches et au témoin.

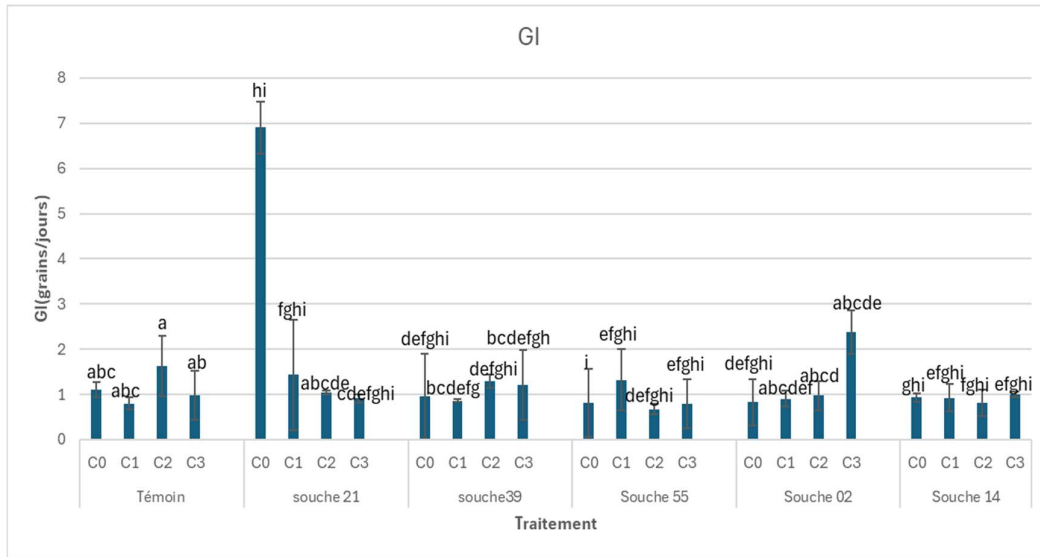


Figure N° 30: L'effet du stress oxydatif sur l'indice de germination (GI) des graines de blé dur traitées par les 5 souches de rhizo-bactéries endophytes.

L'analyse de la variance de l'effet du stress oxydatif (annexe 1, tableau 4(a)) présente une différence significative de l'indice de germination (GI) chez les graines de blé dur traitées par les 5 souches de rhizo-bactéries endophytes.

Test de Newman-Keuls au seuil de 5% de l'effet du stress oxydatif (annexe 1, tableau 4(b)) sur l'indice de germination (GI) des graines de blé dur traitées par les 5 souches de rhizo-bactéries endophytes présente l'existence de Quatorze groupes (a,ab,abc,abcd,abcde,abcdef, bcdefgh,cdefghi,defghi,efghi,fghi,ghi,hi,i).

1.2.5 Le poids frais :

La figure (31) visualise l'effet du stress oxydatif sur la production de la matière fraîche chez les plantules de blé dur traitées par les 5 souches de rhizo-bactéries endophytes. Les concentrations de Cr (VI) utilisées ont causé une diminution de la matière fraîche. Cependant, le poids frais paraît avoir été amélioré sous stress oxydatif chez les plantules traitées par les différentes souches, particulièrement avec la souche 2.

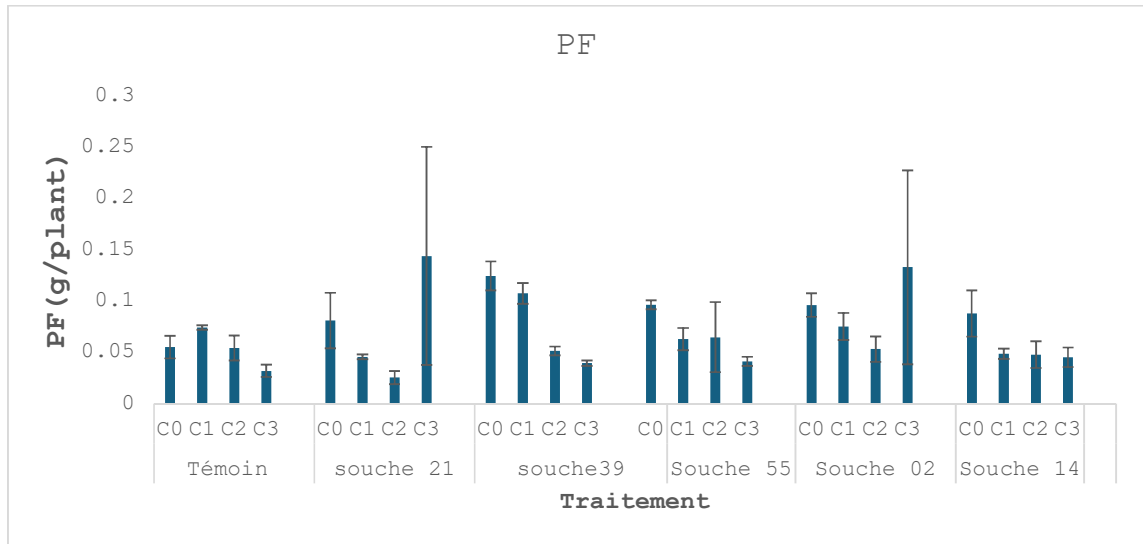


Figure N° 31 : L'effet du stress oxydatifs sur la production de la matière fraiche chez les plantules de blé dur traitées par les 5 souches de rhizo-bactéries endophytes.

L'analyse de la variance à 2 facteurs de l'effet du stress oxydatif (annexe 2, tableau 5) ne révèle aucune une différence significative de la production de la matière fraiche chez les plantules de blé dur traitées par les 5 souches de rhizo-bactéries endophytes.

1.2.6 Le poids sec :

La figure (32) visualise l'effet du stress oxydatif sur le poids sec des plantules de blé dur traitées par les 5 souches de rhizo-bactéries endophytes. La forte concentration du Cr (VI) C3 a induit une augmentation remarquable de la biomasse sèche chez les plantules traitées par la souche 21. La souche 02 semble avoir amélioré le poids sec dans les différentes concentrations de Cr (VI).

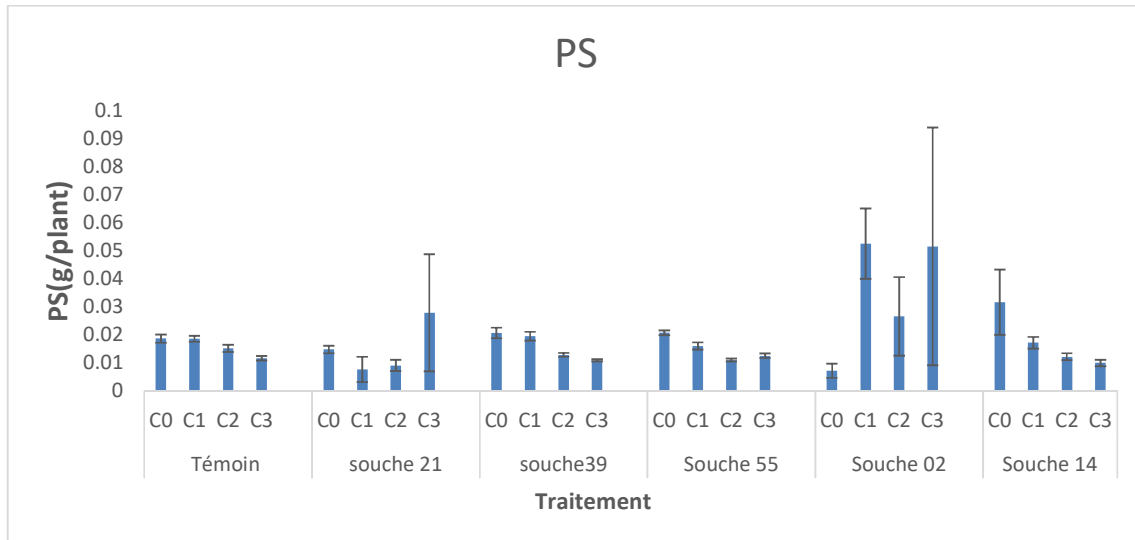


Figure N° 32 : L'effet du stress oxydatif sur le poids sec des plantules de blé dur traitées par les 5 souches de rhizo-bactéries endophytes.

L'analyse de la variance à 2 facteurs de l'effet du stress oxydatif (annexe 2, tableau 6) ne révèle aucune différence significative de la production de la matière sèche chez les plantules de blé dur traitées par les 5 souches de rhizo-bactéries endophytes.

1.2.7 Teneur en eau(TE) :

D'après la figure (33) qui représente l'effet du stress oxydatif sur la teneur en eau chez les plantules de blé dur traitées par les 5 souches de rhizo-bactéries endophytes. Comparativement aux témoins, la 2ème souche a causé une amélioration significative dans les deux concentrations (C0, C2) de la teneur en eau chez les plantules de blé dur, aussi il y'a une amélioration de la teneur en eau dans la concentration 2 chez les plantules traitées par la souche 55.

