



République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique
جامعة زيان عاشور-الجللفة
Université Ziane Achour-Djelfa

كلية علوم الطبيعة والحياة
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
قسم العلوم البيولوجية
Département de Biologie

Projet de fin d'étude
En vue de l'obtention du Diplôme de Master
Filière : Sciences biologiques
Spécialité : Microbiologie appliquée

Thème :

**Contribution à l'étude de l'effet des *Actinobactéries* et du Cr^{6+}
sur la croissance du blé dur (*Triticum durum* Desf.)**

Présenté par :



Goumich Nesrine



Djaiou Nour Elyakin

Devant le jury :

Adli Benziane	MCA	Président
Touati Mostefa	MCA	Promoteur
Hachi Mohamed	MCA	Co-promoteur
Bougoutaia Youcef	MCA	Examineur

Année universitaire : 2022/2023

Remerciement

Tout d'abord, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers Dieu de nous avoir guidés tout au long de ce voyage éducatif et pour nous avoir donné la force, le courage, la patience et les moyens de mener à bien ce travail et la persévérance nécessaire pour réussir.

Nous remercions chaleureusement notre promoteur **Touati Mostefa**, dont l'expertise, le soutien inestimable, et les conseils avisés ont été essentiels dans la réalisation de notre travail de fin d'étude, et notre co-promoteur **M. Hachi Mohamed** que Dieu vous bénisse tous les deux pour votre précieuse contribution qui a permis de mener à bien ce modeste travail.

Cher docteur Bouragba Messaoud,

Nous tenons à exprimer nos profondes gratitude envers vous pour votre leadership exemplaire en tant que chef de département. Votre engagement envers l'excellence académique et votre soutien continu, vos conseils et votre dévouement envers notre réussite ont été une source d'inspiration pour nous.

À notre chère enseignante, **Belli Zoubida**, nous ne pouvons que vous remercier pour l'incroyable enseignement que vous nous avez dispensé. Vous avez été bien plus qu'un professeur pour nous, vous avez été un mentor et un guide précieux dans notre parcours éducatif.

Un sincère remerciement également à Docteur **Ben homida Aissa** pour son soutien inestimable pour nous au laboratoire. Votre expertise et votre dévouement ont contribué à enrichir notre expérience et à développer nos compétences.

Nous tenons à exprimer notre reconnaissance envers le Docteur **Nayl Benamara** pour son orientation judicieuse, ses conseils avisés et son soutien moral constant. Votre mentorat a été d'une importance capitale dans notre travail.

Nous remercions aussi sincère gratitude aux membres du jury et à tous les enseignant de Biologie.

Nous sommes très reconnaissantes à chacun d'entre vous pour votre contribution à ce travail et tout au long du parcours éducatif. Que dieu vous bénisse et nous espérons que notre travail a atteint son sens et apporté un remède à un problème réel.

Avec toutes nos gratitudees....



Dédicaces

Louange à Dieu, par la grâce duquel les bonnes actions sont accomplies. Louange à Dieu, qui m'a fait ressentir la grandeur du succès et qui m'a honoré de l'obtention de mon diplôme.

Je dédie ce travail à :

Mes chers parents : ma mère qui a été l'incarnation de l'amour maternel inconditionnel. Ta tendresse, ta force et ta sagesse sont un phare dans ma vie. Chaque jour, je suis reconnaissante pour les sacrifices que tu as faits et pour la manière dont tu as guidé mes pas.

Mon père, ton dévouement et ton sens des responsabilités sont une source d'inspiration constante. Ta présence rassurante et ton soutien indéfectible ont façonné la personne que je suis aujourd'hui. Je suis honoré d'être ta fille et fière de suivre tes pas.

À mes chers frères Moncef, Abderrahmane et ma jolie sœur Marwa.

À mes chères cousines Nassima et Hafsa, à toute ma famille et ma chère sœur Zoubida Belli.

À ma chère amie et mon binôme Nour El yakine.

À toutes mes amies.

À tous mes professeurs.

Nesrine

A decorative circular frame with a dashed border. The frame is adorned with two black graduation caps at the top, several yellow scrolls tied with red ribbons, and clusters of blue and white flowers. The background is a light, textured grey.

Dédicaces

Je rends grâce à dieu le tout-puissant et miséricordieux
pour m'avoir donné la force et les moyens de suivre ce
travail

En ce jour de Graduation

Je dédie ce travail À ma très chère mère...Quoi que
je fasse ou que je dis, je n'aurai point te remercier comme il
se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide
et ta présence à mes côtés ont toujours été ma source de
force pour affronter les différents obstacles.

À mon cher père... Tu as toujours été à mes côtés
pour me soutenir et m'encourager. Que ce travail traduit
ma gratitude et mon affection.

À ma chère grand-mère et toute ma famille ; et mes chers
frères Youcef et Abderrahmane.

À mes belles Chaima et ma chère Zoubida Belli.

Merci à tous mes enseignants

À ma chère amie et mon binôme Nesrine.

Merci du fond du cœur.

Nour Elyakin

Sommaire

Remerciements	
Dédicaces	
Sommaire	
Liste des tableaux	
Liste de figures	
Liste des abréviations	
Résumé	
Abstract	
ملخص	
I. INTRODUCTION BIBLIOGRAPHIQUE	
1. Contexte général	1
2. Le but de l'étude	7
II. MATERIEL ET METHODES	
1. Matériel	
1.1. Matériel biologique	8
1.2. Matériel utilisé	8
2. Méthodes	
2.1. Préparation de la solution de bichromate de potassium	10
2.2. Préparation du sol de plantation	11
2.3. Dispositif expérimental	12
2.4. L'inoculation des <i>Actinobactéries</i>	13
2.5. Mise en culture	15
2.6. Ajout du chrome hexavalent (arrosage)	15
2.7. Les paramètres étudiés	15
3. Etude statistique	24
III. RESULTAT ET DISCUSSION	
1. Résultat	25
1.1. Morphologie du blé dur pendant les deux périodes de contact avec le chrome hexavalent	25
1.2. Les paramètres de la germination	26
1.3. Les paramètres physiologiques et biochimiques	33
2. Discussion	66
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	73
LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	75
ANNEXES	

Liste des tableaux

Tableau 1: Le dispositif expérimental aléatoire adopté	12
---	-----------

Liste des figures

Figure 1: Préparation de la solution de bichromate de potassium (0.1 g/l de chrome hexavalent)	11
Figure 2 : Préparation du mélange de sol, sable, tourbe	12
Figure 3: Dispositif expérimental aléatoire adopté	13
Figure 4 : Etapes d'intégration des souches d' <i>Actinomyces</i> dans le blé	14
Figure 5: Implantation des graines de blé dur	15
Figure 6: Etapes de la germination des grains de blé	17
Figure 7: Mesure de la biomasse fraîche et la biomasse sèche	18
Figure 8: Mesure de la perméabilité membranaire	19
Figure 09: Détermination de la teneur en chlorophylle	20
Figure 10: Dosage de sucres totaux solubles	21
Figure 11 : Dosage de la proline	22
Figure 12 : Les étapes de l'extraction enzymatique	23
Figure 13 : Dosage d'activité enzymatique (CAT)	24
Figure 14 : Dosage d'activité enzymatique (POD).....	24
Figure 15 : Morphologie du blé dur avant et après 14 (A) et 35 (B) jours de contact avec le chrome hexavalent	25
Figure 16(a/b): L'effet du stress oxydatif sur le pourcentage de germination final (FGP, %) chez les graines de blé dur traitées par les 2 souches d' <i>Actinobactéries</i>	26
Figure 17 : L'effet du stress oxydatif sur la germination moyenne journalière (MDG, %) chez les graines de blé dur traitées par les 2 souches d' <i>Actinobactéries</i>	28
Figure 18(a/b) : L'effet du stress oxydatif sur le temps moyen de germination (MGT) chez les graines de blé dur traitées par les 2 souches d' <i>Actinobactéries</i>	29
Figure 19 (a/b) : L'effet du stress oxydatif sur l'indice de germination (GI) chez les graines de blé dur traitées par les 2 souches d' <i>Actinobactéries</i>	30
Figure 20 (a/b) : L'effet du stress oxydatif sur la vitesse germinative (GV) chez les graines de blé dur traitées par les 2 souches d' <i>Actinobactéries</i>	32
Figure 21 : L'effet du stress oxydatifs sur la production de la matière fraîche chez les plantules de blé dur traitées par les 2 souches d' <i>Actinobactéries</i>	33
Figure 22(a/b) : L'effet du stress oxydatif sur le poids sec des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d' <i>Actinobactéries</i>	34
Figure 23 : L'effet du stress oxydatif sur la teneur en eau chez les plantules de blé dur traitées par les 2 souches d' <i>Actinobactéries</i>	36
Figure 24 (a/b) : L'effet du stress oxydatif sur la perméabilité membranaire des feuilles de plantules de blé dur traitées par les 2 souches d' <i>Actinobactéries</i>	37
Figure 25 : L'effet du stress oxydatif sur la teneur en chlorophylle a des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d' <i>Actinobactéries</i>	38
Figure 26 (a/b) : L'effet du stress oxydatif sur la teneur en chlorophylle b des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d' <i>Actinobactéries</i>	39
Figure 27 : L'effet du stress oxydatif sur la teneur en chlorophylle totale (a+b) des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d' <i>Actinobactéries</i>	41
Figure 28 : L'effet du stress oxydatif sur la teneur en caroténoïdes (x+c) des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d' <i>Actinobactéries</i>	42

Liste des figures

Figure 29 (a/b) : L'effet du stress oxydatif sur la teneur en sucres totaux solubles des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d' <i>Actinobactéries</i>	43
Figure 30 (a/b) : L'effet du stress oxydatif sur l'accumulation de la proline des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d' <i>Actinobactéries</i>	44
Figure 31 (a/b) : L'effet du stress oxydatifs sur l'activité catalase des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d' <i>Actinobactéries</i>	46
Figure 32 (a/b) : L'effet du stress oxydatif sur l'activité peroxydase des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d' <i>Actinobactéries</i>	47
Figure 33 (a/b) : L'effet du stress oxydatif sur la production de la matière fraîche chez les plantules de blé dur traitées par les 2 souches d' <i>Actinobactéries</i>	49
Figure 34 : L'effet du stress oxydatif sur le poids sec chez les plantules de blé dur traitées par les 2 souches d' <i>Actinobactéries</i>	50
Figure 35 : L'effet du stress oxydatif sur la teneur en eau chez les plantules de blé dur traitées par les 2 souches d' <i>Actinobactéries</i>	51
Figure 36 (a/b) : L'effet du stress oxydatif sur la perméabilité membranaire dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les deux souches d' <i>Actinobactérie</i>	52
Figure 37 (a/b) : L'effet du stress oxydatif sur la teneur en chlorophylle a des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d' <i>Actinobactéries</i>	54
Figure 38 : L'effet du stress oxydatif sur la teneur en chlorophylle b des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d' <i>Actinobactéries</i>	56
Figure 39 (a/b) : L'effet du stress oxydatif sur la teneur en chlorophylle totale (a+b) des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d' <i>Actinobactéries</i>	57
Figure 40 : L'effet du stress oxydatif sur la teneur en caroténoïdes des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d' <i>Actinobactéries</i>	58
Figure 41 (a/b) : L'effet du stress oxydatif sur la teneur en sucre totaux solubles des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d' <i>Actinobactéries</i>	59
Figure 42 (a/b) : L'effet du stress oxydatif sur l'accumulation de proline dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d' <i>Actinobactéries</i>	61
Figure 43 (a/b) : L'effet du stress oxydatif sur l'activité catalase dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d' <i>Actinobactéries</i>	62
Figure 44 (a/b) : L'effet du stress oxydatif sur l'activité de la peroxydase dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d' <i>Actinobactéries</i>	64

Liste des abréviations

1. **S0** : sans souche d'*Actinobactérie*.
2. **S1** : la souche d'*Actinobactérie* IA1.
3. **S2** : la souche d'*Actinobactérie* D15.
4. **PGPR**: plant growth promoting Rhizobacteria.
5. **Cr(III)** : Chrome trivalent.
6. **Cr(VI)** : Chrome hexavalent.
7. **C0** : zéro concentration de chrome.
8. **C1** : la concentration 20 ml.
9. **C2** : la concentration 40ml.
10. **C3** : la concentration 60ml.
11. **K₂Cr₂O₇** : Dichromate de potassium.
12. **Cd** : le cadmium.
13. **H₂SO₄** : Acide sulfurique.
14. **CH₃COOH** : Acide acétique.
15. **H₃PO₄** : Acide ortho phosphorique.
16. **Na₂H₂PO₄** : Sodium phosphate monobasique.
17. **Na₂HPO₄** : Sodium phosphate dibasique.
18. **SPB** : Sodium Phosphate Buffer.
19. **PH** : potentiel hydrogène.
20. **µm** : Micromètre.
21. **UV** : ultra-violet

Résumé

La contamination des sols par le chrome affecte la croissance des plantes et ce métal peut s'accumuler dans les tissus des plantes. D'autre part, les rhizobactéries favorisant la croissance des plantes (PGPR) peuvent protéger les plantes contre les métaux en atténuant leurs effets néfastes. Cette étude a évalué le rôle de deux souches d'*Actinobactères* (IA1, D15) sur la croissance du blé dur dans un sol contaminé par quatre concentrations de Cr (VI) : 0, 20, 40, 60.

Les paramètres étudiés sont : les paramètres de germination (pourcentage de germination finale (FGP), germination quotidienne moyenne (MDG), temps de germination moyen (MGT), indice de germination (GI) et la valeur de germination (GV)) et les paramètres physiologiques et biochimiques (la biomasse, les pigments photosynthétiques, la perméabilité membranaire, la teneur en sucre totaux et proline et l'activité d'enzymes antioxydants (CAT/POD)).

Les résultats obtenus ont montré que les deux souches ont stimulé efficacement la croissance du blé dur sous stress oxydatif en influençant certains paramètres testés surtout l'activité des enzymes antioxydantes (CAT/POD) en protégeant les plantules contre les dommages oxydatifs des espèces réactives de l'oxygène (ROS) générées par le chrome (VI),.

En conclusion, la phytoremédiation associée à des micro-organismes favorisant la croissance des plantes est une approche important d'élimination de la pollution de l'environnement.

Mots clés : *Actinobactéries*, Blé dur, Cr(VI), PGPR, stress oxydatif.

Abstract

Chromium contamination of soil affects plant growth and this metal can accumulate in plant tissues. On the other hand, plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) can protect plants against metals by moderating their harmful effects. This study evaluated the role of two strains of *Actinobacteria* (IA1, D15) on the growth of durum wheat in soil contaminated by four concentrations of Cr (VI): 0, 20, 40, and 60.

The studied parameters are the germination parameters (final germination percentage (FGP), mean daily germination (MDG), average germination time (MGT), germination index (GI) and germination value (GV)) and the physiological and biochemical parameters (biomass, photosynthetic pigments, membrane permeability, total sugars and proline content and antioxidant enzyme activity (CAT/POD)).

The obtained results showed that the two strains effectively stimulated durum wheat growth under oxidative stress by influencing certain parameters tested, especially the activity of antioxidant enzymes (CAT/POD) by protecting wheat seedlings against oxidative damage from reactive oxygen species (ROS) generated by chromium (VI).

In conclusion, phytoremediation combined to plant growth promoting microorganisms is an important approach in removing environmental pollution.

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

ملخص

يؤثر تلوث التربة بالكروم على نمو النبات ويمكن أن يتراكم هذا المعدن في أنسجة النبات . من ناحية أخرى، يمكن للبكتيريا الجذرية المعززة لنمو النبات (PGPR) حماية النباتات من المعادن عن طريق التخفيف من آثارها الضارة. قيمت هذه الدراسة دور سلالتين من البكتيريا الخيطية (IA1, D15) في نمو القمح الصلب في تربة ملوثة بأربعة تراكيز من الكروم: 0، 20، 40 و 60.

العوامل التي تمت دراستها هي: عوامل الانتاش (نسبة الإنبات النهائية) (FGP) ، متوسط الإنبات اليومي (MDG) ، متوسط وقت الإنبات (MGT) ، مؤشر الإنبات (GI) وقيمة الإنبات ((GV)) والعوامل الفسيولوجية والكيميائية الحيوية (الكتلة الحيوية، أصباغ التمثيل الضوئي، نفاذية الغشاء، محتوى السكريات الكلية والبرولين ونشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة (CAT/POD)).

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن السلالتين حفزتا بشكل فعال نمو القمح الصلب تحت الإجهاد التأكسدي من خلال التأثير على بعض العوامل التي تم اختبارها، وخاصة نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة (CAT/POD) عن طريق حماية الشتلات من الأضرار التأكسدية من الأنواع التفاعلية للأكسجين (ROS) الناتجة عن الكروم (VI) .

وفي الأخير نستخلص، أن المعالجة النباتية جنباً إلى جنب مع الكائنات الحية الدقيقة المعززة لنمو النبات هي طريقة مهمة للقضاء على التلوث البيئي .

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

INTRODUCTION
BIBLIOGRAPHIQUE

INTRODUCTION BIBLIOGRAPHIQUE

1. Contexte général

Le blé est la première source alimentaire du monde et la plus importante source de protéines. Ils fournissent également une ressource précieuse pour la nutrition animale et une variété d'applications industrielles. La majeure partie de la nourriture mondiale est fournie par les céréales, dont 95% sont produites par les grandes cultures céréalières (Bonjean et Picard, 1991).

Le blé dur représente environ 8 % de la superficie mondiale, dont 70 % se trouvent dans le bassin méditerranéen. En fait, les pays turcs, syriens, grecs, italiens, espagnols et nord-africains figurent parmi les principaux producteurs (Monneveux, 2002). En outre, le blé dur joue un rôle important dans l'économie algérienne. En 2012, elle a réalisé une production de blé de 51,2 MQ, contre une production mondiale de 690 MT. 1 785 000 hectares des 3 Mha réservés à la céréaliculture sont consacrés à la culture du blé (CIC, 2000).

Le genre *Triticum* a un certain nombre d'espèces cultivables, y compris les blés. D'un point de vue génétique, ils peuvent être divisés en diploïdes (*Triticum monococcum* : 14 chromosomes), tétraploïdes (*Triticum turgidum* : 28 chromosomes), et hexaploïdes (*Triticum aestivum* : 42 chromosomes). Ainsi, la genèse du rye dur est un hybride, le résultat d'un croisement ad hoc et naturel entre le *Triticum monococcum* sauvage et une herbe de rye sauvage connu sous le nom d'*Aegilops speltoides*, qui sont tous deux étroitement liés en raison de leur proximité géographique (Belaid, 1996). *T. aestivum* L. (blé tendre) et *T. durum* Desf. (Blé dur) représentent la grande majorité des blés cultivés en Algérie. De nombreuses variétés botaniques peuvent être trouvées au sein de chaque espèce. En effet, la diversité des céréales algériennes a été initialement étudiée en utilisant des caractéristiques morphologiques. D'autres facteurs tels que la taille, la forme épique et la position de la barbe ont été pris en considération pour différencier un grand nombre de populations (Erroux, 1974).

Le blé dur se trouve confronté à plusieurs types de stress abiotique tels que : le stress salin, le stress hydrique (Laus et al., 2022), le stress thermique (Kamrani et al., 2018) ,le stress par les métaux lourds (Aprile et al., 2019).

Introduction bibliographique

Selon (Zhao et al., 2001), le blé dur *Triticum durum* est l'un des groupes végétaux les plus fréquemment étudiés en raison de sa capacité à assimiler des niveaux importants de métaux lourds et à produire une biomasse de racines et de pousses relativement élevée, même dans des conditions environnementales extrêmes (Moule 1980; Prevost 1976 ; Grignac 1978).

Les métaux lourds tels que le mercure, le plomb, le chrome, le cadmium et d'autres ont été identifiés comme présentant un risque environnemental important. Parce qu'ils pouvaient facilement pénétrer et s'accumuler dans la chaîne alimentaire par les plantes, le sol et les canaux hydriques, leur toxicité ; leur persistance et leur devenir ont causé des dommages importants à l'environnement, au sol et à la santé humaine. Le chrome est l'un des métaux les plus couramment utilisés. Elle se développe dans les industries des pigments, de la peinture, du cuir, du tannage et de la galvanoplastie (Peralta-Videa et al., 2009 ; Farid et al., 2013 ; ANJUM et al., 2017).

Le chrome est le 21ème élément le plus répandu dans la croûte terrestre à environ 100 ppm. Malgré le fait qu'il existe dans une variété d'états d'oxydation. Le chrome pur est un métal cristallin gris acier, brillant et dur. C'est le 24ème élément du tableau périodique et fait partie du groupe de transition, qui comprend le molybdène et le tungstène. Il est situé entre le vanadium et le manganèse et a une masse atomique moyenne de 52, (Barnhart, 1997).

En raison de son utilisation industrielle répandue, le chrome est considéré comme un polluant environnemental dangereux. La contamination du sol et de l'eau par le chrome (Cr) est une préoccupation récente. La toxicité du Cr pour les plantes dépend de son état de valence, souvent sous deux formes principales, le chrome trivalent et le chrome hexavalent, ce dernier est considéré comme la plus grande menace en raison de son fort potentiel oxydant, de sa solubilité et de sa mobilité à travers les membranes ,(Shanker et al., 2005).

Les entreprises de tannerie sont celles qui contribuent le plus à la contamination de l'environnement par le Cr (VI), avec environ 40 millions de litres d'eaux usées de tannerie rejetées chaque année. Le Cr (VI) a de nombreux effets néfastes sur la santé humaine, le plus grave étant le cancer. C'est l'une des raisons pour lesquelles elle a été choisie pour cette étude car la pollution au Cr (VI) dans la ville de Djelfa adjacente à la vallée d'Oued Mellah est

Introduction bibliographique

préoccupante, avec des concentrations élevées de chrome (50 mg/kg à 0,6 mg/L) découvertes respectivement dans le sol et les eaux usées (Hachi et al., 2022).

Cette pollution a un impact négatif sur l'environnement, notamment sur les plantes, le bétail et les humains. Les implications qui en résultent sur la santé environnementale deviennent une source majeure de préoccupation, et on estime que des centaines de milliers de travailleurs dans les industries basées sur le Cr seront potentiellement exposés à des niveaux élevés de Cr(VI),(ANJUM et al., 2017 ; López-Bucio et al., 2022).

L'assainissement des sols est le processus d'élimination et/ou de conversion des polluants tels que les métaux lourds, les pesticides, les semi-volatiles, les résidus de pétrole et de carburant, etc., qui peuvent nuire à la santé humaine et à l'environnement en raison de la pollution des sols. Plusieurs manières pourraient être employées.

a-Technologies chimiques :

1-Nettoyage des sols : Le nettoyage du sol, également connu sous le nom de lixiviation du sol, est le processus d'infusion de réactifs chimiques dans le sol pour aider à dissoudre ou à transporter les contaminants, suivi de la collecte de lixiviat enrichi en polluants. Cette approche a été utilisée sur des sols présentant des degrés de pollution variables ((Jho et al., 2015);(Rasmussen et al., 2015) ;(Wei et al., 2016) ; (Beiyuan et al., 2017) ;(Wang et al., 2017) ;(Wan et al., 2020)).

2-immobilisation du sol : Il fait référence à l'utilisation de réactifs chimiques pour immobiliser les polluants du sol et réduire ainsi les dangers possibles produits par un excès de polluants dans le sol. En raison de son faible coût et de sa facilité d'utilisation, l'immobilisation du sol gagne en popularité. Comme agents d'immobilisation, des composés métalliques, des déchets solides et du biochar sont couramment utilisés (Doherty et al., 2017).

b- Technologies physiques :

Remplacement du sol et couverture du sol : Les deux techniques sont similaires dans la mesure où elles nécessitent le remplacement du sol contaminé par un sol propre. Le plus gros inconvénient de cette philosophie est son coût élevé et sa consommation d'énergie. L'épaisseur

Introduction bibliographique

du sol au sommet est généralement d'au moins 20 cm et varie entre 20 et 40 cm selon la propriété du sol, la méthode de dressage et l'environnement ,(Wan et al., 2020).

Turnover et atténuation : Pour réduire la concentration totale, la terre végétale contaminée est mélangée à de la terre profonde. Cependant, cela coûte cher et peut avoir un impact négatif sur le développement des cultures (Chen & Chiou, 2008).

Remédiation électronique : Il fait référence à la création d'un champ électrique utilisant un courant continu en introduisant des électrodes dans des solutions de sol contaminées. Les polluants migrent avec le champ électrique de la zone de traitement vers la zone des électrodes. L'électrodéposition ou l'extraction par échange d'ions peuvent être utilisées pour les éliminer (Wan et al., 2020).

c- Remédiation biologique : Elle comprend la transformation biochimique ou l'immobilisation de la pollution des sols. Les techniques de bioremédiation comprennent la biosorption, la biocoagulation, la biofloculation, la dégradation enzymatique et la transformation de micro-organismes avec des bactéries, des algues et des champignons (Société québécoise de phytotechnologie, 2016).

La phytoremédiation est une méthode fantastique et peu coûteuse. Il permet de réduire les niveaux de métaux lourds dans les sols contaminés. Au cours des deux dernières décennies, le développement de la phytoremédiation s'est principalement concentré sur l'utilisation des plantes. La capacité de phytoremédiation des plantes pourrait être augmentée en combinant certains micro-organismes, comme les bactéries actinomycètes. Elle repose sur la capacité de certaines souches bactériennes à collecter et/ou éliminer le Cr(VI) du sol et des tissus végétaux ; ce faisant, la phytoremédiation est stimulée et la capacité des plantes est considérablement augmentée (Société québécoise de phytotechnologie, 2016 ; Tirry et al., 2018 ; Veerapagu et al., 2023).

La phytoremédiation associée à des micro-organismes favorisant la croissance des plantes est une approche unique d'élimination de la pollution de l'environnement (Tirry et al., 2018) ; (Mallick et al., 2018), (Veerapagu et al., 2023).

Les Rhizobactéries peuvent coloniser la rhizosphère de manière agressive, et plusieurs types de rhizobactéries peuvent jouer un double rôle d'engrais biologique et de bioprotecteur

Introduction bibliographique

chez les plantes. Les rhizobactéries de *Pseudomonas sp* représentent un groupe bénéfique pour les plantes car ils peuvent fertiliser le sol et agir comme inducteur de résistance des plantes (Chiboub et al., 2016) ; (Muñoz et al., 2021) ; (Hauchhum & Tripathi, 2020) ;(Mayak et al., 1999).

L'un des plus grands phylums de bactéries est celui des *Actinobactéries*, et elles sont largement répandues dans les écologies aquatiques et terrestres (Barka et al., 2016). Ce sont des bactéries Gram-positives avec des concentrations élevées de guanine-plus-cytosine dans leur ADN et une morphologie filamenteuse distinctive (Puttaswamygowda et al., 2019). Elles se développent par une combinaison d'extension de la pointe et de ramification des hyphes. C'est ce qui leur a donné leur nom, qui dérive des mots grecs pour ray (aktis ou aktin) et champignons (mukēs) (Barka et al., 2016, Wink et al., 2017). La synthèse Actinobactérienne de métabolites bioactifs est bien connue. Leur capacité à coloniser la rhizosphère et les racines des plantes, à contrôler les micro-organismes phytopathogènes et à produire des spores adaptées à la formulation de produits stables sont autant de traits cruciaux pour le succès du biocontrôle (W. M. Yuan & Crawford, 1995).

Les *Actinobactéries* peuvent avoir des effets positifs sur la croissance des plantes de plusieurs manières spécifiques, les effets potentiels des *Actinobactéries* sur la croissance de la plante :

- A.** Amélioration de la nutrition minérale : Les *Actinobactéries* présentes dans le sol peuvent solubiliser des minéraux, tels que le phosphate, en les rendant plus accessibles aux racines du blé dur. Cela peut augmenter l'absorption des éléments nutritifs essentiels, favorisant ainsi une croissance plus vigoureuse des plantes. Comme mentionné par (Chiboub et al., 2016) dans son étude sur les bactéries du sol. Et (Tirry et al., 2018).
- B.** Fixation de l'azote : Certaines souches d'*Actinobactéries* pourraient être capables de fixer l'azote atmosphérique par la symbiose avec le plant, ce qui pourrait fournir une source supplémentaire d'azote pour la plante. L'azote est un élément nutritif crucial pour la formation des protéines et la croissance des plantes. En tant que dans les résultats de (Muñoz et al., 2021) sur les rhizosphères microorganismes.

Introduction bibliographique

- C. Les *Actinobactéries* peuvent produire des phytohormones telles que les auxines, les gibbérellines et les cytokinines, qui sont impliquées dans la régulation de la croissance et du développement des plantes. Selon les résultats des (Chiboub et al., 2016), (Tirry et al., 2018) nombreux PGPR sont capables de produire des phytohormones.
- D. Protection contre les pathogènes : Les *Actinobactéries* peuvent produire des métabolites secondaires avec des propriétés antimicrobiennes, ce qui peut aider à protéger les plantes contre les infections fongiques et bactériennes qui pourraient entraver leur croissance. Comme l'étude de (W. M. Yuan & Crawford, 1995) sur l'*Actinomycète Streptomyces lydicus*.
- E. Les interactions entre les *Actinobactéries* et les racines du plante peuvent stimuler les mécanismes de défense naturelle de la plante, et produisant des régulateurs de croissance et réguler les mécanismes physiologiques induits par le stress des plants. Cela peut renforcer sa résistance aux maladies et aux stress environnementaux. Comme ce qui a été mentionné à propos de l'étude de (Yahya Khan et al., 2013) sur les bactéries tolérantes au Cr (VI).
- F. Les *Actinobactéries* peuvent contribuer à la formation d'une structure du sol favorable en favorisant l'agrégation des particules du sol. Cela peut améliorer la rétention d'eau et la pénétration des racines, bénéficiant ainsi à la croissance du plant. Et pourraient favoriser la croissance du plant tout en limitant l'accumulation de chrome dans les pousses dans des sols contaminés par le chrome, où les rhizobactéries montrent un potentiel pour améliorer la croissance des plantes en réduisant la translocation du chrome dans les plantes, en augmentant la biomasse et l'activité microbiennes du sol. Selon les résultats de l'étude du (Silva et al., 2021) sur l'effet des PGPR sur la croissance du maïs et la biomasse microbienne dans un sol contaminé au chrome.

Il est important de noter que les effets des *Actinobactéries* peuvent varier en fonction des souches spécifiques présentes dans le sol, des conditions environnementales et des interactions complexes avec d'autres micro-organismes et les plantes elles-mêmes. Des études spécifiques à l'espèce de blé dur peuvent être nécessaires pour mieux comprendre comment les *Actinobactéries* influencent sa croissance dans des conditions spécifiques.

Introduction bibliographique

Le présent travail s'insère dans une optique de lutte contre un stress oxydatif causé par 4 concentrations croissantes de Cr^{6+} en évaluant l'effet de la bactérisation des graines de blé dur par deux souches d'*Actinobactéries* dotées d'action PGPR.

2. Le but de l'étude

Le but de ce travail est de tester la capacité de deux souches d'*Actinobactéries* dans la stimulation de la croissance des plantules de blé dur sous stress oxydatif (chrome hexavalent) par l'évaluation de la variabilité de certains paramètres physiologiques et biochimiques fréquemment affectés par les conditions de stress.

MATERIEL ET METHODES

I. MATERIEL ET METHODES

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

1. Matériel

1.1. Matériel biologique

- Deux souches d'*Actinobactéries* (D15, IA1)
- Des graines de Blé dur variété (Vitron R2).

1.2. Matériel utilisé :

- Verreries :
 - Mortier et pilon
 - Bécher
 - Erlenmeyer
 - Eprouvette graduée
 - Flacon de prélèvement
 - Pipette gradué 6ml, 20ml ,40ml, 60ml
 - Tube à essai
 - Verre de montre
- **Appareillage :**
 - Micropipette 30µl, 50µl, 100µl, 900µl, 1000µl
 - Balance analytique
 - Hotte
 - Etuve
 - pH mètre
 - Spectrophotomètre UV-visible
 - Conductimètre
 - Bec benzène
 - Machine à glace
 - Centrifugeuse réfrigérée
 - Bain marie
 - Agitateur

Matériel et méthodes

- Vortex
- Réfrigérateur
- Autoclave
- **Produits**
- Dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$).
- Acétone
- Méthanol
- Phénol
- Proline
- Glucose
- Polyvinyle pyrrolidone k-30 20g
- Eau distillé
- Gaïacol
- Phosphate de sodium dibasique (Na_2SPO_4)
- Phosphate de sodium monobasique (NaH_2SPO_4)
- Acide sulfurique
- Acide acétique
- Acide ortho phosphorique
- Ninhydrine
- Toluène
- **Autre matériel consommables :**
- Tube conique
- Les tickets d'étiquetage (7couleur) Marqueur permanent, bloc note
- Cuvette pour UV-visible en plastique et en quartz
- Ciseaux, Seringue, Coton, Gants
- Tube en plastique
- Entonnoir
- Port tube
- Lunette de protection
- Boite de pétri
- Pelle
- Spatule, Pissette

Matériel et méthodes

- Papier Aluminium, Papier filtre, Pince

2. Méthodes

2.1. Préparation de la solution de bichromate de potassium :

$$1 \cdot K_2Cr_2O_7 = 294,185 \text{ g/mol}$$

$$M_K = 39,1 \text{ g/mole}$$



$$C = 0,1 \text{ g/l}$$

$$V = 2,5 \text{ L} \quad M_{K_2Cr_2O_7} = ?$$

$$C \cdot V = 2,5 \cdot 0,1 = 0,25 \text{ g}_{Cr_2O_7^{2-}}$$

$$M_{Cr_2O_7^{2-}} = M_{K_2Cr_2O_7} - 2M_K = 294,21 - 2(39,1)$$

$$M_{Cr_2O_7^{2-}} = 216 \text{ g/mol}$$

$$n_{K_2Cr_2O_7^{2-}} = n_{Cr_2O_7^{2-}}$$

$$n_{mol} = M(g) / M(g/mol)$$

$$= 294,21 \cdot 0,25 / 216 = 0,3405 \text{ g}$$

Peser 0,3405 g de dichromate de potassium $K_2Cr_2O_7$ à l'aide d'une spatule et d'un verre de montre, dissoudre dans 2.5L d'eau distillée à l'aide d'une fiole jaugée et remplir le flacon.

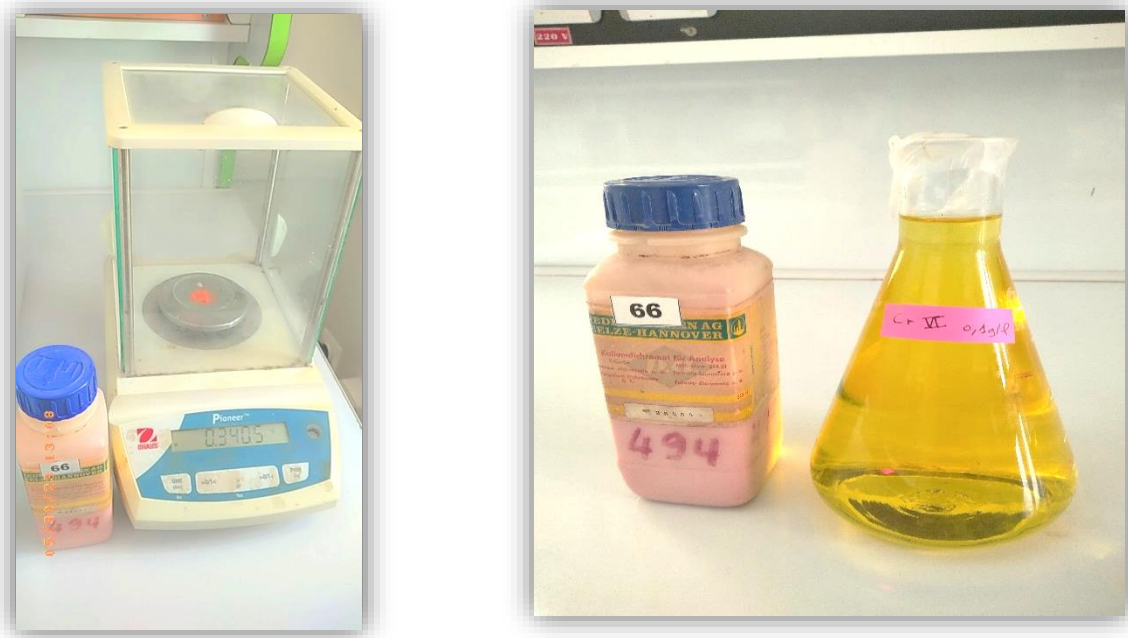


Figure 1: Préparation de la solution de bichromate de potassium (0.1 g/l de chrome hexavalent).