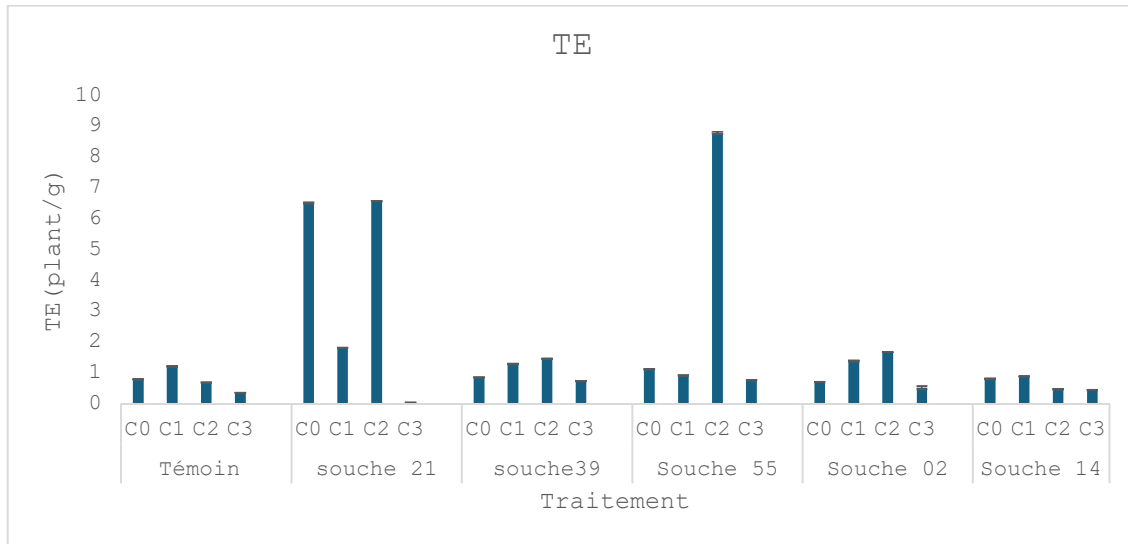


Figure N° 33 : L'effet du stress oxydatif sur la teneur en eau chez les plantules de blé dur traitées par les 5 souches de rhizo-bactéries endophytes.

L'analyse de la variance à 2 facteurs de l'effet du stress oxydatif (annexe 2, tableau 7) ne révèle aucune différence significative de la teneur en eau chez les plantules de blé dur traitées par les 5 souches de rhizo-bactéries endophytes.

1.2.8 Longueur moyenne de la première feuille (LMF)

D'après la figure (34) qui représente l'effet du stress oxydatif sur la teneur en eau chez les plantules de blé dur traitées par les 5 souches de rhizo-bactéries endophytes montre l'existence d'une diminution significative de la longueur moyenne de la première feuille (LMF) avec les 3 concentrations de Cr utilisées chez le témoin (graines non traitées par les souches rhizobactériennes). L'utilisation des 5 souches ne semble pas avoir un effet positif sur la LMF sous les différentes concentrations de Cr (VI).

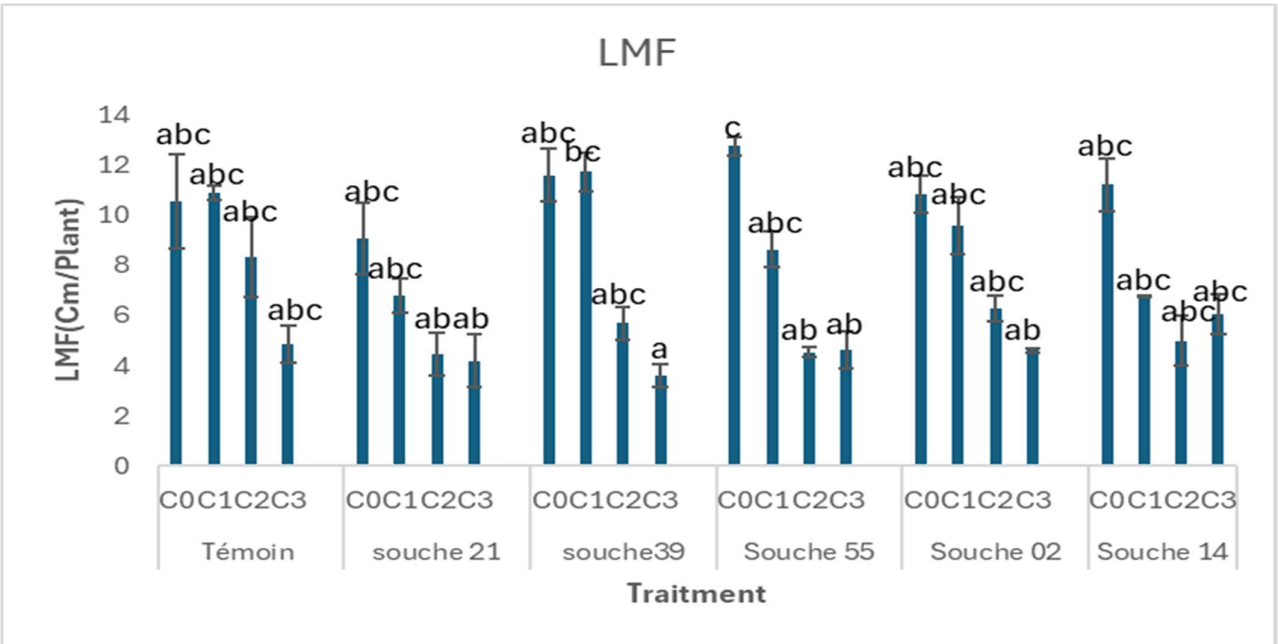


Figure N° 34 : L'effet du stress oxydatif sur la longueur moyenne de la première feuille (LMF) chez les plantules de blé dur traitées par les 5 souches de rhizo-bactéries endophytes.

L'analyse de la variance à 2 facteurs de l'effet du stress oxydatif (annexe 2, tableau 8.(a)) présente une différence significative de la longueur moyenne de la première feuille (LMF) chez les plantule de blé dur traitées par les 5 souches de rhizo-bactéries endophytes.

Test de Scheffe au seuil de 5% de l'effet du stress oxydatif (annexe 2 , tableau 8(b)) sur la longueur moyenne de la première feuille (LMF) des graines de blé dur traitées par les 5 souches de rhizo-bactéries endophytes présente l'existence de quatre groupes (abc ,ab ,bc,c,a)

1.2.9 Longueur moyenne des racines (LMR) :

La figure (35) visualise l'effet du stress oxydatif sur la longueur moyenne des racines (LMR) des plantules de blé dur traitées par les 5 souches de rhizo-bactéries endophytes. Elle visualise l'existence d'une diminution progressive de la longueur moyenne des racines (LMR) avec les trois concentrations de Cr utilisées chez le témoin (plantules non traitées par les différentes souches). Les 5 souches utilisées n'ont pas significativement influencé la longueur moyenne des racines (LMR) des plantules de blé sous les conditions du stress oxydatif.

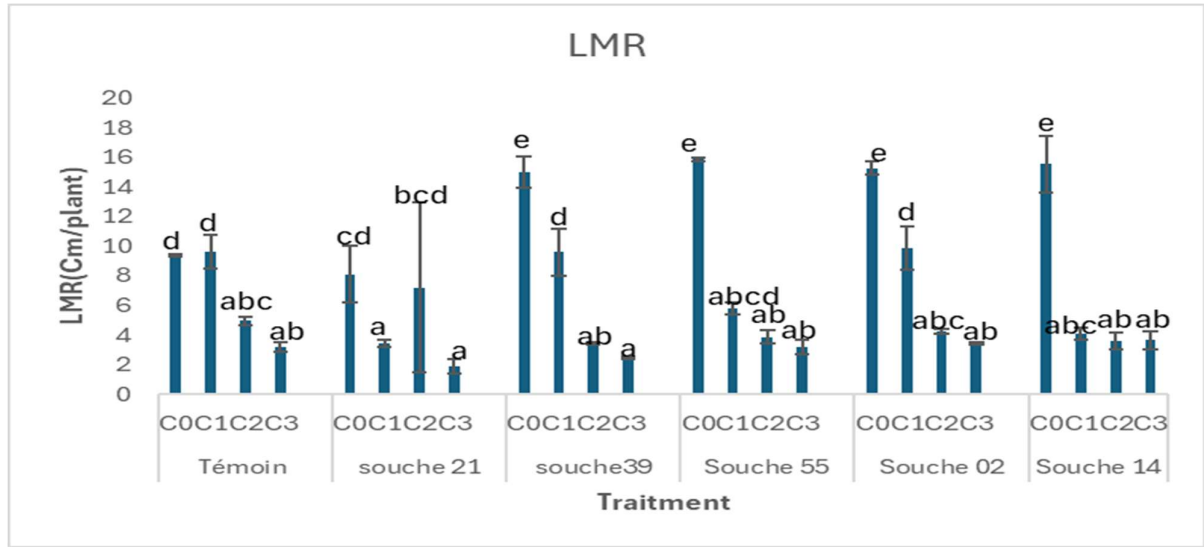


Figure N° 35 : L’effet du stress oxydatif sur la longueur moyenne des racines (LMR) chez les plantules de blé dur traitées par les 5 souches de rhizo-bactéries endophytes.

L’analyse de la variance à 2 facteurs de l’effet du stress oxydatif (annexe 2, tableau 9.(a)) n’indique aucune différence significative de la longueur moyenne des racines (LMR) chez les plantules de blé dur traitées par les 5 souches de rhizo-bactéries endophytes.

Le Test de LSD de Fisher au seuil de 5% de l’effet du stress oxydatif (annexe 2 , tableau 9(b)) sur la longueur moyenne des racines (LMR) des graines de blé dur traitées par les 5 souches de rhizo-bactéries endophytes présente l’existence de sept groupes (a,ab,abc,abcd,cd,d,e).

2. Discussion :

Le test de germination est une étape essentielle pour évaluer les conséquences néfastes des métaux lourds sur les végétaux (KADUKOVA et al. 2015).

Dans la présente étude, l'effet de chrome hexavalent sur la germination et la croissance précoce des semis de blé dur a été étudié, les cinq souches de rhizobactéries qui ont été sélectionnés peut-être tolérantes au Cr (VI) pour cette expérience. Dans ce contexte, on présente une discussion générale des résultats obtenus dans notre travail, relative à l'effet du Cr(VI) et les rhizo-bactéries endophytes sur la germination des graines de blé dur.

Divers auteurs ont signalé l'impact négatif des métaux sur la germination des graines (MATHUR et al.,1987 ; ATHAR MASOOD,2002 ;IQBAL MEHMOOD,1991; DATTA et al.,2011; LI et al.,2005). L'effet des métaux sur la germination des graines a été expliqué par de nombreux autres auteurs comme une réduction de l'absorption et du transport de l'eau (BE WLEY BLACK, 1983 ; BECERRIL et al. 1989). (KRANNER et COLVILLE,2011) ont indiqué que la sélection des espèces végétales et l'élément métallique peuvent faire varier le degré auquel la toxicité des métaux affecte la germination négative. Certaines espèces peuvent germer à des concentrations de métaux plus élevées, qui sont hautement toxiques pour d'autres espèces.

Selon nos résultats, le FGP élevé indique que la germination a été réussie dans un grand nombre de graines semées, même si les concentrations de Cr (VI) varient. Un taux élevé de graines a germé et a évolué en plantules saines, contribuant ainsi à la croissance de nouvelles plantes.

Selon l'analyse de la germination des graines obtenues par (YAHYA KHAN et al.,2013). la présence de Cr (VI) dans les graines n'a eu aucun impact négatif sur la germination, ces résultats sont similaires aux résultats de (DATTA et al. 2011). Dans leur étude, ils ont mentionné la capacité de diverses variétés de blé à supporter le Cr (VI). Les deux confirment nos résultats concernant la tolérance du blé. Ce résultat est également plus ou moins en accord avec les études antérieures sur les métaux lourds (ABUSRIWIL et al.,2011).

La MDG représente le pourcentage moyen de graines qui germent chaque jour pendant une période de test donnée. Cela permet de quantifier et de suivre la progression de la germination des graines. La germination efficace des graines est cruciale pour assurer un bon établissement des plantes. La MDG permet de mesurer la rapidité avec laquelle les graines de blé dur commencent à germer et se développent en plantules. Une MDG élevée indique une

germination rapide et uniforme des semences. Cela indique une bonne viabilité et haute qualité des graines et bonne tolérance dans des conditions de germination défavorables.

Nos résultats sont comparés aux résultats présentés par (DATTA et al. 2011 ;YAHYA KHAN et al. 2013) relative à la tolérance du blé et aux résultats obtenus par (SAIDANI & NEDJIMI, 2014) concernant l'*Atriplex halimus* L. La présence de concentrations élevées de chrome au stade de la germination est tolérée par cette espèce.

Selon nos résultats, les niveaux élevés de Cr (VI) entraînent une augmentation du temps de germination (MGT). Ce résultat est comparable à celui obtenu par (BEZINI et al.,2019). Une longue MGT est enregistrée en raison de l'impact des concentrations de métaux lourds. Cette extension suggère que le stress oxydatif peut perturber les mécanismes métaboliques et enzymatiques essentiels à la germination, et peut également avoir un impact sur la viabilité des graines, ce qui entraîne une prolongation du temps de germination (MGT). Cette prolongation est due aux perturbations causées dans les mécanismes cellulaires essentiels à la germination. Parallèlement, l'inclusion des cinq souches (S55, S14, S39, S21 et S02) diminue légèrement et pas significativement l'effet du stress oxydatif causé par le Cr (VI), ce qui favoriserait une germination plus rapide des graines (diminution du MGT). Il est possible que cela soit causé par des mécanismes tels que l'amélioration de la santé cellulaire, la diminution des dégâts oxydatifs ou la stimulation de voies métaboliques spécifiques qui favorisent la reproduction. Il serait très bénéfique d'inoculer des bactéries capables de survivre dans le stress par le chrome (VI) et de convertir le chrome (VI) en chrome (III) afin d'améliorer la croissance des plantes dans le sol contaminé par le chrome (YAHYA KHAN et al.,2013). On procède à la production de métabolites avantageux pour les plantes, comme les phytohormones, les antibiotiques ou les sidérophores (S. B. SHARMA et al.,2013).

Nos résultats montrent que les concentrations de Cr(VI) appliquées ont causé un effet dépressif sur la production de la biomasse fraîche et sèche, mais contrairement la souche S02 a parfois induit une légère augmentation non significative de la biomasse des plantules de blé dur. Cela est probablement dû à plusieurs causes, il est possible que le microorganisme peut réduire le Cr (VI) en Cr (III) (LOPEZ-BUCIO et al. 2022) en atténuant ainsi la toxicité du Cr(VI) ; la possibilité de la détoxification efficace des ROS (les espèces réactives de l'oxygène) par les plantules de blé en produisant des enzymes antioxydantes comme la catalase et la peroxydase. D'après ce qui a été rapporté par (ASHRAF et al. 2015), les plantes peuvent développer des systèmes complexes d'enzymes antioxydants qui contrôlent la production d'espèces réactives de l'oxygène et, en fin de compte, protègent les plantes des dommages oxydatifs.

Nos résultats montrent que le chrome a entraîné des effets néfastes sur l'indice de germination de blé dur, la germination des graines est significativement réduite, ce qui peut être attribué à une diminution de l'activité de l'amylase (AMIRJANI, 2012). Cependant, il est important de souligner que l' α -amylase est l'enzyme principale qui participe à la dégradation initiale de l'amidon sous sa forme la plus soluble, tandis que la phosphorylase et la β -amylase participent à sa conversion ultérieure en libérant les sucres nécessaires à la nutrition de la germination de la graine. Cela provoque l'activation des enzymes dans toutes les parties de la graine (embryon et tissus de réserves), ce qui permet la croissance de l'embryon et la formation d'un germe (LABBE,2004). Plusieurs PGPR tolérants aux métaux lourds peuvent produire des phytohormones et des enzymes même dans des conditions de stress métallique.

On observe dans les résultats que les concentrations élevées de Cr (VI) entraînent une réduction de la longueur des feuilles et des racines. Selon certains auteurs, les radicaux, la longueur des hypocotyles, la longueur des racines et la hauteur des plantes augmentaient par rapport à une concentration faible de métaux lourds. Différents travaux mentionnent l'inhibition de la longueur des racines et de la longueur de la première feuille par les métaux lourds (EBBS, KOCHIAN.1997 ; CHOI ET al.1996 ; FONTES, COX.1998 ; LINGUA et al. 2008). Le fait que les métaux lourds inhibent la longueur des racines et les longueurs de la première feuille peut être attribué à leur impact sur la division cellulaire (DAVIES et al.1991 ; BRECKLE, HARGEMEYER.1996). ou leur effet sur l'élasticité de la paroi cellulaire et les activités métaboliques (NASEER et al. 2001). Comme on le sait, les racines sont la première partie de la plante qui entre en contact avec la contamination, elles sont plus sensibles à la toxicité par les métaux que les feuilles (ARAUJO, MONTEIRO.,2005 ; SHAH et al.,2010 ; YANG et al.,2010 ; YUSUF et al.,2011).Chez plusieurs espèces végétales, le tégument assure une très haute protection contre les stress abiotiques, et les fortes variations interspécifiques des morphologies de ces téguments peuvent affecter leur perméabilité aux métaux (Moise et al.,2005).

Conclusion

Conclusion :

L'objectif principal de ce travail était d'étudier la capacité du blé dur à tolérer et/ou à accumuler le chrome hexavalent lors de la phytoremédiation de sols contaminés par le chrome hexavalent.,et de tester et évaluer la capacité de cinq souches de rhizo-bactéries endophytes isolées lors d'une étude antérieure de la région de Mosrane– Djelfa, d'atténuer les endommagements qui pourront être provoqué par un stress oxydatif causé par le Cr (VI) chez le blé dur à travers l'évaluation des paramètres suivants : les paramètres de germination (FGP, MDG, MGT, GI et GV), la biomasse. LMF, LMR.

Les résultats ont montré que le Cr (VI) a provoqué une prolongation de la MGT, ce qui a entraîné une augmentation significative de sa valeur et un ralentissement de la vitesse de germination. Parallèlement, la présence des cinq souches a parfois réduit non significativement l'effet du stress oxydatif, ce qui a favorisé une germination plus rapide des graines. Il est important de souligner que les graines ont réussi à germer et à se transformer en plantules saines, ce qui a favorisé la croissance de nouvelles plantes, démontrant ainsi la compétence des cinq souches de rhizo-bactéries endophytes.

Les résultats obtenus pour les paramètres physiologiques ont montré que les concentrations de Cr(VI) appliquées ont causé un effet dépressif sur la production de la biomasse fraîche ou sèche, ainsi que les souches utilisées ont causées une légère augmentation en poids frais et sec particulièrement avec la souche S02, la chose qui montre l'effet bénéfique de cette inoculation sur la plante.