2.2.Préparation du sol de plantation :

Nous avons commencé par la préparation du sol de plantation, en mélangeant uniformément les composants suivants équitablement :

- Le sol : en raison de sa propriété qui permet la conservation de l'eau et des éléments nutritifs pour les plantes.
- Le sable : qui améliore le drainage et l'aération du sol.
- La tourbe : pour fournir les nutriments nécessaires pour la bonne croissance des racines et des feuilles.

Après avoir préparé le sol, nous avons éliminé la partie grossière avec un tamis de taille de ports de deux millimètres. Ensuite, nous les avons mis dans soixante-douze pots en plastique que nous avons préalablement perforés en bas pour faciliter l'évacuation de l'excès d'eau qui servira à l'arrosage du sol.

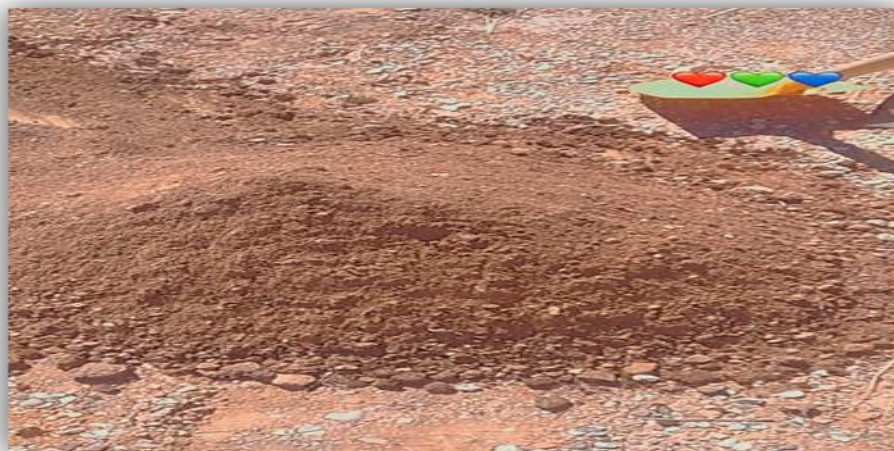


Figure 2 : Préparation du mélange de sol, sable, tourbe

2.3. Dispositif expérimental :

Nous avons rempli les pots en plastique avec le sol préparé, puis nous avons étiqueté les pots selon les conditions expérimentales désirées. Statistiquement, les pots sont disposés aléatoirement. Le dispositif expérimental comprend cinq traitements (2 souches d'actinomycètes : IA1, D15, et trois concentrations de chrome hexavalent : 20, 40, 60 ppm et deux témoins, le premier est sans micro-organisme et le deuxième sans chrome (S0, C0). Chaque traitement est répété trois fois et chacun des deux pots représentent une répétition (1 pot pour le 1er prélèvement et un autre pot pour le 2^{ème} prélèvement). Le tableau 1, ainsi que la figure 3 regroupent le schéma des différentes combinaisons expérimentales réalisées.

Tableau 1 : Le dispositif expérimental aléatoire adopté

C1S0R1	C0S2R2	C1S1R2	C2S1R2	C0S0R1	C3S2R1
C1S0R3	C1S0R2	C0S1R1	C3S2R2	C3S1R2	C3S0R3
C2S2R2	C1S2R1	C0S1R3	C2S0R1	C0S1R2	C2S0R2
C3S0R2	C1S2R2	C0S2R3	C1S1R1	C2S2R1	C0S2R1
C0S0R2	C3S1R1	C3S2R3	C2S0R3	C3S0R1	C2S1R1
C1S1R3	C2S1R3	C2S2R3	C1S2R3	C3S1R3	C0S0R3



Figure 3 : Dispositif expérimental aléatoire adopté

2.4. L'inoculation des *Actinobactéries* :

Tout d'abord, la préparation des grains de blé a été commencée par une sélection des grains les plus sains selon leurs tailles. puis nous avons stériliser les grains du blé par un mélange d'un tiers de l'eau de javel avec deux tiers d'eau distillée pendant 5 minute. Après cela, les grains de blé sont récupérés par un entonnoir menu d'un papier filtre.

Ensuite, dans un autre béccher on devise les grains en deux groupes de 240 chacun, puis on met chaque groupe de grains en contact avec une des souches d'*Actinobactérie* (D15, IA1) durant 1 heure, par la suite on procède au séchage des grains dans un milieu stérile (fig4)



1. Stérilisation des grains de blé



2. Filtration des grains de blé



3. Placement de blé dans la 1ère souche (IA1)



4. Placement de blé dans la 2^{ème} souche (D15)



5. Les grains de blé dans les 2 souches après 1 heure

Figure 4 : Etapes d'intégration des souches d'*Actinomycètes* dans le blé.

Matériel et méthodes

2.5. Mise en culture :

Les graines enrobées sont ensuite semées dans des pots en plastique, l'implantation est réalisée dans des pots de 8.5 cm de hauteur, à section carrée de 10 cm et de volume de mélange à 80%. Selon un dispositif expérimental aléatoire en raison de 3 répétitions pour chaque pot. Le semis est réalisé le 23/02/2023 à une densité de 20 graines par pot et avec une profondeur de 2 cm. Ensuite, on les arrose avec le chrome hexavalent, nous avons mis les pots dans des conditions d'implantation favorables, à savoir 16 heures de lumière assurée par un dispositif lumineux composé de douze tubes fluorescents "Daylight" ayant un spectre combiné très proche de celui de la lumière visible.



Figure 5 : Implantation des graines de blé dur.

2.6. Ajout du chrome hexavalent (arrosage) :

L'addition du Cr(VI) est effectuée directement après l'implantation. Nous avons procédé à un arrosage des pots avec des solutions de chrome hexavalent pour savoir l'effet du chrome hexavalent sur le développement du blé.

2.7. Les paramètres étudiés :

Les paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques suivants ont été mesurés :

1. Paramètres de la germination

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

1.2 La Germination moyenne journalière (MDG, %).

Matériel et méthodes

1.3 Le temps moyenne de germination (MGT).

1.4 L'indice de germination (GI).

1.5 La vitesse germinative (GV).

2. Paramètres physiologiques et biochimiques

2.1. Biomasse sèche (BS) et Biomasse fraîche (PF).

2.2. Teneur en eau (TE).

2.3. La perméabilité membranaire (PM).

2.4. Dosage des pigments photosynthétiques.

2.5. Dosage des sucres totaux solubles.

2.6. Dosage de proline.

2.7. Dosage de l'activité catalase (CAT) et peroxydase (POD).

2.7.1. La germination des grains de blé :

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

$$\text{FGP} = (n / N) \times 100$$

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

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

$$\text{MDG} = N / D$$

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

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

$$\text{MGT} = \Sigma (n \times d) / \Sigma n$$

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

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

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

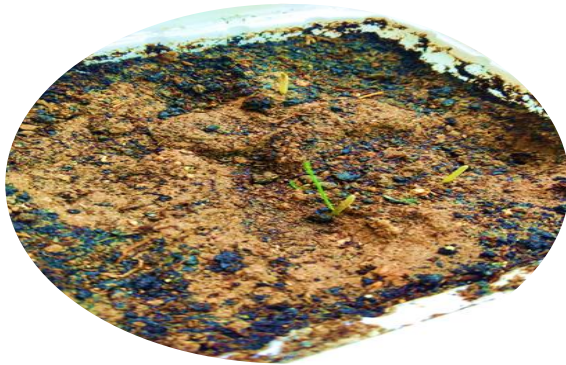
Où 'ni' est le nombre de graines germées au jour 'i' et Di est le jour 'i'.

Matériel et méthodes

2.7.1.5. La valeur germinative (GV) est une valeur composée qui combine à la fois la vitesse de germination et la germination totale. Elle a été calculée selon la formule de (Djavanshir & Pourbeik, 1976) :

$$GV = (\Sigma DGS / N) \times FGP \times 10$$

Où DGS est la vitesse de germination quotidienne, FGP est le pourcentage de germination final et N est le nombre de DGS qui ont été calculés pendant le test.



1. Début de germination (3^{ème} jour)



2. Après 5 jour



3. La fin de germination

Figure 6 : Etapes de la germination des grains de blé.

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

Avec une spatule, nous creusons le sol puis séparons la feuille des racines 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.



Figure 7 : Mesure de la biomasse fraîche et la biomasse sèche.

2.7.2.1. 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 :

$$\mathbf{TE = PF - PS}$$

2.7.2.2. Mesure de la perméabilité membranaire :

Des fragments de 0,5 cm de long sont prélevés d'une feuille et sont rincés dans une boîte de Pétri contenant de l'eau distillée. Ils sont ensuite placés dans un tube à essai contenant 10 ml d'eau distillée. La conductivité de la solution est alors mesurée (C1) pour une première fois avec un conductimètre probablement étalonné. Les échantillons sont ensuite mis dans un bain-marie bouillant pendant 20 minutes puis refroidi à la température ambiante. La conductivité est mesurée une seconde fois (C2). Le pourcentage de fuite d'électrolytes est calculé suivant la formule (Yan et al., 1996):

$$\mathbf{PM (\%) = C_1 100 / C_2}$$



Figure 8 : Mesure de la perméabilité membranaire.

2.7.2.3. Dosage des pigments photosynthétiques :

La teneur en pigments photosynthétiques est mesurée sur la partie aérienne prélevée au stade de la 4^{ème} feuille. Des échantillons de 200 mg de matière fraîche sont pesés et découpés en fragments de 2 mm environ dans un mortier. L'extraction est effectuée par broyage en présence d'acétone à 80 % à raison de 6mL par échantillon. Le broyage est répété plusieurs fois pour extraire la totalité des pigments chlorophylliens puis le mélange est filtré par papier filtre. Le surnageant est mis dans une cuvette et la densité optique de l'extrait est mesurée à trois longueurs d'ondes 470 nm pour caroténoïdes, 663 et 647 nm pour la chlorophylle *a* et la chlorophylle *b* à l'aide d'un spectrophotomètre UV-visible type « BECKMAN DU 520 ».

Matériel et méthodes

Les concentrations en chlorophylle *a*, *b*, chlorophylle totale (*a* + *b*) et caroténoïdes, sont données par les formules de Linchthentaler et al. (1986).

$$C_a(\text{mg/g PF}) = (12,25 \text{ DO}_{663} - 2,79 \text{ DO}_{647}) (V/\text{PF})$$

$$C_b (\text{mg/g PF}) = (21,50 \text{ DO}_{647} - 5,10 \text{ DO}_{663}) (V/\text{PF})$$

$$C_{(a+b)}(\text{mg/g PF}) = (7.15 \text{ DO}_{663} + 18.71\text{DO}_{647}) (V/\text{PF})$$

$$C_{(x+c)}(\text{mg/g PF}) = (1000A_{470} - 1.82 C_a - 85.02 C_b) (V/198\text{PF})$$

Où :

- C_a : Chla, C_b : Chlb, $C_{(a+b)}$: Chl totale et $C_{(x+c)}$: caroténoïdes ($x + c$) = xanthophylles et carotènes).
- V est le volume initial (6mL) ;
- PF est le poids frais initial (200mg) ;
- DO est la densité optique correspondante.



1. Broyage des feuilles

2. Filtration d'extrait chlorophyllien

3. Lecture de la densité optique

Figure 9 : Détermination de la teneur en chlorophylle.

2.7.2.4. Dosage des sucres totaux soluble :

Cent milligramme de matière fraîche de la partie aérienne de la 4^{ème} feuille sont macérés dans 4mL de méthanol à 40% pendant 1heure dans un bain marie à 85°C .La teneur en sucres totaux solubles a été dosée selon la méthode décrite par (Dubois et al., 1956).Un millilitre de phénol à 5%

Matériel et méthodes

est ajouté à 1ml de l'extrait méthylique. Après agitation au vortex ,5 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4) concentré sont additionnés.

Après une deuxième agitation au vortex, le mélange ainsi réalisé est laissé refroidir pendant 15 minutes. La solution vire progressivement vers la couleur rougeâtre.

La densité optique est mesurée à une longueur d'onde de 487 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-visible de type « BECKMAN DU 520 ».

Les valeurs de la lecture au spectromètre sont reportées sur la gamme étalon établie par des concentrations connues du glucose pur (voir annexes1).



Figure 10 : Dosage de sucres totaux solubles.

2.7.2.5. Dosage de la proline :

La teneur en proline a été déterminée selon la méthode décrite par Troll et Lindsley (1955) et reprise et simplifiée par (Dreier & Goring, 1974).

Cent milligrammes de matière fraîche de la quatrième feuille sont placés dans un tube à essai auxquels sont ajoutés 4mL de méthanol à 40%. L'ensemble est chauffé au bain marie à 85°C pendant une heure.

Les tubes à essai sont recouverts de papier aluminium pendant le chauffage pour minimiser les pertes du méthanol par évaporation. Après refroidissement, 1mL de l'extrait est prélevé auquel est ajouté 1mL d'acide acétique (CH_3COOH , 99-100%) ,2 ml de Ninhydrine 3% et 1mL d'un

Matériel et méthodes

mélange contenant de (120 ml d'eau distillée plus 300 ml d'acide acétique (99-100%) et 80ml d'acide ortho phosphorique 85% (H₃PO₄, d=1,7)).

Le mélange ainsi réalisé est porté à l'ébullition au bain marie durant 30 minutes à 100c°.

La solution vire progressivement au rouge. Après refroidissement, 5 ml de toluène sont ajouté pour séparer deux phases. Après agitation au vortex les 2 phases sont séparées (une phase supérieure à a couleur rouge contient la proline et une phase inférieure transparent sans proline), la phase supérieure est récupérée et asséchée grâce à l'adjonction d'une spatule de sulfate de sodium anhydre (N₂SO₄) (pour éliminer l'eau qu'elle contient). La lecture est effectuée à l'aide d'un spectrophotomètre UV-visible de type « BECKMAN DU 520 » à la longueur d'onde de 528 nm.

Les valeurs de la lecture au spectrophotomètre sont reportées sur la courbe d'étalonnage construite à partir d'échantillon contenant des quantités de proline à concentration connue (annexes1).



Figure 11 : Dosage de la proline.

2.7.2.6.8. Dosage des activités catalase (CAT) et peroxydase (POD) :

a) Extraction :

0,5 g de matière fraîche des feuilles ont été broyées dans 8 ml de 50 mM SPB (Sodium Phosphate Buffer) (pH=7) contenant 1 % (w/v) de polyvinylpyrrolidone dans un bain de glace.

L'homogénat a été centrifugé à 15000g /20min à 4°C. Le surnageant a été utilisé pour la détermination de l'activité enzymatique.



Figure 12 : Les étapes de l'extraction enzymatique.

b) Activité de la catalase (CAT) :

L'activité de la CAT est mesurée selon la méthode de (Chance & Maehly, 1955) avec quelques modifications. La solution réactionnelle de CAT (3 ml) contenait 1,9 ml du SPB 50 mM (pH 7,0), 1 ml de 15 mM de H_2O_2 et 0,1 ml de l'extrait enzymatique. La réaction a été initiée en ajoutant l'extrait enzymatique. Les changements dans l'absorbance de la solution réactionnelle à 240 nm sont lus toutes les 15 s.



Figure 13 : Dosage d'activité enzymatique (CAT).

c) Activité de la peroxydase (POD) :

La solution réactionnelle de POD contenait 3 ml du SPB 50 mM (pH 7,0), 0,03ml H₂O₂ (40 mM), 0,05 ml de gaïacol (20 mM) et 0,1ml de l'extrait enzymatique. Des changements dans l'absorbance à 436 nm ont été lus toutes les 15s.

L'activité de chaque enzyme a été exprimée sur une base de matière fraîche.



Figure 14 : Dosage d'activité enzymatique (POD).

3. Étude statistique

Afin de déterminer les interactions entre les concentrations de chrome hexavalent ajouté à la plante (blé dur) et l'inoculation des souches d'actinomycète. Nous avons réalisé une étude statistique de l'analyse de la variance (ANOVA) à deux facteurs (les souches d'*Actinobactérie* et la quantité 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.

RESULTATS ET DISCUSSION

II. RESULTAT ET DISCUSSION

1. Résultat

Dans cette partie, nous allons présenter les différents résultats expérimentaux obtenus à travers cette étude.

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 d'actinomycètes pour éliminer le chrome.

1.1.Morphologie du blé dur pendant les deux périodes de contact avec le chrome hexavalent :

La figure 15 (A et B) montre, respectivement, les plantules du blé dur après 14 et 35 jours de contact avec le chrome hexavalent. Ces plantules apparaissent toujours vivantes dans les deux périodes malgré la présence du chrome avec un taux élevé.

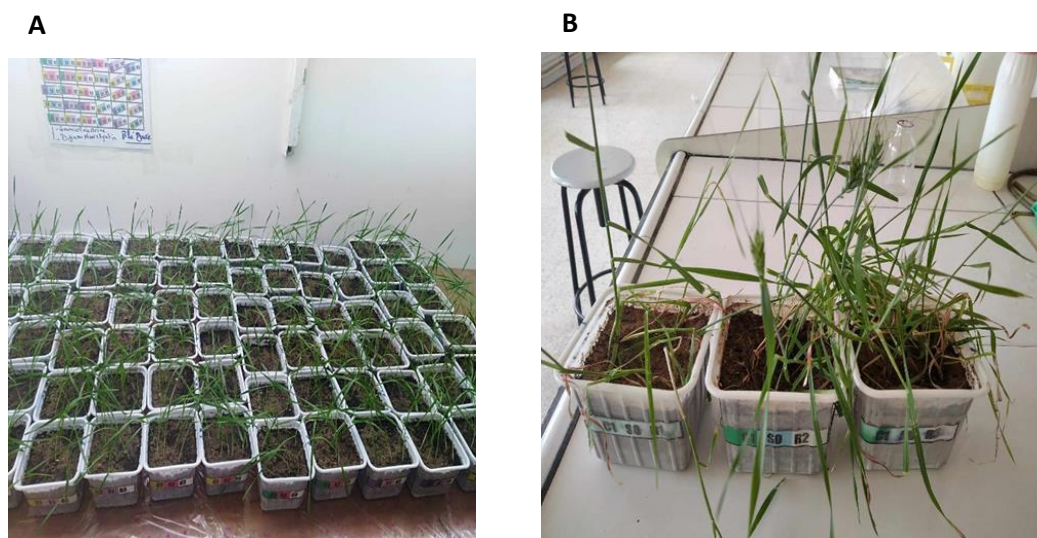


Figure 15 : Morphologie du blé dur avant et après 14 (A) et 35 (B) jours de contact avec le chrome hexavalent.

D'après la figure 15, on conclue que la morphologie de la plante du blé dur après contact avec le chrome n'a pas été trop influencée par le métal, ce qui confirme une certaine tolérance de cette espèce vis-à-vis du chrome hexavalent. Cette caractéristique est d'une grande importance,

Résultats et discussion

et cette observation confirme la bonne sélection de cette variété de blé dur et encourage à l'utiliser dans la phytoremédiation du chrome hexavalent.

1.2. Les paramètres de la germination :

1.2.1. Le pourcentage de germination final (FGP) :

La figure 16(a) visualise l'effet du stress oxydatif sur le pourcentage de germination final (FGP, %) chez les plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*. On remarque une légère amélioration du pourcentage de germination final chez les graines de blé dur traitées par la 1^{ère} souche comparativement au témoin et aux graines traitées par la 2^{ème} souche (figure 16(b)).

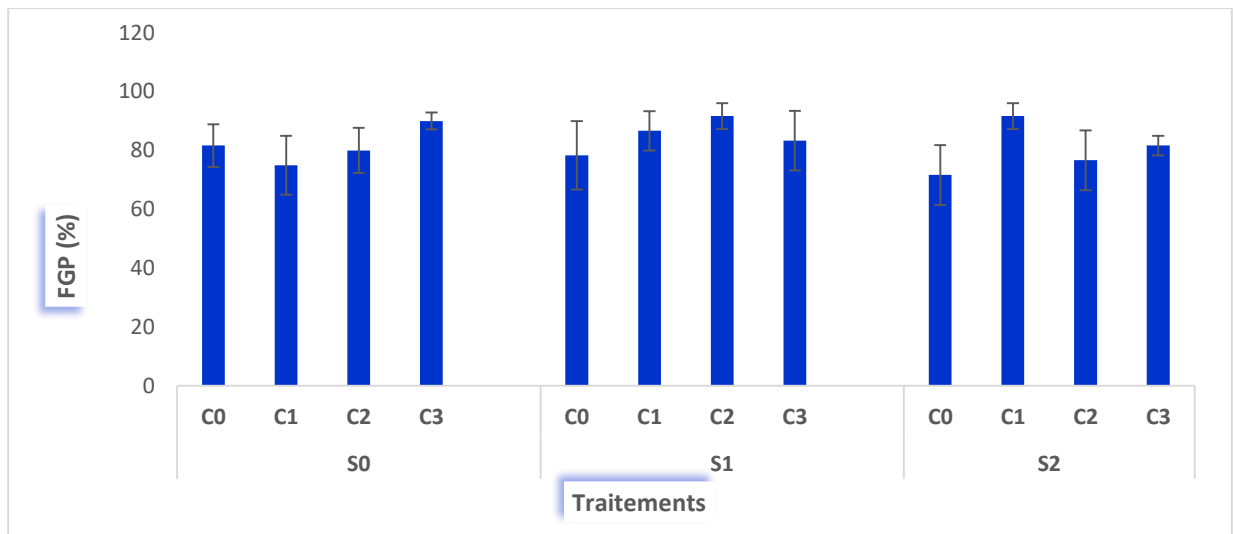


Figure 16(a) : L'effet du stress oxydatif sur le pourcentage de germination final (FGP, %) chez les graines de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Résultats et discussion

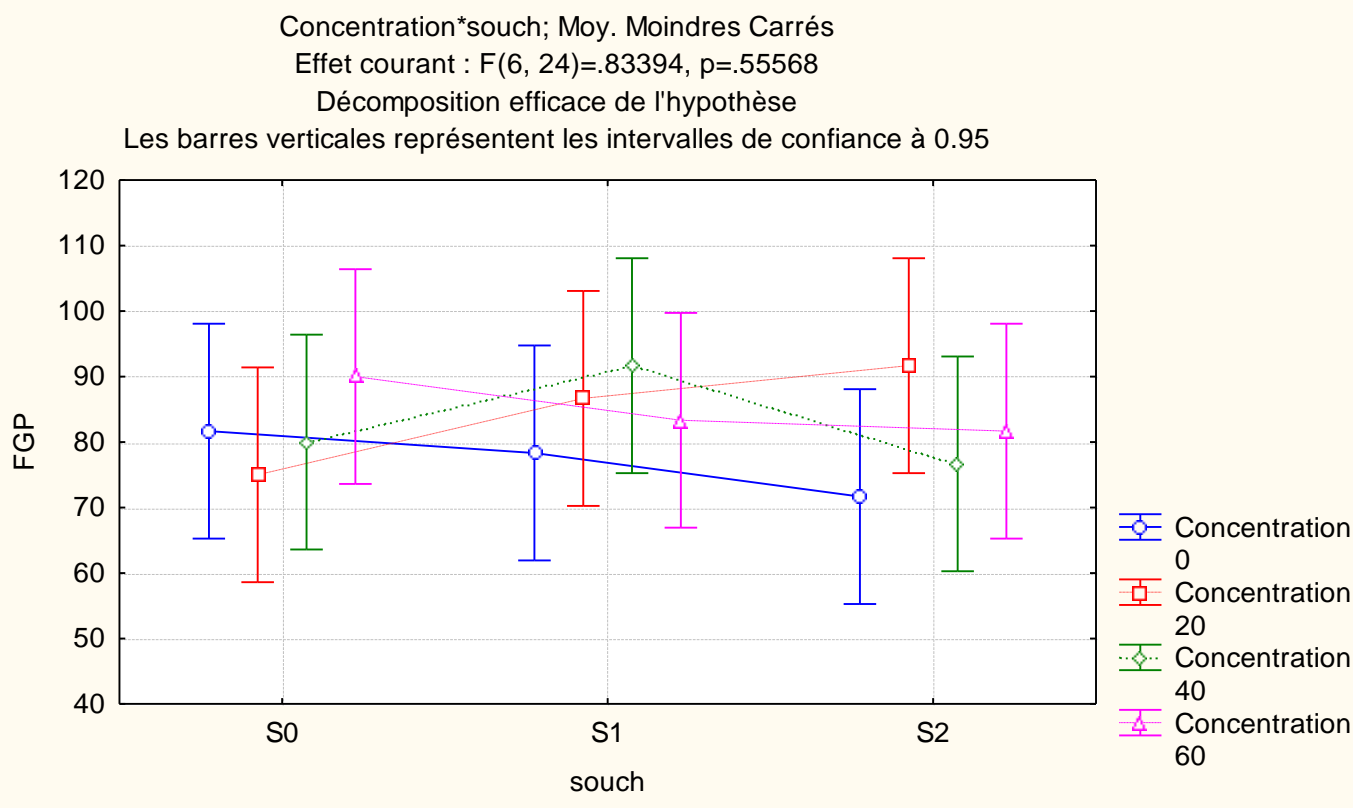


Figure 16 (b) : L'effet du stress oxydatif sur le pourcentage de germination final (FGP, %) chez les graines de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

L'analyse de la variance de l'effet du stress oxydatif (annexe 2.1 tableau 1) ne révèle aucune différence significative du pourcentage de germination final (FGP, %) chez les plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

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

L'effet du stress oxydatif sur la germination moyenne journalière (MDG, %) chez les plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries* est schématisé dans la figure (17). En comparaison au témoin, une légère diminution a été enregistrée chez les graines traitées par les deux souches, particulièrement dans la 2^e souche.

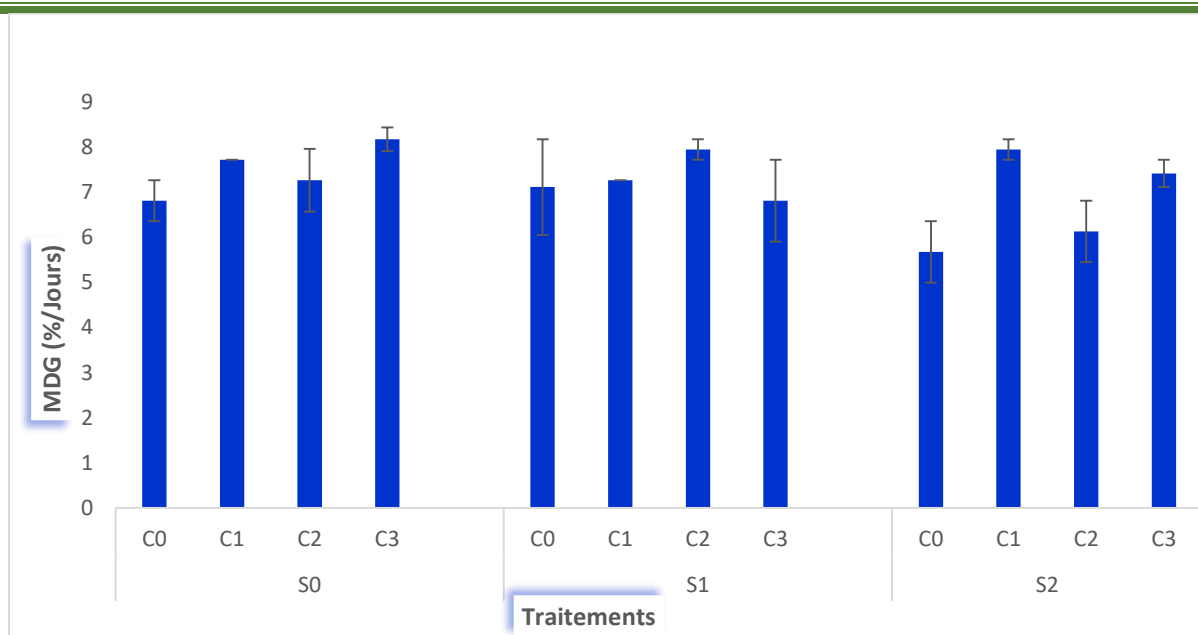


Figure 17 : L'effet du stress oxydatif sur la germination moyenne journalière (MDG, %) chez les graines de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

L'analyse de la variance de l'effet du stress oxydatif (annexe 2.2, tableau 2) n'indique aucune différence significative de la germination moyenne journalière (MDG, %) chez les plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

1.2.3. Le temps moyenne de germination (MGT) :

D'après la figure 18(a) qui représente l'effet du stress oxydatif sur le temps moyen de germination (MGT) chez les graines de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*. On observe que les graines de blé dur ont pris plus de temps significativement pour germer dans les différentes concentrations de Cr (VI) (MGT longue). Lors du traitement des graines avec les deux souches, on constate que les graines de blé dur ont germé rapidement (figure 18 (b)).

Résultats et discussion

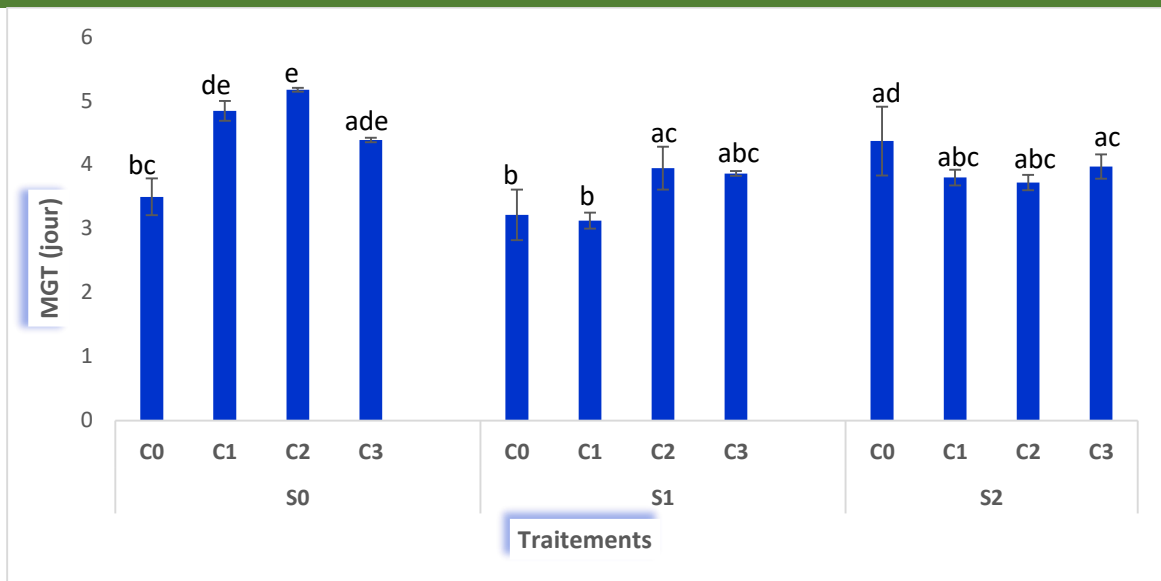


Figure 18(a) : L'effet du stress oxydatif sur le temps moyen de germination (MGT) chez les graines de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

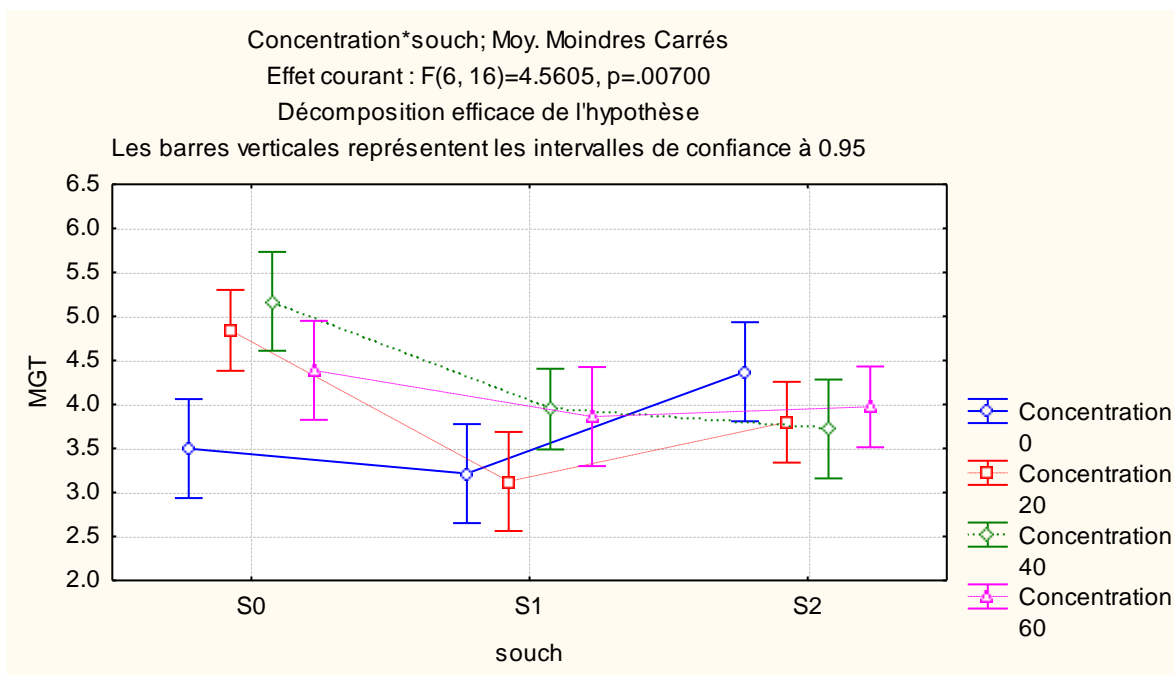


Figure 18(b) : L'effet du stress oxydatif sur le temps moyen de germination (MGT) chez les graines de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Résultats et discussion

L'analyse de la variance de l'effet du stress oxydatif (annexe 2.3, tableau 3(a)) afficher une différence significative du temps moyen de germination (MGT) chez les graines de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Le Test Lsd de Fisher au seuil de 5% (annexe 2.3, tableau 3(b)) de l'effet du stress oxydatif sur le temps moyen de germination (MGT) chez les graines de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries* affiche l'existence de huit groupes (abc, ac ,ad, ade, b, bc ,de, e).

1.2.4. L'indice de germination (GI) :

La figure 19(a) montre l'effet du stress oxydatif sur l'indice de germination (GI) chez les graines de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*. En comparaison au témoin, la 1^{ère} souche semble avoir amélioré l'indice de germination (GI) chez les graines du blé dur (figure 19 (b)).