REFERENCE

A

1. Anonyme, 2016- La phytoremediation .Société québécoise de phytotechnologie, Boul. PieIX.
2. Alloway B.J. Heavy metals in soils. Second edition. Blackis Academic and Professional, London, 368 (1995).
3. ADEME, 2012, Glossaire sites pollués et sols. [En ligne] disponible sur: <http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-> .
4. Ademe, Bragm <https://www.selecdepol.fr/fichestechniques/phytoremediation.22/12/2013>.
5. Anonyme., (Page consultée le 19 mai 2021) –Phytodégradation, [En ligne]. Adresse URL : <https://www.selecdepol.fr/fiche-technique/phytodegradation>
6. Ademe, Ineris., 2012_ Les phytotechnologies appliquées aux sites et sols pollués (État de l'art et guide de mise en œuvre). Rapport de L'ADEME et L'INERIS., France, 99 p.
7. Arora NK, Tewari S, Singh LN, Maheshwari DK. (2012). PGPR for protection of plant health under saline conditions, p 239-258. In: Maheshwari DK. (eds). Bacteria in agrobiolgy: stress management. Springer, Heidelberg, Dordrecht, London, New York
8. ANJUM, S. A., ASHRAF, U., KHAN, I., TANVEER, M., SHAHID, M., SHAKOOR, A., & WANG, L. (2017). Phyto-Toxicity of Chromium in Maize: Oxidative Damage, Osmolyte Accumulation, Anti-Oxidative Defense and Chromium Uptake. *Pedosphere*, 27(2), 262–273. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60315-1](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60315-1)
9. Aouane, M. et Hamani, H. (2017). Etude des PGPR « Plant Growth Promoting Rhizobacteria » des plantes actinorhiziennes : cas de *Casuarina equisetifolia* et d'*Elaeagnus angustifolia*. *Mémoire de master en Sciences. Université des Frères Mentouri Constantine* .
10. Almaghrabi O.A., Abdelmoneim T.S., Albishri H.M., Moussa T.A.A. (2014). Enhancement of Maize Growth Using Some Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) Under Laboratory Conditions. *Life Sci J* 11(11): 764-772.
11. Akinci I.E., Akinci S. (2010). Effect of Chromium Toxicity on Germination and Early Seedling Growth in Melon (*Cucumis melo* L.). *Afr J Biotechnol* 9(29): 4589-4594.
12. Abusriwil, L. M. H., Bayoumi Hamuda, H. E. A. F., & Elfoughi, A. A. (2011). Seed germination, growth and metal uptake of *Medicago Sativa* L. grown in heavy metal contaminated clay loam brown forest soil. *Journal of Landscape Ecology*, 9(1), 111–125.

13. Ashraf, U., Kanu, A. S., Mo, Z., Hussain, S., Anjum, S. A., Khan, I., Abbas, R. N., & Tang, X. (2015). Lead toxicity in rice: effects, mechanisms, and mitigation strategies—a mini review. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(23), 18318–18332. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5463-x>
14. Amirjani M.R; (2012). Effects of Cadmium on Wheat Growth and Some Physiological Factors. *Int. J. Forest, Soil and Erosion*, 2 (1): 50-58.
15. Araujo, A.S.F. & Monteiro R.T.R. (2005). Plant bioassays to assess toxicity of textile sludge compost. *Sci. Agric. (Piracicaba Braz.)*, 62(3), 286–290.
16. Arif, M., Tasneem, M., Bashir, F., Yaseen, G., & Anwar, A. (2017). Evaluation of different levels of potassium and zinc fertilizer on the growth and yield of wheat. *Int J Biosen Bioelectron*, 3(2), 1-5.
17. Abd Elliche, M., Ferkhi ,A. (2018). Contribution à l'étude et l'optimisation de la fertilisation minérale du blé dur (*Triticum durum* Desf). Mémoire Ingénieur, Université

B

-
18. Ballerini, D et Vandecasteele, J.P. 1999. La restauration par voie microbiologique des sols contaminés par les polluants organiques: Biotechnologie, coordinateur R. Scriban, 5ème édition, Edition Tech et Doc. P: 835- 865.
 19. Burken et Schnoor 1999. Distribution and Volatilization of Organic Compounds Following Uptake by Hybrid Poplar Trees. *International Journal of Phytoremediation* : Vol . 1, No. 2, pp. 139-151.
 20. Bonjean A. and Picard E. (1990). Les céréales a paille origine, historique, économie et sélection Eds Nathan, 235pages.
 21. Bonjean, A. et Picard, E. (1990). Les céréales à paille : origine, histoire, économie, sélection. Softword – Groupe ITM, Paris, 208p.
 22. Bounneche, H. (2015). Fric : technologie de fabrication et qualité'' mémoire de magister, département de technologies alimentaires, université Constantine 1-54.
 23. Bonjean A., Picard E., 1991- Les céréales à paille. Origine-histoire-économie-sélection. Ligugé; Poitiers : Aubin imprimeur. 36p.

REFERENCES

24. Bonjean A. and Picard E. (1990). Les céréales a paille origine, historique, économie et sélection Eds Nathan, 235pages.
25. Bonjean, A. et Picard, E. (1990). Les céréales à paille : origine, histoire, économie, sélection. Softword – Groupe ITM, Paris, 208p.
26. Bazot, S. 2005. Contribution à l'étude de l'allocation des photoassimilats récents dans la plante et la rhizosphère chez une graminée pérenne (*Lolium perenne* L.). Thèse de doctorat en science, Institut National Polytechnique de Lorraine. 201 p
27. Bertrand, H., C. Plassard, X. Pinochet, B. Touraine, P. Normand et J.C. CleyetMarel (2000). Stimulation of the ionic transport system in *Brassica napus* by a plant growth-promoting rhizobacterium (*Achromobacter* sp.). *Can. J. Microbiol.*, 46:229 –236
28. Bazot, S. 2005. Contribution à l'étude de l'allocation des photoassimilats récents dans la plante et la rhizosphère chez une graminée pérenne (*Lolium perenne* L.). Thèse de doctorat en science, Institut National Polytechnique de Lorraine. 201 p.
29. Benmati, M. 2014. PGPR, paranodules, stimulation de la croissance et tolérance au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.), Université constantine1. 154 p.
30. Bashan, Y., de-Bashan, L. E., Prabhu, S. R., & Hernandez, J. P. (2014). Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: formulations and practical perspectives (1998–2013). *Plant and soil*, 378(1), 1-33.
31. Beauchamp, C. 1993. Mode d'action des rhizobactéries favorisant la croissance des plantes et potentiel de leur utilisation comme agent de lutte biologique. *Phytoprotection*, 74, 19-27.
32. Basu, A., Prasad, P., Das, S. N., Kalam, S., Sayyed, R., Reddy, M. & EL ENSHASY, H. 2021. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) as green bioinoculants: recent developments, constraints, and prospects. *Sustainability*, 13, 1140.
33. Basu, A., Prasad, P., Das, S. N., Kalam, S., Sayyed, R., Reddy, M. & EL ENSHASY, H. 2021. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) as green bioinoculants: recent developments, constraints, and prospects. *Sustainability*, 13, 1140.
34. Bakker, P. A., Pieterse, C. M. & Van Loon, L. 2007. Induced systemic resistance by fluorescent *Pseudomonas* spp. *Phytopathology*, 97, 239-243.
35. Boukhalfa H, Crumbliss AL. (2002). Chemical aspects of siderophore mediated irontransport. *Bio Metals* .15: 325-339.

REFERENCES

36. Bewley, J.D. & Black M. (1983). *Physiology and biochemistry of seeds*. New York: Springer-Verlag
37. Becerril, J., Iez-Murua, C.Gl., Munoz-Rueda, A. & De Felipe M.R. (1989). Changes induced by cadmium and lead in gas exchange and water relations of clover and lucerne. *Plant Physiol. Biochem.*, 27, 913–918.
38. Bezini, E., Abdelguerfi, A., Nedjimi, B., Touati, M., Adli, B., & Yabrir, B. (2019). Effect of some heavy metals on seed germination of medicago arborea L. (Fabaceae). *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 84(4), 357–364.
39. Belyaeva, Ontario, Haynes, RJ et Birukova, OA (2005). Rendement de l'orge et activités microbiennes et enzymatiques du sol affectés par la contamination de deux sols par du plomb, du zinc ou du cuivre. *Biologie et Fertilité des Sols* , 41 , 85-94.
40. Baghdali, L. (1991). Irrigation of cereals in Algeria. In *Supplemental Irrigation in the Near East and North Africa: Proceedings of a Workshop on Regional Consultation on Supplemental Irrigation*. ICARDA and FAO, Rabat, Morocco, 7–9 December, 1987 (pp.315-325). Springer Netherlands.https://doi.org/10.1007/978-94-011-3766-9_18.
41. Belagrouz, A. (2021). Etude des caractéristiques liées à l'efficacité d'utilisation de l'eau

C

-
42. Charenete M.,1993-Etude de la pollution en Chrome de la Charente. Rapport.D.R.I.R.E.Cotte Anne, Aude Duret. Le chrome trivalent : intérêts et limites des suppléments. *Sciences pharmaceutiques.*, 2010. ffumas-00593117. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00593117>, Submitted on 13 May 2011.146p.
 43. CIC., 2000- Rapport annuel du Conseil International des Céréales "CIC" pour l'année 2000.
 44. Curl, E. A. & Truelove, B. 2012. *The rhizosphere*, Springer Science & Business Media.4, 289.
 45. Cunningham, S.D., W.R. Berti. 1993. Remediation of contaminated soils with green plants: an overview. *In Vitro, Cell & Developmental Biology* 29: 207-212.
 46. Calvel, R. (1984). *La boulangerie moderne*. Editions EYROLLES, Paris, 460 p.
 47. Choi, J.-M., Pak, Ch.-H. & Lee Ch.W. (1996). Micro nutrient toxicity in French marigold. *J. Plant Nutr.*, 19, 901–916.