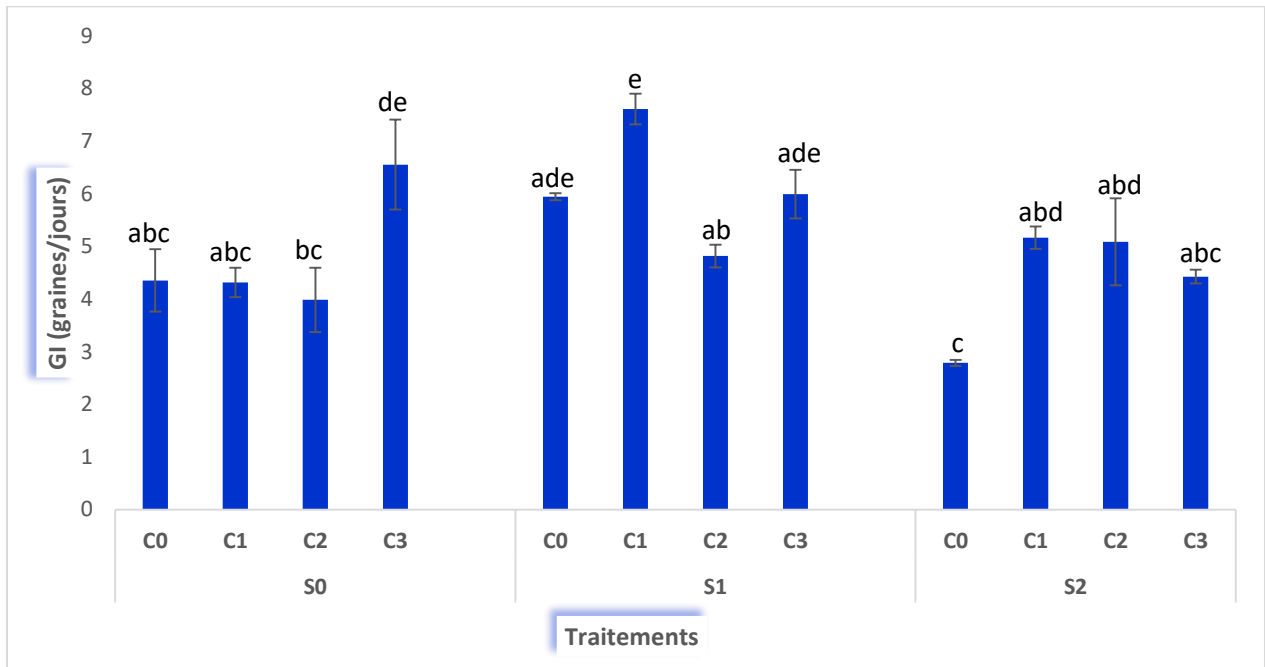


Figure 19 (a) : L'effet du stress oxydatif sur l'indice de germination (GI) chez les graines de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Résultats et discussion

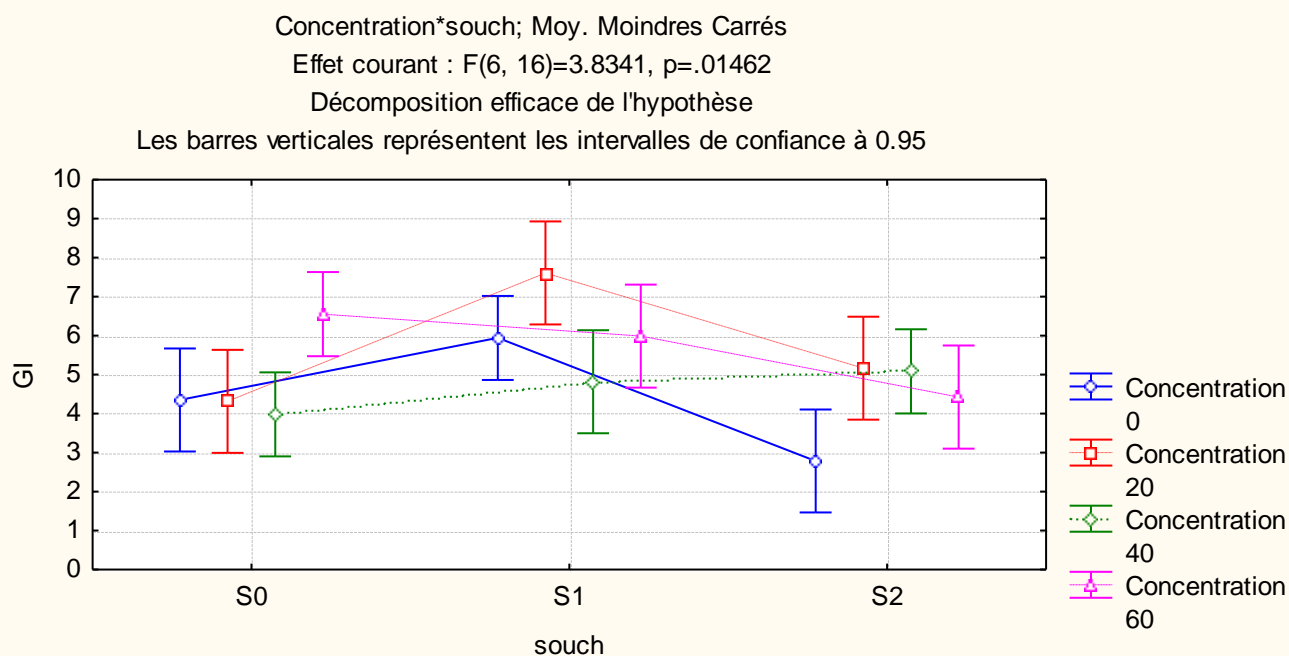


Figure 19 (b) : L'effet du stress oxydatif sur l'indice de germination (GI) chez les graines de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

L'analyse de la variance de l'effet du stress oxydatif (annexe 2.4, tableau 4(a)) présente une différence significative de l'indice de germination (GI) chez les graines de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Le Test de LSD de Fisher au seuil de 5% de l'effet du stress oxydatif sur l'indice de germination (GI) chez les graines de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries* présente l'existence de huit groupes (ab ,abc ,abd ,ade , bc, c, de, e) (annexe 2.4, tableau 4(b)).

1.2.5. La vitesse germinative (GV) :

La figure 20(a) montre l'effet du stress oxydatif sur la vitesse germinative (GV) chez les graines de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*. L'exposition au chrome hexavalent ralentit significativement la vitesse germinative des graines en perturbant. Une augmentation significative a été enregistrée chez les graines traitées par la 1^{ère} souche (figure 20(b)).

Résultats et discussion

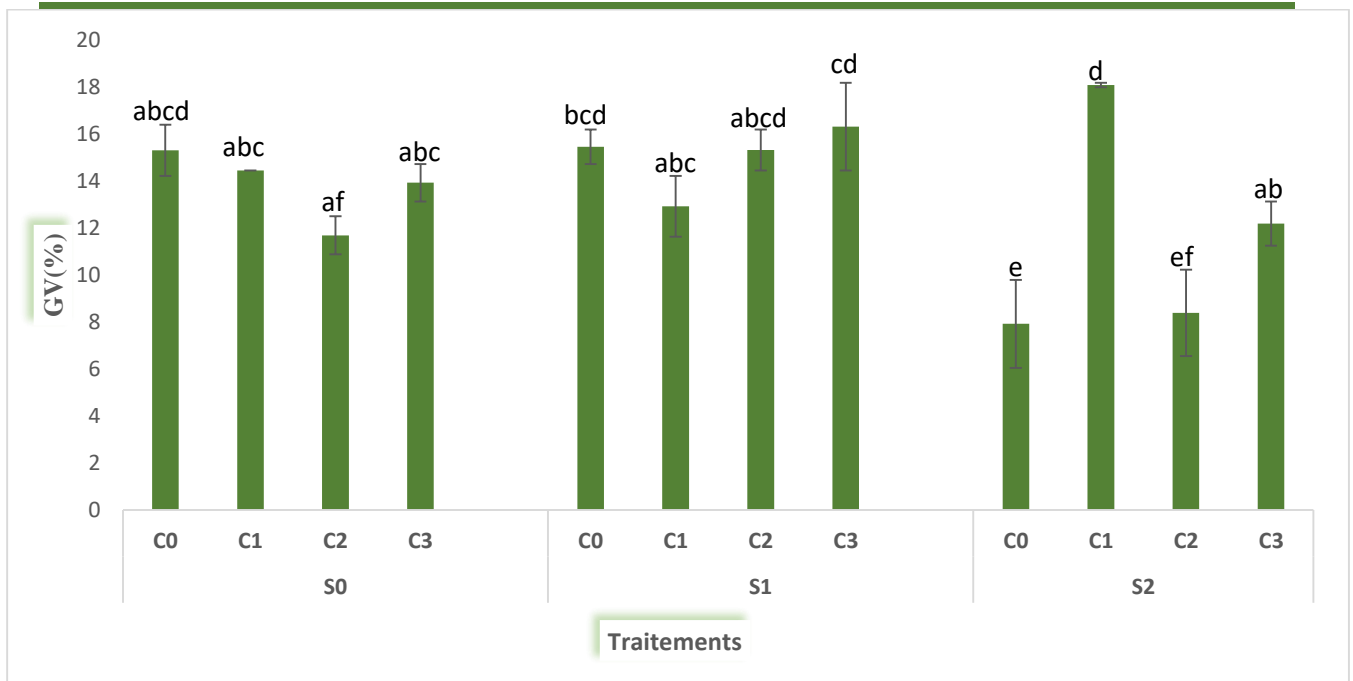


Figure 20 (a) : L'effet du stress oxydatif sur la vitesse germinative (GV) chez les graines de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

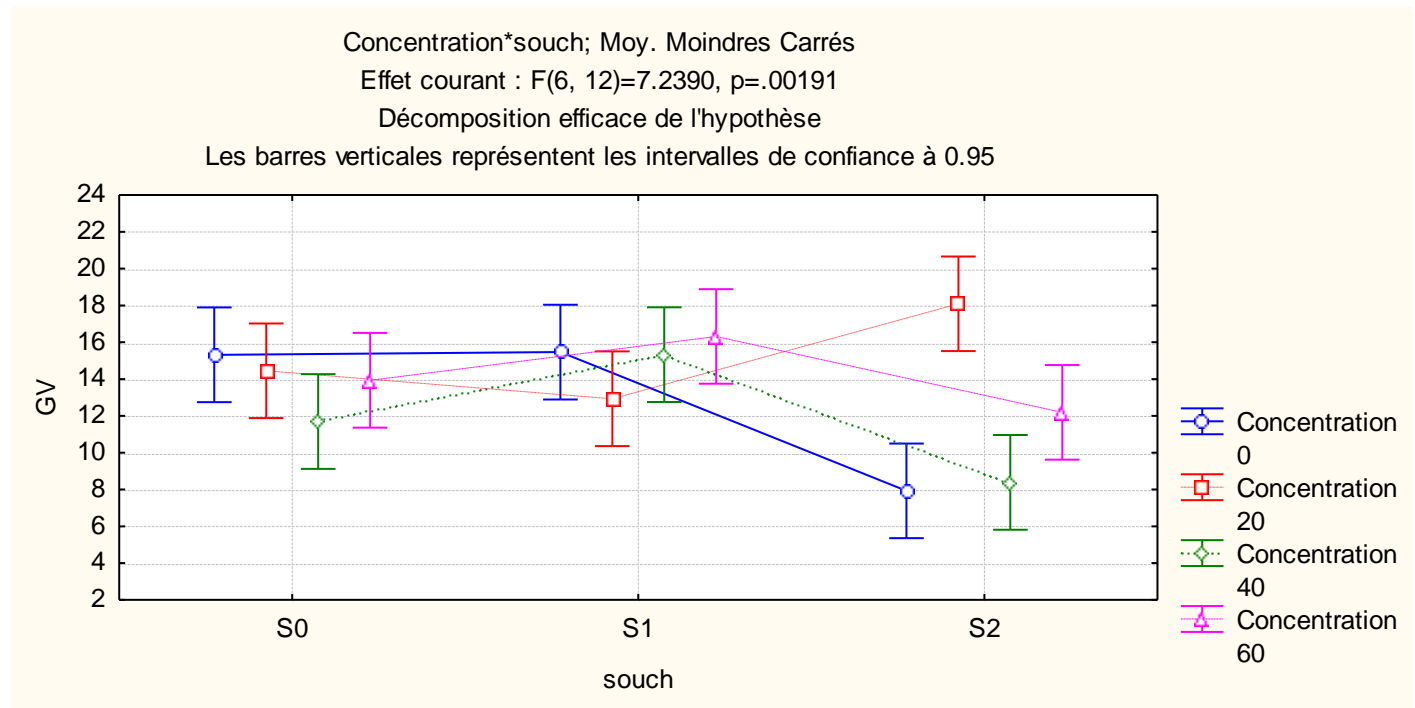


Figure 20(b) : L'effet du stress oxydatif sur la vitesse germinative (GV) chez les graines de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

L'analyse de la variance de l'effet du stress oxydatif (annexe 2.5, tableau 5(a)) présente une différence significative de la vitesse germinative (GV) chez les graines de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*. Le Test de LSD de Fisher au seuil de 5% de l'effet du stress oxydatifs sur la vitesse germinative (GV) chez les graines de blé dur présente l'existence de neuf groupes (ab, abc, abcd, af, bcd, cd, d, e, ef) (annexe 2.4, tableau 5(b)).

1.3. Les paramètres physiologiques et biochimiques

1.3.1. Premier prélèvement :

1.3.1.1. Le poids frais :

La figure (21) visualise l'effet du stress oxydatif sur la production de la matière fraîche chez les plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*. Les concentrations de Cr (VI) utilisées semblent ne pas avoir un effet significatif sur la production de la matière fraîche. Cependant, le poids frais paraît avoir été amélioré sous stress oxydatif chez les plantules traitées par 2^{ème} souche.

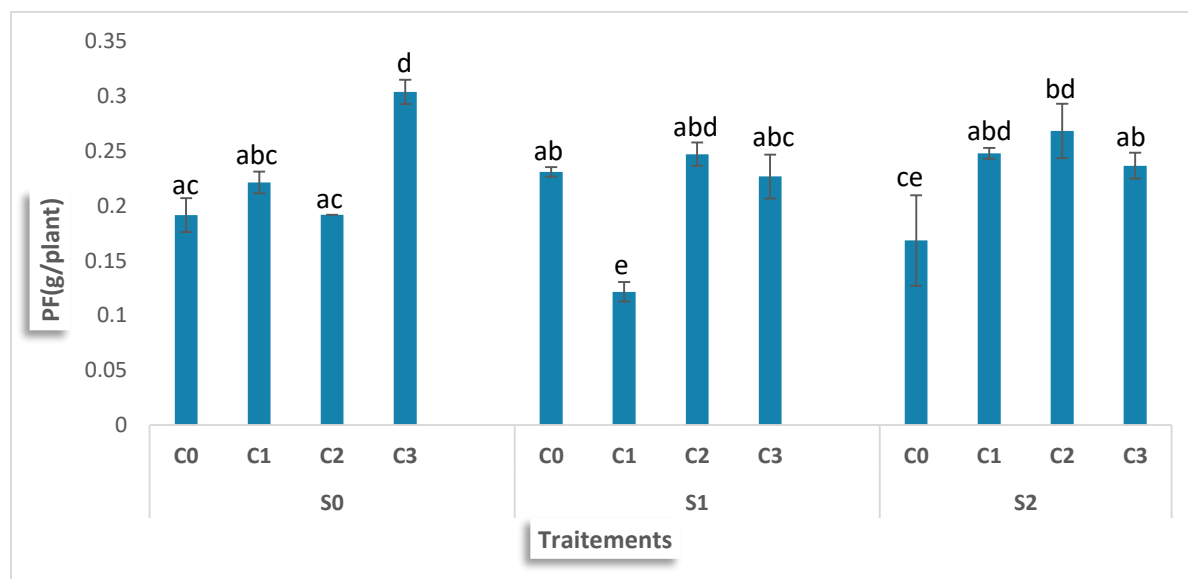


Figure 21 : L'effet du stress oxydatifs sur la production de la matière fraîche chez les plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

L'analyse de la variance à 2 facteurs de l'effet du stress oxydatif (annexe 3.1, tableau 6(a)) visualise une différence significative de la production de la matière fraîche chez les plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Résultats et discussion

Le Test de Lsd de Fisher au seuil de 5% (annexe 3.1 ,tableau 6(b)) de l'effet du stress oxydatifs sur la production de la matière fraîche chez les plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries* montre l'existence de 8 groupes : (ac, abc, ab, d, e, abd, ce, bd).

1.3.1.2.Le poids sec :

La figure 22(a) visualise l'effet du stress oxydatif sur le poids sec des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*. Les concentrations de Cr(VI) ne semblent pas avoir un effet dépressif sur la production de la biomasse sèche pour les concentrations C1 et C2, mais contrairement de ce qui est attendu, la forte concentration du Cr (VI) C3 a induit une augmentation significative de la biomasse sèche chez les plantules. La 2^{ème} souche a légèrement amélioré le poids sec dans certaines concentrations de Cr (VI) (figure 22(b)).

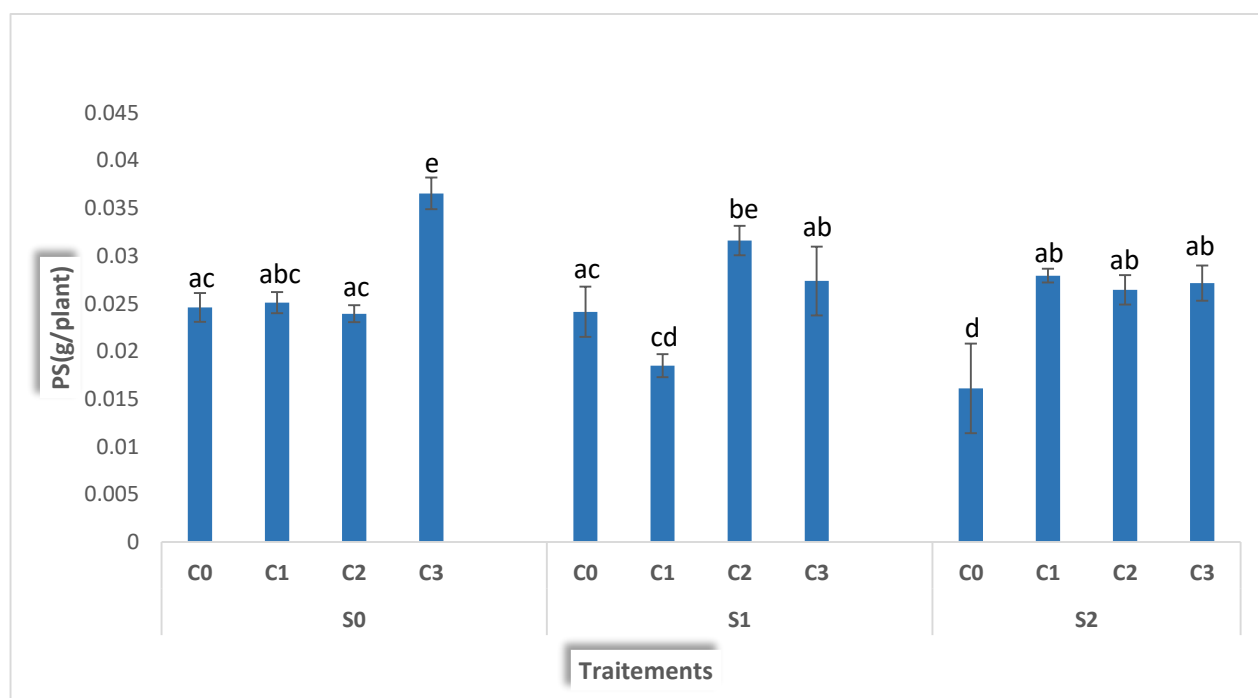


Figure 22(a) : L'effet du stress oxydatif sur le poids sec des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Résultats et discussion

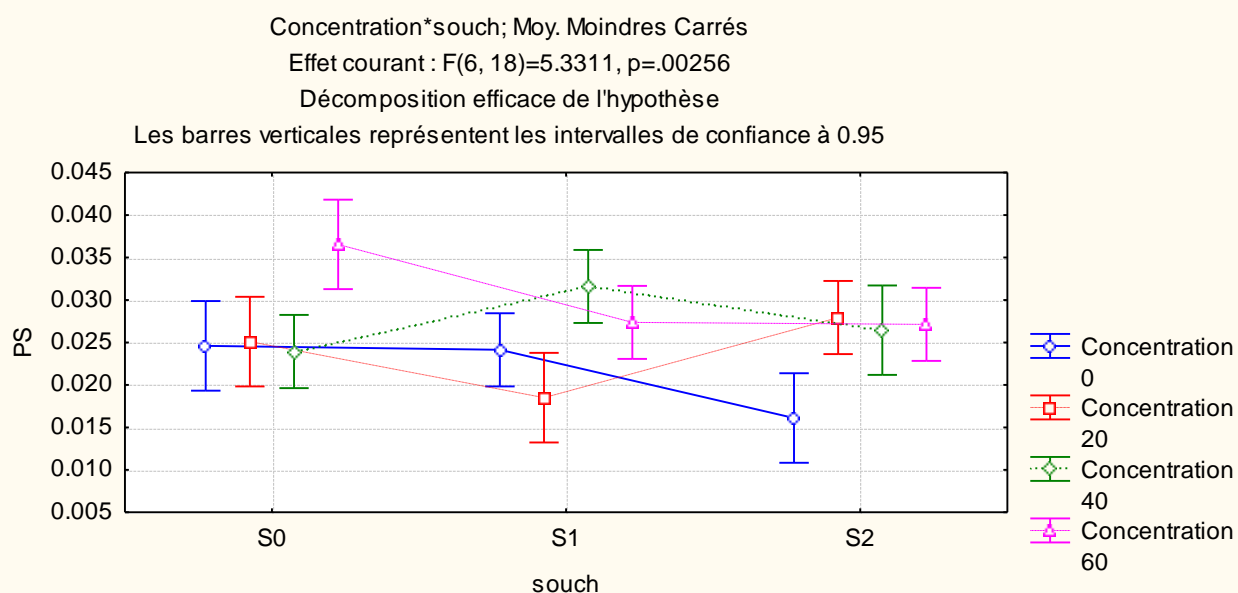


Figure 22(b) : L'effet du stress oxydatif sur le poids sec des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

L'analyse de la variance à 2 facteurs de l'effet du stress oxydatif (annexe 3.2, tableau 7(a)) visualise une différence significative de la production de la matière sèche chez les plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Le Test de LSD de Fischer au seuil de 5% de l'effet du stress oxydatif sur le poids sec des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries* visualise l'existence de sept groupes : (ab, abc, ac, be, cd, d, e) (annexe 3.2, tableau 7(b)).

1.3.1.3. Teneur en eau (TE) :

D'après la figure (23) qui représente l'effet du stress oxydatif sur la teneur en eau chez les plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*. Comparativement aux témoins, la 2^{ème} souche a causé une légère amélioration significative dans les deux concentrations (C1, C2) de la teneur en eau chez les plantules de blé dur.

Résultats et discussion

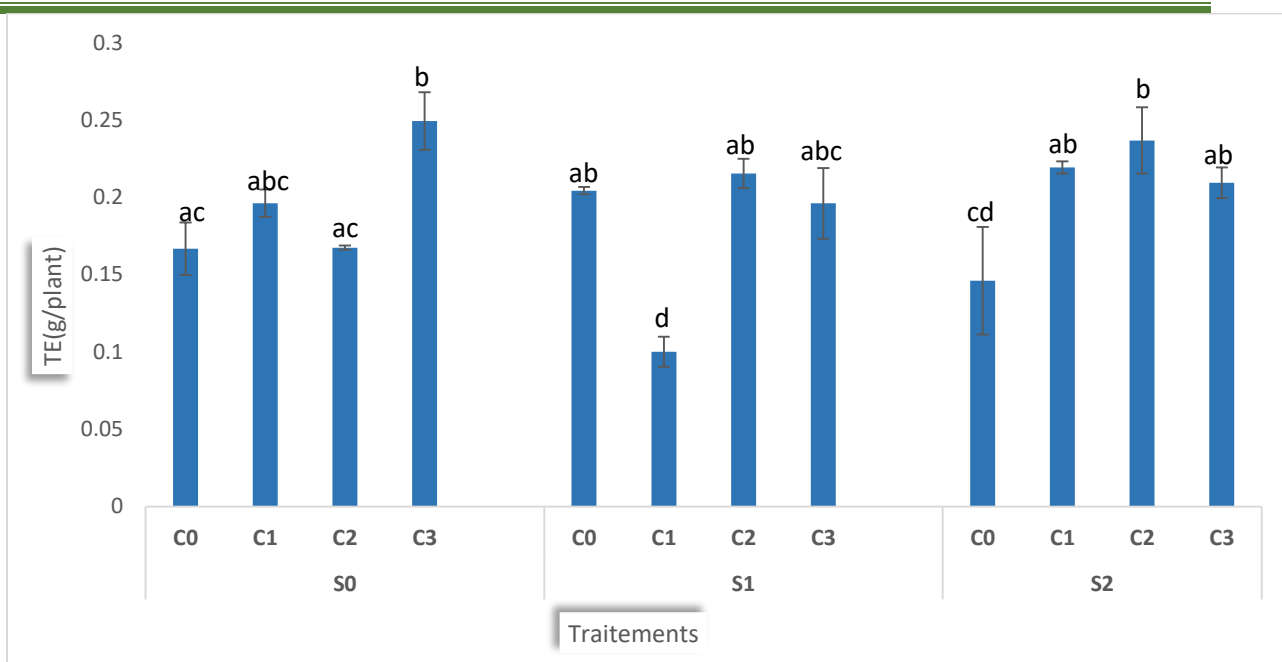


Figure 23 : L'effet du stress oxydatif sur la teneur en eau chez les plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

L'analyse de la variance à 2 facteurs de l'effet du stress oxydatif (annexe 3.3, tableau 8(a)) montre une différence significative de la teneur en eau chez les plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Le Test de LSD de Fischer au seuil de 5% (annexe 3.3, tableau 8(b)) de l'effet du stress oxydatif sur la teneur en eau chez les plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries* montre l'existence de six groupes (abc, ab, ac, b, cd, d).

1.3.1.4. La perméabilité membranaire (PM) :

La figure 24 (a) montre l'effet du stress oxydatifs sur la perméabilité membranaire des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*. On remarque que le stress oxydatif a causé une augmentation significative de la perméabilité membranaire, cependant, le traitement des plantules par les deux souches a provoqué une réduction significative de la perméabilité membranaire (figure 25(b)).

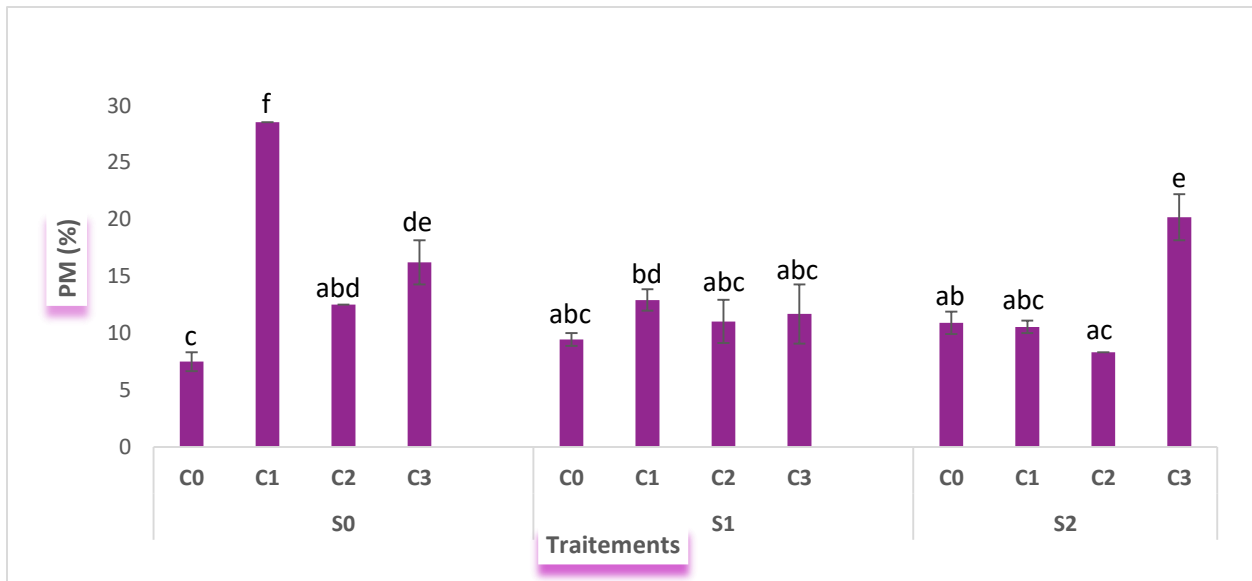


Figure 24 (a) : L'effet du stress oxydatif sur la perméabilité membranaire des feuilles de plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'Actinobactéries.

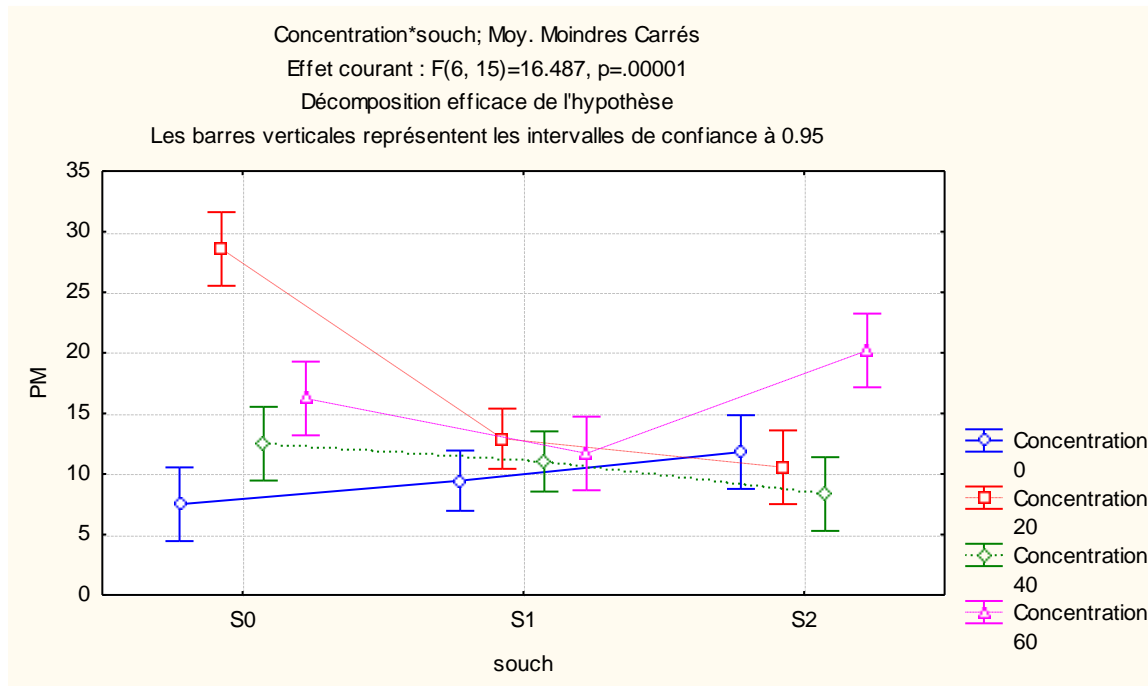


Figure 24 (b) : L'effet du stress oxydatif sur la perméabilité membranaire des feuilles de plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'Actinobactéries.

Résultats et discussion

L'analyse de la variance à 2 facteurs de l'effet du stress oxydatif (l'annexes3.4, tableau 9(a)) visualise une différence significative du pourcentage de fuite des électrolytes dans les feuilles des plantules de blé dur.

Le Test de LSD de Fischer au seuil de 5% (annexe 3.4, tableau 9(b)) de l'effet du stress oxydatif sur la perméabilité membranaire dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries* visualise l'existence de neuf groupes (ab, abc, ac, abd, bd, c,de, e, f).

1.3.1.5. Les pigments photosynthétiques :

a) Chlorophylle a :

La figure 25 montre l'effet du stress oxydatif sur la teneur en chlorophylle a des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*. Le traitement par le Cr (VI) ne semble pas diminuer la teneur en Chla, au contraire, il a causé une augmentation significative surtout pour les concentrations C1 et C3. Les deux souches ont causé une amélioration de la teneur en Chla.

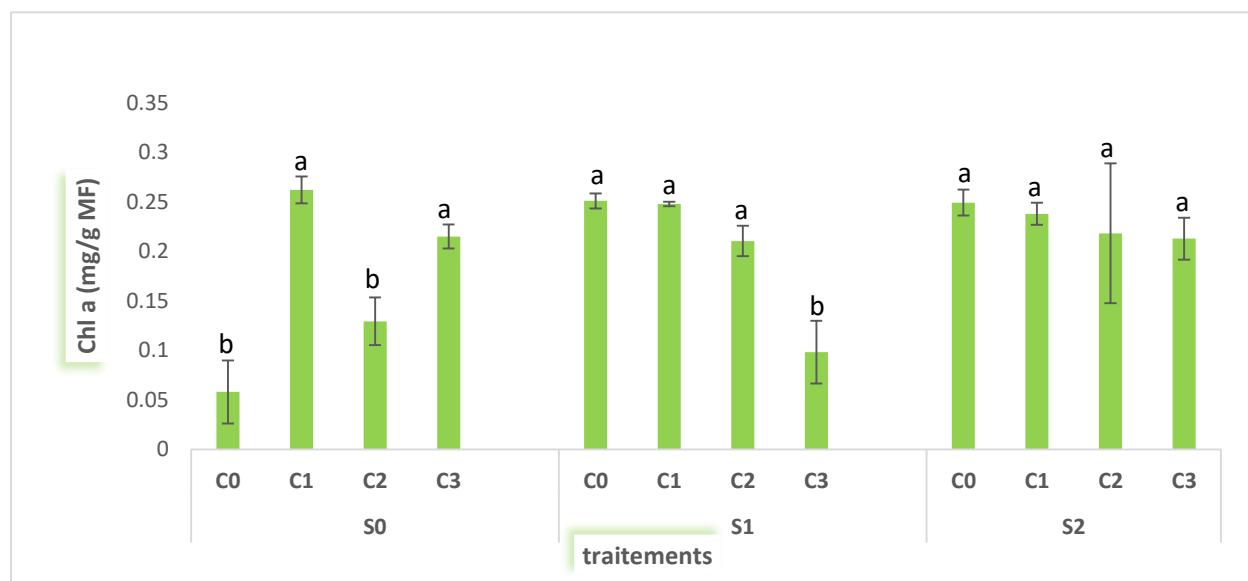


Figure 25 : L'effet du stress oxydatif sur la teneur en chlorophylle a des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Résultats et discussion

L'analyse de la variance de l'effet du stress oxydatif (annexe 3.5.1 tableau 10(a)) indique une différence significative de la teneur en chlorophylle a des feuilles des plantules de blé dur.

Le Test de LSD de Fisher au seuil de 5% de l'effet du stress oxydatif sur la teneur en chlorophylle a des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souche d'*Actinobactéries* (annexes 3.5.1 tableau 10(b)) montre l'existence de 2 groupes a et b.

b) Chlorophylle b :

La figure 26 (a) visualise l'effet du stress oxydatif sur la teneur en chlorophylle b des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*. De la même manière que pour la Chla, le traitement par le Cr (VI) ne semble pas diminuer la teneur en Chlb, au contraire, il a causé une augmentation significative. Les deux souches utilisées semble de ne pas avoir un effet inducteur sur la chlb (figure 26(b)).

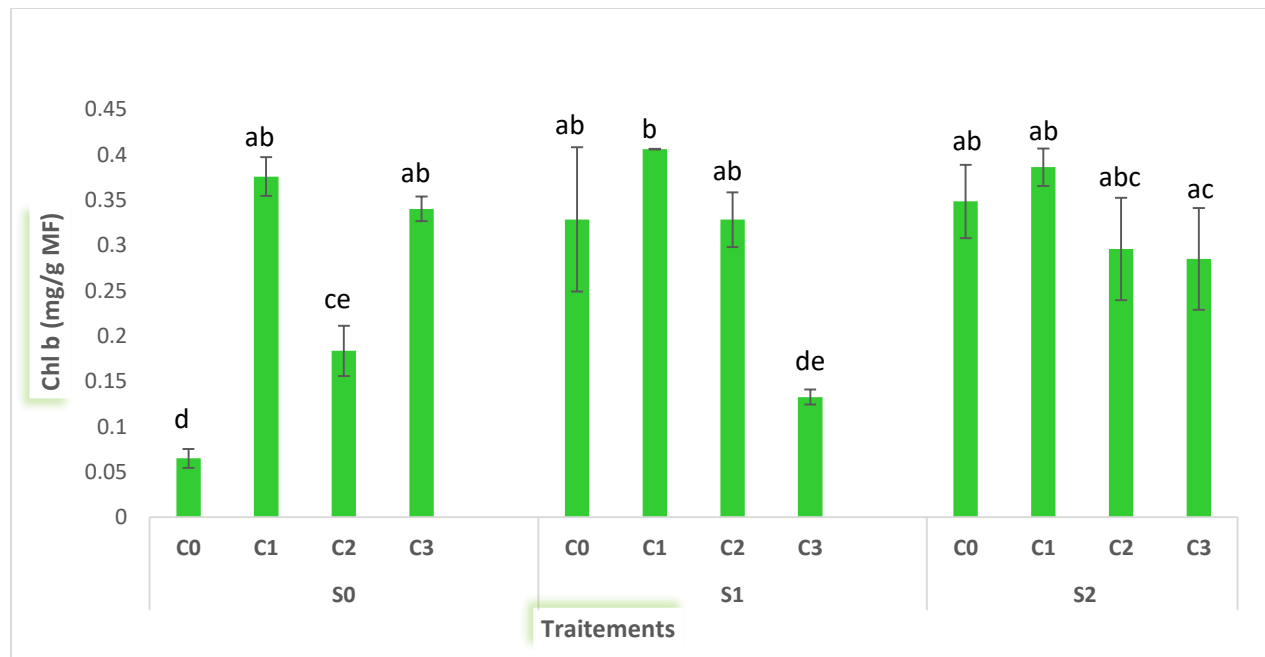


Figure 26 (a) : L'effet du stress oxydatif sur la teneur en chlorophylle b des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Résultats et discussion

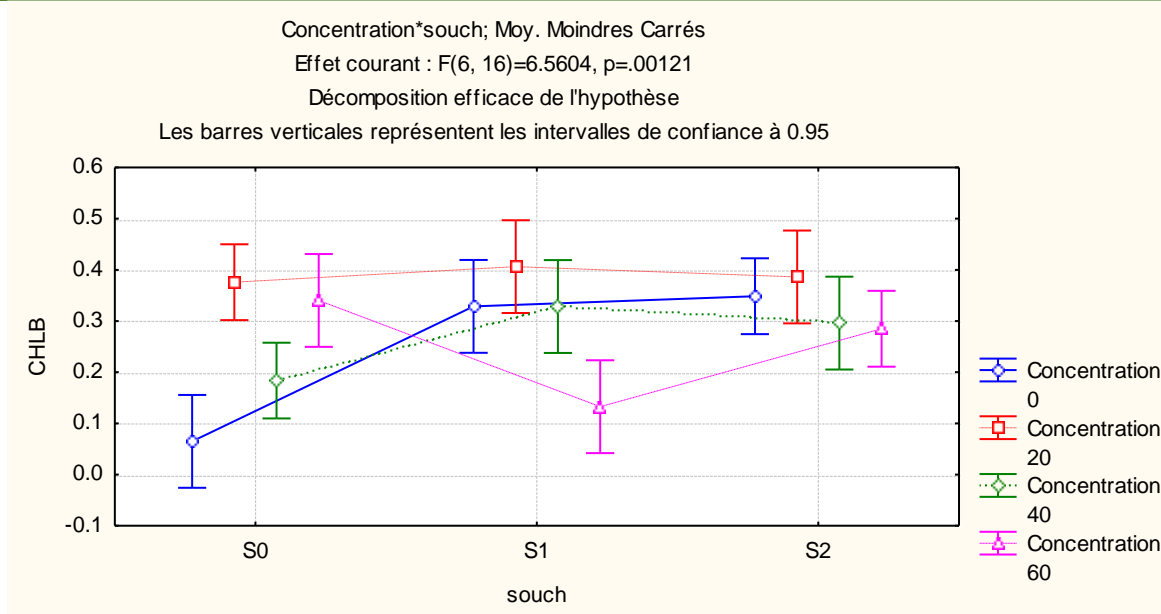


Figure 26 (b) : L'effet du stress oxydatif sur la teneur en chlorophylle b des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

L'analyse de la variance de l'effet du stress oxydatif (l'annexes 3.5.2 tableau 11(a)) montre une différence significative de la teneur en chlorophylle b des feuilles des plantules de blé dur.

Le Test de LSD de Fisher au seuil de 5% de l'effet du stress oxydatif sur la teneur en chlorophylle b des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souche d'*Actinobactéries* montre l'existence de 7 groupes (annexes 3.5.2 tableau 11(b)) : ab, b, ac, abc, d, de et ce.

c) Chlorophylle totale (a+b) :

La figure 27 montre l'effet du stress oxydatif sur la teneur en chlorophylle totale (a+b) des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*. Comme pour la chla et chl_b, le traitement par le Cr (VI) ne semble pas diminuer la teneur en Chla, au contraire, il a causé une augmentation significative pour toutes les concentrations du Cr (VI) utilisées. La 2^{ème} souche a causé une augmentation significative de la teneur en chlorophylle totale (a+b).

Résultats et discussion

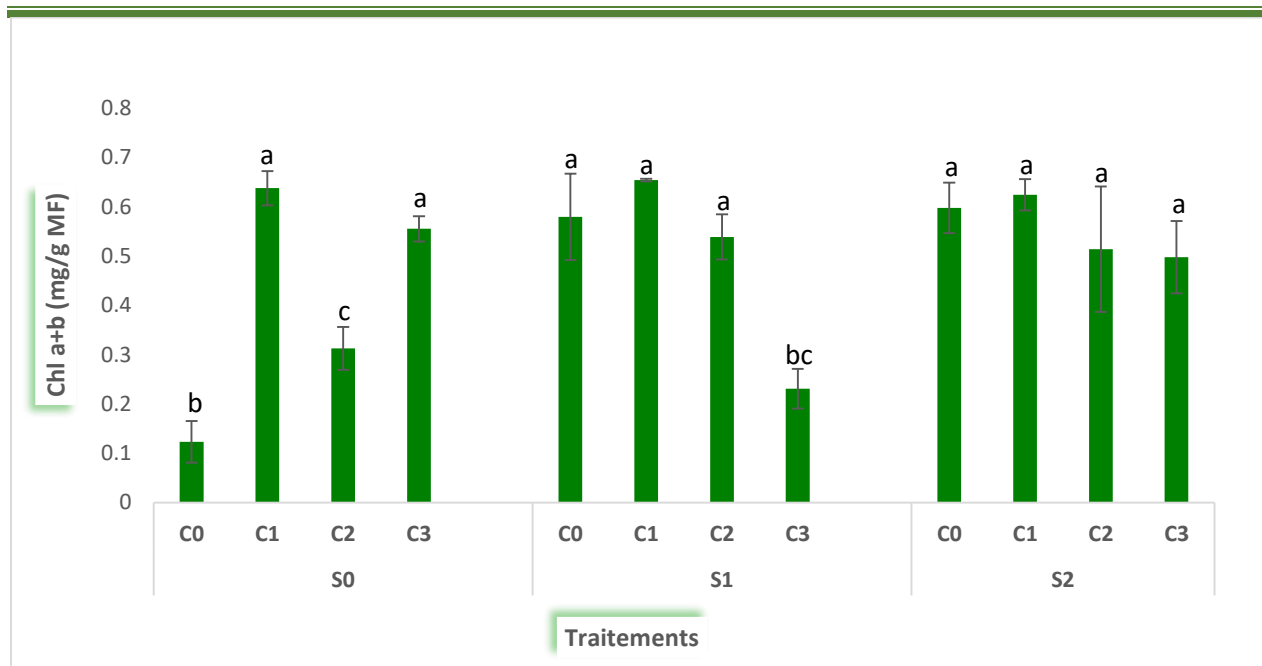


Figure 27 : L'effet du stress oxydatif sur la teneur en chlorophylle totale (a+b) des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

L'analyse de la variance de l'effet du stress oxydatif (annexes 3.5.3 tableau 12(a)) montre une différence significative de la teneur en chlorophylle totale (a+b) des feuilles des plantules de blé dur.

Le Test LSD de Fisher au seuil de 5% de l'effet du stress oxydatif sur la teneur en chlorophylle totale (a+b) des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souche d'*Actinobactéries* montre l'existence de quatre groupes (annexes 3.5.3 tableau 12(b)) : a, b, bc et c.

d) Caroténoïdes :

L'effet du stress oxydatif sur la teneur en caroténoïdes (x+c) des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries* est schématisé dans la figure 28. Seule, la concentration C2 qui a causé une diminution significative des caroténoïdes. Le traitement par les deux souches a provoqué une augmentation de la teneur en caroténoïdes surtout les plantules traitées par la 1^{ère} souche.

Résultats et discussion

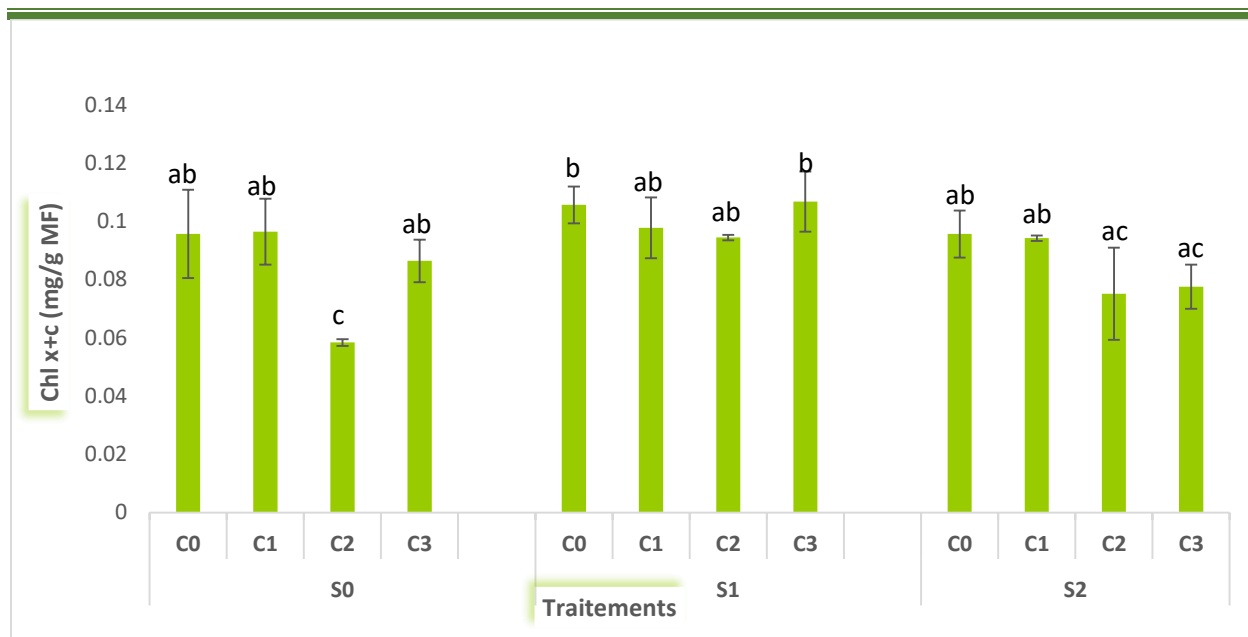


Figure 28 : L'effet du stress oxydatif sur la teneur en caroténoïdes (x+c) des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

L'analyse de la variance de l'effet du stress oxydatif (annexes 3.5.4 tableau 13(a)) montre une différence significative de la teneur en caroténoïdes (x+c) des feuilles des plantules de blé dur.

Le Test LSD de Fisher au seuil de 5% de l'effet du stress oxydatif sur la teneur en caroténoïdes (x+c) des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries* montre l'existence de quatre groupes (annexe 3.5.4 tableaux 13(b)) : ab, ac, b et c.

1.3.1.6. Les sucres totaux solubles :

L'effet du stress oxydatif sur la teneur en sucres totaux solubles des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries* est présenté dans la figure 29(a). Il s'est avéré que le stress oxydatif provoque une variation de la teneur en sucres solubles pour les différents traitements, indiquant une augmentation significative en sucre totaux solubles en présence des trois concentrations (C1, C2, C3) de Cr (VI). Par ailleurs, on note une diminution notable de la teneur en sucres totaux solubles chez les plantules traitées par les deux souches, mais la 2^{ème} souche a réduit significativement la teneur en sucre totaux solubles (figure 29(b)).

Résultats et discussion

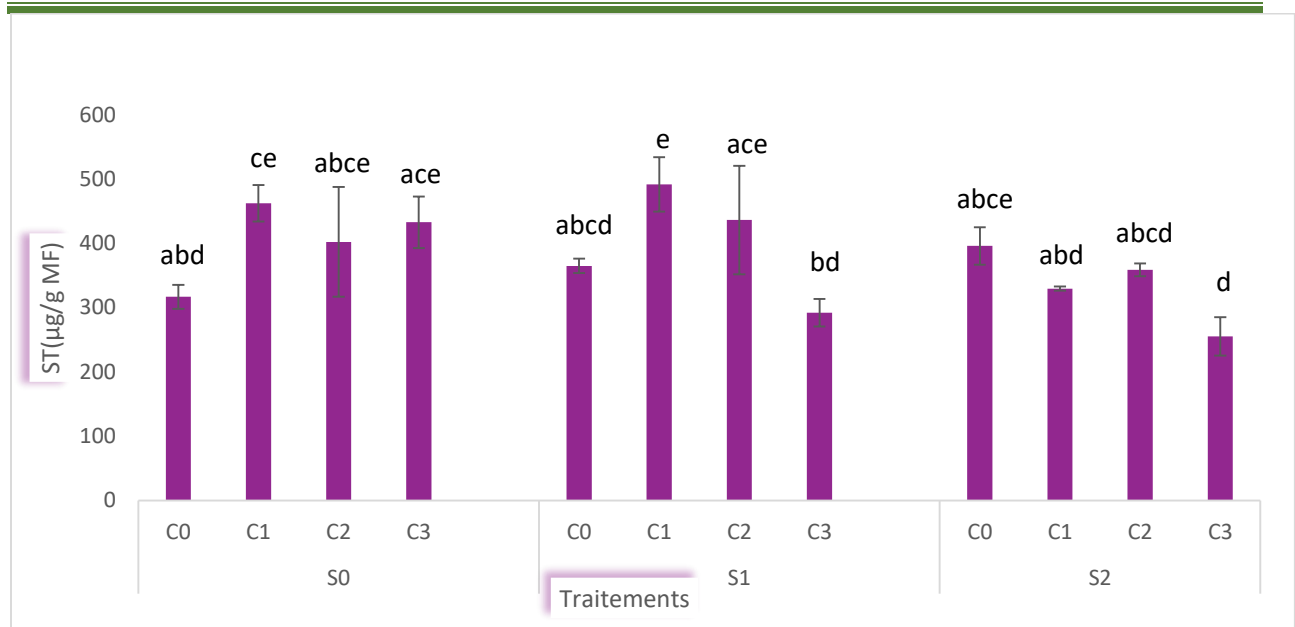


Figure 29 (a) : L'effet du stress oxydatif sur la teneur en sucres totaux solubles des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

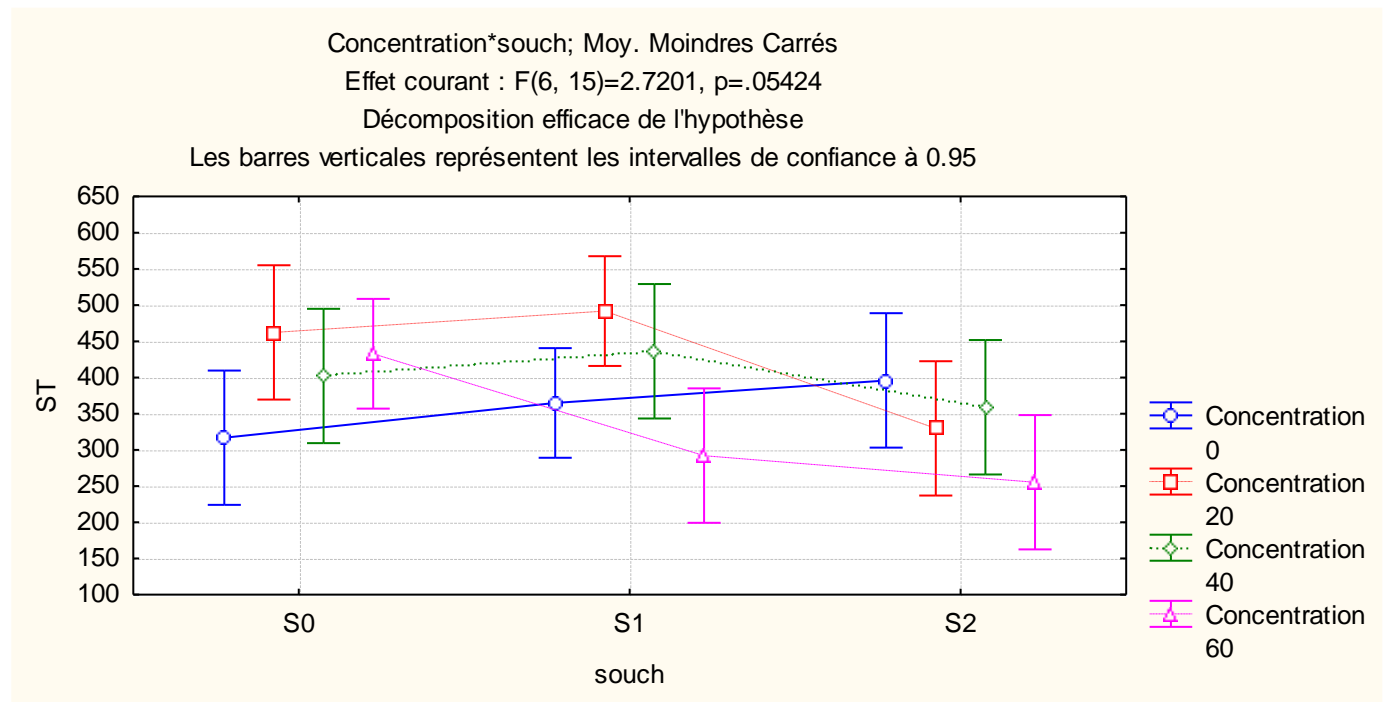


Figure 29 (b) : L'effet du stress oxydatif sur la teneur en sucres totaux solubles des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Résultats et discussion

L'analyse de la variance de l'effet du stress oxydatif montre une différence significative (annexe 3.6 tableau 14(a)) de la teneur en sucres totaux solubles des feuilles des plantules de blé dur.

Le Test LSD de Fischer au seuil de 5% de l'effet du stress oxydatif (annexe 3.6 tableau 14(b)) sur la teneur en sucres totaux solubles des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries* montre l'existence de huit groupes (abcd, abd, abce, ace, bd, ce, d, e).

1.3.1.7. La proline :

D'après la figure 30(a), qui présente l'effet du stress oxydatif sur l'accumulation de la proline des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*, on note un accroissement significatif dans la quantité de proline avec l'augmentation des concentrations des Cr (VI). Le traitement par la 1^{ère} souche a significativement réduit la teneur en proline comparativement à la 2^{ème} souche (figure 30 (b)).

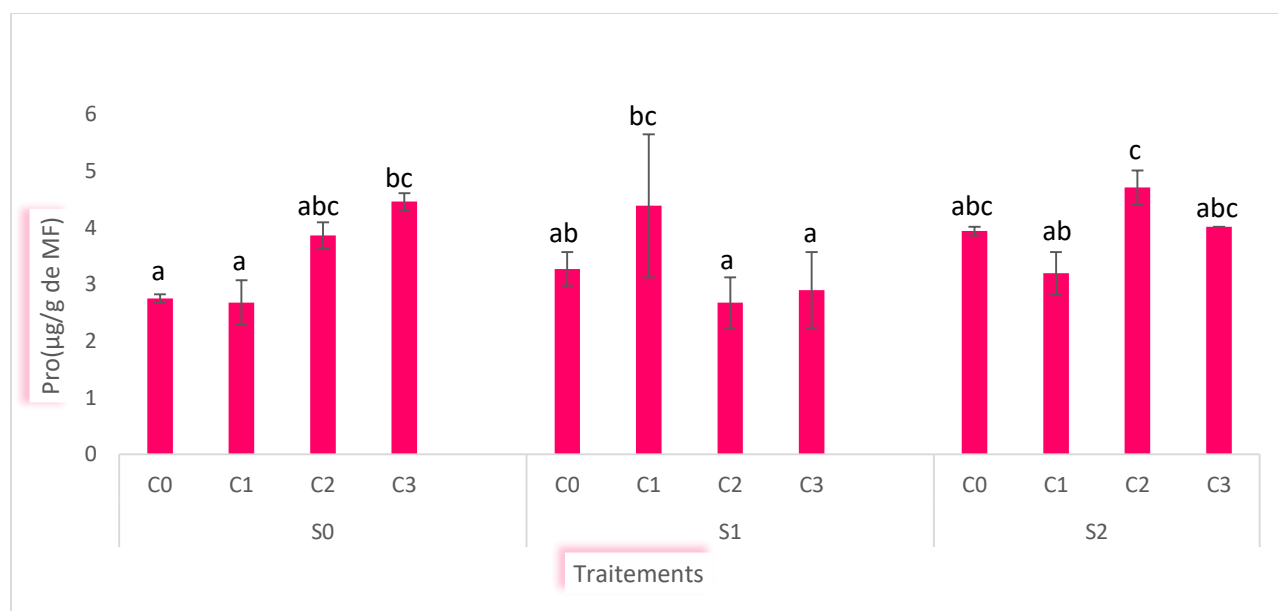


Figure30 (a) : L'effet du stress oxydatif sur l'accumulation de la proline des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Résultats et discussion

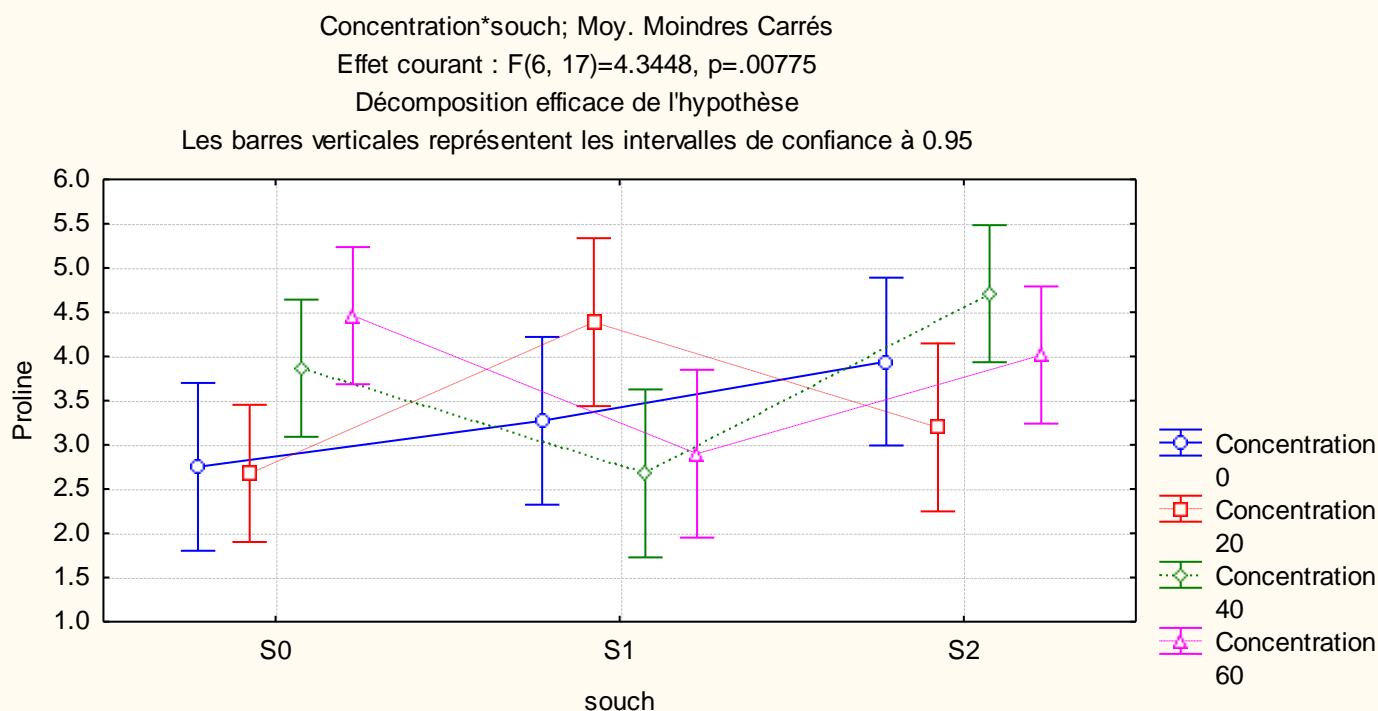


Figure 30 (b) : L'effet du stress oxydatif sur l'accumulation de la proline des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

L'analyse de la variance de l'effet du stress oxydatif montre une différence significative (annexes 3.7 tableau 15(a)) de l'accumulation de la proline des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Le Test de Duncan au seuil de 5% de l'effet du stress oxydatif sur l'accumulation de la proline des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries* montre l'existence de 5 groupes (annexe 3.7 tableau 15(b)) : a, ab, bc, abc et c.

1.3.1.8.L'activité catalase :

L'effet du stress oxydatif sur l'activité catalase des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries* est présenté dans la figure 31(a). Comparativement au témoin, une diminution significative de l'activité catalase a été observée chez toutes les plantules dont les grains ont été inoculés par les deux souches d'*Actinobactéries* (figure 31(b)).

Résultats et discussion

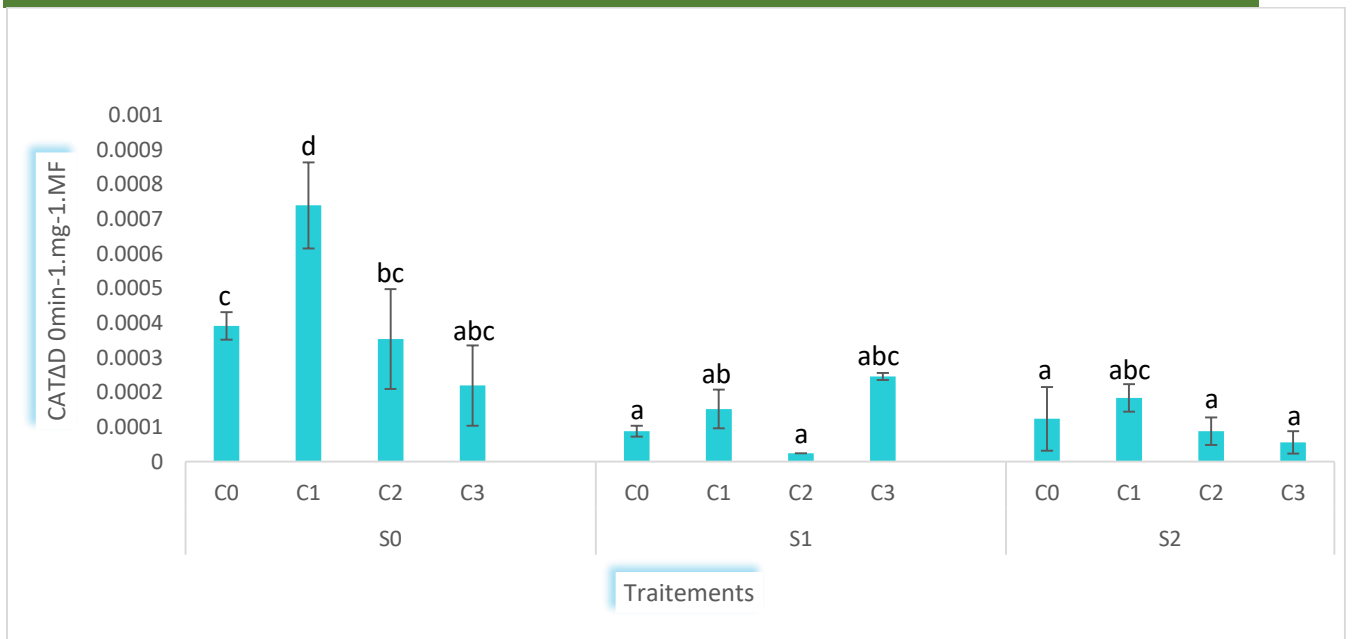


Figure 31 (a) : L'effet du stress oxydatifs sur l'activité catalase des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

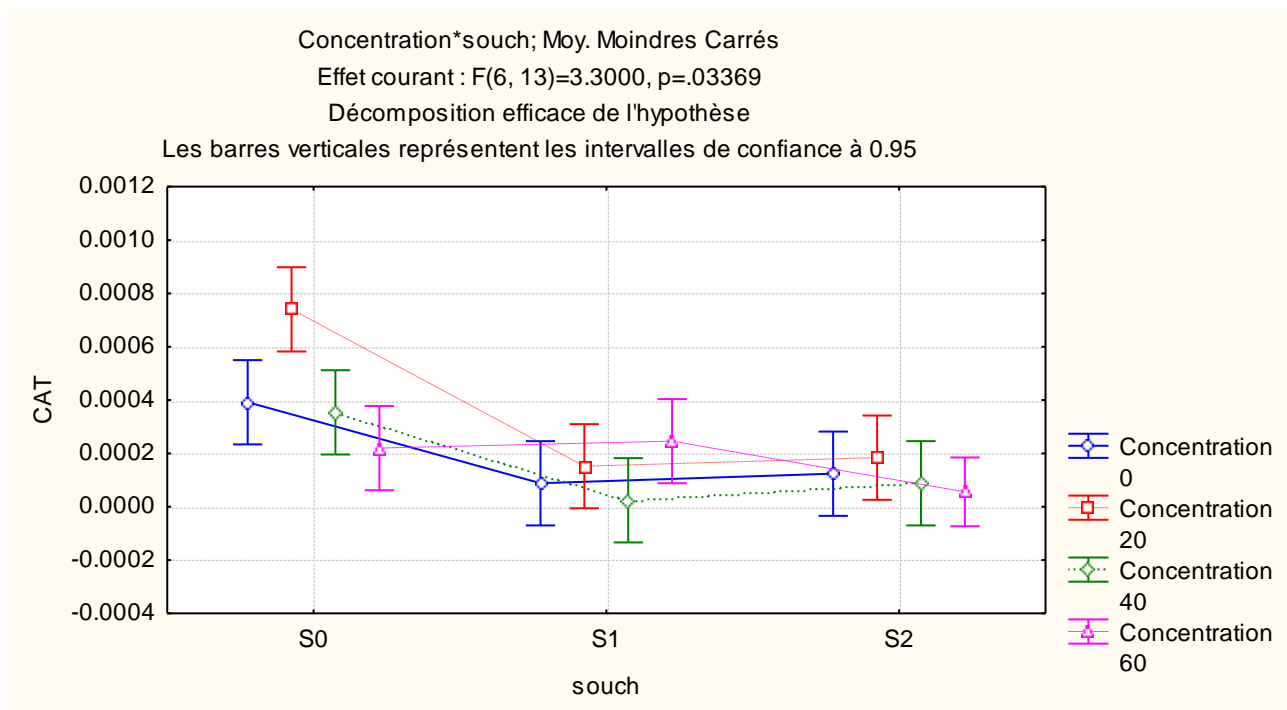


Figure31 (b) : L'effet du stress oxydatifs sur l'activité catalase des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Résultats et discussion

L'analyse de la variance de l'effet du stress oxydatif montre une différence significative (annexes 3.8 tableau 16(a)) de l'activité catalase des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Le Test LSD de Fisher au seuil de 5% de l'effet du stress oxydatif (annexes 3.8 tableau 16(b)) sur l'activité catalase des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries* montre l'existence de 6 groupe : a, ab, abc, bc, c et d.

1.3.1.9.L'activité peroxydase :

La figure 32 (a) représentée l'effet du stress oxydatif sur l'activité peroxydase des feuilles des plantules de blé dur traitées par les deux souches d'*Actinobactéries*. On remarque que les concentrations de Cr (VI) provoquent une augmentation significative de l'activité peroxydase chez les plantules non traitées par les souches d'*Actinobactéries*. Les plantes traitées par les deux souches se sont manifestées par une légère diminution d'activité peroxydase dans certaines concentrations et surtout celles traitées par la 2^{ème} souche (figure 32 (b)).

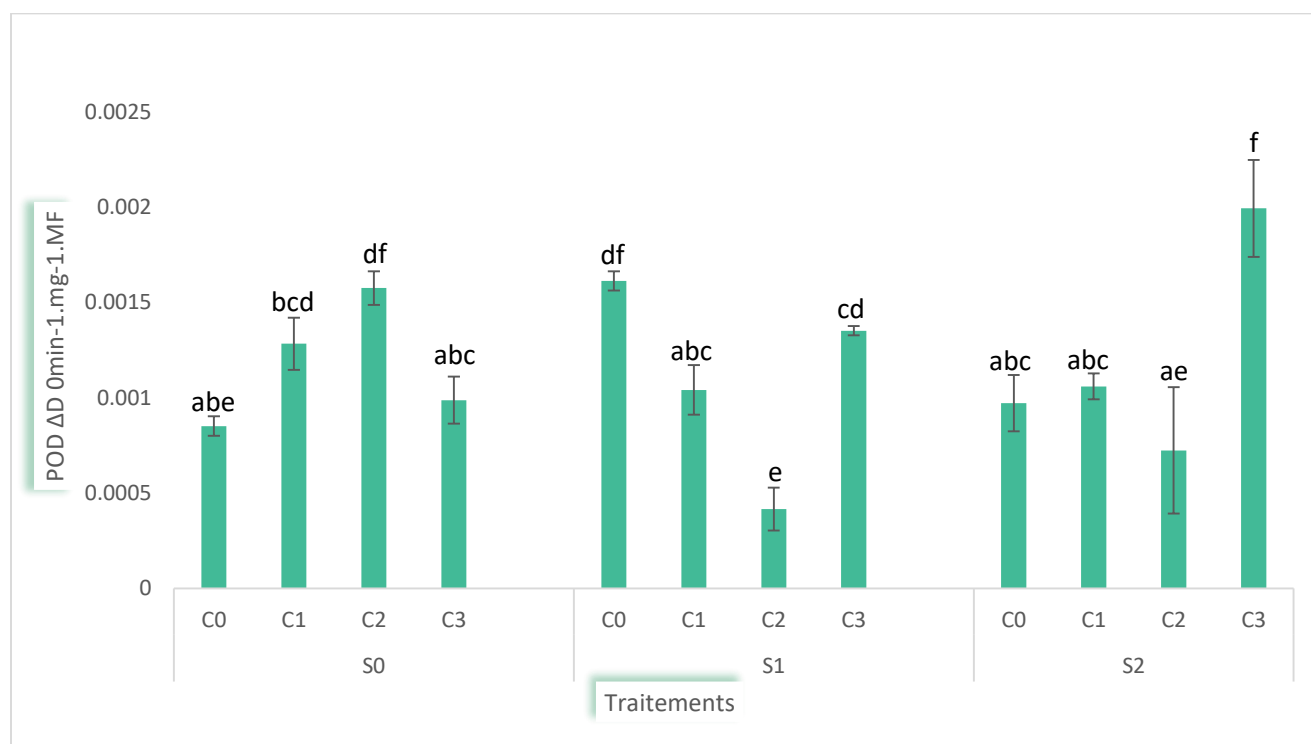


Figure 32 (a) : L'effet du stress oxydatif sur l'activité peroxydase des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Résultats et discussion

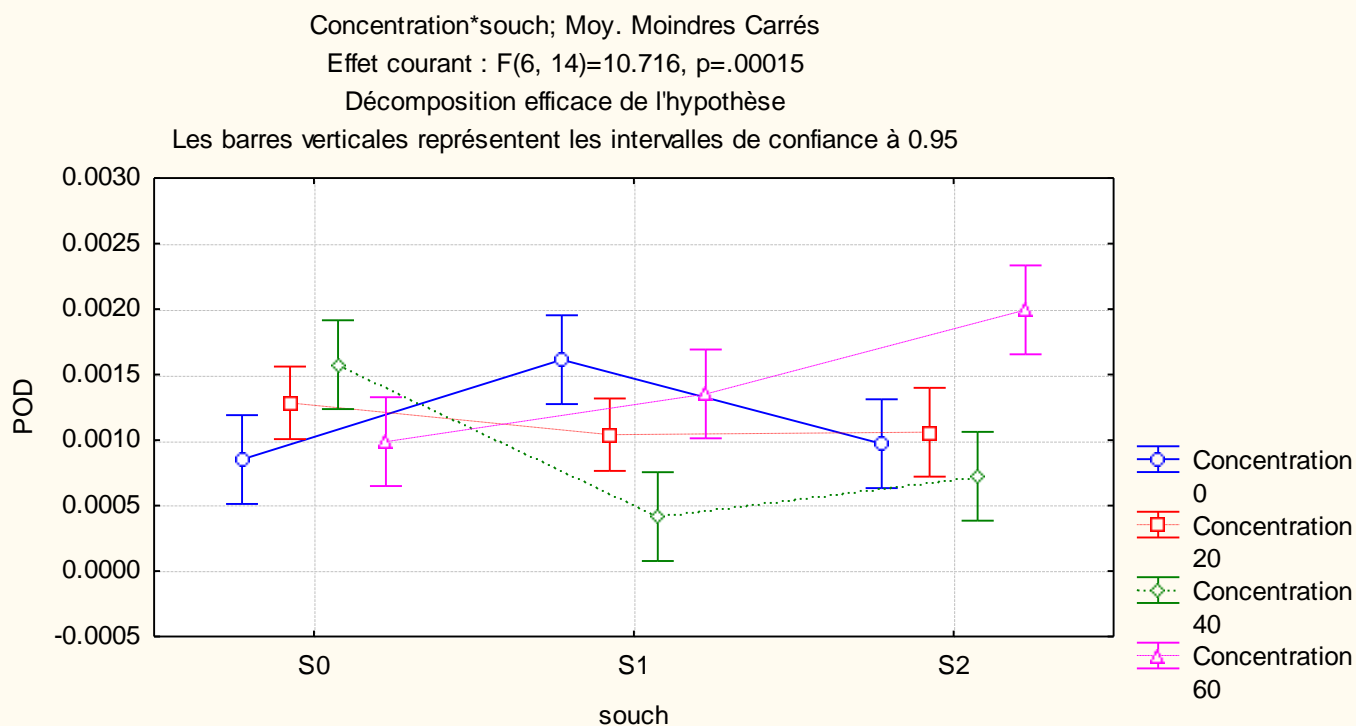


Figure 32(b) : L'effet du stress oxydatif sur l'activité peroxydase des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

L'analyse de la variance de l'effet du stress oxydatif montre une différence significative (annexes 3.9 tableau 17(a)) de l'activité peroxydase des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Le Test LSD de Fischer au seuil de 5% de l'effet de stress oxydatif (annexe 3.9 tableaux 17(b)) sur l'activité peroxydase des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries* montre l'existence de huit groupes (abc, abe, ae, bcd, cd, df, e, f).