48. CO, B. G. (2024). " De la Trinité immanente à la Trinité économique", Session de formation permanente de la Congrégation de l'Oratoire de Nancy, Bruno Gonçalves (dir.), 29-30 janvier 2018, Paris. " De la Trinité immanente à la Trinité économique", Session de formation permanente de la Congrégation de l'Oratoire de Nancy, Bruno Gonçalves (dir.), 29-30 janvier 2018, Paris

D

49. Decker M. Et Dosso O., 2006- Evaluation et gestion du risque sanitaire lié au dépassement de la limite de qualité du chrome dans l'eau de distribution. Mémoire de Ingénieur.E.N.D.S.P.R-Rennes.
50. Damien Francenne, Anne thibaut (2008).Inégalités environnementales et pollution des sols : Comment améliorer la communication destinés aux populations précarisées.
51. DESJARDIN Valérie.(2002). Réduction du chrome (VI) par la souche *Streptomyces thermocarboxydus* NH50 isolée à partir d'un sol pollué.. <http://docinsa2.insa-lyon.fr/these/2002/desjardin/these.pdf> .
52. DeFlora S., Wetterhahn K.E, Life Chemi Reports, 7, (1989) 169- 244.
53. Decker M. Et Dosso O., 2006- Evaluation et gestion du risque sanitaire lié au dépassement de la limite de qualité du chrome dans l'eau de distribution. Mémoire de Ingénieur.E.N.D.S.P.R-Rennes.
54. Ducellier, L. O. (1930). Espèces et variétés de céréales cultivées en Algérie.
55. Djavanshir K., Pourbeik H. (1976). Germination Value - A New Formula. *Silvae Genet* 25: 79- 83.
56. Datta, J.K., Bandhyopadhyay, A., Banerjee, A. & Mondal N.K. (2011). Phytotoxic effect of chromium on the germination, seedling growth of some wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under laboratory condition. *International Journal of Agricultural Technology*, 7(2), 395–402. <http://www.ijat-aatsea.com>
57. Datta, J. K., Bandhyopadhyay, A., Banerjee, A., Mondal, N. K., & And Mondal, N. K. (. (2011). Phytotoxic effect of chromium on the germination, seedling growth of some wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under laboratory condition. *Journal of Agricultural Technology*, 7(2), 395–402. <http://www.ijat-aatsea.com>
58. Davies, M.S., Francis, D. & Thomas J.D. (1991). Rapidity of cellular changes induced by zinc in a zinc tolerant and non-tolerant cultivar of *Festuca rubra* L. *New Phytol.*,

117, 103–108. distinct roles of stored and neosynthesized mRNAs during germination
 .plant physiol 134,1598_ -613

59. Doussinault, G., Pavoine, M. T., Jaudeau, B., & Jahier, J. (2001). Évolution de la variabilité génétique chez le blé. *Dossiers de l'Environnement de l'INRA*, 21, 91-104.

E

-
60. Erroux, J. (1949). Classification des blés durs cultivés en Algérie. *Travaux botaniques dédiés à R Maire. Mem Soc His Nat Afr Nord*, 2.
61. EL YAMANI M. 2006 Sites et sols pollués Paris : Affset
http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/290597035719683547463364478547/23_sites_sols_pollues.pdf.
62. Edwards, R., Dixon, D.P., and Walbot, V. (2000). Plant glutathione S-transferases: Enzymes with multiple functions in sickness and in health. *Trends Plant Sci.*, 5: 193–198.
63. . Ezawa, T., SE. Smith et FA. Smith (2002). P metabolism and transport in AM fungi. *Plant soil*, 244: 221-230.
64. E.D. & Kochian L.V. (1997). Toxicity of zinc and copper to Brassica species: implications for phytoremediation. *J. Environ. Qual.*, 26, 776–781

F

-
65. Fournon D.,1999-La phytoremediation. Thèse de Doctorat. U.J.F.T-Tronche.
66. Fournon D.; 2017_ *La phytoremédiation*. Thèse Doctorat., Univ.grenoble. sci. Pharmacie , 114p.
67. Farrag, H.F., 2012. Floristic composition and vegetation-soil relationships in Wadi Al-Argy of Taif region, Saudi Arabia. *Int. Res. J. Plant Sci.*, 3(8): 147-157.
68. Farid, M., Shakoor, M. B., Ehsan, S., Ali, S., Zubair, M., & Hanif, M. A. (2013). Morphological, physiological and biochemical responses of different plant species to Cd stress. *Ijcbcs*, 3, 53– 60. www.iscientific.org/Journal.html

69. Fontes, R.L.F., & Cox F.R. (1998). Zinc toxicity in soybean grown at high iron concentration in nutrient solution. *J*
70. Feillet, P. (2000). *Le grain de blé: composition et utilisation*. Editions Quae.

G

71. Glick, B. R., Penrose, D. M. & LI, J. 1998. A model for the lowering of plant ethylene concentrations by plant growth-promoting bacteria. *Journal of theoretical biology*, 190, 63-68.
72. Gao, H.; Liu, Y.; Zeng, G.; Xu, W.; Li, T.; Xia, W., *J. Hazard. Mater.*, 150 (2007) 446-452.
73. GASKIN, S. 2008. *Rhizoremediation of hydrocarbon contaminated soil using Australian native grasses (Electronic Thesis or Dissertation)*. Flinders University, Australia
74. Gajewska, E., M. Skłodowska, M. Słaba, J. Mazur. 2006. Effect of nickel on antioxidative enzyme activities, proline and chlorophyll contents in wheat shoots. *Biologia Plantarum* 50: 653- 659.
75. Glick, B. R. 1995. The enhancement of plant growth by free-living bacteria. *Canadian journal of microbiology*, 41, 109-117.
76. Goswami, D., Thakker, J. N. & Dhandhukia, P. C. 2016. Portraying mechanics of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR). *Cogent Food Agriculture*, 2, 1-19..
77. Gupta, G., Parihar, S. S., Ahirwar, N. K., Snehi, S. K. & Singh, V. 2015. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): current and future prospects for development of sustainable agriculture. *Microbiologie Biochemologie Technologie*, 7, 96-102.
78. Goswami, D., Thakker, J. N. & Dhandhukia, P. C. 2016. Portraying mechanics of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR). *Cogent Food Agriculture*, 2, 1-19..
79. Gupta, G., Parihar, S. S., Ahirwar, N. K., Snehi, S. K., & Singh, V. (2015). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): current and future prospects for development of sustainable agriculture. *J Microb Biochem Technol*, 7(2), 096-102.

80. Giller, PS et Malmqvist, B. (1998). *La biologie des ruisseaux et des rivières* . Presse de l'Université d'Oxford.
81. Giller, K. E., Beare, M. H., Lavelle, P., Izac, A. M., & Swift, M. J. (1997). Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. *Applied soil ecology*, 6(1), 3-16.

H

82. Haguenoer. J. M., Dubois. G., Frimat. P., Cantineau. A, Lefrancois. H., Furon. D., Colloque International sur la prévention du cancer professionnel. (1981) Helsinki, Finland
83. Hameeda, B., Harini, G., Rupela, OP, Wani, SP et Reddy, G. (2008). Promotion de la croissance du maïs par des bactéries solubilisant les phosphates isolées des composts et de la macrofaune. *Recherche microbiologique* , 163 (2), 234-242.
84. Henry, Y., De Buyser, J., (2000). « L'origine des blés », Pour la science, Hors - série N°26, janvier, P 60-62.
85. Hargemeyer, J. & Breckle S.W. (1996). Growth under trace element stress. In Y. Waisel, A. Ashel & U. Kafkafi (Eds.), *Plant roots. The hidden half* (pp. 415–433). New York: Marcel Dekker
86. Hamadache, A. (2013). *Grandes Cultures. Livre Tome I : le blé*, P 256.
87. Haddad, l., salmi, m., benmahammed, a., & bouzerzour, h. (2021). Place de la variété locale de ble dur (*triticum durum* l. var mohamed ben bachir) parmi les variétés phares et la nouvelle obtention 'boutaleb' dans la région semi-aride de setif en algerie.

I

88. Ikhlass MARZOUK TRIFI(2012) , *Etude de l'élimination du chrome (VI) par adsorption sur l'alumine activée et par dialyse ionique croisée*, <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00807936/document> .
89. Iqbal, M.Z. & Mehmood T. (1991). Influence of cadmium toxicity on germination and growth of some common threes. *Pak. J. Sci. Ind. Res.*, 34, 140–142.

J

-
90. J. Erroux, « Blé », in Gabriel Camps (dir.), *10 | Beni Isguen – Bouzeis*, Aix-en-Provence, Edisud (« Volumes », no 10), décembre 1991 [En ligne], mis en ligne le 01 mai 2013, consulté le 19 avril 2019. URL : <http://journals.openedition.org/encyclopedieberbere/1766> .

K

-
91. Kirdi, B. 2011. Rôle des PGPR «Plant Growth Promoting Rhizobacteria» dans la croissance végétale et la lutte contre les phanérogames parasites. Mémoire Magister en sciences Agronomiques, Ecole Nationale supérieure agronomique –El Harrach-Alger. 73 p.
92. Kucey, R. M. N., H. H. Janzen et M. E. Legget (1989). Microbial mediated increases in plant available phosphorus. *Adv. Agron.* 42: 199-228
93. Kumar, V. et N. Narula (1999). Solubilization of inorganic phosphates and growth emergence of wheat as affected by *Azobacter chroococcum* mutants. *Boil. Fert. Soils*, 28(3): 301-305
94. Kim KY, Jordan D, Mc Donald GA. (1998). Enterobacter agglomerans, phosphate Solubilizing bacteria, and microbial activity in soil: effect of carbon sources. *Soil Biol. Biochem.* 30: 995-1003.
95. Khan, ZH, Qadir, I., Yaqoob, S., Khan, RA et Khan, MA (2009). Réponse des graminées des parcours aux niveaux de salinité au stade de la germination et du semis. *Journal de recherche agricole (03681157)*, 47 (2).
96. Kirdi, B., Zermane, N., (2010). Rôle des PGPR dans la stimulation de la croissance végétale et la lutte contre les phanérogames parasites : *Orobanche crenata* Forsk. Et *Cuscuta campestris* Yuncker / “Role of PGPR in Plant Prowth Promotion and control of the parasitic weeds: *Orobanche crenata* Forsk. and *Cuscuta campestris* Yuncker
97. Kumar, P., Dubey, R., (2012). Plant Growth Promoting Rhizobacteria for Biocontrol of Phytopathogens and Yield Enhancement of *Phaseolus vulgaris* L. *J. Curr. Perspect. Appl. Microbiol.* N° 1 P 6–38.
98. Karthikeyan, T, Rajgopal, S, Miranda, L. R., *J. Hazard. Mater.*, 124 (2005) 192-199.