1.3.2. Deuxième prélèvement (après 35 jours) :

1.3.2.1. Le poids frais :

La figure 33(a) visualise l'effet du stress oxydatif sur la production de la matière fraîche chez les plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*. L'exposition des plantules au Cr(VI) n'a pas réduit la matière fraîche, au contraire, il a induit une augmentation parfois significative. Le poids frais des plantules dont les grains ont été inoculés par la 2^{ème} souche a été légèrement améliorée (figure 33 (b)).

Résultats et discussion

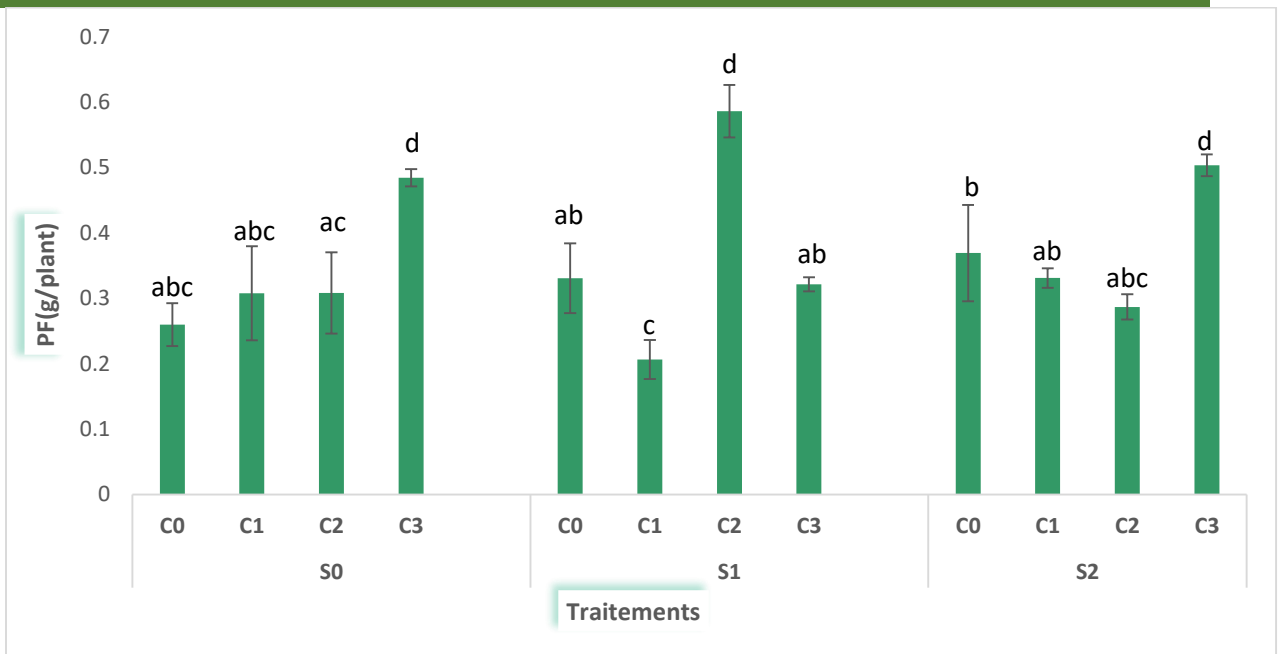


Figure 33 (a) : L'effet du stress oxydatif sur la production de la matière fraîche chez les plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

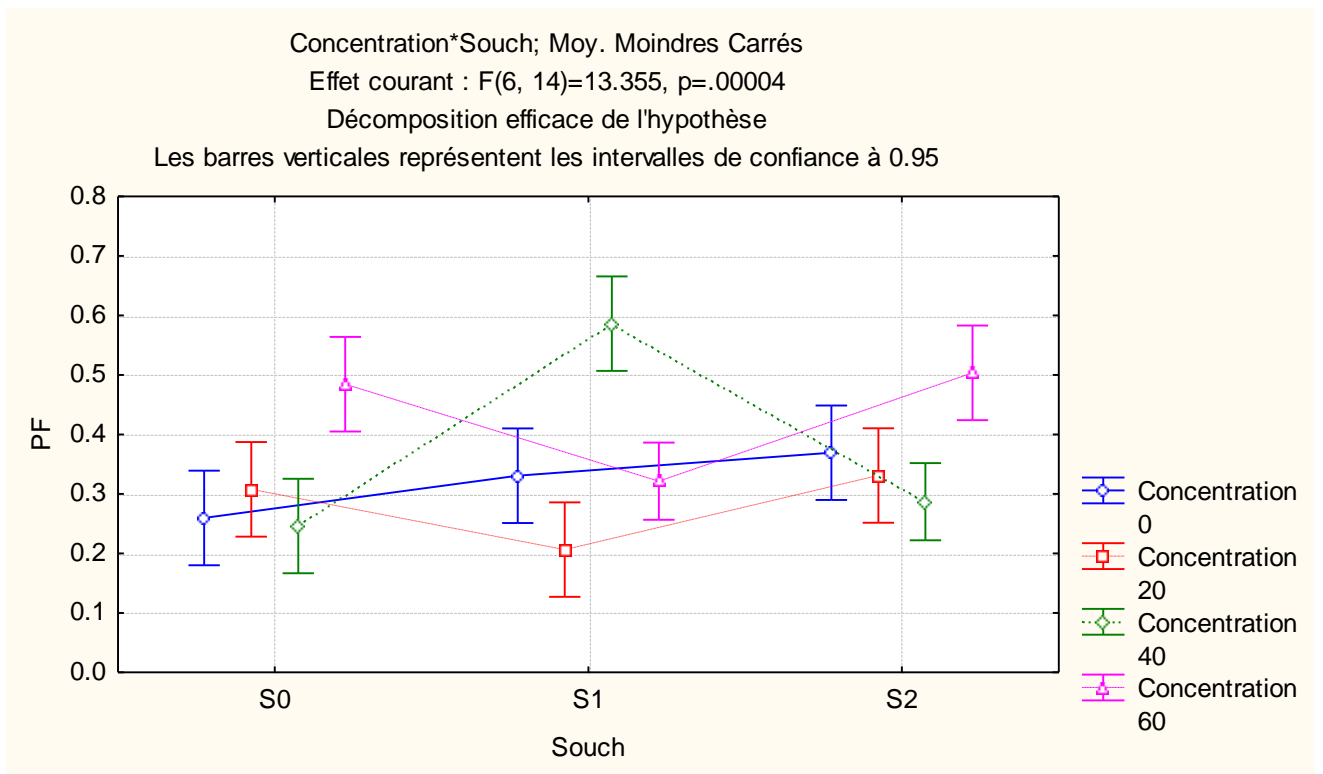


Figure 33 (b) : L'effet du stress oxydatif sur la production de la matière fraîche chez les plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Résultats et discussion

L'analyse de la variance de l'effet du stress oxydatif montre une différence significative (annexe 4.1 tableau 18(a)) de la production de la matière fraîche chez les plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Le Test LSD de Fischer au seuil de 5% de l'effet de stress oxydatif (annexe 4.1 tableau 18(b)) sur la production de la matière fraîche chez les plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries* montre l'existence de six groupes (abc, ab, ac, b, c, d).

1.3.2.2. Le poids sec :

La figure (34) montre l'effet du stress oxydatif sur le poids sec chez les plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*. De la même façon que pour le poids frais, les concentrations appliquées du Cr(VI) n'ont pas diminué le poids sec, au contraire, ils ont induit une augmentation parfois significative (C3). L'inoculation par les deux souches semble de ne pas avoir un effet améliorateur sur le poids sec.

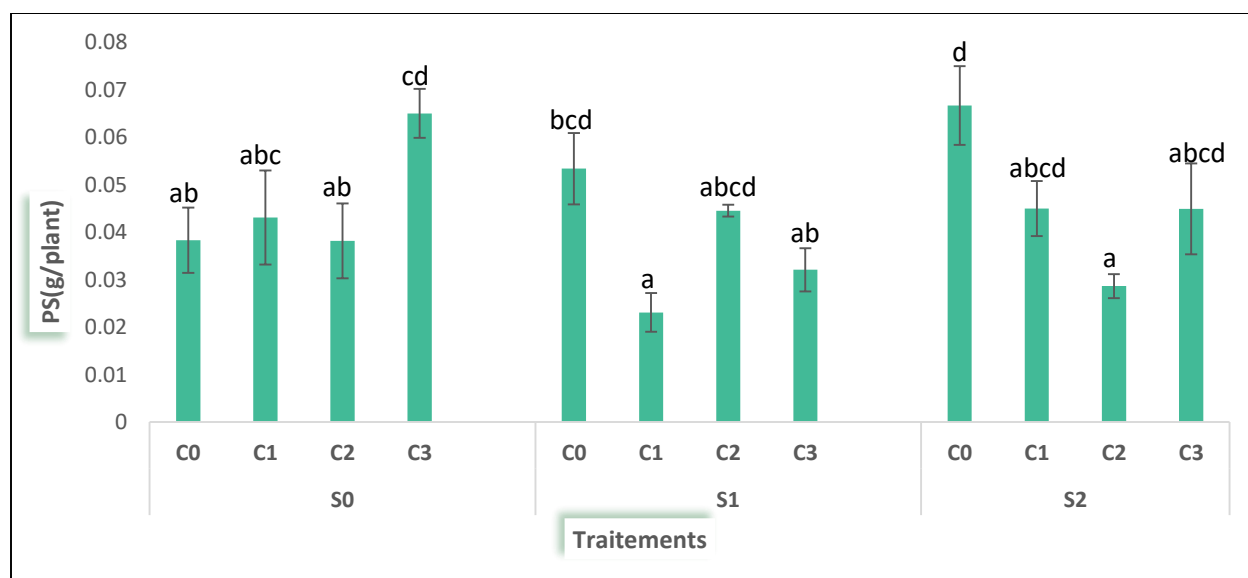


Figure 34 : L'effet du stress oxydatif sur le poids sec chez les plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

L'analyse de la variance de l'effet du stress oxydatif montre une différence significative (annexe 4.2, tableau 19(a)) de la production de la matière fraîche chez les plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Résultats et discussion

Le Test LSD de Fischer au seuil de 5% de l'effet de stress oxydatif (annexe 4.2 tableau 19(b)) sur le poids sec chez les plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries* montre l'existence de sept groupes (a, ab, abc, abcd, bcd, cd, d).

1.3.2.3. La teneur en eau :

La figure (35) montre l'effet du stress oxydatif sur la teneur en eau chez les plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*. L'exposition aux différentes concentrations de Cr(VI) conduit à une augmentation parfois significative (C3) de la teneur en eau des plantules de blé dur. Le traitement par les deux souches semble de ne pas avoir un effet significatif sur la teneur en eau.

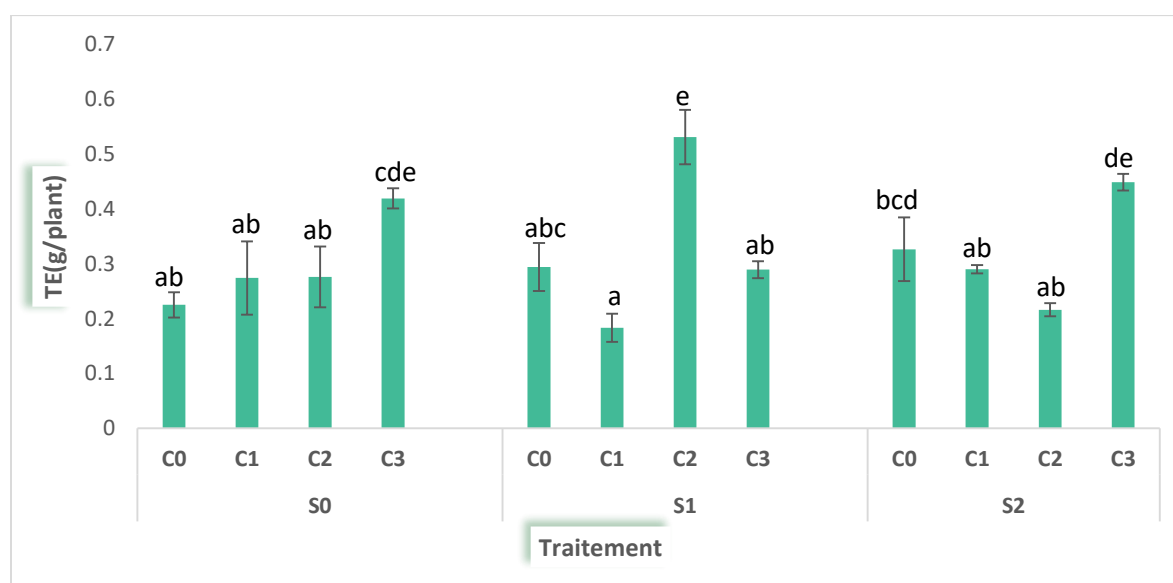


Figure 35 : L'effet du stress oxydatif sur la teneur en eau chez les plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

L'analyse de la variance de l'effet du stress oxydatif montre une différence significative (annexe 4.3 tableau 20(a)) de la teneur en eau chez les plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Le Test LSD de Fischer au seuil de 5% de l'effet de stress oxydatif (annexe 4.3, tableau 20(b)) sur la teneur en eau chez les plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries* montre l'existence de sept groupes (a, ab, abc, bcd, cde, de, e).

1.3.2.4. La perméabilité membranaire :

Résultats et discussion

La figure 36(a) montre l'effet du stress oxydatif sur la perméabilité membranaire dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*. On remarque que le stress oxydatif causé par le Cr (VI) conduit à une augmentation significative de la perméabilité membranaire des plantules de blé dur dont les grains n'étaient pas inoculés. L'inoculation par les deux souches n'a pas d'effet significatif (la figure 36 (b)).

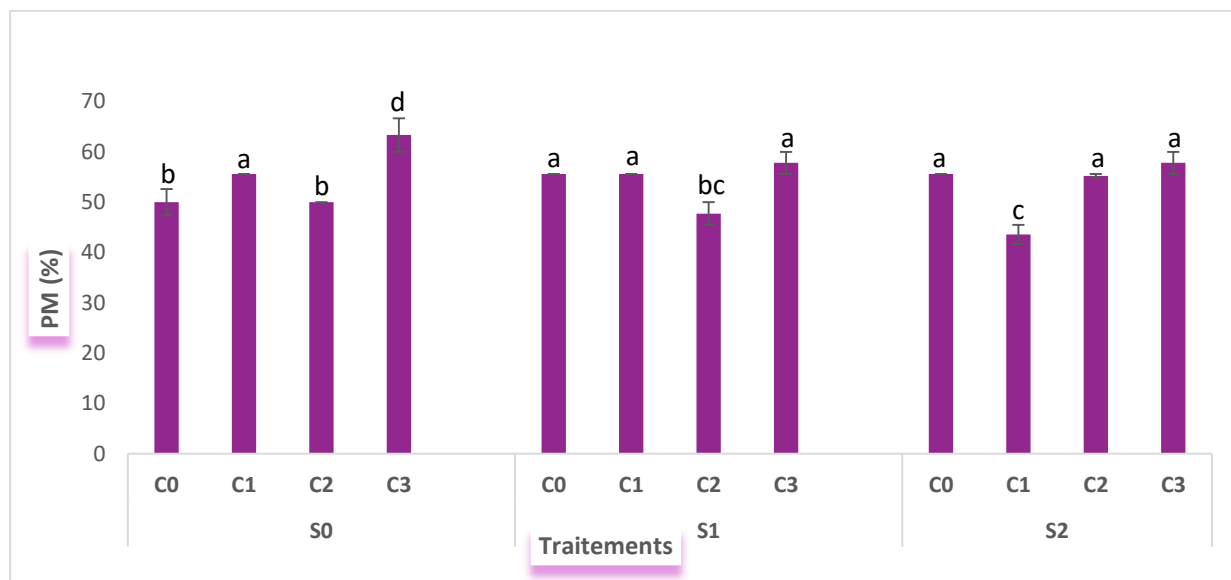


Figure 36 (a) : L'effet du stress oxydatif sur la perméabilité membranaire dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les deux souches d'*Actinobactérie*.

Résultats et discussion

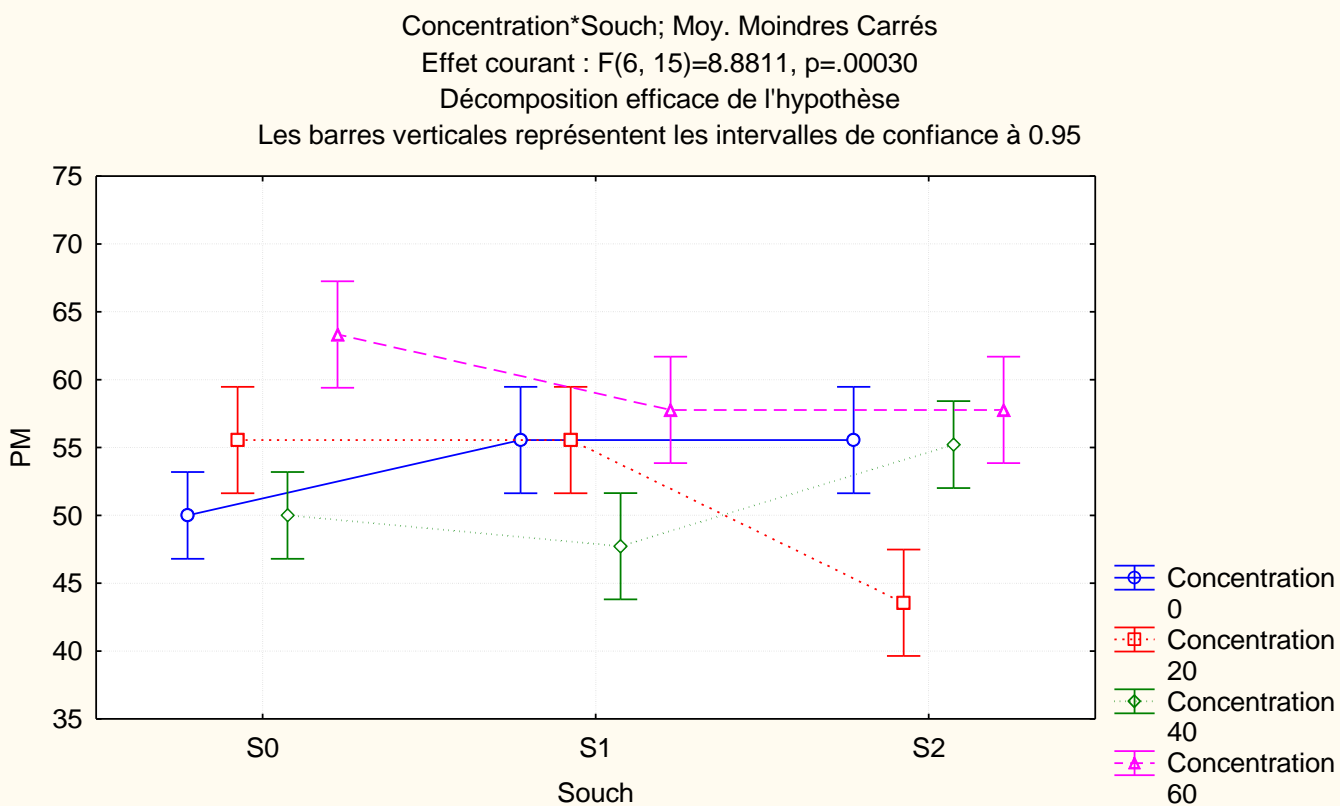


Figure 36 (b) : L'effet du stress oxydatif sur la perméabilité membranaire dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

L'analyse de la variance à 2 facteurs de L'effet du stress oxydatif (annexe 4.4, tableau 21(a)) visualise une différence significative sur le pourcentage de fuite des électrolytes dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Le Test LSD de Fisher au seuil de 5% de l'effet de stress oxydatif sur la perméabilité membranaire chez les plantules de blé dur traitées par les deux souches d'*Actinobactéries* montre l'existence de 5 groupes : a, b, bc, c et d (annexe 4.4, tableau 21(b)).

1.3.2.5. Les pigments photosynthétiques :

a) Chlorophylle a :

La figure 37(a) représente l'effet du stress oxydatif sur la teneur en chlorophylle a des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*. La teneur en chla

Résultats et discussion

enregistré dans ce stade de développement paraît invariable et les traitements appliqués n'ont aucun effet significatif sur ce paramètre (figure 37 (b)).

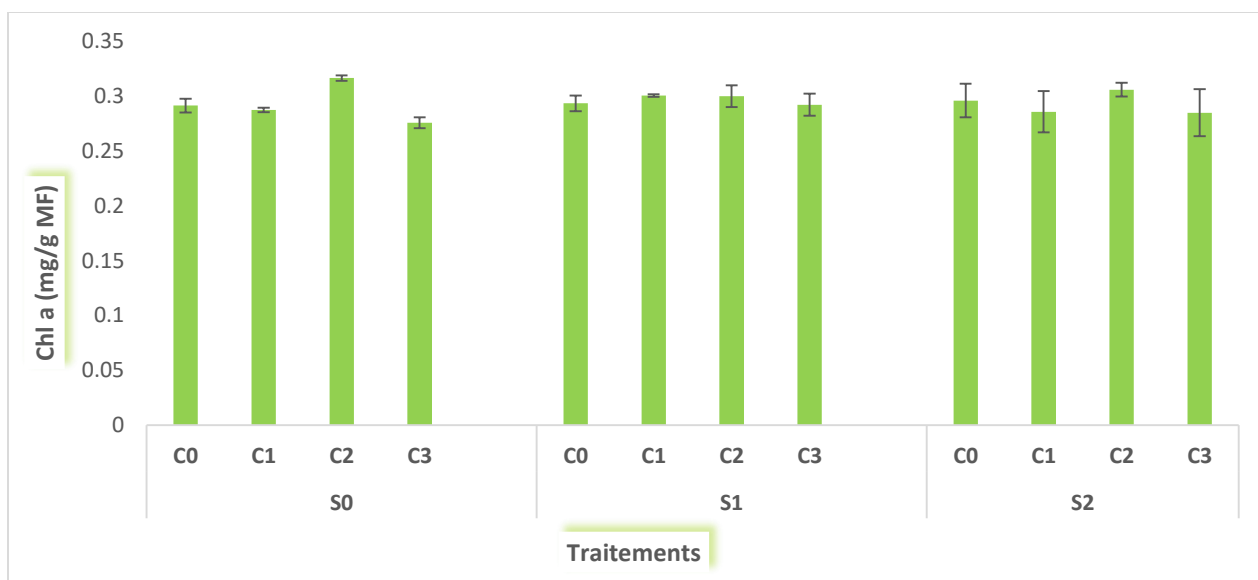


Figure 37 (a) : L'effet du stress oxydatif sur la teneur en chlorophylle a des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Résultats et discussion

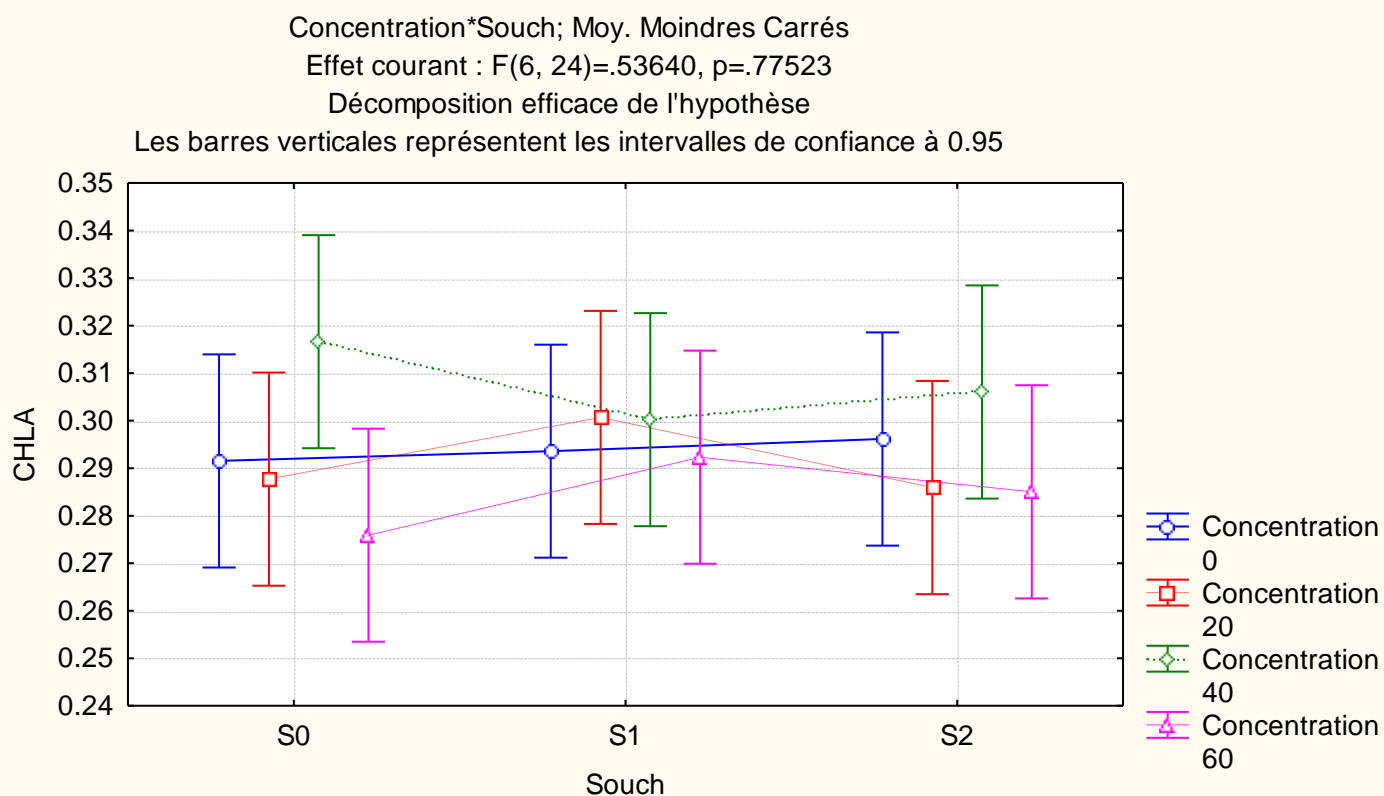


Figure 37 (b) : L'effet du stress oxydatif sur la teneur en chlorophylle a des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

L'analyse de la variance au seuil de 5% de l'effet du stress oxydatif (annexe 4.5, tableau) sur la teneur en chlorophylle a des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries* ne révèle aucune différence significative.

b) Chlorophylle b :

L'effet du stress oxydatif sur la teneur en chlorophylle b dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries* est schématisé dans la figure (38). De la même manière que pour le chla, une invariabilité des teneurs en chlb est enregistré peu importe le traitement appliqué.

Résultats et discussion



Figure 38 : L'effet du stress oxydatif sur la teneur en chlorophylle b des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

L'analyse de la variance et les tests statistiques au seuil de 5% l'effet du stress oxydatif (annexe 4.5.2 tableau 23) sur la teneur en chlorophylle b des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries* ne révèle aucune différence significative.

c) Chlorophylle totale (a+b) :

La figure 39 (a) montre l'effet du stress oxydatif sur la teneur en chlorophylle totale (a+b) des feuilles des plantules de blé dur traitées par les deux souches d'*Actinobactéries*. On remarque que malgré la différence significative enregistré pour ce paramètre, les teneurs en chlorophylle (a+b) sont approximativement les mêmes peu importe le traitement appliqué (que ce soit le Cr(VI) ou l'inoculation par les *Actinobactéries* (figure 39(b)).

Résultats et discussion

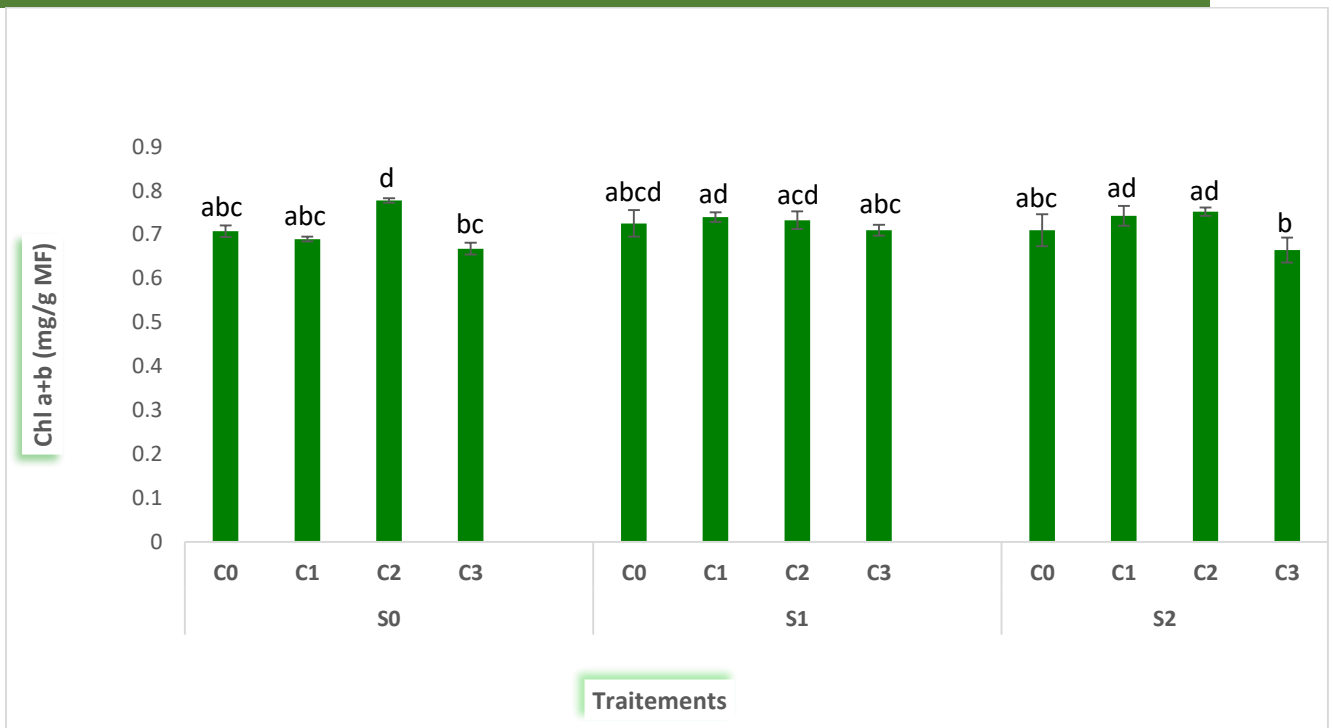


Figure 39 (a) : L'effet du stress oxydatif sur la teneur en chlorophylle totale (a+b) des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

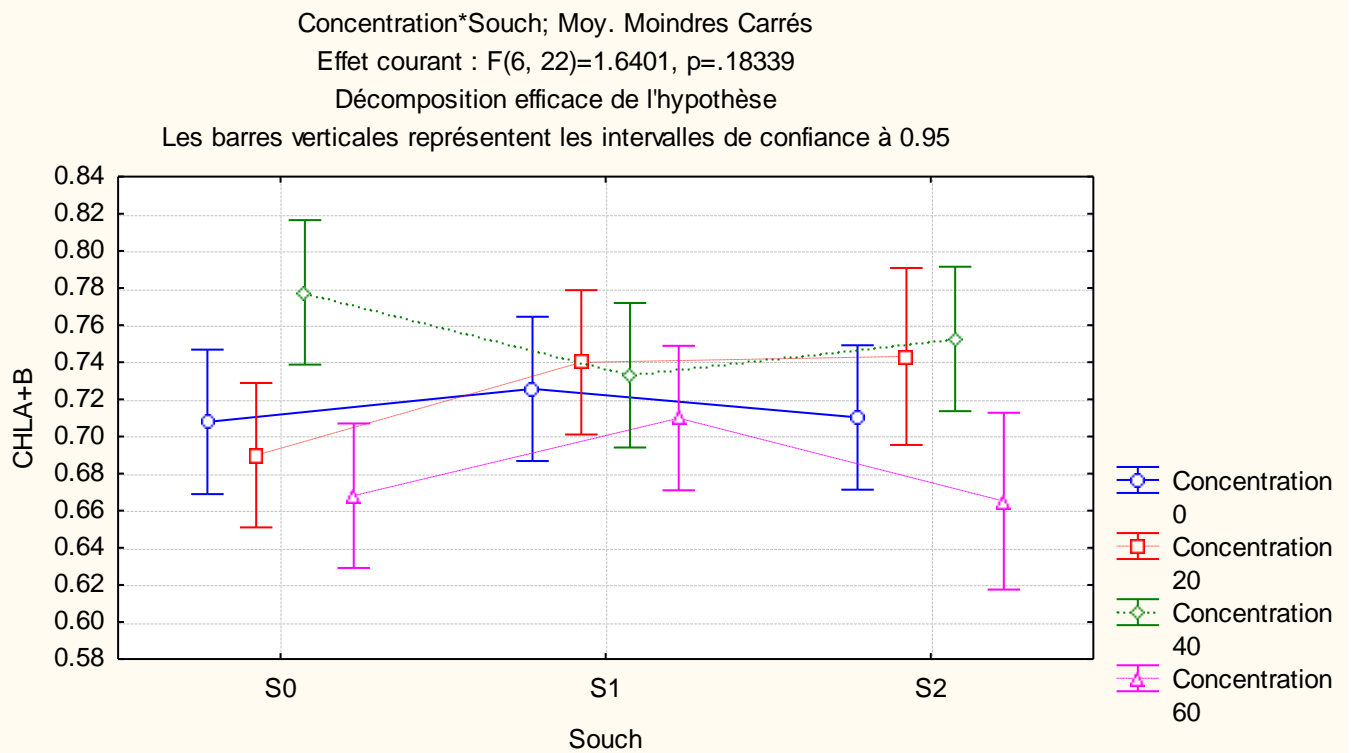


Figure 39 (b) : L'effet du stress oxydatif sur la teneur en chlorophylle totale (a+b) des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Résultats et discussion

L'analyse de la variance à 2 facteurs de l'effet du stress oxydatif (annexe 4.5.3, tableau 24(a)) montre une différence significative de la teneur en chlorophylle totale (a+b) des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Le Test de Duncan au seuil de 5% de l'effet de stress oxydatif par le chrome hexavalent sur la teneur en chlorophylle totale (a+b) chez les plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries* montre l'existence de 7 groupes : abc, abcd, acd, ad, b, bc, d (annexe 4.5.3, tableau 24(b)).

d) Caroténoïdes :

L'effet du stress oxydatif sur la teneur en caroténoïdes dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries* est présenté sur la figure 40. La teneur en caroténoïdes enregistré paraît invariable et les traitements appliqués (Cr(VI) ou l'inoculation par les *Actinobactéries*) n'ont aucun effet significatif sur ce paramètre.

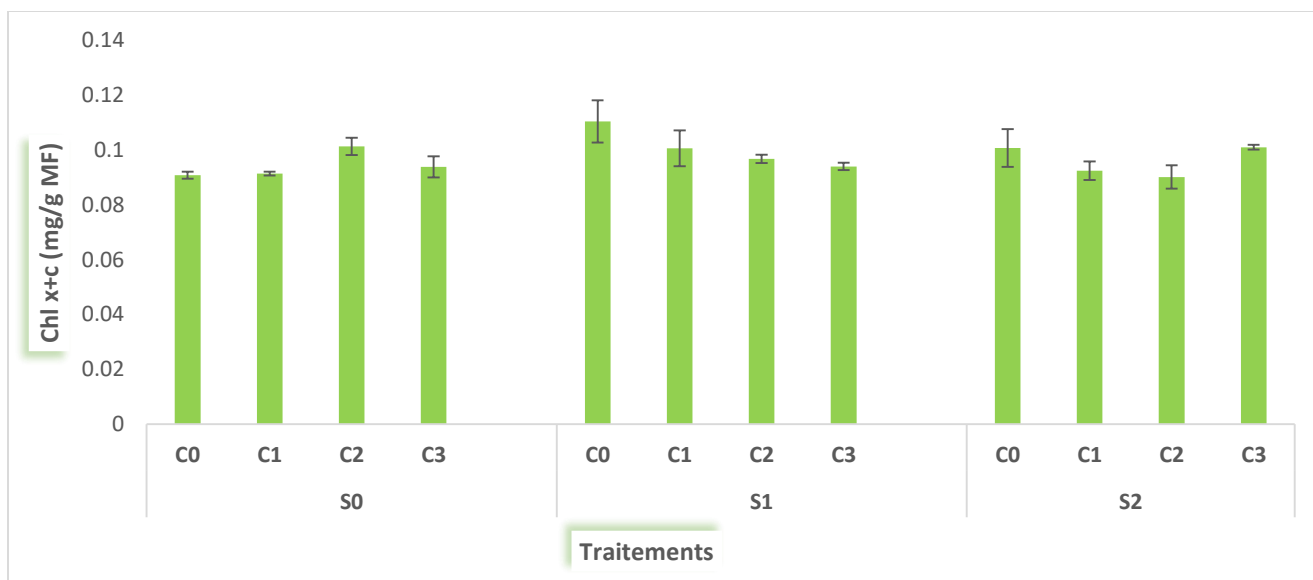


Figure 40 : L'effet du stress oxydatif sur la teneur en caroténoïdes des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

L'analyse de la variance et les tests statistiques au seuil de 5% à 2 facteur de l'effet du stress oxydatif (annexe 4.5.4, tableau 25) sur la teneur en chlorophylle b des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries* ne révèle aucune différence significative.

Résultats et discussion

1.3.2.6. Les sucres totaux solubles :

La figure 41 (a) montre l'effet du stress oxydatif sur la teneur en sucres totaux solubles des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*. Le traitement par le Cr(VI) n'a pas abouti, comme attendu, à une accumulation significative des sucres totaux solubles chez les plantules de blé dur. Cependant, une faible accumulation significative a été observée chez les plantules traitées par les deux souches, particulièrement la 2^{ème} souche (figure 41 (b)).

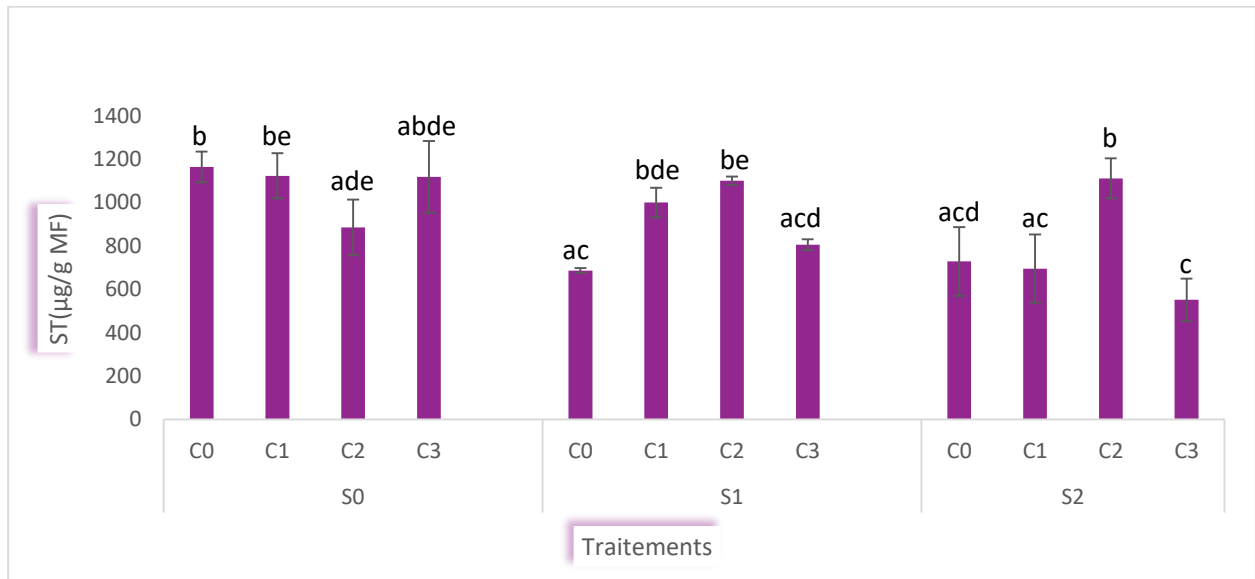


Figure 41 (a) : L'effet du stress oxydatif sur la teneur en sucre totaux solubles des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Résultats et discussion

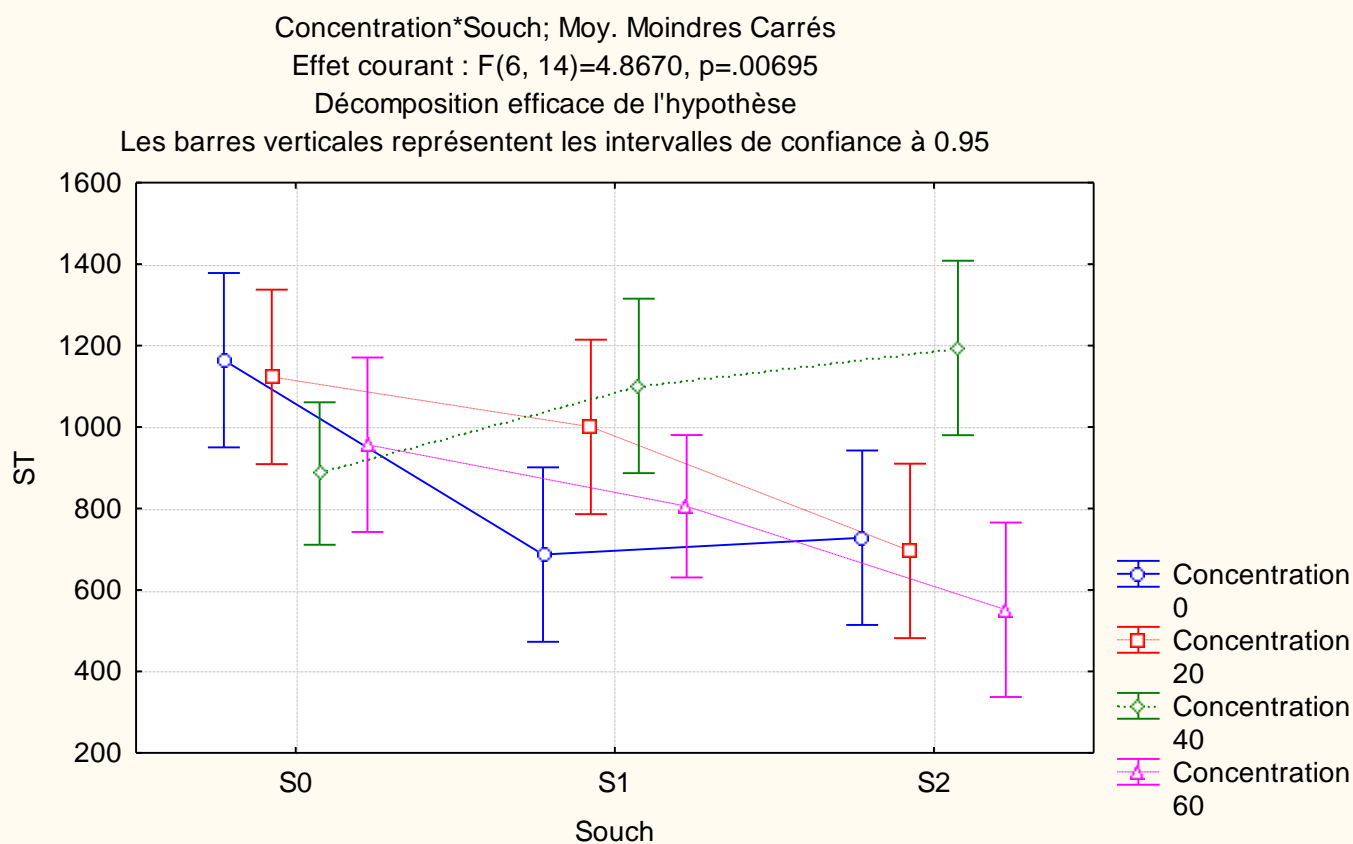


Figure 41 (b) : L'effet du stress oxydatif sur la teneur en sucre totaux solubles des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

L'analyse de la variance de l'effet du stress oxydatifs (annexe4.6, tableau 26(a)) visualise une différence significative de la teneur en sucre totaux solubles des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Le Test LSD de Fischer au seuil de 5% (annexe 4.6 ,tableau 26(b)) de l'effet du stress oxydatif sur la teneur en sucre totaux solubles des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries* visualise l'existence de huit groupes : abde, ac, acd, ade, b, be, bde, c.

1.3.2.7.Dosage de la proline :

D'après la figure 42 (a), qui présent l'effet du stress oxydatif sur l'accumulation de proline dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*, des faibles quantités significatives de proline ont été enregistrées chez les plantules traitées par les deux concentrations C1 et C2 comparativement au témoin. Cependant, des teneurs réduites

Résultats et discussion

significatives ont été enregistrées pour la concentration C3 chez les plantules traitées par la 1^{ère} et la 2^{ème} souche respectivement (la figure 42(b)).

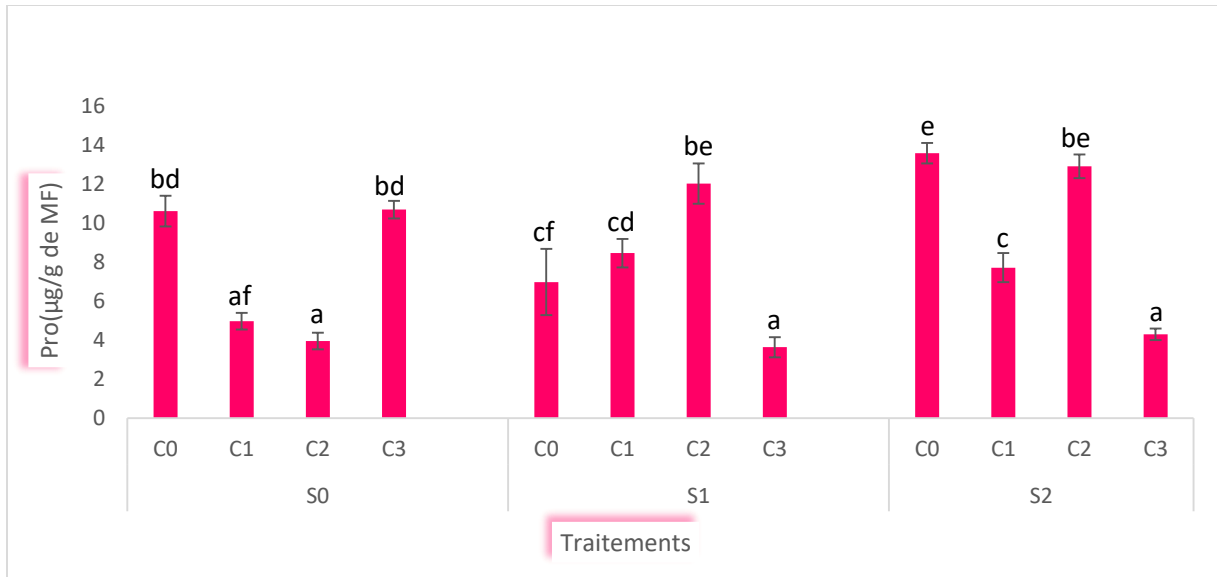


Figure 42 (a) : L'effet du stress oxydatif sur l'accumulation de proline dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

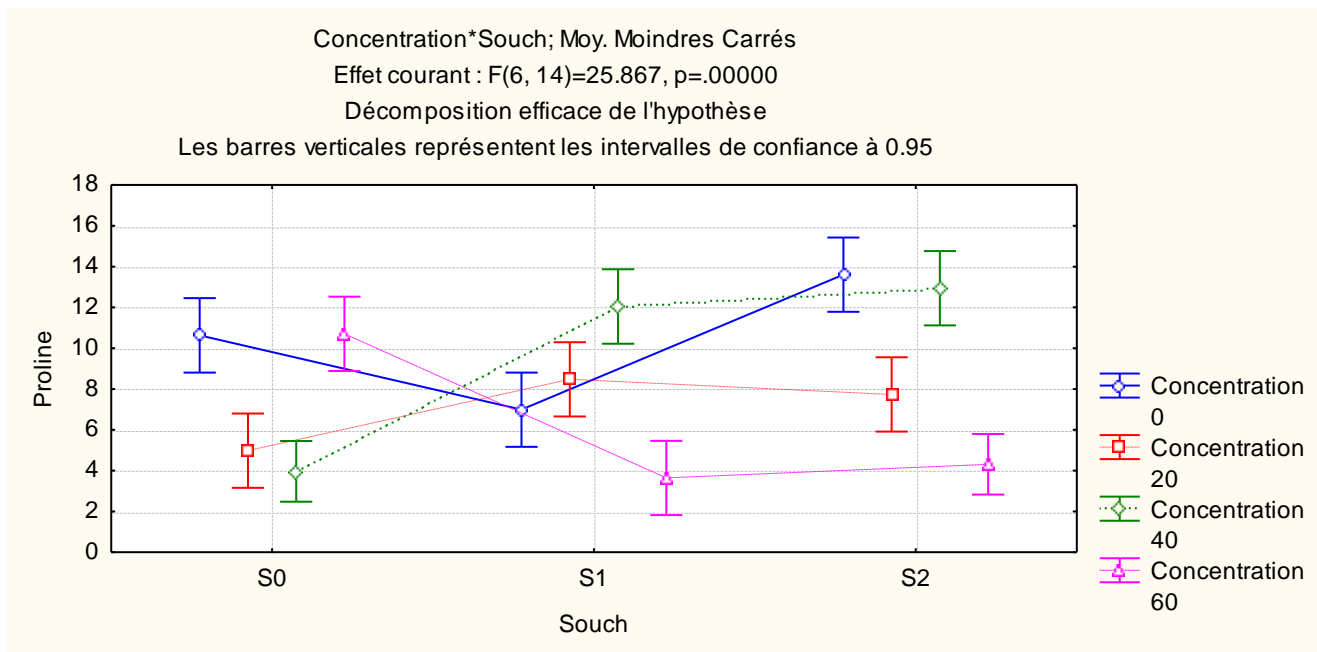


Figure 42 (b) : L'effet du stress oxydatif sur l'accumulation de proline dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Résultats et discussion

L'analyse de la variance de l'effet du stress oxydatif (annexe 4.7, tableau 27(a)) marque une différence significative de l'accumulation de proline dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Le Test LSD de Fischer au seuil de 5% de l'effet du stress oxydatif sur l'accumulation de proline dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries* montre l'existence de huit groupes : a, af, bd, be, c, cd, cf et e (annexe 4.7, tableau 27(b)).

1.3.2.8.L'activité catalase :

La figure 43 (a) représente l'effet du stress oxydatif sur l'activité catalase des feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*. D'après les résultats obtenus, toutes les concentrations du Cr(VI) utilisées ont induit une augmentation significative de l'activité catalase chez les plantules de blé dur. L'inoculation par les deux souches d'*Actinobactéries* a significativement réduit cette activité surtout chez les plantules traitées par la 1^{ère} souche (figure 43 (b)).

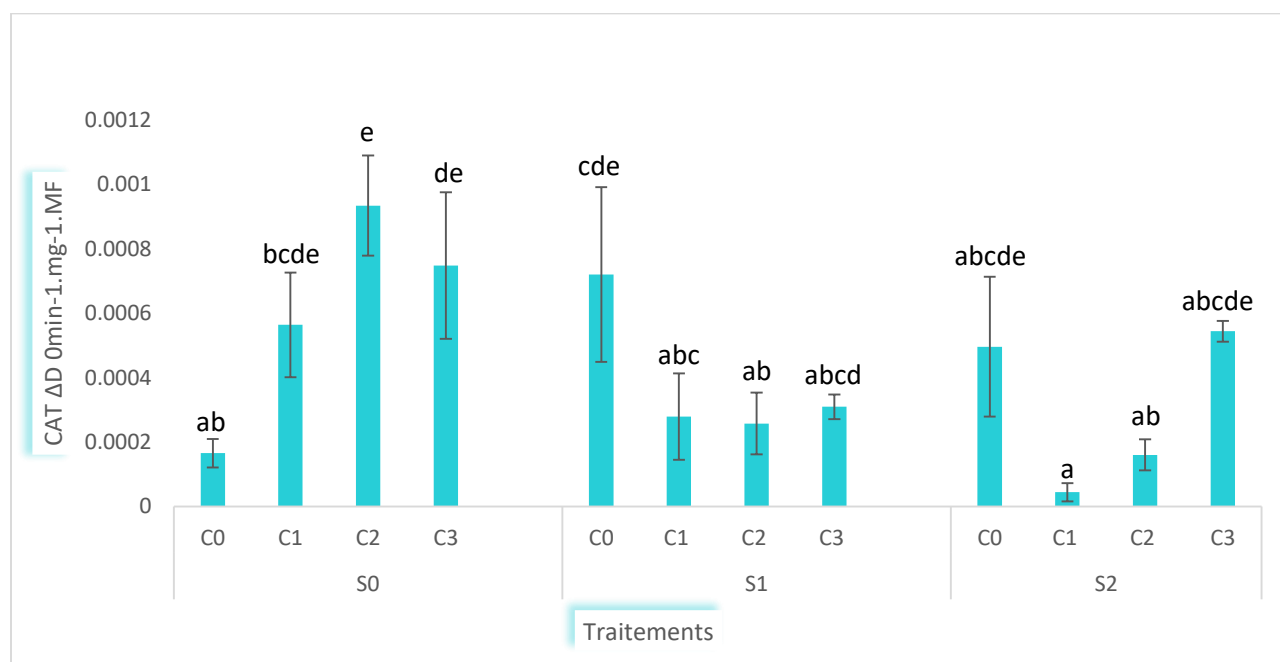


Figure 43 (a) : L'effet du stress oxydatif sur l'activité catalase dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Résultats et discussion

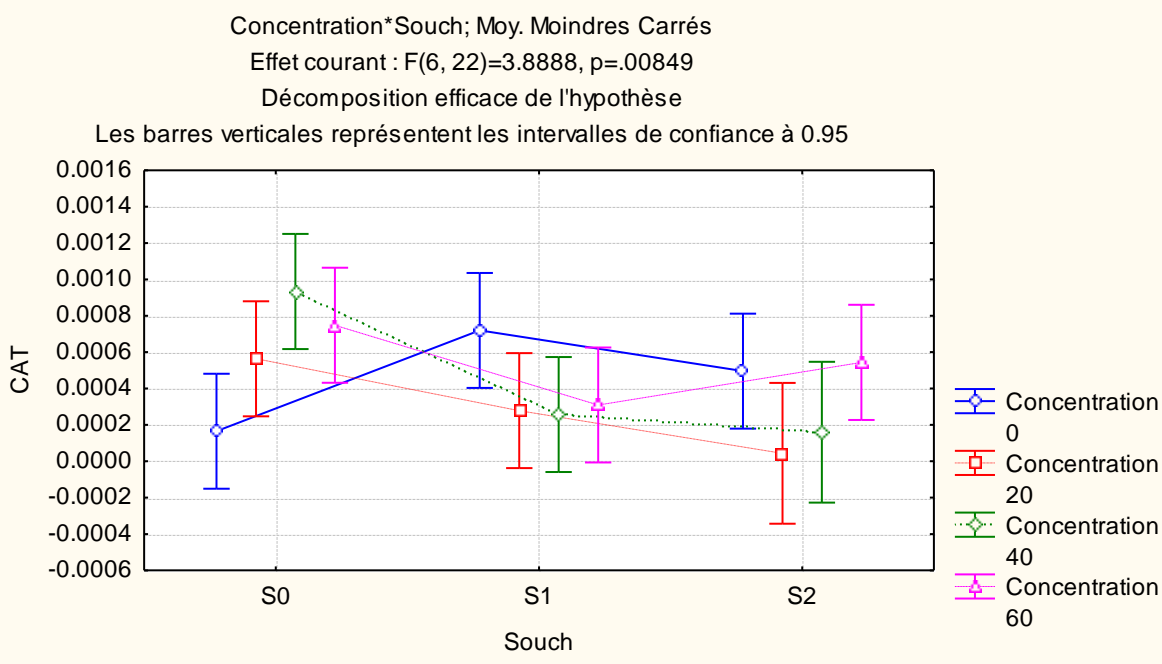


Figure 43 (b) : L'effet du stress oxydatif sur l'activité catalase dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

L'analyse de la variance de l'effet du stress oxydatif (annexe 4.8, tableau 28(a)) montre une différence significative de l'activité catalase dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Le Test LSD de Fischer au seuil de 5% de l'effet du stress oxydatif sur l'activité catalase dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries* montre l'existence de neuf groupes : a , ab, abc , abcd , abcde , bcde,cde , de, e (annexe 4.8 ,tableau 28(b)) .

1.3.2.9.L'activité peroxydase :

L'effet du stress oxydatif sur l'activité peroxydase dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les deux souches d'*Actinobactéries* est illustré dans la figure 44 (a). Le traitement par les différentes concentrations du Cr(VI) a abouti à une augmentation significative de l'activité peroxydase. L'inoculation des graines de blé dur par les deux souches d'*Actinobactéries* testées a causé une diminution significative de l'activité peroxydase en comparaison aux concentrations non traitées (figure 44 (b)).

Résultats et discussion

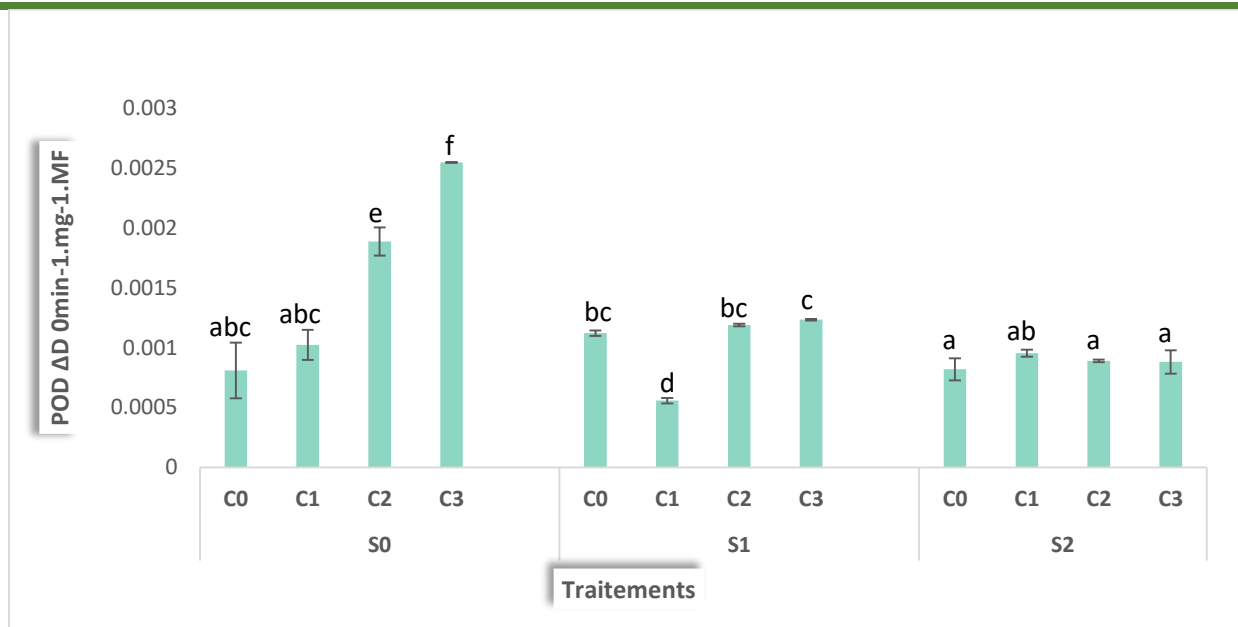


Figure 44 (a) : L'effet du stress oxydatif sur l'activité de la peroxydase dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

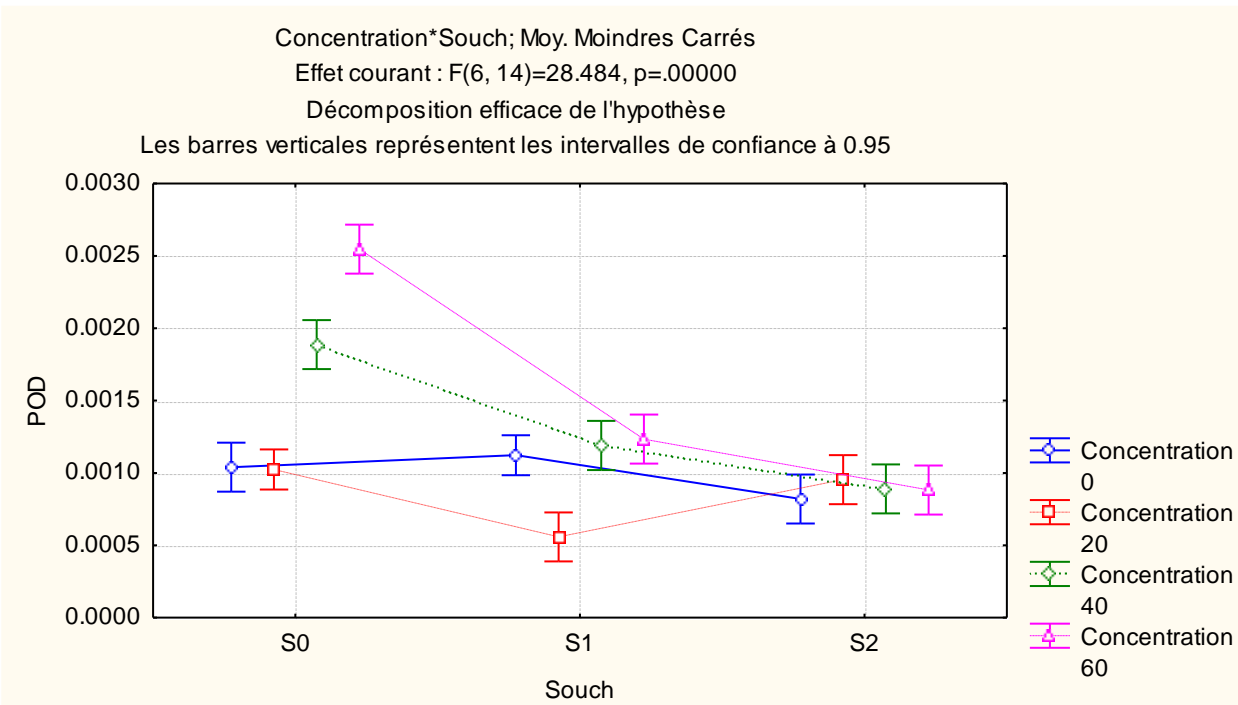


Figure 44 (b) : L'effet du stress oxydatif sur l'activité peroxydase dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Résultats et discussion

L'analyse de la variance de l'effet du stress oxydatif (annexe 4.9, tableau 29(a)) montre une différence significative de l'activité peroxydase dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les deux souches d'*Actinobactéries*.

Le Test LSD de Fischer au seuil de 5% de l'effet du stress oxydatif sur l'activité peroxydase dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les deux souches d'*Actinobactéries* marque l'existence de huit groupes : a,ab,abc,bc,c,d,e,f (annexe 4.9 ,tableau 29(b)).

2. Discussion

Le chrome (Cr) est l'un des métaux lourds les plus courants qui s'accumulent dans le sol, les eaux souterraines et les sédiments en raison de son utilisation industrielle intensive, ce qui soulève de graves préoccupations pour le monde environnemental, les systèmes de production alimentaire, la santé animale, végétale et humaine (Farid et al., 2013),(ANJUM et al., 2017),(López-Bucio et al., 2022). Le chrome entrave non seulement les procès physiologiques des plantes, mais les défie également en générant des espèces réactives de l'oxygène (ROS) (ANJUM et al., 2017). La formation de ROS entraîne un déséquilibre des systèmes de défense pro-oxydants et antioxydants, causer des dommages oxydatifs (Adrees et al., 2015).

Cette étude a été menée pour explorer les effets délétères de différents stress au chrome Cr(VI). Les deux souches d'actinobactérie qui ont été sélectionnés peut-être tolérantes au Cr (VI) pour cette expérience. Les graines de blé inoculées avec ces souches bactériennes sélectionnées ont été semées dans un sol contaminé par le Cr (VI) pour le dépistage de leurs capacités de promotion de la croissance des plantes en vertu du Cr(VI). Il y'a des études précédentes ont également signalé que certaines tolérances au Cr-PGPR augmentaient la croissance du blé (Yahya Khan et al., 2013), du sorgho (Bruno et al., 2020), et (Silva et al., 2021) et (López-Bucio et al., 2022) dans les sols contaminés au Cr(VI). Dans ce contexte, on présente une discussion générale des résultats obtenus dans notre travail, cette discussion sera composée de deux parties :

- Une première partie relative à l'effet du Cr(VI) et les *Actinobactéries* sur la germination des graines de blé dur.
- Une deuxième partie concerne la réponse des plantules traitées par les deux souches d'*Actinobactéries* aux stress oxydatifs qui a été évaluée à travers la mesure de certains paramètres souvent altérés dans les conditions des stress oxydatif, à savoir : le poids frais et sec, la teneur en eau, les pigments photosynthétiques, la perméabilité membranaire, l'accumulation des sucres totaux solubles et de la proline et l'activité de la catalase et la peroxydase.

Le test de germination est une procédure de base pour évaluer les effets toxiques par les métaux lourds sur les plantes (Kaduková et al., 2015).

Le pourcentage de germination finale FGP est une mesure agrégée qui évalue le succès global de la germination dans un lot de graines, tandis que la germination de blé dur fait

Résultats et discussion

référence au processus de croissance spécifique par lequel les graines commencent à développer de nouvelles plantes. Nos résultats révèlent que le FGP élevé signifie que la germination a été réussie dans un grand nombre de graines semées, bien qu'il y ait différentes concentrations de Cr (VI), où un pourcentage élevé de graines ont germé et se sont transformées en plantules saines et ont contribué à la croissance de nouvelles plantes. Le traitement avec la souche IA1 améliore efficacement le FGP.

D'après les résultats de la germination des graines obtenus par (Yahya Khan et al., 2013), la contamination par Cr (VI) n'a montré aucun effet négatif sur la germination des graines, ces résultats correspondent aux résultats de (Datta et al., 2011), ils ont rapporté la capacité de différentes variétés de blé à tolérer le Cr (VI) dans leur étude. Les deux corroborent nos conclusions sur la tolérance de blé. Et aussi ce résultat est plus ou moins conforme aux recherches précédentes aux métaux lourds (Abusriwil et al., 2011).

La germination moyenne journalière (MDG, %) fournit une perspective dynamique sur la façon dont les graines répondent aux conditions environnementales défavorables et à la qualité des semences. La MDG est directement liée au temps de germination. Plus la MDG est élevée, plus les graines de blé dur germent rapidement et de manière vigoureuse chaque jour. Cela indique une bonne viabilité et haute qualité des graines et bonne tolérance dans des conditions de germination défavorables.

Nous comparons nos résultats avec les résultats présentés par (Datta et al., 2011), (Yahya Khan et al., 2013) sur la tolérance de blé, et les résultats rapportés par (Saidani & Nedjimi, 2014) concernant *Atriplex halimus* L. qui indiquent que cette espèce tolère la présence de concentrations élevées du chrome au stade de la germination.

La MDG et le FGP sont deux mesures complémentaires. Alors que le FGP donne une vue d'ensemble du pourcentage total de graines qui ont germé avec succès, la MDG se penche sur la rapidité à laquelle ces germes sont apparus. Ainsi, un FGP élevé est associé à une MDG plus rapide si un grand pourcentage de graines germées a été atteint rapidement.

D'après nos résultats les concentrations élevées de Cr (VI) entraîne une prolongation dans le temps de germination (MGT). Ce résultat est similaire aux résultats obtenus par (Bezini et al., 2019) enregistrant une longue MGT en raison de l'effet des concentrations de métaux lourds. Cette prolongation indique que le stress oxydatif peut perturber les processus

Résultats et discussion

métaboliques et enzymatiques nécessaires à la germination, et peut également affecter la viabilité des graines, entraîner une prolongation du temps de germination (MGT) en raison des perturbations causées dans les mécanismes cellulaires essentiels pour la germination. Et en même temps, la présence des souches IA1 et D15 atténue l'impact du stress oxydatif induit par le Cr (VI), ce qui permettrait aux graines de germer plus rapidement (diminution du MGT). Cela pourrait être dû à des mécanismes tels que l'amélioration de la santé cellulaire, la réduction des dommages oxydatifs ou la stimulation de voies métaboliques spécifiques favorisant la germination. L'inoculation avec des bactéries ayant les aptitudes de survivre dans le stress par le Cr (VI) et la conversion du Cr (VI) en Cr (III) pourrait être très utile pour améliorer la croissance des plantes dans le sol contaminé au chrome (Yahya Khan et al., 2013). Ceci est réalisé en produisant des métabolites qui sont bénéfiques aux plantes, telles que les phytohormones, les antibiotiques ou les sidérophores (S. B. Sharma et al., 2013).

Notre résultat montrent qu'il y a peu d'effet du chrome sur l'indice de germination et c'est peut-être dû au fait que le blé dur est capable d'activer des mécanismes de défense antioxydants ou de s'adapter au stress oxydatif induit par le Cr (VI), il pourrait compenser les effets négatifs sur la germination, potentiellement atténuant l'impact négatif sur l'indice de germination. Selon (Chiboub et al., 2016) et (Silva et al., 2021), plusieurs PGPR tolérants aux métaux lourds peuvent produire des phytohormones et des enzymes même dans des conditions de stress métallique.

Nos résultats montrent que les concentrations de Cr(VI) appliquées n'ont pas d'effet dépressif sur la production de la biomasse fraîche ou sèche, mais contrairement de ce qui est attendu, elles ont induit, dans certains cas, une augmentation significative de la biomasse chez les plantules. Cela, est probablement dû à plusieurs causes, à savoir, l'existence des microorganismes dans le pot, qui ont peut être réduit le Cr (VI) en Cr (III) (López-Bucio et al., 2022) en atténuant ainsi la toxicité du Cr(VI) ; la possibilité de la détoxification efficace des ROS par les plantules de blé en produisant des enzymes antioxydantes comme la catalase et la peroxydase, chose qui a été observée dans cette étude. 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. Selon (Zhao et al., 2001), le blé dur est l'un des groupes végétaux les plus étudiés en raison de sa capacité à absorber de grandes quantités de métaux lourds et à produire une biomasse de racines et de pousses relativement élevée, même dans des

Résultats et discussion

conditions environnementales extrêmes (Moule 1980; Prevost 1976 ; Grignac 1978). Et selon les autres études sur le sorgho des (Sathya et al., 2016) et (Padmapriya et al., 2016) , (X. Yuan et al., 2019) que le sorgho a la capacité de croissance de façon continue, et de produire des quantités importantes de biomasse, et s'adapter aux conditions climatiques difficiles et surtout l'absorption des métaux et il a également une bonne tolérance à la pollution par les métaux lourds.

Nos résultats montrent aussi que le pourcentage de fuite d'électrolytes chez les plantes stressées est supérieur à celui obtenu chez les plantes témoins, cela concorde avec les résultats apparus dans l'étude (Askari et al., 2021) qui ont rapporté que les plantes de blé présentent des valeurs de perméabilité membranaire considérablement accrues sous toxicité Cr (VI). Ceci s'explique par l'altération de l'intégrité membranaire des cellules lors du stress. Le Cr (VI) peut générer des espèces réactives de l'oxygène (ROS) qui peuvent endommager les lipides membranaires, perturbant ainsi leur structure et leur fonctionnalité. Cette perturbation peut entraîner une augmentation de la perméabilité membranaire, ce qui se traduit par une fuite d'électrolytes, tels que le potassium (K^+) et le calcium (Ca^{2+}), des cellules végétales. L'augmentation de la perméabilité membranaire et la fuite d'électrolytes perturbent l'homéostasie ionique, compromettent la fonction cellulaire normale et peuvent entraîner des altérations métaboliques et des dommages cellulaires. En conséquence, cela peut avoir des répercussions négatives sur la croissance, le développement et la viabilité du blé dur exposé au stress oxydatif induit par le Cr(VI). Les deux souches IA1 et D15 ont significativement diminué la perméabilité membranaire des plantules de blé dur, ce qui traduit le maintien de l'intégrité membranaire et l'empêchement de la fuite d'électrolytes des feuilles des plantules dans les conditions de stress oxydatif. Il est possible que les deux souches aient réduit le Cr (VI) en Cr (III) en diminuant ainsi la toxicité des ROS. Selon (Tirry et al., 2018), la réduction du Cr (VI) pourrait être due aux composés chimiques comme la cystéine, le sulfite, le glutathion et les thiosulfates qui pourraient réduire le Cr (VI) en Cr (III). Les activités enzymatiques des bactéries pourraient également être l'une des raisons possibles de réduction du Cr (VI) par les réductases solubles et membranaires qui existent dans plusieurs bactéries aérobies, facultatives et anaérobies.