REFERENCES

99. Kumar, P. & Dubey, R. 2012. Plant growth promoting rhizobacteria for biocontrol of phytopathogens and yield enhancement of *Phaseolus vulgaris*. *Current Perspectives in Applied Microbiology*, 1, 6-38.
100. Kaduková, J., Velgosová, O., Mrazíková, A., Marcinčáková, R., & Tkáčová, E. (2015). Assessment of Biologically Synthesized Ag Nanoparticles Toxicity Against *E. coli*, *Staphylococcus aureus*, *Parachlorella kessleri* and *Sinapis alba*. *Nova Biotechnologica et Chimica*, 14(1), 69–77. <https://doi.org/10.1515/nbec-2015-0016>
101. Kranner, I. & Colville L. (2011). Metals and seeds: biochemical and molecular implications and their significance for seed germination. *Environ. Exp. Bot.*, 72, 93–105
102. Kabata-Pendias, A., & Mukherjee, A. B. (2007). *Humans* (pp. 67-83). Springer Berlin Heidelberg.
103. Kuo, SL et Wu, T.-N.-L. (2006). Enquête sur la réaction pseudocapacitive de stockage de charge des supercondensateurs $MnO_2 \cdot nH_2O$ dans des électrolytes aqueux. *Journal de la Société Electrochimique*, 153 (7), A1317.
104. Khalil, MA, Abdel-Lateif, HM, Bayoumi, BM, Van Straalen, NM et Van Gestel, CA (1996). Effets des métaux et des mélanges de métaux sur la survie et la production de cocons du ver de terre *Aporrectodea caliginosa*. *Pédobiologie*, 40 (6), 548-556.

L

105. Losi, M. E., Amrhein, C., and Frankenberger Jr, W. T., 1994- Environmental Biochemistry of Chromium. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 136.
106. Langård. S., Elsevier Biomedical Press, Amsterdam (1982).
107. Lytle C., Lytle F., W., Yang, N., Qian, J. H., Hansen, D., Zayed, A., and Terry, N., 1998-
108. Lepinay, C. 2013. Etude des interactions plantes-microbes et microbes-microbes au sein de la rhizosphère, sous un aspect coûts-bénéfices, dans un contexte de variation environnementale. Thèse de doctorat en science, Université de Bourgogne. 263 p.
109. Lugtenberg, B. & Kamilova, F. 2009. Plant-growth-promoting rhizobacteria. *Annual review of microbiology*, 63, 541-556.

REFERENCES

110. Li, W., Khan, M.A., Yamaguchi, S. & Kamiya Y. (2005). Effects of heavy metals on seed germination and early seedling growth of *Arabidopsis thaliana*. *Plant Growth Regul.*, 46, 45– 50. doi: 10.1007/s10725-005-6324-2.
111. López-Bucio, J. S., Ravelo-Ortega, G., & López-Bucio, J. (2022). Chromium in plant growth and development: Toxicity, tolerance and hormesis. *Environmental Pollution*, 312(January). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120084>
112. Labbe M, (2004). Ces étonnantes graines germées. Auvers sur oise : Labbé.Revues succinctes de livres et d'essais (critiques)
113. Lingua, G., Franchin, C., Todeschini, V., Castiglione, S., Biondi, S., Burlando, B., Parravicini, V., Torrigiani, P. & Berta G. (2008). Arbuscular mycorrhizal fungi differentially affect the response to high zinc concentrations of two registered poplar clones. *Environ. Pollut.*, 153, 137–1
114. Ladraa, N. (2012). Aptitude à la panification de quelques variétés de blé dur Algérien (Doctoral dissertation).
115. Ladraa, N. (2012). Aptitude à la panification de quelques variétés de blé dur Algérien (Doctoral dissertation)

M

-
116. Mohanty. K., Jha. M., Meikap. B.C., Biswas. M.N., *Chem. Eng. Sci.*, 60 (2005) 3049–3059.
 117. Malecka A. , Tomaszewska B.(2005). komorki roslinne reaktywne formy tlenu biologia molekularna stres oksydacyjny enzymy antyoksydacyjne. Uniwersytet A.Mickiewicza, ul.Fredry 10, 61-701 Poznan.
 118. Marecik, R., P. Króliczak, P. Cyplik. 2006. Phytoremediation – an alternative method for environmental cleanup. *Biotechnologia* 3: 88-97 (in Polish).
 119. Monneveux P., 2002- Bilan d'activités du laboratoire sur le thème : amélioration de la tolérance a la sécheresse du blé sur. UER de génétique et amélioration des plantes, ENSA - INRA Montpellier.36p.

120. Munees A, Mulugetakibret. (2013). Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective, Journal of King Saud University Science, January Volume 26, Issue 1, p 1-20.
121. . Mezaacha, S. (2012). Localisation des déterminants de la suppression de quelques souches de *Pseudomonas* isolée de la rhizosphère de la pomme de terre. Université Ferhat Abbas Sétif. 141P.
122. Mezaache, S. (2012). Localisation des déterminants de la suppression de quelques souches de *Pseudomonas* isolées de la rhizosphère de la pomme de terre. Université Ferhat Abbas Sétif. 141: 3-26p.
123. Mathur, K.C. Srivastava, R.K. & Chaudhary K. (1987). Effect of Cd and Cr metals on germination and early growth performance of *Allium cepa* seeds. Proc. Natl. Acad. Sci. India Sect. B (Biol. Sci.), 57, 191–196.
124. Maxwell, D. & Lumsden, R. 1970. Oxalic acid production by *Sclerotinia sclerotiorum* in infected bean and in culture. *Phytopathology*, 60, 1395-1398.
125. Moise, J.A., Han, S., Gudynaite- savitch, L., Johnson, D.A. & Miki, B.L.A., (2005). Seed coats: structure, development, composition, and biotechnology. *In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant*, 41: 620-644.
126. Mosiniak, M., Roger, P., Jean-Claude, R. (2005). Du blé au pain. ‘‘Site plant vie.ensa.fr’’.. chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) (Doctoral dissertation). des Frères Mentouri constantine 1, P 1- 104.

N

-
127. Nriagu. J.O, Nieboer. E., éd. John Wiley and Sons, Toronto, (1988).
128. NEWMAN, L.A et REYNOLDS, C.M. 2004. Phytodegradation of organic compounds. *Curr. Opin. Biotechnol.* 15, 225–230. doi:10.1016/j.copbio.2004.04.006.
129. Neilands, J. 1995. Siderophores: structure and function of microbial iron transport compounds. *Journal of Biological Chemistry*, 270, 26723-26726.
130. Naseer, S., Nisar, A. & Ashraf M. (2001). Effect of salt stress on germination and seedling growth of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Pakistan Journal of Biological Science*, 4(3), 359–360.

O

-
131. Otabbong. E, Soil Sci. Plant Anal., 21 (1990) 687- 703
132. Oksana Sytar, · Pragati Kumari, · Saurabh Yadav, · Marian Brestic, Anshu Rastogi (2018) , Phytohormone Priming: Regulator for Heavy Metal Stress in Plants

P

-
133. PerchetG.T.; Institut National Polytechnique de Toulouse, Thèse (2008).
134. PUJIC, P., & NORMAND, P. (2009). La symbiose racinaire entre la bactérie *Frankia* et les plantes actinorhiziennes: Interactions plantes/micro-organismes. *Biofutur (Puteaux)*, (298), 26-29.
135. Pradhan, D., Pal, S. et Das, T. (2005). Biolixiviation du minerai de cuivre de faible teneur à l'aide de micro-organismes indigènes D. Pradhan, S. Pal, T. Das, G. Roy Chaudhury, LB Sukla, OP Chug', MSR Prasad' et Laboratoire de recherche régional VN Misra. *Tendances émergentes dans le traitement des minéraux et la métallurgie extractive* , 166.
136. Porteous, D. J., Thomson, P., Brandon, N. J., & Millar, J. K. (2006). The genetics and biology of DISC1—an emerging role in psychosis and cognition. *Biological psychiatry*, 60(2), 123-131.
137. Peralta, J.R., Gardea-Torresdey, J.L., Tiemann, K.J., Gomez, E., Arteaga, S., Rascon, E. & Parsons J.C. (2001). Uptake and effects of five heavy metals on seed germination and plant growth in Alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Bull. Environ. Contam.Toxicol.*, 66, 727–734.

R

-
138. Rebhi A. E.; (2019). *Response of Artemisia herbaalba to hexavalent chromium pollution under arid and semi-arid conditions*. International Journal of Phytoremediation, 224-229.
139. Rebhi A. E, 2019.Cours de Pollution et remédiation, Univ, ZianeAchour-Djelfa, 201p
140. Ruel T., (2006). Document sur la culture du blé, Ed: Educagri.18p.

141. Rudolph, CD, Mazur, LJ, Liptak, GS, Baker, RD, Boyle, JT, Colletti, RB, ... et Werlin, SL (2001). Lignes directrices pour l'évaluation et le traitement du reflux gastro-œsophagien chez les nourrissons et les enfants : recommandations de la Société nord-américaine de gastroentérologie et de nutrition pédiatriques. *Journal de gastroentérologie et nutrition pédiatriques* , 32 , S1-S31.
142. Rachedi M., 2003. Les céréales en Algérie, problématique et option de réforme, *Céréaliculture* 38, 1-7.
143. Riaz, U., Murtaza, G., Anum, W., Samreen, T., Sarfraz, M. & Nazir, M. Z. 2021. Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) as biofertilizers and biopesticides. *Microbiota and Biofertilizers*, 4, 181-196.
144. Rimington, W. R., Pressel, S., Duckett, J. G., Field, K. J., Read, D. J., & Bidartondo, M. I. (2018). Ancient plants with ancient fungi: liverworts associate with early-diverging arbuscular mycorrhizal fungi. *Proceedings of the Royal Society B*, 285(1888), 20181600.
145. Ranjard, L., Poly, F., & Nazaret, S. (2000). Monitoring complex bacterial communities using culture-independent molecular techniques: application to soil environment. *Research in microbiology*, 151(3), 167-177.
146. Rebouh, N. Y., Zargar, M., Pakina, E., A Abdelaziz, N., Astrakhanova, T., & Chuburkova, S. (2018). Analysis of various cultivars of durum wheat cultivated in the highlands of Algeria condition. *Research on Crops*, 19(2), 200-204. DOI:10.5958/2348-7542.2018.00029.3.