Le stress oxydatif peut causer des dommages aux membranes cellulaires, aux protéines et à l'ADN, perturbant ainsi le métabolisme, la photosynthèse et la croissance des plantes d'après (Nie et al., 2021) et confirmé par (López-Bucio et al., 2022). Selon les résultats de l'étude de blé

Résultats et discussion

des (Datta et al., 2011), (Adrees et al., 2015) , et le dernier est (Ali et al., 2015) qui ont dit que la présence de Cr (VI) a entraîné une diminution significative de la teneur en chlorophylle totale

Comme pour la biomasse, le traitement de nos plantules par le Cr (VI) ne semble pas diminuer la teneur des pigments photosynthétiques, au contraire, il a causé une augmentation significative pour toutes les concentrations du Cr (VI) utilisées. La corrélation positive entre la biomasse et les pigments photosynthétiques est justifiable du fait que l'augmentation de la teneur en pigments donne une indication de la capacité de la plante à effectuer efficacement la photosynthèse et par conséquent, produire une quantité importante de biomasse. D'après les résultats obtenus et d'une manière générale, l'inoculation par les deux souches d'*Actinobactéries* a provoqué une augmentation de la teneur en pigments photosynthétiques. Ceci peut être expliqué par la possibilité de nos souches d'influencer les voies métaboliques impliquées dans la synthèse des pigments photosynthétiques tels que la chlorophylle a, chlorophylle b en augmentant la production de ces pigments, qui favorisera ainsi une meilleure capture de la lumière et une réponse adaptative aux conditions de stress. Cette augmentation est peut être attribuée aussi à la capacité de nos souches à aider potentiellement la plante à atténuer les effets néfastes du Cr (VI) et le convertir en Cr (III). La réduction du Cr(VI) en Cr (III) a été observée par (Yahya Khan et al., 2013) qui ont rapporté que l'inoculation avec des bactéries ayant les aptitudes de survivre sous un stress en Cr(VI) aboutira à la conversion du Cr(VI) en Cr(III) et par conséquent, l'amélioration de la croissance des plantes dans les sols contaminés par le chrome. Il existe une relation de complémentarité entre les caroténoïdes et les autres pigments (Chla et b) ; l'augmentation de la teneur en caroténoïdes a un effet protecteur contre la destruction photo-oxydative (Middleton & Teramura, 1993).

Les résultats obtenus montrent que les niveaux de sucres totaux solubles augmentent avec l'augmentation des concentrations de Cr(VI). D'une manière générale, l'augmentation des sucres totaux solubles est une réponse adaptative au stress oxydatif chez les plantes. Ce résultat est similaire aux résultats obtenu par (Datta et al., 2011) chez le blé et le maïs (ANJUM et al., 2017).

Les sucres totaux solubles peuvent agir comme des antioxydants non enzymatiques, neutralisant les espèces réactives de l'oxygène (ROS) et protégeant ainsi les composants cellulaires contre les dommages oxydatifs. De plus, les sucres totaux solubles peuvent également être impliqués dans la régulation du métabolisme énergétique des plantes, fournissant une source d'énergie alternative pour maintenir les processus métaboliques essentiels pendant le stress

Résultats et discussion

oxydatif induit par le Cr (VI) puis peuvent également agir comme des signaux moléculaires pour réguler les voies de signalisation impliquées dans la réponse au stress.

Une diminution de la teneur en sucres totaux solubles a été enregistrée chez les plantules traitées par les souches IA1 et D15 (et surtout D15) sous la contrainte oxydative. Cela pourrait être expliqué par le déclenchement de certains ajustements métaboliques visant à minimiser les dommages causés par les ROS, ce qui pourrait affecter positivement leur métabolisme, maintenir une meilleure activité photosynthétique, ce qui peut influencer la quantité de sucres produits.

Dans des situations de stress oxydatif général, la proline a été étudiée pour son rôle dans la protection des plantes. Pour la présente étude, lorsque le blé dur est soumis à un stress oxydatif induit par le Cr (VI), on a observé une augmentation de la proline. Des résultats similaires ont été observés chez le sorgho de (Padmapriya et al., 2016) et le maïs (ANJUM et al., 2017). La proline s'accumule dans les cellules végétales en réponse au stress oxydatif et agit comme un antioxydant, neutralisant les espèces réactives de l'oxygène (ROS) et préservant ainsi l'intégrité cellulaire. La proline joue un rôle similaire en aidant à atténuer les dommages oxydatifs causés par le Cr (VI) et à protéger les cellules végétale (López-Bucio et al., 2022). Elle pourrait également influencer l'expression de certains gènes impliqués dans la réponse au stress chez le blé dur. Des études ont montré que la proline peut moduler l'expression de gènes liés à la tolérance au stress, à la régulation osmotique et à la protection cellulaire. Une diminution dans la teneur en proline a été enregistrée chez les plantules traitées par la souche IA1, cette souche pourrait avoir des mécanismes spécifiques qui régulent la production ou le métabolisme de la proline. L'activité enzymatique des isolats bactérienne peut également réduire le Cr (VI) en Cr (III) (Tirry et al., 2018), (Cheung & Gu, 2003)).

Le Cr(VI) génère des espèces réactives de l'oxygène (ROS) qui endommagent les cellules végétales. La catalase est une enzyme essentielle antioxydant qui inhibe l'accumulation d'espèces réactives de l'oxygène (ROS) comme l' $O_2^{\bullet-}$ (radical superoxyde), H_2O_2 (peroxyde d'hydrogène), puis OH (radical hydroxyle) dans les cellules aérobies (Ali et al., 2015). Dans cette étude, la catalase réagit au stress oxydatif causé par le chrome hexavalent Cr(VI) sur le blé dur en augmentant son activité, ce résultat est en concordance avec ceux de (ANJUM et al., 2017) et (Ram et al., 2019). La catalase neutralise le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) en eau et oxygène, réduisant les effets nocifs du Cr(VI)-induit. L'activité catalase maintient l'équilibre redox et protège les structures cellulaires. À travers nos résultats, les souches d'*Actinobactéries*

Résultats et discussion

IA1 et D15 ont induit une diminution significative de l'activité catalase dans le but d'améliorer la tolérance au stress oxydatif de l'hôte. Cette stratégie peut favoriser des interactions symbiotiques bénéfiques en renforçant les mécanismes adaptatifs de blé dur face aux conditions environnementales stressantes.

L'augmentation de l'activité peroxydase dans le présent travail peut être expliquée par le fait qu'elle joue un rôle essentiel dans la réponse de défense du blé dur face au stress oxydatif provoqué par le chrome hexavalent. Elle agit en tant qu'enzyme antioxydante clé (ANJUM et al., 2017), qui catalyse la décomposition de l'eau oxygénée en eau et en oxygène et protège les cellules de la plante contre les dommages oxydatifs. Elle participe également à la détoxification des ROS en réduisant leur concentration à l'intérieur des cellules. En agissant de cette manière, la peroxydase contribue à atténuer les dommages causés par les ROS et à protéger les composants cellulaires du blé dur. Cette relation est un exemple de la manière dont les plantes activent leurs mécanismes de défense biochimiques pour faire face aux conditions environnementales stressantes et aux agressions extérieures. Nos résultats montrent que l'activité de peroxydase est amoindrie dans certaines concentrations de Cr(VI) chez les plantules traitées par les deux souches d'*Actinobactéries* testées (IA1, D15), ce qui suggère que les PGPRs utilisés aient réduit l'activité de ces enzymes et par conséquent aider les plantules à tolérer les conditions de stress en diminuant la synthèse des radicaux libres causée par cette contrainte.

L'activité des enzymes antioxydants induite par le chrome a déjà été bien documentée par de nombreux chercheurs dans de nombreuses espèces végétales, y compris le blé (López-Bucio et al., 2022), (Ayyaz et al., 2021), (Basit et al., 2021), (Srivastava et al., 2021), (Jan et al., 2020), (Ram et al., 2019), (ANJUM et al., 2017) et (I. Sharma et al., 2011) pendant le stress oxydatif.

**CONCLUSION
ET
PERSPECTIVES**

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'objectif principal de la présente étude était de tester et évaluer la capacité de deux souches d'*Actinobactéries* (IA1, D15) 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, les pigments photosynthétiques, la perméabilité membrane, l'accumulation de sucres totaux solubles et de la proline, l'activité des enzymes antioxydants (CAT/POD), l'accumulation de chrome dans le sol.

Durant le stade germinatif, les résultats ont montré que le Cr (VI) a entraîné une prolongation de la MGT, et donc une augmentation significative de sa valeur et un ralentissement de la vitesse germination. Et en même temps, la présence des souches IA1 et D15 a atténué l'impact du stress oxydatif, ce qui a permis aux graines de germer plus rapidement. Il convient de noter que, les graines étaient capables de germer et se sont transformées en plantules saines et ont contribué à la croissance de nouvelles plantes et produire des épis, ce qui indique la bonne tolérance de blé dur au chrome et la compétence des deux souches d'*Actinobactéries*.

Les résultats obtenus pour les paramètres physiologiques et biochimiques ont montré que les concentrations de Cr(VI) appliquées n'ont pas d'effet dépressif sur la production de la biomasse fraîche ou sèche, mais contrairement de ce qui est attendu, elles ont induit, dans certains cas, une augmentation significative de la biomasse chez les plantules. Cette étude a révélé aussi que le pourcentage de fuite d'électrolytes chez les plantes stressées est supérieur à celui obtenu chez les plantes témoins. Cependant, le traitement des grains de blé par les deux souches : IA1 et D15 a abouti à la diminution la perméabilité membranaire, ce qui traduit le maintien de l'intégrité membranaire et l'empêchement de la fuite d'électrolytes des feuilles des plantules dans les conditions de stress oxydatif par Cr (VI).

Comme pour la biomasse, le traitement de nos plantules par le Cr (VI) ne semble pas diminuer la teneur des pigments photosynthétiques, au contraire, il a causé une augmentation significative pour toutes les concentrations du Cr (VI) utilisées. La corrélation positive entre la biomasse et les pigments photosynthétiques est justifiable du fait que l'augmentation de la teneur en pigments donne une indication de la capacité de la plante à effectuer efficacement la photosynthèse et par conséquent, produire une quantité importante de biomasse. L'inoculation

Conclusion et perspectives

par les deux souches d'*Actinobactéries* a provoqué une augmentation de la teneur en pigments photosynthétiques. Ceci peut être expliqué par la possibilité de nos souches d'influencer les voies métaboliques impliquées dans la synthèse des pigments photosynthétiques tels que la chlorophylle a, chlorophylle b en augmentant la production de ces pigments, ce qui favorisera ainsi une meilleure capture de la lumière et une réponse adaptative aux conditions de stress. Cette augmentation est peut être attribuée aussi à la capacité de nos souches à aider potentiellement la plante à atténuer les effets néfastes du Cr (VI) et le convertir en Cr (III).

Les niveaux des sucres totaux solubles et de la proline augmentent avec l'augmentation des concentrations de Cr(VI). D'une manière générale, l'augmentation des sucres totaux solubles et de la proline est une connue comme une réponse adaptative au stress oxydatif chez les plantes. Une diminution de la teneur en sucres totaux solubles et de la proline a été enregistrée chez les plantules traitées par les souches IA1 et D15 (et surtout D15) sous la contrainte oxydative. Ceci suggère que ces inocula aient réduit l'effet de cette contrainte oxydatif par le déclenchement de certains ajustements métaboliques visant à minimiser les dommages causés par les ROS, ce qui pourrait affecter positivement leur métabolisme, maintenir une meilleure activité photosynthétique et peut influencer la quantité de sucres et de la proline produits.

Dans cette étude, la catalase et la peroxydase réagissent au stress oxydatif causé par le chrome hexavalent Cr(VI) sur le blé dur en augmentant leur activité. L'activité de la catalase et de la peroxydase est réduite chez toutes les plantules traitées par les souches IA1, D15 testées, ce qui suggère que les PGPRs utilisés ont réduit l'activité de ces enzymes et par conséquent ont aidé les plantules à tolérer les conditions de stress en diminuant la synthèse des radicaux libres causée par cette contrainte.

L'étude globale a révélé divers aspects importants pour la bioremédiation par PGPR. On conclure de cette étude expérimentale que les souches IA1 et D15 sont capables de promouvoir la croissance de blé dur sous les conditions des stress par le Cr (VI) et ont montré un potentiel de bioremédiation et une bonne tolérance au Cr (VI). On outre, le blé dur a une grande capacité à pousser et développer dans le sol contaminé par le chrome, c'est-à-dire qu'il peut être utilisé pour la phytoremédiation afin de protéger l'environnement naturel. D'autres études devraient être effectuées afin de vérifier les performances de ces PGPR sur la conversion du Cr (VI) en Cr (III) et de confirmer la tolérance de blé dur au chrome hexavalent.

**LES REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES**

LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

A

- 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.
- Adrees, M., Ali, S., Iqbal, M., Aslam Bharwana, S., Siddiqi, Z., Farid, M., Ali, Q., Saeed, R., & Rizwan, M. (2015). Mannitol alleviates chromium toxicity in wheat plants in relation to growth, yield, stimulation of anti-oxidative enzymes, oxidative stress and Cr uptake in sand and soil media. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 122, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.07.003>
- 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.
- Ali, S., Bharwana, S. A., Rizwan, M., Farid, M., Kanwal, S., Ali, Q., Ibrahim, M., Gill, R. A., & Khan, M. D. (2015). Fulvic acid mediates chromium (Cr) tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) through lowering of Cr uptake and improved antioxidant defense system. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(14), 10601–10609. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4271-7>
- 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.
- 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)
- Aprile, A., Sabella, E., Francia, E., Milc, J., Ronga, D., Pecchioni, N., Ferrari, E., Luvisi, A., Vergine, M., & De Bellis, L. (2019). Combined effect of cadmium and lead on durum wheat. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(23). <https://doi.org/10.3390/ijms20235891>
- 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>
- Askari, S. H., Ashraf, M. A., Ali, S., Rizwan, M., & Rasheed, R. (2021). Menadione sodium bisulfite alleviated chromium effects on wheat by regulating oxidative defense, chromium speciation, and ion homeostasis. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(27), 36205–36225. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13221-0>
- Ayyaz, A., Farooq, M. A., Dawood, M., Majid, A., Javed, M., Athar, H. -R, Bano, H., & Zafar, Z. U. (2021). Exogenous melatonin regulates chromium stress-induced feedback inhibition of photosynthesis and antioxidative protection in Brassica napus cultivars. *Plant Cell*

B

- Barka, E. A., Vatsa, P., Sanchez, L., Gaveau-Vaillant, N., Jacquard, C., Meier-Kolthoff, J. P., Klenk, H.-P., Clément, C., Ouhdouch, Y., & van Wezel, G. P. (2016). Correction for Barka et al., Taxonomy, Physiology, and Natural Products of Actinobacteria. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 80(4). <https://doi.org/10.1128/membr.00044-16>
- Barnhart, J. (1997). Chromium chemistry and implications for environment. *Journal of Soil Contamination*, 6(6), 561–568.
- Basit, F., Chen, M., Ahmed, T., Shahid, M., Noman, M., Liu, J., An, J., Hashem, A., Al-Arjani, A. B. F., Alqarawi, A. A., Alsayed, M. F. S., Abd_allah, E. F., Hu, J., & Guan, Y. (2021). Seed priming with brassinosteroids alleviates chromium stress in rice cultivars via improving ros metabolism and antioxidant defense response at biochemical and molecular levels. *Antioxidants*, 10(7). <https://doi.org/10.3390/antiox10071089>
- Beiyuan, J., Li, J. S., Tsang, D. C. W., Wang, L., Poon, C. S., Li, X. D., & Fendorf, S. (2017). Fate of arsenic before and after chemical-enhanced washing of an arsenic-containing soil in Hong Kong. *Science of the Total Environment*, 599–600, 679–688. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.208>
- 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.
- Bonjean A., Picard E., 1991- Les céréales à paille. Origine-histoire-économie-sélection. Ligugé; Poitiers : Aubin imprimeur. 36p.
- Bruno, L. B., Karthik, C., Ma, Y., Kadirvelu, K., Freitas, H., & Rajkumar, M. (2020). Amelioration of chromium and heat stresses in Sorghum bicolor by Cr6+ reducing-thermotolerant plant growth promoting bacteria. *Chemosphere*, 244, 125521. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125521>

C

- Chen, C. H., & Chiou, I. J. (2008). Remediation of heavy metal-contaminated farm soil using turnover and attenuation method guided with a sustainable management framework. *Environmental Engineering Science*, 25(1), 11–32. <https://doi.org/10.1089/ees.2006.0183>
- Cheung, K. H., & Gu, J. D. (2003). Reduction of chromate (CrO4²⁻) by an enrichment consortium and an isolate of marine sulfate-reducing bacteria. *Chemosphere*, 52(9), 1523–1529. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(03\)00491-0](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(03)00491-0)
- Chiboub, M., Saadani, O., Fatnassi, I. C., Abdelkrim, S., Abid, G., Jebara, M., & Jebara, S. H. (2016). Characterization of efficient plant-growth-promoting bacteria isolated from *Sulla coronaria* resistant to cadmium and to other heavy metals. *Comptes Rendus - Biologies*, 339(9–10), 391–398. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2016.04.015>

Les références Bibliographiques

Chance, B. and Maehly, A.C. (1955) Assay of Catalase and Peroxidase. *Methods in Enzymology*, 2, 764-775.

CIC., 2000- Rapport annuel du Conseil International des Céréales "CIC" pour l'année 2000.

D

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>

Djavanshir K., Pourbeik H. (1976). Germination Value - A New Formula. *Silvae Genet* 25: 79-83.

Doherty, S. J., Tighe, M. K., & Wilson, S. C. (2017). Evaluation of amendments to reduce arsenic and antimony leaching from co-contaminated soils. *Chemosphere*, 174, 208–217. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.01.100>

Dreier, W.; Göring, M. (1974). Dereim slushoher solz kongentrasyon en aies verschideuphysiologcshe parametr van-mais wrzeln wiss. Z. Drh. Berlin Nath. Natur wiss R., 23 : 641 644

Dubois M.; Gilles K A.; Hamilton J K.; Rebers P A. ET Smith F., 1956 – Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.*, 28: 350 – 356.

E

Erroux, J. (1974). *Agronomie méditerranéenne. Tome I. Le milieu méditerranéen et ses problèmes. Les cultures vivrières en Algérie.*

F

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. *Ijcb*, 3, 53–60. www.iscientific.org/Journal.html

G

Grignac P., 1978. Le blé dur : Techniques agricoles. Tome I, 6-10.

H

Hachi, M., Hamidi, M., Touati, M., Berrabah, Y., & Korichi, A. (2022). Phytoremediation potential of spontaneous plant species in soils contaminated by hexavalent chromium in Djelfa city (Algeria). *Research Journal of Chemistry and Environment*, 26(1), 66–74. <https://doi.org/10.25303/2601RJCE6674>

Hauchhum, R., & Tripathi, S. K. (2020). Impact of Rhizosphere Microbes of Three Early

Les références Bibliographiques

Colonizing Annual Plants on Improving Soil Fertility During Vegetation Establishment Under Different Fallow Periods Following Shifting Cultivation. *Agricultural Research*, 9(2), 213–221. <https://doi.org/10.1007/s40003-019-00422-w>

J

Jan, S., Noman, A., Kaya, C., Ashraf, M., Alyemeni, M. N., & Ahmad, P. (2020). 24-Epibrassinolide Alleviates the Injurious Effects of Cr(VI) Toxicity in Tomato Plants: Insights into Growth, Physio-Biochemical Attributes, Antioxidant Activity and Regulation of Ascorbate–Glutathione and Glyoxalase Cycles. *Journal of Plant Growth Regulation*, 39(4), 1587–1604. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10169-2>

Jho, E. H., Im, J., Yang, K., Kim, Y. J., & Nam, K. (2015). Changes in soil toxicity by phosphate-aided soil washing: Effect of soil characteristics, chemical forms of arsenic, and cations in washing solutions. *Chemosphere*, 119, 1399–1405. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.10.038>

K

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>

Kamrani, M., Hoseini, Y., & Ebadollahi, A. (2018). Evaluation for heat stress tolerance in durum wheat genotypes using stress tolerance indices. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 64(1), 38–45. <https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1326104>

L

Laus, M. N., De Santis, M. A., Flagella, Z., & Soccio, M. (2022). Changes in antioxidant defence system in durum wheat under hyperosmotic stress: A concise overview. *Plants*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/plants11010098>

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>

Lichthentaler H K.; Buschmann. ; Rinderle U. Et Schmuck C., 1986 – Application of chlorophyll fluorescence in ecophysiology. *Radiation and environmental. Biophysics*, 25: 297 – 308.

M

Mallick, I., Bhattacharyya, C., Mukherji, S., Dey, D., Sarkar, S. C., Mukhopadhyay, U. K., & Ghosh, A. (2018). Effective rhizoinoculation and biofilm formation by arsenic immobilizing halophilic plant growth promoting bacteria (PGPB) isolated from mangrove rhizosphere: A step towards arsenic rhizoremediation. *Science of the Total Environment*, 610–611, 1239–1250. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.234>

Les références Bibliographiques

- Mayak, S., Tirosh, T., & Glick, B. R. (1999). Effect of wild-type and mutant plant growth-promoting rhizobacteria on the rooting of mung bean cuttings. *Journal of Plant Growth Regulation*, 18(2), 49–53. <https://doi.org/10.1007/PL00007047>
- Middleton, E. M., & Teramura, A. H. (1993). The role of flavonol glycosides and carotenoids in protecting soybean from ultraviolet-B damage. *Plant Physiology*, 103(3), 741–752. <https://doi.org/10.1104/pp.103.3.741>
- Moule C., 1980. Les céréales. Ed. La maison rustique. Paris. 318 p.
- 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.
- Muñoz, G., Orlando, J., & Zuñiga-Feest, A. (2021). Plants colonizing volcanic deposits: root adaptations and effects on rhizosphere microorganisms. *Plant and Soil*, 461(1–2), 265–279. <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04783-y>

N

- Nie, M., Hu, C., Shi, G., Cai, M., Wang, X., & Zhao, X. (2021). Selenium restores mitochondrial dysfunction to reduce Cr-induced cell apoptosis in Chinese cabbage (*Brassica campestris* L. ssp. *Pekinensis*) root tips. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 223, 112564. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112564>

P

- Padmapriya, S., Murugan, N., Ragavendran, C., Thangabalu, R., & Natarajan, D. (2016). Phytoremediation potential of some agricultural plants on heavy metal contaminated mine waste soils, salem district, tamilnadu. *International Journal of Phytoremediation*, 18(3), 288–294. <https://doi.org/10.1080/15226514.2015.1085832>
- Peralta-Videoa, J. R., Lopez, M. L., Narayan, M., Saupe, G., & Gardea-Torresdey, J. (2009). The biochemistry of environmental heavy metal uptake by plants: Implications for the food chain. *International Journal of Biochemistry and Cell Biology*, 41(8–9), 1665–1677. <https://doi.org/10.1016/j.biocel.2009.03.005>
- Puttaswamygowda G.H., Olakkaran S., Antony A., Purayil A.K. (2019). Present Status and Future Perspectives of Marine Actinobacterial Metabolites. In Buddolla V (eds).4 Recent Developments in Applied Microbiology and Biochemistry. (307-319). Academic press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816328-3.00022-2>
- Prevost ph., 1976. Génétique. Ed. Lavoisier. Paris, 299 p.

R

- Ram, B. K., Han, Y., Yang, G., Ling, Q., & Dong, F. (2019). Effect of hexavalent chromium [Cr(VI)] on phytoremediation potential and biochemical response of hybrid napier grass with and without EDTA application. *Plants*, 8(11). <https://doi.org/10.3390/plants8110515>

Les références Bibliographiques

Rasmussen, S. B., Jensen, J. K., & Borggaard, O. K. (2015). A laboratory test of NOM-assisted remediation of arsenic and copper contaminated soils. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 3(4), 3020–3023. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2015.04.029>

S

Saidani, E., & Nedjimi, B. (2014). EFFET DU CHROME HEXAVALENT (K_2CrO_7) SUR LA. 4(Cd), 47–52.

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.

Sathya, A., Kanaganahalli, V., Srinivas Rao, P., & Gopalakrishnan, S. (2016). Cultivation of sweet sorghum on heavy metalcontaminated soils by phytoremediation approach for production of bioethanol. In *Bioremediation and Bioeconomy*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802830-8.00012-5>

Shanker, A. K., Cervantes, C., Loza-Tavera, H., & Avudainayagam, S. (2005). Chromium toxicity in plants. *Environment International*, 31(5), 739–753. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2005.02.003>

Sharma, I., Pati, P. K., & Bhardwaj, R. (2011). Effect of 28-homobrassinolide on antioxidant defence system in *Raphanus sativus* L. under chromium toxicity. *Ecotoxicology*, 20(4), 862–874. <https://doi.org/10.1007/s10646-011-0650-0>

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>

Silva, R. S., Antunes, J. E. L., de Aquino, J. P. A., de Sousa, R. S., de Melo, W. J., & Araujo, A. S. F. (2021). Plant growth-promoting rhizobacteria effect on maize growth and microbial biomass in a chromium-contaminated soil. *Bragantia*, 80. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20200492>

Société québécoise de phytotechnologie. (2016). *La phytoremédiation*. 28. http://www.phytotechno.com/fiches-techniques/fiches/20160531_SQP_Fiche_phytoremediation.pdf

Srivastava, D., Tiwari, M., Dutta, P., Singh, P., Chawda, K., Kumari, M., & Chakrabarty, D. (2021). Chromium stress in plants: Toxicity, tolerance and phytoremediation. *Sustainability (Switzerland)*, 13(9), 1–20. <https://doi.org/10.3390/su13094629>

T

Troll W, et Lindsley G., 1955 – Aphotometric method for the determination of proline. *J. Biol. Chem.*, 215: 655 – 660.

Tirry, N., Tahri Joutey, N., Sayel, H., Kouchou, A., Bahafid, W., Asri, M., & El Ghachtouli, N. (2018). Screening of plant growth promoting traits in heavy metals resistant bacteria: Prospects in phytoremediation. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 16(2),

Les références Bibliographiques

613–619. <https://doi.org/10.1016/j.jgeb.2018.06.004>

V

Veerapagu, M., Jeya, K., & Sankaranarayanan, A. (2023). 4.1. Chapter 2 - Role of plant growth-promoting microorganisms in phytoremediation efficiency. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91875-6.00020-7>

W

Wan, X., Lei, M., & Chen, T. (2020). Review on remediation technologies for arsenic-contaminated soil. *Frontiers of Environmental Science and Engineering*, 14(2). <https://doi.org/10.1007/s11783-019-1203-7>

Wang, Y., Ma, F., Zhang, Q., Peng, C., Wu, B., Li, F., & Gu, Q. (2017). An evaluation of different soil washing solutions for remediating arsenic-contaminated soils. *Chemosphere*, 173, 368–372. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.01.068>

Wei, M., Chen, J., & Wang, X. (2016). Removal of arsenic and cadmium with sequential soil washing techniques using Na₂EDTA, oxalic and phosphoric acid: Optimization conditions, removal effectiveness and ecological risks. *Chemosphere*, 156, 252–261. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.04.106>

Y

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.

Yan, B., Dai, Q., Liu, X., Huang, S., & Wang, Z. (1996). Flooding-induced membrane damage, lipid oxidation and activated oxygen generation in corn leaves. *Plant and Soil*, 179(2), 261–268. <https://doi.org/10.1007/BF00009336>

Yuan, W. M., & Crawford, D. L. (1995). Characterization of *Streptomyces lydicus* WYEC108 as a potential biocontrol agent against fungal root and seed rots. *Applied and Environmental Microbiology*, 61(8), 3119–3128. <https://doi.org/10.1128/aem.61.8.3119-3128.1995>

Yuan, X., Xiong, T., Yao, S., Liu, C., Yin, Y., Li, H., & Li, N. (2019). A real field phytoremediation of multi-metals contaminated soils by selected hybrid sweet sorghum with high biomass and high accumulation ability. *Chemosphere*, 237, 124536. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124536>

Yves H., et Buyer J., 2000- L'origine des blés. Pour les sciences hors série n° 26. pp60 - 62.

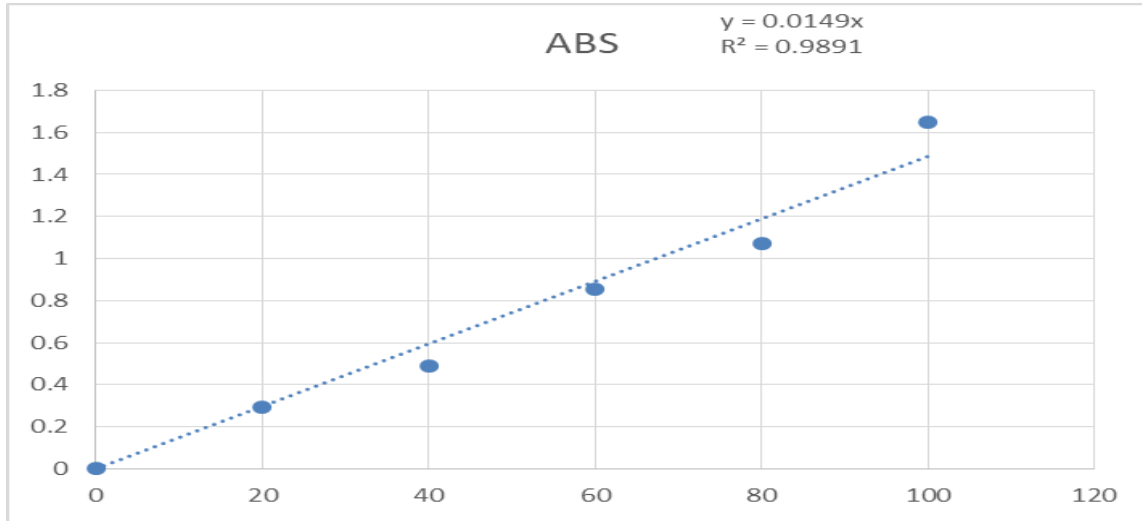
Z

Zhao, F. J., Hamon, R. E., & McLaughlin, M. J. (2001). Root exudates of the hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* do not enhance metal mobilization. *New Phytologist*, 151(3), 613–620. <https://doi.org/10.1046/j.0028-646x.2001.00213>

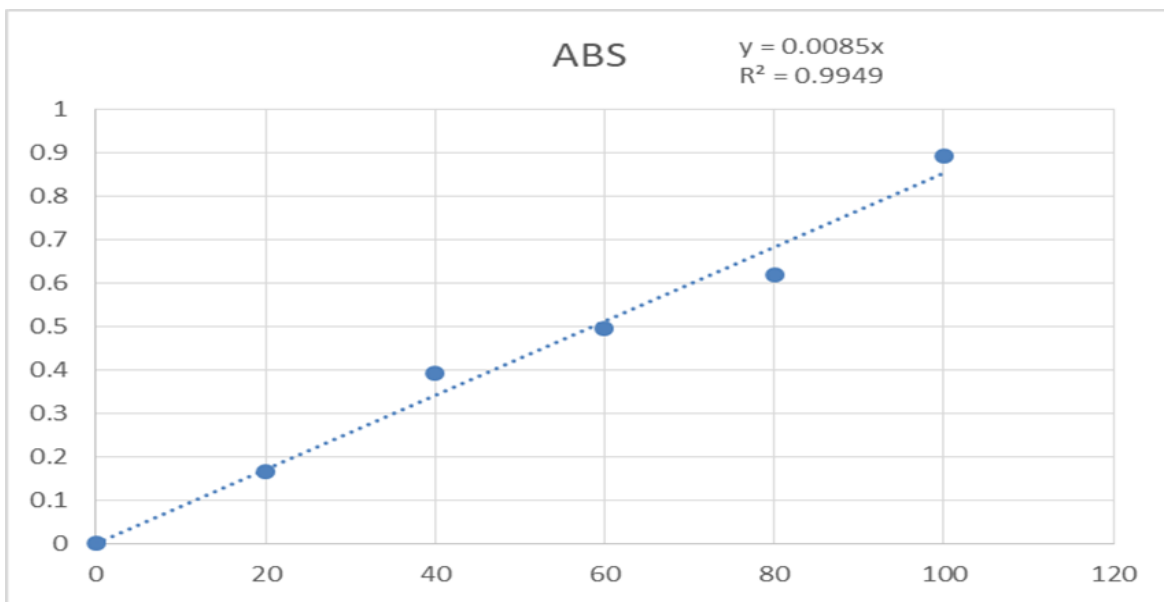
ANNEXES

Annexes

Annexes 1 : matériel et méthode

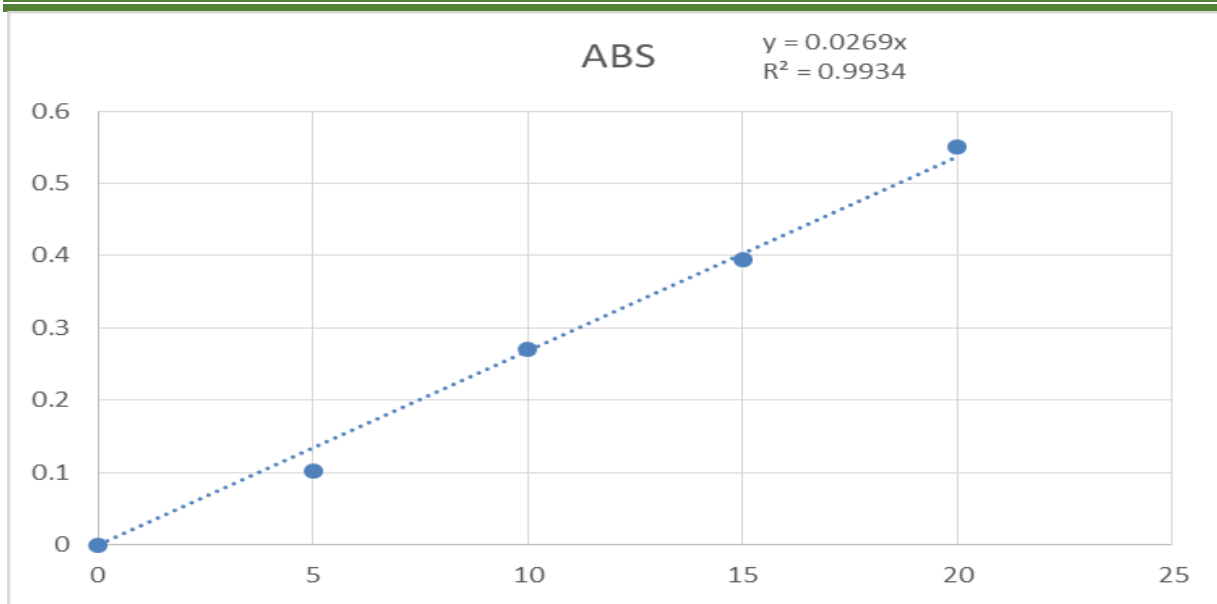


Courbe d'étalonnage des sucres totaux soluble du 1^{ère} prélèvement dans la date 04/05/2023.



Courbe d'étalonnage des sucres totaux soluble du 2^{ème} prélèvement dans la date 04/05/2023.

Annexes



Courbe d'étalonnage de dosage de la proline dans la date 21/05/2023.

Annexes

Annexes 2 : Les paramètres de germination :

2.1 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 par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Tests Univariés de Significativité pour FGP (Statistica 1er prélèvement blé) Paramétrisation sigma-restreinte Décomposition efficace de l'hypothèse					
	SC	Degr. de	MC	F	p
ord. origine	244200.7	1	244200.7	1288.092	0.000000
Concentration	341.0	3	113.7	0.600	0.621565
souch	134.7	2	67.4	0.355	0.704581
Concentration*souch	948.6	6	158.1	0.834	0.555682
Erreur	4550.0	24	189.6		

2.2 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 les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Tests Univariés de Significativité pour MDG (Statistica 1er prélèvement blé) Paramétrisation sigma-restreinte Décomposition efficace de l'hypothèse					
	SC	Degr. de	MC	F	p
ord. origine	1398.502	1	1398.502	1518.224	0.000000
Concentration	4.783	3	1.594	1.731	0.200916
souch	2.338	2	1.169	1.269	0.307948
Concentration*souch	6.388	6	1.065	1.156	0.376508
Erreur	14.738	16	0.921		

2.3 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 les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Annexes

Tests Univariés de Significativité pour MGT (Statistica 1er prélèvement blé) Paramétrisation sigma-restreinte Décomposition efficace de l'hypothèse					
	SC	Degr. de	MC	F	p
ord. origine	430.3793	1	430.3793	3059.691	0.000000
Concentration	1.1716	3	0.3905	2.776	0.075071
souch	3.8443	2	1.9222	13.665	0.000346
Concentration*souch	3.8489	6	0.6415	4.560	0.007003
Erreur	2.2506	16	0.1407		

Tableau(3.b) : Test de LSD de Fisher 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 2 souches d'*Actinobactéries*.