S

147. Selami, N. 2015. Etude des Associations Symbiotiques de *Retama monosperma*: Approches Morphologique, Anatomique et Ultrastructurale, Caractérisation moléculaire des Isolats. Thèse de doctorat en Biotechnologie Végétale, University of sciences and technology in Oran. 150 p.
148. Singh, I. 2018. Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) and their various mechanisms for plant growth enhancement in stressful conditions. *European Journal of Biological Research*, 8, 191-213.

REFERENCES

149. Son, TTN., CN. Diep et TTM. Giang (2006). Effect of brady rhizobia and phosphate solubilizing Bacteria application on soy bean inrotational system in the Mekong delta. *omonrice* 14: 48-57.
150. Sharma, K., G. Dak, A. Agrawal, M. Bhatnagar R. Sharma (2007). Effect of phosphate solubilizing bacteria on the germination of Cicer arietinum seed sand seedling growth. *J. Herb. Med. Toxicol.*, 1: 61-63.
151. Sundara, B., V. Natarajan et K. Hari (2002). Influence of phosphorus solubilizing bacteria on the changes in soil available phosphorus and sugarcane yields. *Field Crops Res.* 77:43–49
152. Somers, E., Vanderleyden, J. & Srinivasan, M. 2004. Rhizosphere bacterial signalling: a love parade beneath our feet. *Critical reviews in microbiology*, 30, 205-240.
153. Singleton P., & Sainsbury D., 2006. *Dictionary of Microbiology and Molecular Biology*, Third Edition Paul Singleton and Diana Sainsbury. John Wiley & Sons Ltd. ISBN. Pp: 637- 638
154. Stellman. J.M, *Encyclopédie de sécurité et de santé au travail*, 2 (63) (2000).
155. Schubert G.E., Sinner E., Otten.G., *Virch. Arch. Abt. Path. Anat.*, 353 (1997) 207-220.
156. SUSARLA, S., MEDINA, V.F et MCCUTCHEON, S.C. 2002. Phytoremediation: An ecological solution to organic chemical contamination. *Ecol. Eng.* 18, 647–658. doi:10.1016/S0925-8574(02)00026-5.
157. Srivastava, S., S. Sounderajan, A. Udas, P. Suprasanna. 2014. Effect of combinations of aquatic plants (*Hydrilla*, *Ceratophyllum*, *Eichornia*, *Lemna* and *Wolffia*) on arsenic removal in field conditions. *Ecological Engineering* 73: 297- 301.
158. Segura, A., J.L. Ramos. 2013. Plant–bacteria interactions in the removal of pollutants. *Current Opinion in Biotechnology* 24:467-473.
159. Šramkova, Z., Gregova, E., Sturdik, E. (2009). Chemical composition and nutritional quality of wheat grain. *Acta chimica slovacica*, 2(1), 115-138.
160. Silini, A., Parolini, O., Huppertz, B., & Lang, I. (2013). Soluble factors of amnion-derived cells in treatment of inflammatory and fibrotic pathologies. *Current stem cell research & therapy*, 8(1), 6-14.
161. Salehzade H., Shishvan M.I., Ghiyasi M., Forouzin F., Siyahjani A.A. (2009). Effect of Seed Priming on Germination and Seedling Growth of Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Res J Biol Sci* 4(5): 629-631.

162. Simmons, R. et Koenig, S. (1995). Navigation robotique probabiliste dans des environnements partiellement observables.
163. Saidani, E., & Nedjimi, B. (2014). EFFET DU CHROME HEXAVALENT (K_2CrO_7) SUR LA 4(Cd), 47–52.
164. Sharma, S. B., Sayyed, R. Z., Trivedi, M. H., & Gobi, T. A. (2013). Phosphate solubilizing microbes: Sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. SpringerPlus, 2(1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-587>
165. Shah, F.R., Nasir, A., Masood, K.R., Peralta-Videa, J.R. & Firozud Din Ahmad (2010). Heavy metal toxicity in plants. In M. Ashraf, M. Ozturk & M.S.A. Ahmad (Eds.), Plant adaptation and phytoremediation (pp. 71–98). Spring
166. Souiki, L. (2008). *Caracterisations biochimiques et microbiologiques des eaux usées de la ville de biskra et purification par le procédé biologique phragmifiltre* (Doctoral dissertation, Annaba).

T

167. Torresdey. J.L.G, Tiemann, K.J, Armendariz, V, J. Hazard. Mater., 80 (1-3) (2000) 175-188.
168. Tsuji, J. et Minami, I. (1987). Nouvelles réactions de synthèse des carbonates d'allyle et d'alkyle, allyle. les bêta.-cétocarboxylates et les carbonates allylvinyliques catalysés par des complexes de palladium. *Comptes de recherche chimique* , 20 (4), 140-145.
169. thar, R. & Masood A. (2002). Heavy metal toxicity: Effect on plant growth and metal uptake by wheat, and on free living Azotobacter. *Water Air Soil Pollut.*, 138, 165–180. DOI: 10.1023/A:1015594815016.
170. Tayeb Cherif Nawal, R. S. (2014). Evaluation de quelques lignées de blé tendre (*Triticum aestivum*) dans la région semi-aride de Sétif (Doctoral dissertation).

U

171. USEPA, (U.S. Environmental Protection Agency). 1984b. Health assessment document for chromium. Rapport final. EPA-600/8-83-104F. Environmental Criteria and Assessment Office, US Environmental Protection Agency, Washington, DC.

V

172. VILLEJOUBERT, G., & CATTEAU, E. (2016). L'analyse des associations végétales au travers de la richesse floristique. *Bull. Soc. Bot. N. Fr.*, 69(1-4), 35-40.
173. Vessey, J.K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*. 255: 571-586
174. Vocciante, M., De Folly D'Auris, A., & Reverberi, A. P. (2022). A Novel Graphite-Based Sorbent for Oil Spill Cleanup. *Materials*, 15(2), 609.
175. VANGRONSVELD, J., HERZIG, R and WEYENS, N. 2009. Phytoremediation of contaminated soils and groundwater: lessons from the field. *Environmental Science and*

W

176. Williams. J.H, Office of Official Publications for the Commission of the European Communities, Bruxelles(1988).
177. Wilcox, J., Makowski, D., 2014. A meta-analysis of the predicted effects of climate change on wheat yields using simulation studies. *Field Crop Res.* 156,180–190.
178. Wang, H., Ge, S., Lipton, Z., & Xing, E. P. (2019). Learning robust global representations by penalizing local predictive power. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 32.
179. Weyens, N., Van Der Lelie, D., Taghavi, S. & Vangronsveld, J. 2009. Phytoremediation: plant– endophyte partnerships take the challenge. *Current opinion in biotechnology*, 20, 248-254.
180. Wierzbička M et Obidzińska J (1998). «The effect of lead on seed imbibition and germination in different plant species. " *plant Science* 137 :155-171.

Y

181. Yahya Khan, M., Asghar, H. N., Jamshaid, M. U., Akhtar, M. J., & Zahir, Z. A. (2013). Effect of microbial inoculation on wheat growth and phytostabilization of chromium contaminated soil. *Pakistan Journal of Botany*, 45(SPL.ISS), 27–34.
182. Yang, Y., Wei, X., Lu, J., You, J., Wang, W. & Shi R. (2010). Lead-induced phytotoxicity mechanism involved in seed germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 73, 1982–1987.
183. Yusuf, M., Fariduddin, Q., Hayat, S. & Ahmad A. (2011). Nickel: an overview of uptake, essentiality and toxicity in plants. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 86, 1–17.

REFERENCES

ANNEXES

Annexe 1

1.1 Le pourcentage de germination final (FGP, %) :

Tableau (1) : Analyse de la variance de l'effet de stress oxydatifs par le chrome hexavalent sur Le pourcentage de germination final (FGP, %) chez les graines de blé dur traitées 5 souches de rhizo-bactéries endophytes.

Tests Univariés de Significativité pour FGP (Germination FINAL) Paramétrisation sigma-restreinte Décomposition efficace de l'hypothèse					
	SC	Degr. de	MC	F	p
ord. origine	444938.9	1	444938.9	1363.217	0.000000
Conc	1616.7	3	538.9	1.651	0.190059
Souche	3644.4	5	728.9	2.233	0.066066
Conc*Souche	6333.3	15	422.2	1.294	0.243056
Erreur	15666.7	48	326.4		

1.2 La Germination moyenne journalière (MDG, %) :

Tableau (2) : Analyse de la variance de l'effet de stress oxydatifs par le chrome hexavalent sur la Germination moyenne journalière (MDG) chez les graines de blé dur traitées par 5 souches de rhizo-bactéries endophytes

Tests Univariés de Significativité pour MDG (Germination FINAL) Paramétrisation sigma-restreinte Décomposition efficace de l'hypothèse					
	SC	Degr. de	MC	F	p
ord. origine	4640.056	1	4640.056	1621.767	0.000000
Conc	13.833	3	4.611	1.612	0.198972
Souche	27.444	5	5.489	1.918	0.108631
Conc*Souche	77.333	15	5.156	1.802	0.062422
Erreur	137.333	48	2.861		

1.3 Le temps moyenne de germination (MGT) :

Tableau (3.a) : Analyse de la variance de l'effet de stress oxydatifs par le chrome hexavalent sur le temps moyenne de germination (MGT) chez les graines de blé dur traitées par 5 souches de rhizo-bactéries endophytes

Tests Univariés de Significativité pour MGT (Germination FINAL) Paramétrisation sigma-restreinte					
Décomposition efficace de l'hypothèse					
	SC	Degr. de	MC	F	p
ord. origine	433.6142	1	433.6142	771.8707	0.000000
Conc	5.5240	3	1.8413	3.2777	0.028812
Souche	23.4625	5	4.6925	8.3530	0.000010
Conc*Souche	9.5881	15	0.6392	1.1378	0.350969
Erreur	26.9650	48	0.5618		

Tableau(3.b) : Test de Duncan au seuil de 5% variance de l'effet de stress oxydatifs par le chrome hexavalent sur le temps moyenne de germination (MGT) dans les graines de blé dur traitées par les 5 souches de rhizo-bactéries endophytes.