Test LSD ; variable MGT (Statistica 1er prélèvement blé) Groupes Homogènes, alpha = .05000 Erreur : MC Inter = .14066, dl = 16.000								
	Concentration	souch	MGT	1	2	3	4	5
5	20	S1	3.125000		****			
2	0	S1	3.214646		****			
1	0	S0	3.498120		****	****		
9	40	S2	3.721053	****	****	****		
6	20	S2	3.798911	****	****	****		
11	60	S1	3.861765	****	****	****		
8	40	S1	3.946841	****		****		
12	60	S2	3.972549	****		****		
3	0	S2	4.371212	****			****	
10	60	S0	4.386997	****			****	****
4	20	S0	4.841355				****	****
7	40	S0	5.171429					****

2.4 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 les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Tests Univariés de Significativité pour GI (Statistica 1er prélèvement blé)

Annexes

Paramétrisation sigma-restreinte Décomposition efficace de l'hypothèse					
	SC	Degr. de	MC	F	p
ord. origine	698.2139	1	698.2139	899.2631	0.000000
Concentration	9.5644	3	3.1881	4.1062	0.024424
souch	14.0974	2	7.0487	9.0784	0.002318
Concentration*souch	17.8615	6	2.9769	3.8341	0.014624
Erreur	12.4229	16	0.7764		

Tableau(4.b) : Test de LSD de Fisher 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 les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Test LSD ; variable GI (Statistica 1er prélèvement blé) Groupes Homogènes, alpha = .05000 Erreur : MC Inter = .77643, dl = 16.000								
	Concentration	souch	GI	1	2	3	4	5
3	0	S2	2.786129			****		
7	40	S0	3.982840		****	****		
4	20	S0	4.315675	****	****	****		
1	0	S0	4.352579	****	****	****		
12	60	S2	4.425812	****	****	****		
8	40	S1	4.817262	****	****			
9	40	S2	5.084824	****	****		****	
6	20	S2	5.165079	****	****		****	
2	0	S1	5.942857	****			****	****
11	60	S1	5.989286	****			****	****
10	60	S0	6.552116				****	****
5	20	S1	7.608550					****

2.5 La vitesse germinative (GV) :

Tableau (5.a) : Analyse de la variance de l'effet de stress oxydatifs par le chrome hexavalent sur vitesse germinative (GV) chez les graines de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Tests Univariés de Significativité pour GV (Statistica 1er prélèvement blé) Paramétrisation sigma-restreinte Décomposition efficace de l'hypothèse					
	SC	Degr. de	MC	F	p
ord. origine	4375.146	1	4375.146	1568.074	0.000000
Concentration	38.430	3	12.810	4.591	0.023133
souch	46.586	2	23.293	8.348	0.005347

Annexes

Concentration*souch	121.186	6	20.198	7.239	0.001913
Erreur	33.482	12	2.790		

Tableau(5.b) : Test de LSD de Fisher au seuil de 5% variance de l'effet de stress oxydatifs par le chrome hexavalent sur la vitesse germinative (GV) dans les graines de blé dur traitées par les 2souches d'*Actinobactéries*.

Test LSD ; variable GV (Statistica 1er prélèvement blé) Groupes Homogènes, alpha = .05000 Erreur : MC
Inter = 2.7901, dl = 12.000

	Concentration	souch	GV	1	2	3	4	5	6
3	0	S2	7.92500					****	
9	40	S2	8.38636					****	****
7	40	S0	11.69444	****					****
12	60	S2	12.19318	****	****				
5	20	S1	12.92929	****	****	****			
10	60	S0	13.93182	****	****	****			
4	20	S0	14.45000	****	****	****			
1	0	S0	15.31566	****	****	****	****		
8	40	S1	15.32500	****	****	****	****		
2	0	S1	15.46364		****	****	****		
11	60	S1	16.31591			****	****		
6	20	S2	18.09091				****		

Annexes

Annexes 3 : Le 1^{er} prélèvement :

3.1. Le poids frais :

Tableau (6.a) : 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 2souches d'*Actinobactéries*.

Tests Univariés de Significativité pour PF (Statistica 1er prélèvement blé) Paramétrisation sigma-restreinte Décomposition efficace de l'hypothèse					
	SC	Degr. de	MC	F	p
ord. origine	1.322041	1	1.322041	1384.769	0.000000
Concentration	0.017442	3	0.005814	6.090	0.005761
souch	0.003125	2	0.001562	1.637	0.225611
Concentration*souch	0.037764	6	0.006294	6.593	0.001181
Erreur	0.015275	16	0.000955		

Tableau(6.b) : Test de LSD de Fisher au seuil de 5% 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 2souches d'*Actinobactéries*.

Test LSD ; variable PF (Statistica 1er prélèvement blé) Groupes Homogènes, alpha = .05000 Erreur : MC Inter = .00095, dl = 16.000								
	Concentration	souch	PF	1	2	3	4	5
5	20	S1	0.121533					****
3	0	S2	0.168400			****		****
1	0	S0	0.191450	****		****		
7	40	S0	0.191800	****		****		
4	20	S0	0.221250	****	****	****		
11	60	S1	0.226700	****	****	****		
2	0	S1	0.230800	****	****			
12	60	S2	0.236500	****	****			
8	40	S1	0.247067	****	****		****	
6	20	S2	0.247750	****	****		****	
9	40	S2	0.268250		****		****	
10	60	S0	0.303850				****	

Annexes

3.2. Le poids sec :

Tableau (7.a) : 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 2 souches d'*Actinobactéries*.

Tests Univariés de Significativité pour PS (Statistica 1er prélèvement blé) Paramétrisation sigma-restreinte Décomposition efficace de l'hypothèse					
	SC	Degr. de	MC	F	p
ord. origine	0.019146	1	0.019146	1520.817	0.000000
Concentration	0.000321	3	0.000107	8.498	0.000994
souch	0.000047	2	0.000023	1.859	0.184526
Concentration*souch	0.000403	6	0.000067	5.331	0.002564
Erreur	0.000227	18	0.000013		

Tableau (7.b) : Test de LSD de Fisher au seuil de 5% 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 2 souches d'*Actinobactéries*.

Test LSD ; variable PS (Statistica 1er prélèvement blé) Groupes Homogènes, alpha = .05000 Erreur : MC Inter = .00001, dl = 18.000								
	Concentration	souch	PS	1	2	3	4	5
3	0	S2	0.016100				****	
5	20	S1	0.018500			****	****	
7	40	S0	0.023933	****		****		
2	0	S1	0.024133	****		****		
1	0	S0	0.024600	****		****		
4	20	S0	0.025100	****	****	****		
9	40	S2	0.026450	****	****			
12	60	S2	0.027133	****	****			
11	60	S1	0.027367	****	****			
6	20	S2	0.027933	****	****			
8	40	S1	0.031600		****			****
10	60	S0	0.036550					****

3.3. La teneur en eau :

Tableau (8.a) : 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 2 souches d'*actinobactéries*.

Annexes

Tests Univariés de Significativité pour TE (Statistica 1er prélèvement blé) Paramétrisation sigma-restreinte Décomposition efficace de l'hypothèse					
	SC	Degr. de	MC	F	p
ord. origine	1.030649	1	1.030649	1270.319	0.000000
Concentration	0.012046	3	0.004015	4.949	0.011936
souch	0.002844	2	0.001422	1.753	0.203188
Concentration*souch	0.030557	6	0.005093	6.277	0.001270
Erreur	0.013793	17	0.000811		

Tableau(8.b) : Test de LSD de Fisher au seuil de 5% 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 2 souches d'*Actinobactéries*.

Test LSD ; variable TE (Statistica 1er prélèvement blé) Groupes Homogènes, alpha = .05000 Erreur : MC Inter = .00081, dl = 17.000							
	Concentration	souch	TE	1	2	3	4
5	20	S1	0.100100				****
3	0	S2	0.146167			****	****
1	0	S0	0.166850	****		****	
7	40	S0	0.167450	****		****	
4	20	S0	0.196150	****	****	****	
11	60	S1	0.196150	****	****	****	
2	0	S1	0.204300	****	****		
12	60	S2	0.209367	****	****		
8	40	S1	0.215467	****	****		
6	20	S2	0.219400	****	****		
9	40	S2	0.236800		****		
10	60	S0	0.249400		****		

3.4. La perméabilité membranaire :

Tableau(9.a) : Analyse de la variance de l'effet de stress oxydatifs par le chrome hexavalent sur la perméabilité membranaire dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Tests Univariés de Significativité pour PM (Statistica 1er prélèvement blé) Paramétrisation sigma-restreinte Décomposition efficace de l'hypothèse					
	SC	Degr. de	MC	F	p
ord. origine	4699.698	1	4699.698	1153.356	0.000000

Annexes

Concentration	297.245	3	99.082	24.316	0.000005
souch	113.677	2	56.839	13.949	0.000378
Concentration*souch	403.085	6	67.181	16.487	0.000008
Erreur	61.122	15	4.075		

Tableau(9.b) : Test de LSD de Fisher au seuil de 5% variance de l'effet de stress oxydatifs par le chrome hexavalent sur la perméabilité membranaire dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2souches d'*Actinobactéries*.

Test LSD ; variable PM (Statistica 1er prélèvement blé) Groupes Homogènes, alpha = .05000 Erreur : MC Inter = 4.0748, dl = 15.000									
	Concentration	souch	PM	1	2	3	4	5	6
1	0	S0	7.50000			****			
9	40	S2	8.33333	****		****			
2	0	S1	9.44444	****	****	****			
6	20	S2	10.55556	****	****	****			
8	40	S1	11.02971	****	****	****			
11	60	S1	11.68831	****	****	****			
3	0	S2	11.80556	****	****				
7	40	S0	12.50000	****	****		****		
5	20	S1	12.91005		****		****		
10	60	S0	16.23377				****	****	
12	60	S2	20.20202					****	
4	20	S0	28.57143						****

3.5. Dosage des pigments photosynthétiques :

3.5.1 Chlorophylle a :

Tableau (10.a) : Analyse de la variance de l'effet de stress oxydatifs par le chrome hexavalent sur la teneur en chlorophylle a dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Tests Univariés de Significativité pour CHLA (Statistica 1er prélèvement blé) Paramétrisation sigma-restreinte Décomposition efficace de l'hypothèse					
	SC	Degr. de	MC	F	p
ord. origine	1.072864	1	1.072864	731.4440	0.000000
Concentration	0.023105	3	0.007702	5.2508	0.010301

Annexes

souch	0.019414	2	0.009707	6.6179	0.008047
Concentration*souch	0.064356	6	0.010726	7.3126	0.000681
Erreur	0.023468	16	0.001467		

Tableau (10.b) : Test de LSD de Fisher au seuil de 5% variance de l'effet de stress oxydatifs par le chrome hexavalent sur la teneur en chlorophylle a dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2souches d'*Actinobactéries*.

Test LSD ; variable CHLA (Statistica 1er prélèvement blé) Groupes Homogènes, alpha = .05000 Erreur : MC Inter = .00147, dl = 16.000					
	Concentration	souch	CHLA	1	2
1	0	S0	0.058156		****
11	60	S1	0.098381		****
7	40	S0	0.129480		****
8	40	S1	0.210640	****	
12	60	S2	0.212980	****	
10	60	S0	0.215188	****	
9	40	S2	0.218333	****	
6	20	S2	0.238074	****	
5	20	S1	0.247998	****	
3	0	S2	0.249468	****	
2	0	S1	0.251111	****	
4	20	S0	0.262249	****	

3.5.2 Chlorophylle b :

Tableau (11.a) : Analyse de la variance de l'effet de stress oxydatifs par le chrome hexavalent sur la teneur en chlorophylle b dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Tests Univariés de Significativité pour CHLB (Statistica 1er prélèvement blé) Paramétrisation sigma-restreinte Décomposition efficace de l'hypothèse					
	SC	Degr. de	MC	F	p
ord. origine	2.265799	1	2.265799	618.8339	0.000000
Concentration	0.091375	3	0.030458	8.3187	0.001463
souch	0.038047	2	0.019024	5.1957	0.018249
Concentration*souch	0.144121	6	0.024020	6.5604	0.001211
Erreur	0.058582	16	0.003661		

Annexes

Tableau(11.b) : Test de LSD de Fisher au seuil de 5% variance de l'effet de stress oxydatifs par le chrome hexavalent sur la teneur en chlorophylle b dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2souches d'*Actinobactéries*.

Test LSD ; variable CHLB (Statistica 1er prélèvement blé) Groupes Homogènes, alpha = .05000 Erreur : MC Inter = .00366, dl = 16.000								
	Concentration	souch	CHLB	1	2	3	4	5
1	0	S0	0.064870				****	
11	60	S1	0.132630				****	****
7	40	S0	0.183647			****		****
12	60	S2	0.284948	****		****		
9	40	S2	0.295940	****	****	****		
8	40	S1	0.328429	****	****			
2	0	S1	0.328665	****	****			
10	60	S0	0.340265	****	****			
3	0	S2	0.348467	****	****			
4	20	S0	0.375891	****	****			
6	20	S2	0.386260	****	****			
5	20	S1	0.406230		****			

3.5.3 Chlorophylle a+b :

Tableau (12 .a) : Analyse de la variance de l'effet de stress oxydatifs par le chrome hexavalent sur la teneur en chlorophylle totale (a+b) dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Tests Univariés de Significativité pour CHL A+B (Statistica 1er prélèvement blé) Paramétrisation sigma-restreinte Décomposition efficace de l'hypothèse					
	SC	Degr. de	MC	F	p
ord. origine	6.456929	1	6.456929	801.3698	0.000000
Concentration	0.204996	3	0.068332	8.4807	0.001335
souch	0.111536	2	0.055768	6.9214	0.006827
Concentration*souch	0.394759	6	0.065793	8.1656	0.000371
Erreur	0.128918	16	0.008057		

Annexes

Tableau (12.b) : Test de LSD de Fisher au seuil de 5% variance de l'effet de stress oxydatifs par le chrome hexavalent sur la teneur en chlorophylle totale (a+b) dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Test LSD ; variable CHL A+B (Statistica 1er prélèvement blé) Groupes Homogènes, alpha = .05000 Erreur : MC Inter = .00806, dl = 16.000						
	Concentration	souch	CHL A+B	1	2	3
1	0	S0	0.123027		****	
11	60	S1	0.231011		****	****
7	40	S0	0.313127			****
12	60	S2	0.497928	****		
9	40	S2	0.514272	****		
8	40	S1	0.539070	****		
10	60	S0	0.555453	****		
2	0	S1	0.579776	****		
3	0	S2	0.597935	****		
6	20	S2	0.624335	****		
4	20	S0	0.638139	****		
5	20	S1	0.654228	****		

3.5.4 Caroténoïdes :

Tableau(13.a) : Analyse de la variance de l'effet de stress oxydatifs par le chrome hexavalent sur la teneur en caroténoïdes (x+c) dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Tests Univariés de Significativité pour Carotène (Statistica 1er prélèvement blé) Paramétrisation sigma-restreinte Décomposition efficace de l'hypothèse					
	SC	Degr. de	MC	F	p
ord. origine	0.220266	1	0.220266	1099.361	0.000000
Concentration	0.001962	3	0.000654	3.264	0.048941
souch	0.001573	2	0.000787	3.926	0.041007
Concentration*souch	0.001036	6	0.000173	0.862	0.542913
Erreur	0.003206	16	0.000200		

Annexes

Tableau(13.b) : Test de LSD de Fisher au seuil de 5% variance de l'effet de stress oxydatifs par le chrome hexavalent sur la teneur en caroténoïdes (x+c) dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2souches *d'Actinobactéries*.

Test LSD ; variable Carotène (Statistica 1er prélèvement blé) Groupes Homogènes, alpha = .05000 Erreur : MC Inter = .00020, dl = 16.000						
	Concentration	souch	Carotène	1	2	3
7	40	S0	0.058366			****
9	40	S2	0.075143	****		****
12	60	S2	0.077533	****		****
10	60	S0	0.086384	****	****	
6	20	S2	0.094201	****	****	
8	40	S1	0.094409	****	****	
3	0	S2	0.095614	****	****	
1	0	S0	0.095653	****	****	
4	20	S0	0.096399	****	****	
5	20	S1	0.097729	****	****	
2	0	S1	0.105630		****	
11	60	S1	0.106799		****	

3.6 Sucres totaux solubles :

Tableau(14.a) : Analyse de la variance de l'effet de stress oxydatifs par le chrome hexavalent sur la teneur en sucres totaux solubles dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches *d'Actinobactéries*.

Tests Univariés de Significativité pour ST (Statistica 1er prélèvement blé) Paramétrisation sigma-restreinte Décomposition efficace de l'hypothèse					
	SC	Degr. de	MC	F	p
ord. origine	3745717	1	3745717	988.2690	0.000000
Concentration	39625	3	13208	3.4849	0.042463
souch	23579	2	11790	3.1105	0.074119
Concentration*souch	61857	6	10310	2.7201	0.054241
Erreur	56853	15	3790		

Tableau(14.b) : Test de LSD de Fisher au seuil de 5% variance de l'effet de stress oxydatifs par le chrome hexavalent sur la teneur en sucres totaux solubles dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2souches *d'Actinobactéries*.

Annexes

Test LSD ; variable ST (Statistica 1er prélèvement blé) Groupes Homogènes, alpha = .05000 Erreur : MC Inter = 3790.2, dl = 15.000								
	Concentration	souch	ST	1	2	3	4	5
12	60	S2	255.3020				****	
11	60	S1	292.0805		****		****	
1	0	S0	316.7785	****	****		****	
6	20	S2	329.6644	****	****		****	
9	40	S2	358.9262	****	****	****	****	
2	0	S1	364.9217	****	****	****	****	
3	0	S2	395.9732	****	****	****		****
7	40	S0	402.1477	****	****	****		****
10	60	S0	432.7517	****		****		****
8	40	S1	436.2416	****		****		****
4	20	S0	462.2819			****		****
5	20	S1	491.8121					****

3.7 La Proline :

Tableau(15.a) : Analyse de la variance de l'effet de stress oxydatifs par le chrome hexavalent sur l'accumulation de la proline dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Tests Univariés de Significativité pour Proline (Statistica 1er prélèvement blé) Paramétrisation sigma-restreinte Décomposition efficace de l'hypothèse					
	SC	Degr. de	MC	F	p
ord. origine	355.3796	1	355.3796	878.0776	0.000000
Concentration	1.1422	3	0.3807	0.9407	0.442788
souch	2.2278	2	1.1139	2.7522	0.092161
Concentration*souch	10.5506	6	1.7584	4.3448	0.007751
Erreur	6.8803	17	0.4047		

Tableau(15.b) : Test de Duncan au seuil de 5% variance de l'effet de stress oxydatifs par le chrome hexavalent sur l'accumulation de la proline dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Test de Duncan ; variable Proline (Statistica 1er prélèvement blé) Groupes Homogènes, alpha = .05000 Erreur : MC Inter = .40472, dl = 17.000						
	Concentration	souch	Proline	1	2	3
4	20	S0	2.676580	****		

Annexes

8	40	S1	2.676580	****		
1	0	S0	2.750929	****		
11	60	S1	2.899628	****		
6	20	S2	3.197026	****	****	
2	0	S1	3.271375	****	****	
7	40	S0	3.866171	****	****	****
3	0	S2	3.940520	****	****	****
12	60	S2	4.014870	****	****	****
5	20	S1	4.386617		****	****
10	60	S0	4.460967		****	****
9	40	S2	4.708798			****

3.8 L'activité catalase :

Tableau(16.a) : Analyse de la variance de l'effet de stress oxydatifs par le chrome hexavalent sur l'activité de la catalase dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Tests Univariés de Significativité pour CAT (Statistica 1er prélèvement blé) Paramétrisation sigma-restreinte Décomposition efficace de l'hypothèse					
	SC	Degr. de	MC	F	p
ord. origine	0.000001	1	0.000001	114.1914	0.000000
Concentration	0.000000	3	0.000000	4.8916	0.017214
souch	0.000001	2	0.000000	23.8387	0.000045
Concentration*souch	0.000000	6	0.000000	3.3000	0.033691
Erreur	0.000000	13	0.000000		

Tableau(16.b) : Test de LSD de Fisher au seuil de 5% variance de l'effet de stress oxydatifs par le chrome hexavalent sur l'activité de la catalase dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2souches d'*Actinobactéries*.

Test LSD ; variable CAT (Statistica 1er prélèvement blé) Groupes Homogènes, alpha = .05000 Erreur : MC Inter = .00000, dl = 13.000							
	Concentration	souch	CAT	1	2	3	4
8	40	S1	0.000024	****			
12	60	S2	0.000056	****			
2	0	S1	0.000088	****			
9	40	S2	0.000088	****			
3	0	S2	0.000124	****			

Annexes

5	20	S1	0.000152	****	****		
6	20	S2	0.000184	****	****	****	
10	60	S0	0.000220	****	****	****	
11	60	S1	0.000246	****	****	****	
7	40	S0	0.000354		****	****	
1	0	S0	0.000392			****	
4	20	S0	0.000740				****

3.9 L'activité peroxydase :

Tableau(17.a) : Analyse de la variance de l'effet de stress oxydatifs par le chrome hexavalent sur l'activité de la peroxydase dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Tests Univariés de Significativité pour POD (Statistica 1er prélèvement blé) Paramétrisation sigma-restreinte Décomposition efficace de l'hypothèse					
	SC	Degr. de	MC	F	p
ord. origine	0.000034	1	0.000034	679.8061	0.000000
Concentration	0.000001	3	0.000000	5.8934	0.008093
souch	0.000000	2	0.000000	0.3306	0.723944
Concentration*souch	0.000003	6	0.000001	10.7163	0.000150
Erreur	0.000001	14	0.000000		

Tableau(17.b) : Test de LSD de Fisher au seuil de 5% variance de l'effet de stress oxydatif par le chrome hexavalent sur l'activité de la peroxydase dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2souches d'*Actinobactéries*.

Test LSD ; variable POD (Statistica 1er prélèvement blé) Groupes Homogènes, alpha = .05000 Erreur : MC Inter = .00000, dl = 14.000									
	Concentration	souch	POD	1	2	3	4	5	6
8	40	S1	0.000416					****	
9	40	S2	0.000724	****				****	
1	0	S0	0.000852	****	****			****	
3	0	S2	0.000972	****	****	****			
10	60	S0	0.000988	****	****	****			
5	20	S1	0.001041	****	****	****			
6	20	S2	0.001060	****	****	****			

Annexes

4	20	S0	0.001284		****	****	****		
11	60	S1	0.001352			****	****		
7	40	S0	0.001576				****		****
2	0	S1	0.001614				****		****
12	60	S2	0.001994						****

Annexes

Annexes 4 : Le 2^{ème} prélèvement (35 jours) :

4.1. Le poids frais :

Tableau (18.a) : 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 2souches d'*Actinobactéries*.

Tests Univariés de Significativité pour PF (STATISTICA 2eme prélèvement blé dur) Paramétrisation sigma-restreinte Décomposition efficace de l'hypothèse					
	SC	Degr. de	MC	F	p
ord. origine	3.162350	1	3.162350	1152.923	0.000000
Concentration	0.086595	3	0.028865	10.524	0.000694
Souch	0.010478	2	0.005239	1.910	0.184724
Concentration*Souch	0.219786	6	0.036631	13.355	0.000044
Erreur	0.038401	14	0.002743		

Tableau(18.b) : Test de LSD de Fisher au seuil de 5% 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 2souches d'*Actinobactéries*.

Test LSD ; variable PF (STATISTICA 2eme prélèvement blé dur) Groupes Homogènes, alpha = .05000 Erreur : MC Inter = .00274, dl = 14.000							
	Concentration	Souch	PF	1	2	3	4
5	20	S1	0.206400			****	
7	40	S0	0.246000	****		****	
1	0	S0	0.259600	****	****	****	
9	40	S2	0.286933	****	****	****	
4	20	S0	0.307750	****	****	****	
11	60	S1	0.321367	****	****		
2	0	S1	0.330650	****	****		
6	20	S2	0.331050	****	****		
3	0	S2	0.369250		****		
10	60	S0	0.484450				****
12	60	S2	0.503550				****
8	40	S1	0.586200				****

Annexes

4.2. Le poids sec :

Tableau (19.a) : 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 2 souches d'actinobactéries.

Tests Univariés de Significativité pour PS (STATISTICA 2eme prélèvement blé dur) Paramétrisation sigma-restreinte Décomposition efficace de l'hypothèse					
	SC	Degr. de	MC	F	p
ord. origine	0.052965	1	0.052965	404.9166	0.000000
Concentration	0.001262	3	0.000421	3.2157	0.049173
Souch	0.000380	2	0.000190	1.4530	0.261486
Concentration*Souch	0.002783	6	0.000464	3.5464	0.018357
Erreur	0.002224	17	0.000131		

Tableau(19.b) : Test de LSD de Fisher au seuil de 5% variance de l'effet de stress oxydatifs par le chrome hexavalent sur le poids sec chez les plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'Actinobactéries.

Test LSD ; variable PS (STATISTICA 2eme prélèvement blé dur) Groupes Homogènes, alpha = .05000 Erreur : MC Inter = .00013, dl = 17.000							
	Concentration	Souch	PS	1	2	3	4
5	20	S1	0.023100	****			
9	40	S2	0.028650	****			
11	60	S1	0.032100	****	****		
7	40	S0	0.038200	****	****		
1	0	S0	0.038333	****	****		
4	20	S0	0.043100	****	****	****	
8	40	S1	0.044550	****	****	****	****
12	60	S2	0.044933	****	****	****	****
6	20	S2	0.045000	****	****	****	****
2	0	S1	0.053400		****	****	****
10	60	S0	0.065050			****	****
3	0	S2	0.066700				****

4.3. La teneur en eau :

Tableau (20.a) : 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 2 souches d'Actinobactéries.

Annexes

Tests Univariés de Significativité pour TE (STATISTICA 2eme prélèvement blé dur) Paramétrisation sigma-restreinte Décomposition efficace de l'hypothèse					
	SC	Degr. de	MC	F	p
ord. origine	2.514128	1	2.514128	731.0547	0.000000
Concentration	0.070998	3	0.023666	6.8816	0.004443
Souch	0.003322	2	0.001661	0.4829	0.626881
Concentration*Souch	0.172933	6	0.028822	8.3809	0.000548
Erreur	0.048147	14	0.003439		

Tableau(20.b) : Test de LSD de Fisher au seuil de 5% 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 2 souches d'*Actinobactéries*.

Test LSD ; variable TE (STATISTICA 2eme prélèvement blé dur) Groupes Homogènes, alpha = .05000 Erreur : MC Inter = .00344, dl = 14.000								
	Concentration	Souch	TE	1	2	3	4	5
5	20	S1	0.183300	****				
9	40	S2	0.216150	****	****			
1	0	S0	0.225100	****	****			
4	20	S0	0.274100	****	****			
7	40	S0	0.276267	****	****			
11	60	S1	0.289267	****	****			
6	20	S2	0.290050	****	****			
2	0	S1	0.294200	****	****	****		
3	0	S2	0.326500		****	****	****	
10	60	S0	0.419400			****	****	****
12	60	S2	0.449100				****	****
8	40	S1	0.531050					****

4.4.La perméabilité membranaire :

Tableau (21.a) : Analyse de la variance de l'effet de stress oxydatifs par le chrome hexavalent sur la perméabilité membranaire dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Tests Univariés de Significativité pour PM (STATISTICA 2eme prélèvement blé dur) Paramétrisation sigma-restreinte Décomposition efficace de l'hypothèse					
	SC	Degr. de	MC	F	p
ord. origine	76256.16	1	76256.16	11271.34	0.000000

Annexes

Concentration	295.38	3	98.46	14.55	0.000103
Souch	13.44	2	6.72	0.99	0.393572
Concentration*Souch	360.51	6	60.09	8.88	0.000304
Erreur	101.48	15	6.77		

Tableau(21.b) : Test de LSD de Fisher au seuil de 5% variance de l'effet de stress oxydatifs par le chrome hexavalent sur la perméabilité membranaire chez les plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Test LSD ; variable PM (STATISTICA 2eme prélèvement blé dur) Groupes Homogènes, alpha = .05000 Erreur : MC Inter = 6.7655, dl = 15.000

	Concentration	Souch	PM	1	2	3	4
6	20	S2	43.56061			****	
8	40	S1	47.72727		****	****	
7	40	S0	50.00000		****		
1	0	S0	50.00000		****		
9	40	S2	55.21886	****			
3	0	S2	55.55556	****			
2	0	S1	55.55556	****			
4	20	S0	55.55556	****			
5	20	S1	55.55556	****			
11	60	S1	57.77778	****			
12	60	S2	57.77778	****			
10	60	S0	63.33333				****

4.5. Dosage des pigments photosynthétiques :

4.5.1. Chlorophylle a :

Tableau (22) : Analyse de la variance de l'effet de stress oxydatifs par le chrome hexavalent sur la teneur en chlorophylle a dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Tests Univariés de Significativité pour CHLA (STATISTICA 2eme prélèvement blé dur)
Paramétrisation sigma-restreinte Décomposition efficace de l'hypothèse

	SC	Degr. de	MC	F	p
ord. origine	3.118175	1	3.118175	8807.483	0.000000
Concentration	0.002551	3	0.000850	2.402	0.092556
Souch	0.000104	2	0.000052	0.146	0.864578

Annexes

12	60	S2	0.665130		****		
10	60	S0	0.668074		****	****	
4	20	S0	0.689900	****	****	****	
1	0	S0	0.707855	****	****	****	
11	60	S1	0.709923	****	****	****	
3	0	S2	0.710241	****	****	****	
2	0	S1	0.725628	****	****	****	****
8	40	S1	0.733000	****		****	****
5	20	S1	0.739960	****			****
6	20	S2	0.743112	****			****
9	40	S2	0.752539	****			****
7	40	S0	0.777682				****

4.5.4 Caroténoïdes :

Tableau(25) : Analyse de la variance de l'effet de stress oxydatifs par le chrome hexavalent sur la teneur en caroténoïdes (x+c) dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Tests Univariés de Significativité pour Caroténoïde (STATISTICA 2eme prélèvement blé dur) Paramétrisation sigma-restreinte Décomposition efficace de l'hypothèse					
	SC	Degr. de	MC	F	p
ord. origine	0.338629	1	0.338629	6399.987	0.000000
Concentration	0.000174	3	0.000058	1.099	0.368742
Souch	0.000239	2	0.000119	2.256	0.126558
Concentration*Souch	0.000779	6	0.000130	2.454	0.054094
Erreur	0.001270	24	0.000053		

4.6 Sucres totaux solubles :

Tableau(26.a) : Analyse de la variance de l'effet de stress oxydatifs par le chrome hexavalent sur la teneur en sucres totaux solubles dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Tests Univariés de Significativité pour ST (STATISTICA 2eme prélèvement blé dur) Paramétrisation sigma-restreinte Décomposition efficace de l'hypothèse					
	SC	Degr. de	MC	F	p
ord. origine	20946863	1	20946863	1050.946	0.000000
Concentration	303100	3	101033	5.069	0.013906

Annexes

Souch	242452	2	121226	6.082	0.012558
Concentration*Souch	582041	6	97007	4.867	0.006952
Erreur	279040	14	19931		

Tableau(26.b) : Test de LSD de Fisher au seuil de 5% variance de l'effet de stress oxydatifs par le chrome hexavalent sur la teneur en sucres totaux solubles chez les plantules de blé dur traitées par les 2souches d'*Actinobactéries*.

Test LSD ; variable ST (STATISTICA 2eme prélèvement blé dur) Groupes Homogènes, alpha = .05000 Erreur : MC Inter = 19931., dl = 14.000

	Concentration	Souch	ST	1	2	3	4	5
12	60	S2	551.529			****		
2	0	S1	687.059	****		****		
6	20	S2	696.000	****		****		
3	0	S2	728.471	****		****	****	
11	60	S1	805.647	****		****	****	
7	40	S0	885.961	****			****	****
10	60	S0	956.706	****	****		****	****
5	20	S1	1000.471		****		****	****
8	40	S1	1101.176		****			****
4	20	S0	1123.294		****			****
1	0	S0	1164.235		****			
9	40	S2	1194.353		****			

4.7 La Proline :

Tableau(27.a) : Analyse de la variance de l'effet de stress oxydatifs par le chrome hexavalent sur l'accumulation de la proline dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Tests Univariés de Significativité pour Proline (STATISTICA 2eme prélèvement blé dur) Paramétrisation sigma-restreinte Décomposition efficace de l'hypothèse

	SC	Degr. de	MC	F	p
ord. origine	1765.581	1	1765.581	1224.864	0.000000
Concentration	77.329	3	25.776	17.882	0.000046
Souch	22.496	2	11.248	7.803	0.005287
Concentration*Souch	223.713	6	37.286	25.867	0.000001

Annexes

Erreur	20.180	14	1.441		
---------------	--------	----	-------	--	--

Tableau(27.b) : Test de LSD de Fisher au seuil de 5% variance de l'effet de stress oxydatifs par le chrome hexavalent sur l'accumulation de la proline chez les plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Test LSD ; variable Proline (STATISTICA 2eme prélèvement blé dur) Groupes Homogènes, alpha = .05000 Erreur : MC Inter = 1.4414, dl = 14.000									
	Concentration	Souch	Proline	1	2	3	4	5	6
11	60	S1	3.64312	****					
7	40	S0	3.96530	****					
12	60	S2	4.31227	****					
4	20	S0	4.98141	****					****
2	0	S1	6.98885			****			****
6	20	S2	7.73234			****			
5	20	S1	8.47584			****	****		
1	0	S0	10.63197		****		****		
10	60	S0	10.70632		****		****		
8	40	S1	12.04461		****			****	
9	40	S2	12.93680		****			****	
3	0	S2	13.60595					****	

4.8 L'activité catalase :

Tableau(28.a) : Analyse de la variance de l'effet de stress oxydatifs par le chrome hexavalent sur l'activité de la catalase dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Tests Univariés de Significativité pour CAT (STATISTICA 2eme prélèvement blé dur) Paramétrisation sigma-restreinte Décomposition efficace de l'hypothèse					
	SC	Degr. de	MC	F	p
ord. origine	0.000006	1	0.000006	90.15664	0.000000
Concentration	0.000000	3	0.000000	1.16919	0.344010
Souch	0.000001	2	0.000000	3.62533	0.043567
Concentration*Souch	0.000002	6	0.000000	3.88885	0.008491
Erreur	0.000002	22	0.000000		

Tableau(28.b) : Test de LSD de Fisher au seuil de 5% variance de l'effet de stress oxydatifs par le chrome hexavalent sur l'activité de la catalase chez les plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Annexes

Test LSD ; variable CAT (STATISTICA 2eme prélèvement blé dur) Groupes Homogènes, alpha = .05000 Erreur : MC Inter = .00000, dl = 22.000								
	Concentration	Souch	CAT	1	2	3	4	5
6	20	S2	0.000044	****				
9	40	S2	0.000160	****	****			
1	0	S0	0.000165	****	****			
8	40	S1	0.000257	****	****			
5	20	S1	0.000279	****	****	****		
11	60	S1	0.000309	****	****	****	****	
3	0	S2	0.000496	****	****	****	****	****
12	60	S2	0.000544	****	****	****	****	****
4	20	S0	0.000564		****	****	****	****
2	0	S1	0.000720			****	****	****
10	60	S0	0.000748				****	****
7	40	S0	0.000934					****

4.9 L'activité peroxydase :

Tableau(29.a) : Analyse de la variance de l'effet de stress oxydatifs par le chrome hexavalent sur l'activité de la peroxydase dans les feuilles des plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Tests Univariés de Significativité pour POD (STATISTICA 2eme prélèvement blé dur) Paramétrisation sigma-restreinte Décomposition efficace de l'hypothèse					
	SC	Degr. de	MC	F	p
ord. origine	0.000035	1	0.000035	2828.616	0.000000
Concentration	0.000002	3	0.000001	51.901	0.000000
Souch	0.000003	2	0.000001	104.836	0.000000
Concentration*Souch	0.000002	6	0.000000	28.484	0.000000
Erreur	0.000000	14	0.000000		

Tableau (29.b): Test de LSD de Fisher au seuil de 5% variance de l'effet de stress oxydatifs par le chrome hexavalent sur l'activité de la peroxydase chez les plantules de blé dur traitées par les 2 souches d'*Actinobactéries*.

Test LSD ; variable POD (STATISTICA 2eme prélèvement blé dur) Groupes

Annexes

Homogènes, alpha = .05000 Erreur : MC Inter = .00000, dl = 14.000									
	Concentration	Souch	POD	1	2	3	4	5	6
5	20	S1	0.000558				****		
3	0	S2	0.000820	****					
12	60	S2	0.000882	****					
9	40	S2	0.000890	****					
6	20	S2	0.000954	****	****				
4	20	S0	0.001024	****	****	****			
1	0	S0	0.001040	****	****	****			
2	0	S1	0.001123		****	****			
8	40	S1	0.001190		****	****			
11	60	S1	0.001234			****			
7	40	S0	0.001887					****	
10	60	S0	0.002547						****