Test de Duncan ; variable MGT (Germination FINAL) Groupes Homogènes, alpha = .05000 (Recherche Non-Exhaustive) Erreur : MC Inter = .56177, dl = 48.000						
	Conc	Souche	MGT	1	2	3
3	0	S55	1.677778	****		
5	0	S14	1.733333	****		
23	140	S14	1.788889	****		
14	80	S39	1.870370	****		
7	40	S21	1.962963	****		
17	80	S14	1.966667	****		
9	40	S55	2.033333	****		
4	0	S02	2.041667	****		
2	0	S39	2.048148	****		
6	0	S0	2.095238	****		
15	80	S55	2.125926	****		
11	40	S14	2.133333	****		
13	80	S21	2.166667	****		

19	140	S21	2.202381	****		
20	140	S39	2.255556	****		
1	0	S21	2.303704	****		
21	140	S55	2.522222	****		
22	140	S02	2.704762	****		
10	40	S02	2.787037	****	****	
16	80	S02	2.960317	****	****	****
8	40	S39	3.086111	****	****	****
12	40	S0	4.085714		****	****
18	80	S0	4.097222		****	****
24	140	S0	4.248148			****

1.4 L'indice de germination (GI) :

Tableau (4.a) : Analyse de la variance de l'effet de stress oxydatifs par le chrome hexavalent sur l'indice de germination (GI) chez les graines de blé dur traitées par 5 souches de rhizo-bactéries endophytes.

Tests Univariés de Significativité pour GI (Germination FINAL) Paramétrisation sigma-restreinte					
Décomposition efficace de l'hypothèse					
	SC	Degr. de	MC	F	p
ord. origine	1574.366	1	1574.366	2274.766	0.000000
Conc	19.006	3	6.335	9.154	0.000077
Souche	116.972	5	23.394	33.802	0.000000
Conc*Souche	16.742	15	1.116	1.613	0.108385
Erreur	31.145	45	0.692		

Tableau(4.b) : Test de Newman-keuls au seuil de 5% variance de l'effet de stress oxydatifs par le chrome hexavalent sur l'indice de germination (GI) dans les graines de blé dur traitées par 5 souches de rhizo-bactéries endophytes.

Anexes 2 : Les paramètres physiologiques

2.1 Le poids frais:

Tableau (5) : Analyse de la variance de l'effet de stress oxydatifs par le chrome hexavalent sur la production de matière fraîche chez les plantules de blé dur traitées par les 5 souches de *rhizo-bactéries endophytes*

Tests Univariés de Significativité pour poid frais (Germination FINAL) Paramétrisation sigma-restreinte Décomposition efficace de l'hypothèse					
	SC	Degr. de	MC	F	p
ord. origine	0.354328	1	0.354328	117.3215	0.000000
Conc	0.015011	3	0.005004	1.6568	0.188793
Souche	0.011200	5	0.002240	0.7417	0.596088
Conc*Souche	0.046215	15	0.003081	1.0201	0.451934
Erreur	0.144967	48	0.003020		

2.2 Le poids sec :

Tableau (6) : Analyse de la variance de l'effet de stress oxydatifs par le chrome hexavalent sur le poids sec chez les plantules de blé dur traitées par les 5 souches souches de *rhizo-bactéries endophytes*

Tests Univariés de Significativité pour PS (Germination FINAL) Paramétrisation sigma-restreinte Décomposition efficace de l'hypothèse					
	SC	Degr. de	MC	F	p
ord. origine	0.026166	1	0.026166	75.27295	0.000000
Conc	0.000575	3	0.000192	0.55110	0.649859
Souche	0.003497	5	0.000699	2.01228	0.093718
Conc*Souche	0.005787	15	0.000386	1.10981	0.373564
Erreur	0.016685	48	0.000348		

2.3 La teneur en eau :

Tableau (7) : Analyse de la variance de l'effet de stress oxydatifs par le chrome hexavalent sur la teneur en eau chez les plantules de blé dur traitées par les 5 souches souches de *rhizobactéries endophytes*

Tests Univariés de Significativité pour TE (Germination FINAL) Paramétrisation sigma-restreinte Décomposition efficace de l'hypothèse					
	SC	Degr. de	MC	F	p
ord. origine	0.190337	1	0.190337	112.4679	0.000000
Conc	0.012069	3	0.004023	2.3772	0.081494
Souche	0.007035	5	0.001407	0.8314	0.533862
Conc*Souche	0.032838	15	0.002189	1.2936	0.243073
Erreur	0.081234	48	0.001692		

2.4 Longueur moyenne de la première feuille (LMF) :

Tableau (8.a) : Analyse de la variance de l'effet du stress oxydatif sur la longueur moyenne de la première feuille (LMF) chez les plantule de blé dur traitées par les 5 souches de *rhizobactéries endophytes*

Tests Univariés de Significativité pour LMF (Germination FINAL) Paramétrisation sigma-restreinte Décomposition efficace de					
	SC	Degr. de	MC	F	p
ord. origine	4168.697	1	4168.697	1706.271	0.00000
Conc	467.164	3	155.721	63.738	0.00000
Souche	44.995	5	8.999	3.683	0.00668
Conc*Souche	83.469	15	5.565	2.278	0.01585
Erreur	117.272	48	2.443		

Tableau (8.b) : Test de Scheffe au seuil de 5% de l'effet du stress oxydatif sur la longueur moyenne de la première feuille (LMF) des graines de blé dur traitées par les 5 souches de *rhizobactéries endophytes*

Test de Scheffe ; variable LMF (Germination FINAL) Groupes Homogènes, alpha = .05000 (Recherche Non-Exhaustive) Erreur : MC Inter = 2.4432, dl = 48.000						
	Conc	Souche	LMF	1	2	3
20	140	S39	3.60667	****		
19	140	S21	4.19333	****	****	

13	80	S21	4.46933	****	****	
15	80	S55	4.52667	****	****	
22	140	S02	4.61333	****	****	
21	140	S55	4.63233	****	****	
24	140	S0	4.84333	****	****	****
17	80	S14	4.98667	****	****	****
14	80	S39	5.69333	****	****	****
23	140	S14	6.04667	****	****	****
16	80	S02	6.27333	****	****	****
11	40	S14	6.75667	****	****	****
7	40	S21	6.79500	****	****	****
18	80	S0	8.32667	****	****	****
9	40	S55	8.62333	****	****	****
1	0	S21	9.06167	****	****	****
10	40	S02	9.59667	****	****	****
6	0	S0	10.54833	****	****	****
4	0	S02	10.83333	****	****	****
12	40	S0	10.88333	****	****	****
5	0	S14	11.21533	****	****	****
2	0	S39	11.59000	****	****	****
8	40	S39	11.73667		****	****
3	0	S55	12.76667			****

2.5 Longueur moyenne des racines (LMR) :

Tableau (9.a) : Analyse de la variance de l'effet du stress oxydatif sur de la longueur moyenne des racines (LMR) chez les plantule de blé dur traitées par les 5 souches de *rhizo-bactéries endophytes*

Tests Univariés de Significativité pour LMR (Germination FINAL) Paramétrisation sigma-restreinte					
Décomposition efficace de l'hypothèse					
	SC	Degr. de	MC	F	p
ord. origine	3464.615	1	3464.615	556.5470	0.000000
Conc	1089.059	3	363.020	58.3146	0.000000
Souche	63.949	5	12.790	2.0545	0.087674
Conc*Souche	287.741	15	19.183	3.0815	0.001548
Erreur	298.810	48	6.225		

Tableau (9.b) : Le Test de LSD de Fisher au seuil de 5% de l'effet du stress oxydatif sur sur de la longueur moyenne des racines (LMR) des graines de blé dur traitées par les 5 souches de *rhizo-bactéries endophytes*

Test LSD ; variable LMR (Germination FINAL) Groupes Homogènes, alpha = .05000 (Recherche Non-Exhaustive) Erreur : MC Inter = 6.2252, dl = 48.000								
	Conc	Souche	LMR	1	2	3	4	5
19	140	S21	1.87333	****				
20	140	S39	2.48533	****				
24	140	S0	3.17000	****	****			
21	140	S55	3.19667	****	****			
14	80	S39	3.40067	****	****			
7	40	S21	3.43333	****	****			
22	140	S02	3.43667	****	****			
17	80	S14	3.59400	****	****			
23	140	S14	3.64033	****	****			
15	80	S55	3.86667	****	****			
11	40	S14	4.05833	****	****	****		
16	80	S02	4.25000	****	****	****		
18	80	S0	4.95000	****	****	****		
9	40	S55	5.77000	****	****	****	****	
13	80	S21	7.21667		****	****	****	
1	0	S21	8.11000			****	****	
6	0	S0	9.36567				****	
8	40	S39	9.57967				****	
12	40	S0	9.63333				****	
10	40	S02	9.83000				****	
2	0	S39	14.97500					****
4	0	S02	15.25667					****
5	0	S14	15.53167					****
3	0	S55	15.86000					****

